



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Área Departamental de Engenharia Civil**



## **Aproveitamento de Águas Pluviais para Rega**

**FILIPE DOMINGOS MOURA DE MELO**  
(Licenciado em Engenharia Civil)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na  
Área de Especialização de Hidráulica

Orientador:

Mestre Alexandre Almeida Mendes Borga

Júri:

Presidente: Doutor João Alfredo Ferreira dos Santos

Vogais: Mestre Alexandre Almeida Mendes Borga

Engenheiro Luís Filipe Almeida Mendes

**Novembro de 2014**



## RESUMO

O aproveitamento da água pluvial constitui uma medida com potencial para reduzir a utilização de água potável em usos onde a qualidade da água possa ser inferior. Em virtude de ser necessário investir num sistema de aproveitamento de água pluvial (SAAP), torna-se necessário avaliar, para cada situação em particular, os potenciais benefícios em função da capacidade de armazenamento a fim de suportar a decisão na maior ou menor capacidade do sistema.

Com esta dissertação pretende-se desenvolver um modelo de cálculo capaz de dimensionar um sistema de armazenamento de água pluvial, para uso de rega, tendo como caso de estudo a *Quinta de St.ª Barbara, Almada*.

O método de análise consiste na avaliação de distintos cenários de viabilidade económica face ao uso para rega de culturas. Este método baseia-se nos valores de precipitação e temperatura da região e no tipo de cultura, cujos dados foram obtidos através do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH), para dimensionamento de reservatórios de armazenamento de águas pluviais. A análise comparativa dos diferentes cenários conduzirá à conclusão de qual a melhor solução no que respeita à relação custo-benefício.

**Palavras-chave:** água pluvial, rega, sustentabilidade, sistema de armazenamento da água pluvial



## ABSTRACT

The use of rainwater is a measure with the potential to reduce the use of potable water for uses where quality water may be low. Because of the need to invest in a rainwater recovery system (RRS) it's necessary evaluate the potential benefits depending of the storage capacity to support the decision on the great or low system capacity.

This dissertation intended to develop a calculation model able to size a system for storing rainwater, for irrigation, taking as a study case the *Quinta de Santa Barbara*, Almada.

The analysis method involves the assessment of different cases with economic viability to crops irrigation. This method is based on the values of precipitation and temperature in the region and the type of crop for sizing storage rainwater, with values obtained in National Information System for Water Resources, to size storage tanks for rainwater. The comparative analysis of the different cases lead to conclusions about the most cost-effective solution.

**Keywords:** rainwater, irrigation, sustainability, rainwater storage system



## AGRADECIMENTOS

Um agradecimento em particular ao Prof. Alexandre Borga pela orientação tutorial, sem a qual a realização deste trabalho não teria sido possível, e ao Prof. João Hormigo enquanto representante da empresa EDP.

Gostaria de deixar, igualmente, um agradecimento a todos aqueles com quem fui abordando a essência deste trabalho, nomeadamente, o Sr. Pedro Mateus, representante da empresa Eletrimeca, o Sr. Nuno Cavaco, da empresa Hubel e o Sr. Célio Vendas, da empresa Dunasol.

Queria também agradecer em especial à minha família, por todo o apoio e paciência dedicados, mesmo nas maiores dificuldades, onde nunca deixaram de acreditar na realização deste trabalho e iminente concretização pessoal.

A todos vós dedico a realização deste sonho.



## ÍNDICE GERAL

Capítulo 1 – Introdução .....	1
1.1 - Enquadramento .....	1
1.2 - Objetivo.....	3
Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica .....	5
2.1 - Problemática de Escassez da Água .....	5
2.2 - Alterações Climáticas .....	6
2.3 - Sustentabilidade Ecológica no Uso da Água .....	7
2.4 - Sistemas de Avaliação e Certificação da Sustentabilidade .....	11
2.5 Síntese Histórica de Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais .....	12
2.6 Conceito de Aproveitamento de Águas Pluviais.....	14
2.6.1 Introdução .....	14
2.6.2 Captação.....	16
2.6.3 Transporte .....	16
2.6.4 Filtração .....	17
2.6.5 Armazenamento .....	19
2.6.6 Tratamento .....	23
2.6.7 Distribuição.....	23
2.7 Legislação e Normalização .....	24
Capítulo 3 – Metodologia.....	27
3.1 Balanço Hídrico.....	27
3.2 Recolha e Tratamento de Dados.....	33
Capítulo 4 – Caso de Estudo .....	35
4.1 Enquadramento.....	35
4.2 Recolha e Tratamento de Dados.....	36
4.2.1 Séries Temporais.....	36

4.2.2 Evapotranspiração .....	39
4.2.3 Parâmetros de Dimensionamento do Reservatório e Sistema de Rega.....	41
4.2.4 Sistema de Rega .....	43
4.2.5 Custos de Investimento e Funcionamento .....	44
Capítulo 5 – Modelo de cálculo .....	47
5.1 Descrição do Modelo .....	47
5.2 Exploração do Modelo e Análise de Resultados .....	51
5.2.1 Série Temporal de Registos .....	53
5.2.2 Ano Médio e Ano de Características Médias .....	57
5.2.3 Outros Casos de Estudo .....	69
Capítulo 6 – Conclusão .....	81
Referências Bibliográficas .....	85
Anexos	
Anexo 1 – Tabelas com atribuições dos parâmetros $Z_r + K_c + K_s$	
Anexo 2 – Custo dos reservatórios	
Anexo 3 – Custo do grupo hidropressor	
Anexo 4 – Tarifas e taxas do SMAS Almada	
Anexo 5 – Tarifas e taxas da EDP	
Anexo 6 – Plantas da <i>Quinta de St.ª Bárbara</i>	

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - IQA em Almada no dia 4 de Maio de 2014.....	2
Figura 2 - Localização da Qt. St. <sup>a</sup> Bárbara.....	3
Figura 3 - Sistema Cantareira (antes).....	6
Figura 4 - Sistema Cantareira (atualmente).....	6
Figura 5 - Três áreas a equilibrar para o desenvolvimento sustentável .....	7
Figura 6 – Lago de <i>Tamera</i> .....	10
Figura 7 - Pedra de Moabita.....	12
Figura 8 - Castelo de Lamego .....	13
Figura 9 - Eirado onde é visível orifício que comunica com cisterna e boca de acesso .....	13
Figura 10 - Esquema tipo de aproveitamento de águas pluviais .....	15
Figura 11 - Caleira com proteção de rede/malha .....	17
Figura 12 - Dispositivo de desvio de primeiro fluxo .....	18
Figura 13 - Filtro de autolimpeza.....	19
Figura 14 - Reservatório de armazenamento de águas pluviais .....	19
Figura 15 - Reservatórios flexíveis fechados .....	20
Figura 16 - Charcos no sector agrícola.....	22
Figura 17 - Ciclo hidrológico .....	27
Figura 18 - Balanço hídrico da cultura.....	27
Figura 19 – Implantação da Quinta de St. <sup>a</sup> Bárbara .....	35
Figura 20 - Espaços da Quinta St. <sup>a</sup> Barbara .....	36

Figura 21 - Terreno adjacente (área de cultivo) .....	36
Figura 22 - Localização das estações meteorológicas.....	37
Figura 23 - Esquema representativo do reservatório.....	42
Figura 24 - Aspersor de giro completo e aspersor de giro setorial .....	43
Figura 25 - Grupo hidropressor .....	43

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Número máximo diário de horas de sol (Doorenbos y Pruitt, 1977) .....	30
Quadro 2 - Caracterização das estações meteorológicas escolhidas .....	37
Quadro 3 - Valores de correlação ( $R^2$ ) .....	38
Quadro 4 - Valores finais de precipitação média diária e temperatura média diária .....	39
Quadro 5 - Características da cultura e solo.....	40
Quadro 6 - Valores de coeficientes de redução.....	40
Quadro 7 - Número máximo diário de horas de sol (Doorenbos y Pruitt, 1977) .....	41
Quadro 8 – Custos do reservatório de 520 m <sup>3</sup> .....	44
Quadro 9 - Custos do reservatório de 1040 m <sup>3</sup> .....	44
Quadro 10 – Custos da água e eletricidade .....	45
Quadro 11 - Características da bomba do furo.....	45
Quadro 12 - Dados iniciais.....	47
Quadro 13 - Resultados da evapotranspiração da cultura diária .....	48
Quadro 14 - Resultados na área de cultura.....	48
Quadro 15 - Controlo do nível de água no reservatório .....	49
Quadro 16 - Custos totais atualizados no cenário de 30% $R_{cul.min}$   Séries temporais .....	53
Quadro 17 - Custos totais atualizados no cenário de 5% $R_{cul.min}$   Séries temporais .....	53
Quadro 18 - Custos totais atualizados no cenário de 30% $R_{cul.min}$   AM.....	59
Quadro 19 - Custos totais atualizados no cenário de 5% $R_{cul.min}$   AM.....	59
Quadro 20 - Custos totais atualizados no cenário de 30% $R_{cul.min}$   ACM.....	65

Quadro 21 - Custos totais atualizados no cenário de 5% $R_{cul.min}$   ACM.....	65
Quadro 22 - Custos totais atualizados no cenário de 30% $R_{cul.min}$   Caso I.....	70
Quadro 23 - Custos totais atualizados no cenário de 5% $R_{cul.min}$   Caso I.....	70
Quadro 24 - Custos totais atualizados no cenário de 30% $R_{cul.min}$   Caso II .....	76
Quadro 25 - Custos totais atualizados no cenário de 5% $R_{cul.min}$   Caso II .....	76

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - IQA em Portugal no ano 2012 .....	2
Gráfico 2 - Distribuição do consumo de água por sector [ANR, 2008].....	8
Gráfico 3 - Distribuição de água por tipo de cultura [ANR, 2008].....	9
Gráfico 4 – Distribuição de água por região em culturas hortícolas [ANR, 2008].....	9
Gráfico 5 – Número de medidas tomadas pelo PNUEA, 2012-2020.....	11
Gráfico 6 – Meta principal definida pelo PNUEA, 2012-2020.....	11
Gráfico 7 – Avaliação da consistência da estação 22B/01C .....	38
Gráfico 8 - Curva de custos totais atualizados no 5º ano   Séries temporais.....	54
Gráfico 9 - Curva de custos totais atualizados no 15º ano   Séries temporais.....	54
Gráfico 10 - Curva de custos totais atualizados no 30º ano   Séries temporais.....	55
Gráfico 11 - Curva de custos totais atualizados no 45º ano   Séries temporais.....	55
Gráfico 12 - Níveis de eficiência   Séries temporais .....	56
Gráfico 13 - Taxa de crescimento   Séries temporais .....	57
Gráfico 14 - Curva cronológica das precipitações médias diárias   AM .....	58
Gráfico 15 – Curva de custos totais atualizados no 5º ano   AM .....	59
Gráfico 16 - Curva de custos totais atualizados no 15º ano   AM.....	60
Gráfico 17 - Curva de custos totais atualizados no 30º ano   AM.....	60
Gráfico 18 - Curva de custos totais atualizados no 45º ano   AM.....	61
Gráfico 19 - Níveis de eficiência   AM .....	61
Gráfico 20 - Taxa de crescimento   AM .....	62
Gráfico 21 - Comparação de custos totais atualizados no 30º Ano   ST & AM.....	63

Gráfico 22 - Curva cronológica das precipitações médias diárias   ACM .....	64
Gráfico 23 - Curva de custos totais atualizados no 5º ano   ACM .....	65
Gráfico 24 - Curva de custos totais atualizados no 15º ano   ACM .....	66
Gráfico 25 - Curva de custos totais atualizados no 30º ano   ACM .....	66
Gráfico 26 - Curva de custos totais atualizados no 45º ano   ACM .....	67
Gráfico 27 - Níveis de eficiência   ACM.....	67
Gráfico 28 - Taxa de crescimento   ACM .....	68
Gráfico 29 - Comparação de custos totais atualizados no 30º Ano   ST & ACM.....	69
Gráfico 30 - Curva de custos totais atualizados no 5º ano   Caso I.....	71
Gráfico 31 - Curva de custos totais atualizados no 15º ano   Caso I.....	71
Gráfico 32 - Curva de custos totais atualizados no 30º ano   Caso I.....	72
Gráfico 33 - Curva de custos totais atualizados no 45º ano   Caso I.....	72
Gráfico 34 - Níveis de eficiência   Caso I .....	73
Gráfico 35 - Taxa de crescimento   Caso I .....	74
Gráfico 36 - Comparação de custos totais atualizados no 30º Ano   ST & Caso I.....	75
Gráfico 37 - Curva de custos totais atualizados no 5º ano   Caso II.....	76
Gráfico 38 - Curva de custos totais atualizados no 15º ano   Caso II.....	77
Gráfico 39 - Curva de custos totais atualizados no 30º ano   Caso II.....	77
Gráfico 40 - Curva de custos totais atualizados no 45º ano   Caso II.....	78
Gráfico 41 - Níveis de eficiência   Caso II .....	78
Gráfico 42 - Taxa de crescimento   Caso II.....	79
Gráfico 43 - Comparação de custos totais atualizados no 30º Ano   ST & Caso II .....	80

## SIMBOLOGIA

Símbolo	Designação	Unidade
$a$	Parâmetro adimensional da fórmula de Thornthwaite	-
$A_{cob}$	Área total das zonas impermeáveis	$m^2$
$A_{cul}$	Área total de cultivo	$m^2$
$ARM$	Armazenamento de água no solo	mm
$Arm_{util}$	Armazenamento útil de água no reservatório	$m^3$
$b$	Coefficiente angular correspondente às observações a ajustar	-
$b_0$	Coefficiente angular no intervalo de tempo de referência	-
$CC$	Capacidade de campo	%
$CAD$	Capacidade de água disponível	mm
$CAD_{min}$	Capacidade de água disponível mínimo	mm
$C_{bomba}$	Custo de utilização da bomba	€
$C_{inv}$	Custo total do investimento	€
$d$	Número de dias do mês	-
$d_s$	Densidade do solo	-
$EDP$	Custo do fornecimento de energia elétrica	€/kWh
$E_{f_{res}}$	Eficiência do reservatório	%
$E_{f_{sis}}$	Eficiência do sistema	%
$ET_C$	Evapotranspiração da cultura	mm
$ET_p$	Evapotranspiração padrão	mm
$ETP$	Evapotranspiração potencial	mm
$F_a$	Fator de atualização	-
$h_{rega}$	Horas de rega diária	h
$i_m$	Índice de calor mensal	-
$I$	Índice de calor anual	-
$K_c$	Coefficiente de cultivo	-
$K_s$	Coefficiente de solo	-
$N$	Número máximo de horas de sol	-
$P$	Precipitação diária da falha	mm
$P_a$	Precipitação ajustada	mm
$P_0$	Precipitação medida	mm

Símbolo	Designação	Unidade
$\bar{P}$	Precipitação média diária do posto em causa	mm
$\bar{P}_1$	Precipitação média anual em cada um dos outros postos	mm
$P_1$	Precipitação no dia da falha observada em cada um dos outros postos	mm
$P_d$	Precipitação diária	mm
$PE$	Ponto de emurchecimento	%
$P_{bomba}$	Potência da bomba do furo	kW
$Q_{max}$	Caudal máximo do grupo hidropressor	m <sup>3</sup> /h
$R_{cul.min}$	Reserva mínima de água no solo	%
$R_e$	Rega efetiva	mm
$R_{res.min}$	Reserva mínima de água no reservatório	%
SMAS	Custo do fornecimento de água da rede pública	€/m <sup>3</sup>
$T$	Taxa de atualização	%
$T_a$	Temperatura média anual normal	°C
$T_{cul}$	Tipo de cultura	-
$T_m$	Temperatura média mensal	°C
$TC_{res}$	Taxa de crescimento do reservatório	%
$TC_{sis}$	Taxa de crescimento do sistema	%
$V_{cul.min}$	Volume mínimo de água no solo	m <sup>3</sup>
$\Delta_{res}$	Variação do volume diário	m <sup>3</sup>
$V_{arm}$	Volume total de água armazenada	m <sup>3</sup>
$V_{cap}$	Volume total de água captada	m <sup>3</sup>
$V_{furo}$	Volume de água retirada do furo	m <sup>3</sup>
$V_{rega}$	Volume total de rega efetiva	m <sup>3</sup>
$V_{res}$	Volume do reservatório	m <sup>3</sup>
$V_{res.e}$	Volume de água entrada do reservatório	m <sup>3</sup>
$V_{res.s}$	Volume de água saída do reservatório	m <sup>3</sup>
$V_{res.max}$	Volume máximo do reservatório	m <sup>3</sup>

## ACRÓNIMOS

Sigla	Designação
<i>ACM</i>	Ano de Características Médias
<i>AM</i>	Ano Médio
<i>ANR</i>	Autoridade Nacional de Regadio
<i>APA</i>	Agência Portuguesa do Ambiente
<i>BHC</i>	Balanço Hídrico Climatológico
<i>IQA</i>	Índice de Qualidade do Ar
<i>CCDR</i>	Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional
<i>DQA</i>	Diretiva Quadro Água
<i>PNUEA</i>	Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água
<i>SAAP</i>	Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais
<i>SCMA</i>	Santa Casa da Misericórdia de Almada
<i>SNIRH</i>	Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos



*"Nunca se consegue mudar as coisas lutando  
contra a realidade existente.  
Para mudar alguma coisa, constrói um novo modelo  
que torne o modelo existente obsoleto."  
(Buckminster Fuller, 1925)*

*"Não há vida sem água. A água é um bem precioso  
indispensável a todas as atividades humanas."  
Carta europeia da água do Conselho da Europa  
(Estrasburgo, 1968)*



# CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

## 1.1 - ENQUADRAMENTO

Cobrando quase três quartos da superfície terrestre, a água é um bem indispensável à atividade do Homem. Porém, a água doce acessível é relativamente escassa e constitui uma componente fundamental do meio ambiente cuja qualidade ecológica é a base de sustentabilidade dos ecossistemas e da sobrevivência humana, pelo que se torna necessária a sua preservação e a defesa da sua qualidade.

O objetivo do desenvolvimento e gestão sustentável da água é conhecer de forma confiável e equitativa as necessidades de água para as atuais e futuras gerações, dimensionando sistemas integrados e adaptáveis, otimizando a eficiência dos usos da água e mantendo os esforços na preservação e restauração dos ecossistemas naturais. Assim, o uso racional da água parece ser uma das saídas para combater a sua escassez no futuro, fazendo com que seja possível reduzir os consumos com a diminuição dos volumes gerados através da utilização de equipamentos e dispositivos mais eficientes, adotando sistemas de recirculação e/ou reutilização de águas de qualidade inferior.

O aproveitamento e armazenamento das águas da chuva são alternativas viáveis para a seca que se verifica todos os anos, na altura dos meses de Verão, em todo o país. O reaproveitamento ou reutilização da água é conhecido como o processo pelo qual a água, tratada ou não, é reutilizada para o mesmo ou outro fim.

A água da chuva apresenta características que possibilitam a sua aplicação para vários usos, exceto em locais com forte poluição atmosférica, densamente povoados ou industrializados. Em Portugal, segundo dados da *Agência Portuguesa do Ambiente* (APA) o índice de qualidade do ar (IQA)<sup>1</sup> é normalmente baixo, obtendo em média um bom resultado. Para além disso, não atinge concentrações capazes de comprometer significativamente a qualidade da água das chuvas, conforme se pode observar no Gráfico 1 e Figura 1.

---

<sup>1</sup> Este índice é disponibilizado pela Agência Portuguesa do Ambiente, com base em informação recolhida pelas Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional (CCDR)

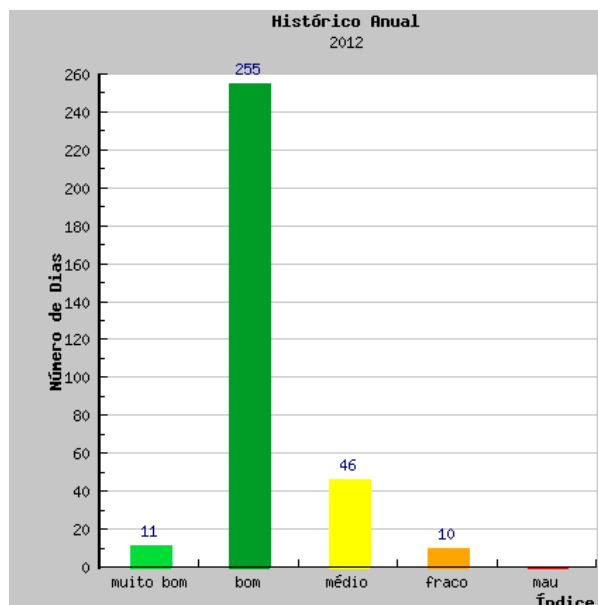


Gráfico 1 - IQA em Portugal no ano 2012

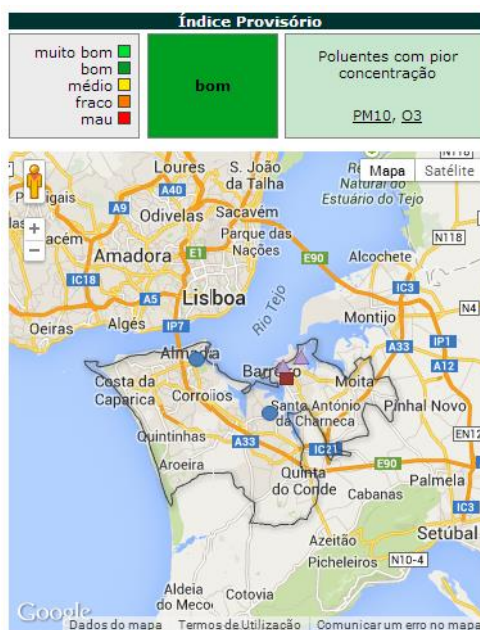


Figura 1 - IQA em Almada no dia 4 de Maio de 2014

A perda de qualidade e a contaminação da água das chuvas ocorre sobretudo na superfície de captação ou quando está armazenada de forma não protegida. Quando a água é escoada sobre a superfície de captação, a água lava e varre os detritos acumulados no intervalo das chuvas. Assim, a proteção deste sistema está ligado ao desvio do fluxo das primeiras águas das chuvas, que lava a atmosfera e a superfície de captação evitando a contaminação da água que já se encontra armazenada.

## 1.2 - OBJETIVO

O tema deste trabalho tem como intuito aplicar conceitos de engenharia na utilização das águas pluviais para rega de hortas sociais, tendo como caso de estudo a *Quinta de St.<sup>a</sup> Bárbara*, localizada na Trafaria – Almada, equipamento pertencente à Santa Casa da Misericórdia de Almada (Figura 2). A Santa Casa da Misericórdia de Almada, apoiada pela *Cultiv'Arte* foi vencedora no Programa *EDP Solidária*, edição de 2012, que recebeu um número recorde de candidaturas com 1125 projetos na área da inovação social.

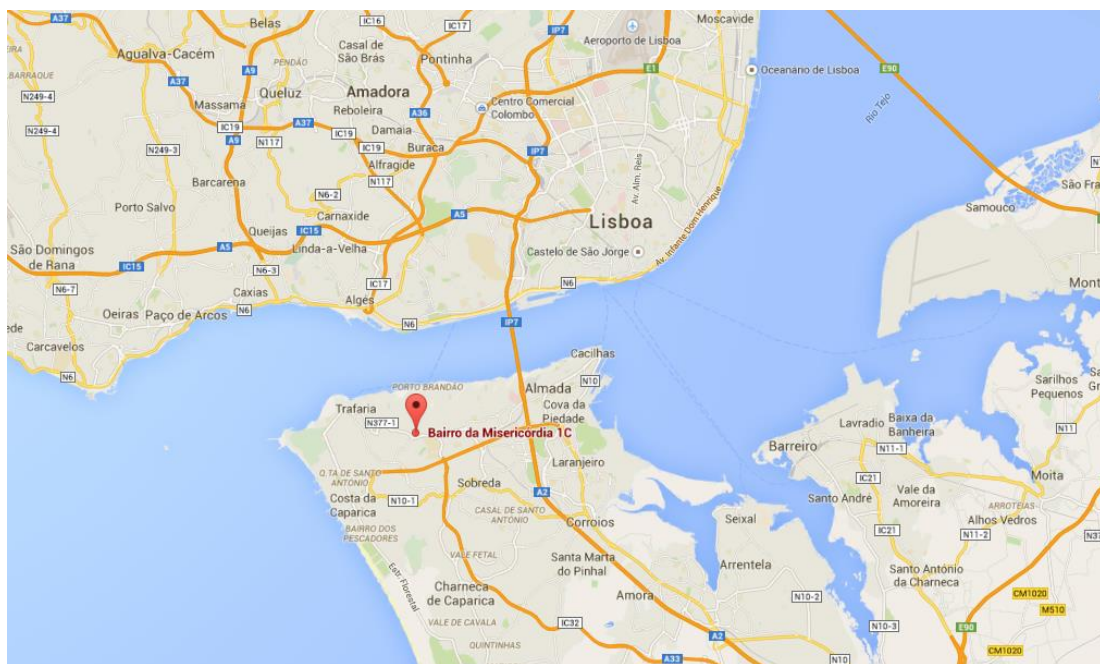


Figura 2 - Localização da Qt. St.<sup>a</sup> Bárbara

Com este projeto pretende-se dimensionar um sistema capaz de recolher as águas pluviais provenientes das coberturas existentes e outras áreas impermeáveis, e com o uso dessas águas, diminuir a dependência de água disponibilizada pela entidade gestora, especialmente no uso da rega de diversas culturas de âmbito social.

Esta dissertação tem a missão de analisar um problema ligado à infraestrutura existente, ao projeto e à execução de uma drenagem que seja capaz de captar e armazenar as águas das chuvas, como opção de fornecimento de água em fins não potáveis, como é o caso da rega de culturas. Além de utilizar uma fonte de água disponível e abundante, as águas das chuvas podem apresentar rentabilidade económica, para além de contribuir para a proteção deste recurso natural indispensável, evitando o desperdício de água tratada.



## CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 - PROBLEMÁTICA DE ESCASSEZ DA ÁGUA

A água é um recurso natural indispensável ao homem e aos outros seres vivos. É componente da própria vida e suporte essencial dos ecossistemas. Renovável, contrariamente à generalidade dos recursos naturais, não pode ser desperdiçada e está destinada a subsistir no planeta Terra.

De acordo com dados publicados na *HypeScience* (2011), estima-se que existam no Mundo 1386 milhões de km<sup>3</sup> de água, que daria para cobrir todos os continentes com uma camada de água com cerca de 9 km de espessura. Apesar de cobrir aproximadamente 2/3 da superfície do planeta, a maior parte da água não se encontra disponível para utilização humana.

No entanto, grande parte desta água não é de utilização simples, pois ou se trata de água salgada (96,6%) que exigiria dessalinização mediante tecnologias ainda muito dispendiosas, ou se concentra sob a forma de gelo nas calotes polares (68,9% da água doce) cujo aproveitamento é ainda de domínio desconhecido.

A abundância e a carência de água têm tido, através dos tempos, profundas repercussões na evolução dos povos no que refere à disponibilidade de recursos hídricos em certas regiões e ao florescimento de civilizações que aí encontraram condições de fixação e desenvolvimento.

Segundo as *Nações Unidas* (2010), Portugal será um dos países europeus mais afetados pelo aquecimento global, em 2025, ano em que não haverá água doce suficiente na Península Ibérica.

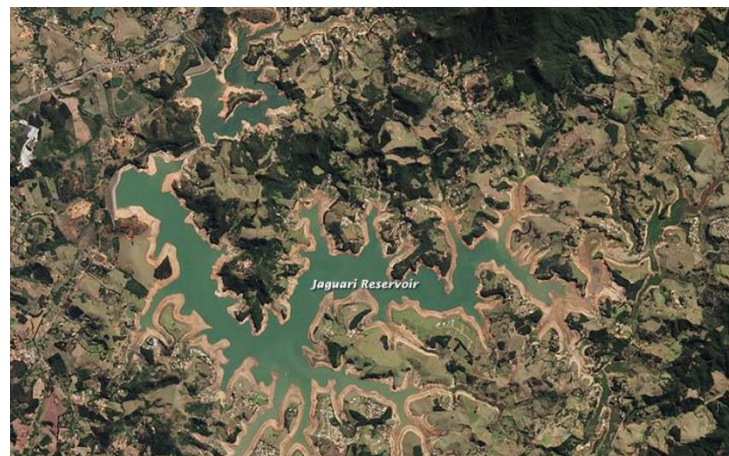
As cheias e as secas são manifestações extremas desta desigual distribuição e embora entre nós não existam quantificações significativas dos prejuízos ocasionados por cheias e secas, há a consciência de que estes são relevantes.

Como caso real dos dias atuais, a crise hídrica que atinge o estado de São Paulo, no Brasil, agrava-se a cada dia sem chuva, com a população a sentir os efeitos da escassez de água. O Sudeste brasileiro está a passar por uma das piores secas em décadas. O total de precipitação para o ano está de 300 a 400 milímetros abaixo do normal e o Sistema Cantareira atingiu recentemente, 3,6% da sua capacidade de armazenamento.

A Figura 3 e a Figura 4 refletem a alteração significativa dos níveis baixos de água no Sistema Cantareira.



**Figura 3** - Sistema Cantareira (antes)



**Figura 4** - Sistema Cantareira (atualmente)

Para que não se esgote este recurso é necessário usar no máximo a mesma quantidade de água renovada pelas chuvas, dentro de um ciclo natural.

## 2.2 - ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

Seja por causa humana ou por ciclo natural, a Terra atravessa períodos de fortes e rápidas mudanças atmosféricas. Em Portugal, em tão pouco espaço de tempo têm-se vindo a verificar alterações climatológicas significativas quer sejam, grandes precipitações e tempos de concentração diminutos, grandes cheias, grandes secas e marés vivas com efeitos nefastos na orla marítima.

A causa para esta alteração, segundo *Anthímio de Azevedo* (2013), está no posicionamento do anticiclone dos Açores que tem vindo a mudar a sua localização, citando “a tendência é ficar

mais a Sudeste, num triângulo formado entre as ilhas Britânicas, Açores e Península Ibérica, bloqueando as superfícies frontais que trazem chuva para Portugal e Espanha”.

A preparação para as alterações climáticas constitui um grande desafio para a gestão dos recursos hídricos na União Europeia. A *Diretiva Quadro Água* (DQA, 2000) oferece aos países europeus uma base comum para enfrentarem estes problemas. Em especial, a abordagem de gestão dos recursos hídricos com base nas bacias hidrográficas cria um mecanismo de preparação e adaptação às alterações climáticas. Estabelece ainda um quadro jurídico para proteger e regenerar a água na Europa e garantir a sua utilização sustentável, a longo prazo, bem como institui uma abordagem inovadora de gestão da água, assente nas bacias hidrográficas, unidades geográficas e hidrográficas naturais. Fixa prazos específicos para os Estados-Membros alcançarem objetivos ambientais ambiciosos para os ecossistemas aquáticos, e incide sobre as águas de superfície interiores, águas de transição, águas costeiras e águas subterrâneas.

### 2.3 - SUSTENTABILIDADE ECOLÓGICA NO USO DA ÁGUA

Conforme refere o *Plano de Implementação da Estratégia Nacional para o desenvolvimento Sustentável*, a sustentabilidade ecológica assenta em três pilares essenciais (Figura 5):

- Desenvolvimento económico (Economia);
- Coesão social (Sociedade);
- Proteção e valorização do ambiente (Ambiente).



**Figura 5** - Três áreas a equilibrar para o desenvolvimento sustentável

Em Portugal os recursos hídricos ocupam um lugar relevante no conjunto dos recursos naturais de que o país dispõe, devendo o seu aproveitamento integral considerar-se como básico para o desenvolvimento económico-social.

Na realidade, previsões feitas até 2010 mostram que as disponibilidades de água em Portugal estão longe de poderem considerar-se suficientes para satisfazerem facilmente as futuras necessidades de água, entre as quais se destacam (A. Ramos Pereira *et al.*, 2011):

- A circunstância de cerca de 40% do recurso de água provir de Espanha, podendo portanto, ser apreciavelmente afetados em quantidade e qualidade;
- A grande variabilidade da quantidade de água disponível ao longo do ano, de ano para ano e de região para região do país, fator que dificulta a gestão dos recursos hídricos.

De acordo com registos de 2008, obtidos pela *Autoridade Nacional de Regadio* (ANR), a procura de água em Portugal, apresentada no Gráfico 2, reparte-se pelo sector Agrícola, com cerca de 93% do consumo, pelo abastecimento a populações e outros usos onde se inclui a Indústria.

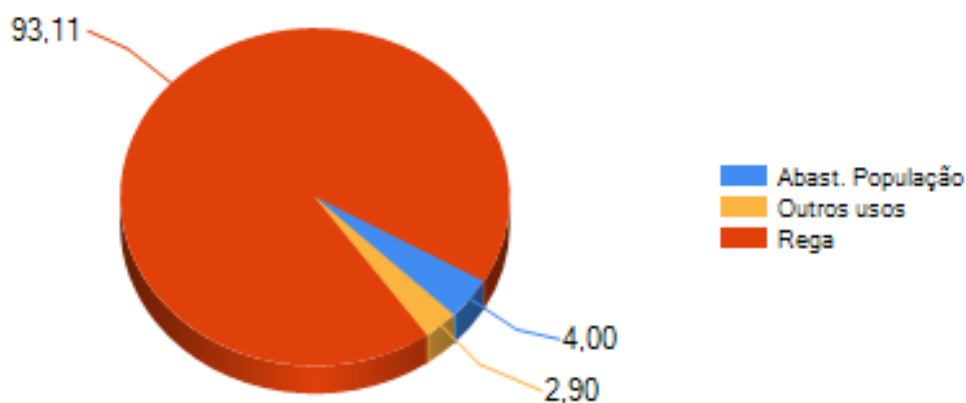


Gráfico 2 - Distribuição do consumo de água por sector [ANR, 2008]

Segundo dados estatísticos de 2008, da ANR, o Gráfico 3 apresenta a distribuição de água por tipo de cultura em Portugal.

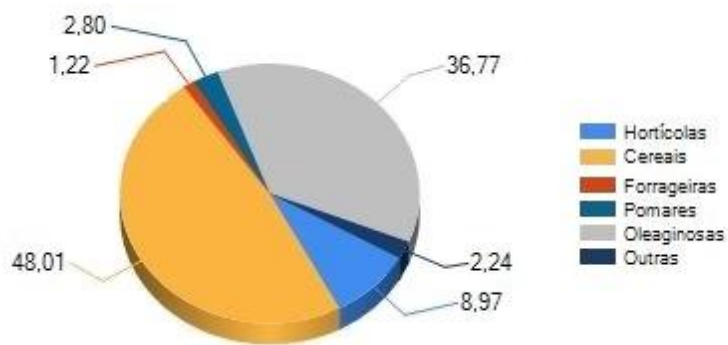


Gráfico 3 - Distribuição de água por tipo de cultura [ANR, 2008]

A utilização de água para culturas hortícolas, que são o tipo de culturas consideradas neste trabalho, distribuem-se por regiões do País, de acordo com o Gráfico 4.

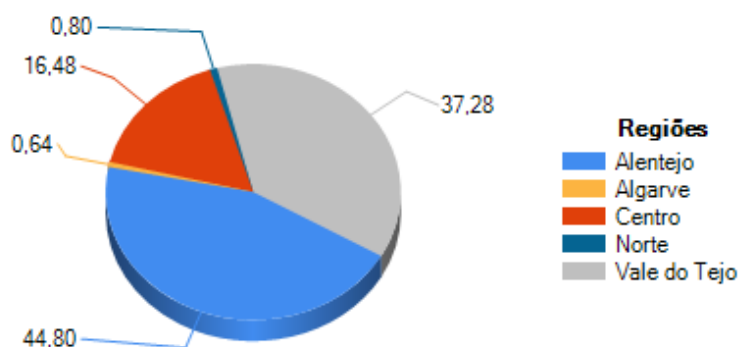


Gráfico 4 - Distribuição de água por região em culturas hortícolas [ANR, 2008]

Em Portugal está a ser desenvolvido um programa ecológico, com o objetivo de se apresentar um modelo para a “cura” da paisagem, modelagem de sistemas e práticas que são aplicadas em várias partes do mundo, e que demonstram a construção de biótopos intactos em que o homem foi totalmente integrado.

Este programa insere-se na base dum projeto ecológico, o Projeto *Tamera*, que foi fundado em 1978 na Alemanha e reproduzido em 1995 no nosso país. Atualmente, 170 pessoas vivem e trabalham nesta propriedade de 140 hectares. A filosofia deste projeto consiste em desenvolver um modelo para a sustentabilidade da vida humana sem violência entre seres, animais e natureza. A cura do amor e da comunidade humana é referência central neste projeto ecológico. As questões de investigação ecológica e tecnológica do *Tamera* incluem a criação de uma paisagem de retenção de água (Figura 6), para o restabelecimento do ciclo

hidrológico e dos ecossistemas, assim como um modelo de autossuficiência regional ao nível do abastecimento energético e da nutrição.



**Figura 6** – Lago de *Tamera*

De acordo com as informações recolhidas no site oficial deste projeto, *Tamera* situa-se a 20 km da costa Ocidental, num terreno ligeiramente acidentado de 134 hectares, no sul de Portugal. Quando o terreno foi adquirido, este encontrava-se repleto de sobreiros, esteva, pomares de oliveiras, silvados de amoras, cardos e pequenas plantações de laranjeiras, entre as quais prosperavam espinheiros e marmelos. Existiam inúmeras fontes de água potável que ao longo dos anos tinham sido reconstruídas e fechadas.

A paisagem de retenção de água, em construção desde 2007, transformou enormemente o terreno *Tamera*. Foi possível reverter o processo de desertificação. Em torno dos lagos e dos charcos foram desenhadas áreas de cultivo e ‘paisagens comestíveis’, e foram plantadas milhares de árvores, entre as quais inúmeras árvores de fruto.

Será construída outra bacia de retenção na região mais elevada do terreno. Desta forma, a pressão da água será suficientemente alta para assegurar a irrigação da totalidade do terreno, sem ser necessário recorrer a custos de energia para bombear a água. Com a água desta bacia de retenção, situada nesta região elevada, manter-se-á quase constante o nível de água das restantes bacias de retenção ao longo do ano.

O projeto *Tamera* reproduz nas planícies alentejanas um modelo de sustentabilidade ecológica passível de ser utilizado em qualquer parte do mundo.

## 2.4 - SISTEMAS DE AVALIAÇÃO E CERTIFICAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE

Na sequência das preocupações com este recurso e dos valores de consumo em Portugal, o Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (PNUEA, 2012-2020) fornece indicações práticas para a otimização da sua utilização e de como minimizar os riscos de stress hídrico. O objetivo geral deste programa é contribuir para a consolidação de uma nova cultura da água em Portugal e permitir que este recurso seja valorizado e preservado.

Este documento enumera 87 medidas, das quais 50 são aplicáveis ao uso urbano, 23 ao uso agrícola e as restantes 14 ao uso industrial.

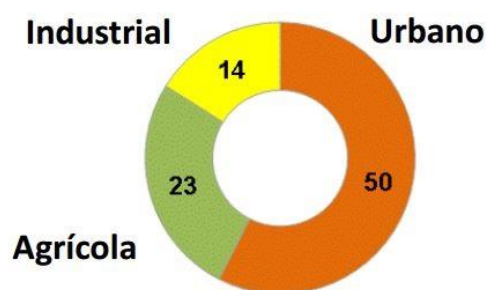


Gráfico 5 – Número de medidas tomadas pelo PNUEA, 2012-2020

Tem ainda como meta principal reduzir significativamente o desperdício de água associado ao sistema de condução, apostando principalmente no sistema urbano, conforme refere o Gráfico 6, onde se apresenta a percentagem de água desperdiçada por sector de utilização, meta proposta pelo PNUEA.

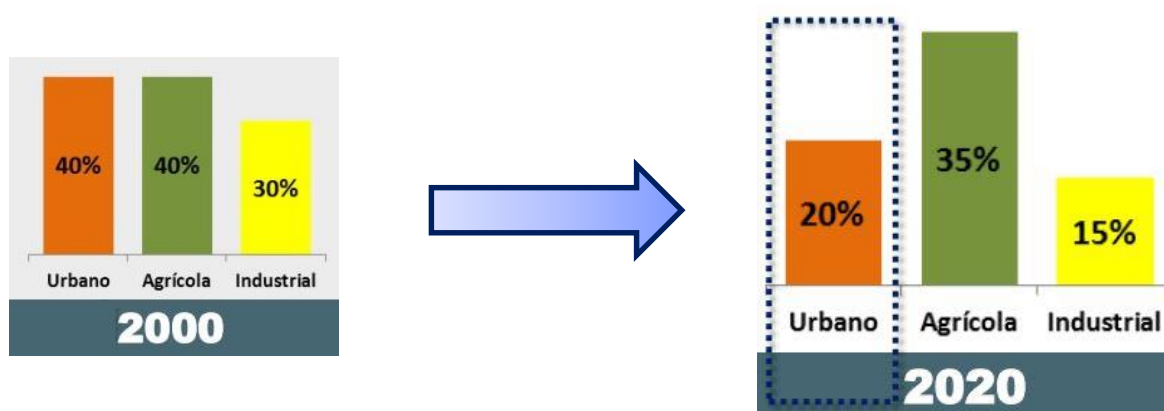


Gráfico 6 – Meta principal definida pelo PNUEA, 2012-2020

## 2.5 SÍNTESE HISTÓRICA DE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS

O aproveitamento de água pluvial para uso urbano é uma prática antiga que não se sabe ao certo quando começou. Contudo, com o passar dos anos este princípio tem sido abandonado pelo homem, à medida que os sistemas de abastecimento público de água se foram expandindo. Atualmente, assiste-se a um retorno da valorização desta prática no âmbito da renaturalização do ciclo urbano da água, da conservação da água e da procura de soluções mais sustentáveis.

O registo mais antigo conhecido corresponde à *Pedra Moabita* encontrada na antiga região de Moabe, perto de Israel e datada de 830a.C. Esta pedra, (Figura 7), construída em basalto negro, tem gravado numa das faces a inscrição do rei Mesa dos Moabitas para os habitantes da cidade de Qarhoh: “... E não havia cisterna dentro da cidade de Qarhoh, por isso disse ao povo: Que cada um de vós faça uma cisterna para si mesmo na sua casa”.



Figura 7 - Pedra de Moabita

Ao longo dos séculos, e de forma independente nas várias regiões dos diferentes continentes, foram desenvolvidas técnicas para aproveitamento de água pluvial, principalmente em regiões áridas e semiáridas, onde os recursos hídricos acessíveis são limitados e a sazonalidade da precipitação é acentuada, ocorrendo somente durante alguns meses do ano. Por vezes, esta é a única opção disponível de obtenção da água essencial para o consumo humano em regiões secas.

Em Portugal, encontram-se hoje vários castelos com cisterna de armazenamento da água pluvial que era utilizada para abastecer as populações em caso de escassez durante o cerco às muralhas do castelo por parte dos inimigos. Exemplo disso é a cisterna do Castelo de Lamego (Figura 8), situada extramuros do Castelo, com cerca de 20m de comprimento e 10m de largura, considerada “um dos melhores exemplares das cisternas dos castelos portugueses” (Direção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais cit. Laranjo, 1994, p.52).



**Figura 8** - Castelo de Lamego

No Algarve, ao longo dos anos, a fraca precipitação levou ao aparecimento de sistemas de aproveitamento de águas pluviais para uso doméstico, constituídos por caleiras de telha ao longo das fachadas e sob os beirados, sendo a água recolhida das suas vertentes ou dos seus terraços conduzida para cisternas. Se a água recolhida não fosse suficiente, recorria-se então ao eirado, que consta dum vasto terreiro, ao nível do terreno, revestido com ladrilhos e com declives para encaminhar a água pluvial para um pequeno orifício, que comunica com o interior da cisterna, de onde era então tirada por meio de uma boca semelhante à dos poços, (Figura 9).

Toda a superfície exterior dos eirados é abundantemente caiada para neutralizar a natural acidez das águas pluviais.



**Figura 9** - Eirado onde é visível orifício que comunica com cisterna e boca de acesso

Hoje em dia, muitos destes sistemas são mantidos em bom estado de conservação e utilizados pelas populações.

## 2.6 CONCEITO DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS

### 2.6.1 INTRODUÇÃO

Em Portugal, a degradação ambiental, o aumento do consumo de água pela população e o clima, tornam a água potável num recurso cada vez mais limitado com custos associados gradualmente mais elevados. Por outro lado, em Portugal, a impermeabilização dos solos resultante da ocupação humana diminui a infiltração das águas pluviais, com a consequente redução da recarga das águas subterrâneas e aumento do escoamento superficial, aumentando a probabilidade e a magnitude da ocorrência de inundações e a frequência de descargas não tratadas no meio recetor a partir dos sistemas de drenagem.

As aflúências pluviais a sistemas unitários ou separativos domésticos podem afetar a eficiência das estações de tratamento de águas residuais (ETAR). É neste âmbito que o aproveitamento de água pluvial pode ser encarado como uma solução que contribui para a minimização destes problemas.

A água da chuva pode ainda ser utilizada em vários sectores de atividades com fins não potáveis, tais como:

- No sector residencial
  - Descargas sanitárias (autoclismos e urinóis);
  - Lavagem de roupas;
  - Lavagem de automóveis;
  - Rega de jardins.
- No sector industrial
  - Arrefecimento de telhados;
  - Equipamentos e máquinas;
  - Sistemas de incêndio;
  - Sistemas de climatização (AVAC);
  - Serviços de limpeza, lavandaria e hotéis;
  - Abastecimento de caldeiras e reposição de água evaporada de piscinas;
  - Lavagem de veículos;
  - Rega de espaços verdes.
- No sector agrícola, é especialmente utilizada na irrigação de culturas.

Os sistemas de aproveitamento de água pluvial variam conforme o grau de complexidade. Como princípio básico, existe o sistema típico formado pelos sistemas de recolha e aproveitamento de água da chuva em edificações, formados por quatro componentes básicos (Figura 10):

- Áreas de captação
  - Coberturas
  - Terraços
- Transporte
  - Coletores
  - Caixas de visita
- Filtração
  - Autolimpeza
  - Limpeza manual
- Armazenamento
  - Depósitos enterrados
  - Depósitos exteriores
  - Depósitos semienterrados
- Tratamento
- Distribuição

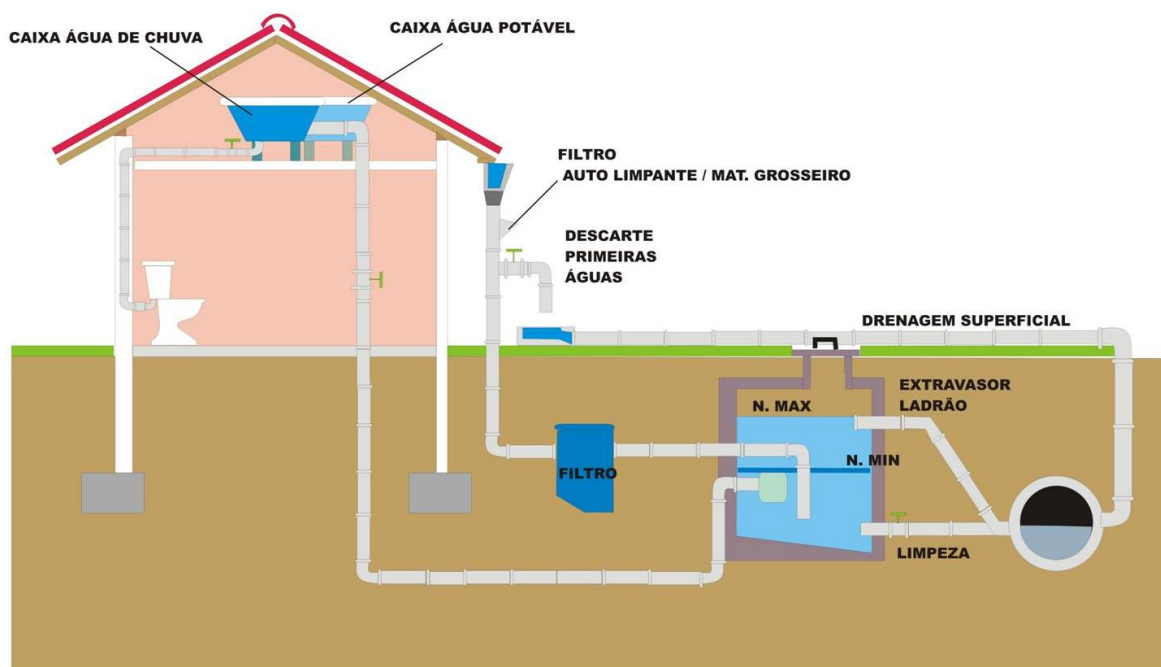


Figura 10 - Esquema tipo de aproveitamento de águas pluviais

## 2.6.2 CAPTAÇÃO

A captação das águas pluviais, também designada por recolha, corresponde às superfícies impermeáveis expostas à precipitação. Esta superfície condiciona o uso final de utilização da água e o tipo de tratamento a considerar.

No caso de habitações, a superfície de captação principal é o telhado. A qualidade da água recolhida depende dos materiais utilizados e da sua manutenção. Em grandes centros urbanos e industriais os telhados estão sujeitos ao aumento da deposição de contaminantes, incluindo metais pesados e químicos derivados da grande densidade de tráfego, indústrias, incineradores e fundições, pelo que se sugerem lavagens regulares destas áreas de captação.

## 2.6.3 TRANSPORTE

O transporte é constituído pelos componentes que conduzem a água da superfície de captação até ao reservatório de armazenamento.

Normalmente são constituídos por caleiras, coletores pluviais e valas em superfície livre. As caleiras recolhem as águas da chuva que caem sobre o telhado e conduzem-nas aos tubos de queda verticais que irão transportá-las até à parte inferior da edificação.

As secções das caleiras comerciais tem geralmente as seguintes formas:

- Secção retangular;
- Secção em “U”;
- Secção em “V”;
- Secção circular.

E nos seguintes materiais:

- Chapa de aço galvanizado;
- Chapas de cobre;
- PVC;
- Fibra de vidro;
- Betão.

Os tubos de queda são compostos por tubos e conexões geralmente que podem ser em:

- PVC;
- Ferro fundido;
- Fibra de vidro

- Aço galvanizado;
- Cobre;
- Aço inoxidável.

Estes componentes apresentam fatores que podem comprometer a eficiência das caleiras. Um fator é a ligação entre caleira e tubo de queda e a distância entre estes, reduzindo assim a capacidade de vazão no escoamento. Outro fator é a ocorrência de deposição de materiais grossos que podem originar entupimentos.

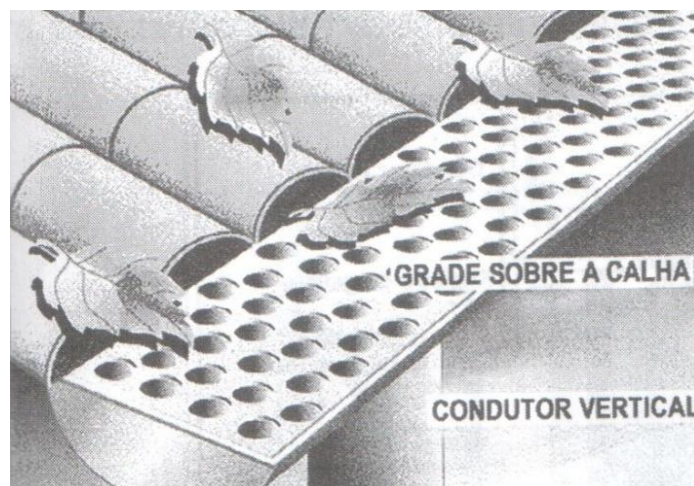
#### 2.6.4 FILTRAÇÃO

A filtração abrange os dispositivos que removem detritos e poeiras da água pluvial captada antes de ir para o reservatório.

Para que não ocorram entupimentos devem ser instalados dispositivos para remover os detritos e resíduos transportados pelas águas das chuvas, tais como:

- Crivos de folhas;
- Crivos de areias;
- Dispositivo de desvio do primeiro fluxo;
- Dispositivos de filtração.

Os dispositivos de remoção de grandes detritos podem ser caleiras protegidas com uma malha de plástico ou de metal instalada em toda a sua extensão, conforme referido na Figura 11, que devem ser dimensionados e instalados de forma a maximizar a quantidade de água recolhida.



**Figura 11** - Caleira com proteção de rede/malha

A Figura 12 apresenta um dispositivo de desvio de primeiros fluxos (*first-flush*), que permite remover os materiais grossos como folhas, sementes, sólidos suspensos presentes nas coberturas.

Este dispositivo pode ser designado por reservatório de primeiras águas, que ao receber a água da chuva, o nível de água no seu interior sobe até atingir a posição limite que implica o fecho automático da válvula de flutuador e aqui a água começa a ser conduzida para o reservatório de armazenamento.

Assim que este reservatório deixar de receber água da chuva, o orifício de descarga é aberto para esvaziar e retornar às condições iniciais de funcionamento.



**Figura 12 - Dispositivo de desvio de primeiro fluxo**

A presença deste dispositivo demonstra melhoria da qualidade da água armazenada, devido a todos os parâmetros analisados terem os seus valores reduzidos após a passagem da água pelo mesmo.

Outra possibilidade é a utilização de filtros de autolimpeza (Figura 13) e dispositivos de filtração automáticos, que apresentam funcionalidades mais aperfeiçoadas e evoluídas comparativamente com os reservatórios de primeiras águas.



**Figura 13** - Filtro de autolimpeza

## 2.6.5 ARMAZENAMENTO

O armazenamento de água pluvial engloba um ou mais reservatórios de armazenamento que também podem ser denominados de cisternas.

Após a água da chuva ser coletada e filtrada, seja pelo simples sistema de *first-flush* ou por processos de filtração mais complexos, é direcionada para o reservatório de armazenamento (Figura 14).



**Figura 14** - Reservatório de armazenamento de águas pluviais

O reservatório de armazenamento é o componente mais dispendioso de todo o sistema. Para maximizar a eficiência do sistema, o plano de construção deverá refletir decisões acerca da sua melhor localização, capacidade e seleção de material. Neste sentido, existem reservatórios em material flexível fechados (Figura 15), com capacidade de retenção até 1.000 m<sup>3</sup>.

Os custos iniciais de investimento e de manutenção destes reservatórios são significativamente mais baixos quando comparados com os reservatórios tradicionais, sendo o seu retorno de investimento uma mais valia.



**Figura 15** - Reservatórios flexíveis fechados

Os materiais mais utilizados na construção de reservatórios de armazenamento de água são:

- Betão armado;
- Metálico;
- Membrana de PVC;
- Policarbonato;
- Poliestireno;
- Alvenaria de tijolos ou blocos.

Estes reservatórios de armazenamento podem ser apoiados, elevados ou enterrados. A sua localização deve ser o mais perto possível do fornecimento e do consumo. Os reservatórios acima do solo evitam custos associados à escavação e manutenção e devem ser localizados numa zona de sombra para que a luz direta do sol não aqueça a água e estimule o crescimento de algas e bactérias. Os reservatórios abaixo do solo beneficiam de temperaturas mais frescas.

As coberturas dos reservatórios devem ser impenetráveis e todos os pontos de acesso, com exceção das tubagens de entrada de água e de descarga de superfície, devem ser munidos de tampas com dispositivos de fecho.

Os reservatórios devem ser examinados, no que diz respeito à acumulação de lamas, com uma frequência de 2 a 3 anos, ou sempre que os sedimentos sejam visíveis na água. A presença de lama no reservatório pode proporcionar um ambiente propício à sobrevivência e desenvolvimento de micro-organismos. Uma vez que as tubagens de saída de água se localizam normalmente perto do fundo dos reservatórios, à medida que a lama se acumula a probabilidade do material ficar em suspensão e ser removido pela água da chuva aumenta. Esta pode ser removida por aspiração sem esvaziar o reservatório, utilizando-se um funil invertido colocado no extremo de uma mangueira que é movida cuidadosamente pelo fundo do reservatório, ou pode ainda ser removida esvaziando e limpando o reservatório. Em todo o caso, nas situações em que este equipamento não esteja disponível, o reservatório deve contemplar um dispositivo “by-pass” que desviará as águas pluviais para fora do reservatório, quanto este estiver em manutenção.

Os reservatórios devem estar providos de “tubos ladrão” por forma a rejeitar a água em excesso no seu interior. A água em excesso deve ser desviada para longe das fundações do reservatório, edifícios ou outras estruturas.

Através do dreno na base do reservatório, a água pode ser descarregada para o sistema de drenagem juntamente com a lama e, uma vez vazio, a lama remanescente pode ser removida através do acesso.

Os charcos constituem uma alternativa aos reservatórios atrás referidos, principalmente no uso das águas das chuvas para rega de culturas, no sector agrícola. Os charcos são simples aberturas no solo que apresentam diversas formas e tamanhos geométricos, tanto em diâmetro como em profundidade (Figura 16). A criação de charcos, não implica obrigatoriamente a aplicação de telas de impermeabilização. Na prática, porém, a colocação de revestimentos impermeáveis permite a criação de charcos em locais onde a hidrologia ou a geologia não permitem a sua formação natural, ou quando há uma boa razão para manter o charco isolado da água subterrânea, como por exemplo, onde o lençol freático se encontra poluído. Há, contudo, desvantagens significativas na utilização de impermeabilização artificial, tornando

os charcos mais caros na sua construção, mais suscetíveis a danos e súbita perda de água e tornam também o projeto menos flexível, se desejar modificar o charco posteriormente.



**Figura 16** - Charcos no sector agrícola

De uma forma em geral os charcos podem ser construídos nos seguintes solos:

- Solos argiloso:

Na construção de charcos sobre solo argiloso a impermeabilização consistirá apenas na compactação do fundo, uma vez que a argila compactada é um excelente impermeabilizante, sendo também mais ecológico (local, natural e reciclável) e económico.

- Solos permeáveis com um nível freático próximo da superfície:

No caso de charcos escavados em locais onde o nível freático é elevado, não é necessária a sua impermeabilização pois é precisamente a permeabilidade do fundo que vai garantir a rapidez de enchimento do charco.

- Solos permeáveis e nível freático baixo:

Nestes casos, para a criação de um charco que retenha água em tempo suficiente para permitir a sua utilização na agricultura, é necessária a colocação de materiais impermeabilizantes. Solos demasiado permeáveis não são ideais para a criação de charcos, e podem exigir muito esforço e recursos para garantir que a água é mantida, mesmo com um revestimento impermeável pois toda a água da chuva pode infiltrar-se diretamente, não chegando a haver escorrência superficial das águas. Neste caso, um charco impermeabilizado apenas recolhe a água que chove diretamente sobre ele. Uma

possível solução é colocar revestimento impermeável sob o solo numa maior área em torno do charco, de forma que a água da chuva o abasteça.

#### 2.6.6 TRATAMENTO

O tipo de tratamento depende da qualidade da água recolhida e das exigências de qualidade da água em função dos usos a que se destina. Uma vez que após o descarte do escoamento inicial algumas substâncias permanecem na água, é necessário recorrer a dispositivos de tratamento para a sua eliminação.

Os tratamentos aplicáveis visam a melhoria da qualidade e têm por base razões de diversas naturezas:

- Higiénicas – remoção de bactérias, elementos venenosos ou nocivos, mineralização excessiva, teores elevados de compostos orgânicos, protozoários e outros microrganismos.
- Estéticas – correção da cor, sabor e turvação.
- Económicas – redução da corrosibilidade, da dureza, cor, turvação, ferro, odor, sabor, manganésio e outras.

Cada etapa classifica-se em operação unitária que assenta nos princípios físicos, e em processo unitário que assenta em princípios químicos e biológicos.

#### 2.6.7 DISTRIBUIÇÃO

A distribuição de água corresponde a um sistema de transporte da água pluvial através de condutas por gravidade ou bombagem.

A distribuição por bombagem consiste no transporte da água pluvial sob pressão, com recurso a um sistema constituído por equipamentos eletromecânicos, onde se incluem as bombas. Este sistema é designado por grupo hidropressor. Algumas soluções comercializadas permitem o uso alternado de forma automática entre o reservatório de água pluvial e a rede de distribuição, consoante a disponibilidade de água no reservatório.

## 2.7 LEGISLAÇÃO E NORMALIZAÇÃO

As primeiras referências legislativas em Portugal, em matéria de água, datam da década de 40 do século passado. Em 1943, surge a regulamentação para o abastecimento de água e três anos depois aparece a legislação referente à drenagem de esgotos.

Durante os 50 anos seguintes, os conceitos e a tecnologia de projeto, execução e gestão de sistemas de distribuição de água e de drenagem de águas residuais evoluíram e, nesta sequência, foi feita a revisão e atualização dos regulamentos gerais das canalizações de água e de esgoto, que se veio a consagrar com o Decreto-Lei n.º 207/94, de 6 de Agosto de 1994. É através deste decreto que surge o Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de Agosto de 1995, que define o conceito de águas residuais pluviais, ou simplesmente águas pluviais, como as águas resultantes da precipitação atmosférica caída diretamente no local ou em bacias limítrofes contribuintes e que apresentam geralmente menores quantidades de matéria poluente.

A 23 de Outubro de 2000 é aprovada a Diretiva Quadro da Água (Diretiva n.º 2000/60/CE, de 23 de Outubro) (DQA, 2000). Na sequência da aprovação da DQA (transposta para a lei nacional através da Lei da Água ou Lei n.º 58/2005 de 29 de Dezembro), aparece, em 2001, o Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (PNUEA) aprovado pela Resolução de Conselho de Ministros n.º 113/2005 de 30 de Junho de 2005.

O PNUEA foi criado com o objetivo de avaliar a eficiência com que a água é utilizada em Portugal nos sectores urbano, agrícola e industrial e propor um conjunto de medidas que permitissem uma melhor utilização deste recurso, tendo como vantagens adicionais a redução das águas residuais resultantes e dos consumos energéticos associados. Para facilitar a aplicação das medidas previstas no PNUEA, são elaborados, em 2005, pelo LNEC vários Relatório Técnicos (RT) de Apoio à Implementação do Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água, entre os quais o RT9, relativo à análise dos documentos regulamentares e normativos relevantes e onde são identificadas incompatibilidades e lacunas para a aplicação das medidas consideradas no PNUEA.

De acordo com este relatório, o DL 23/95 e alguns regulamentos municipais surgem como obstáculos à viabilização da medida da reutilização ou uso de água de qualidade inferior. O DL 23/95 proíbe a utilização de água não potável na habitação para outros usos que não a lavagem de pavimentos, rega, combate a incêndios e fins industriais não alimentares (Artigo

86º do DL 23/95), o que constitui uma barreira à aplicação da medida da reutilização ou uso de água de qualidade inferior em redes prediais.

Neste sentido, é necessário e relevante proceder-se à alteração da legislação. Um dos aspetos essenciais a incluir em regulamentação específica, que já é brevemente referido nos artigos 86º e 202º do DL 23/95, é a clara identificação das redes e dispositivos que transportem água não potável. Aliás, continua a adotar-se a NP 182 de 1966 para a identificação de tubagens que contenham fluidos.

Quanto à normalização, além da já existente e referida na medida da reutilização ou uso de água de qualidade inferior, deveriam ser criadas normas para a adoção de procedimentos e critérios de utilização de água pluvial na rega, semelhantes à Norma da Reutilização de Águas Residuais Urbanas Tratadas na Rega (Norma 4434, de 2005).

Assim sendo, verifica-se, que em termos de legislação e normalização nacional, o problema existente na utilização desta técnica é a ausência de normalização específica e a existência de legislação que dificulta a sua aplicação.



## CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA

### 3.1 BALANÇO HÍDRICO

O balanço hídrico corresponde ao equilíbrio entre as entradas e saídas de água de um sistema. Na escala macro, o “balanço hídrico” é o próprio “ciclo hidrológico” (Figura 17), cujo resultado fornecerá a água disponível no sistema (no solo, rios, lagos, vegetação húmida e oceanos), ou seja na biosfera.



Figura 17 - Ciclo hidrológico

À escala local, no caso de uma cultura, o balanço hídrico tem por objetivo estabelecer a variação de armazenamento e, conseqüentemente, a disponibilidade de água no solo. Conhecendo-se qual a humidade do solo ou quantidade de água armazenada é possível determinar se a cultura está com deficiência hídrica, a qual está intimamente ligada aos níveis de rendimento dessa cultura (Figura 18).

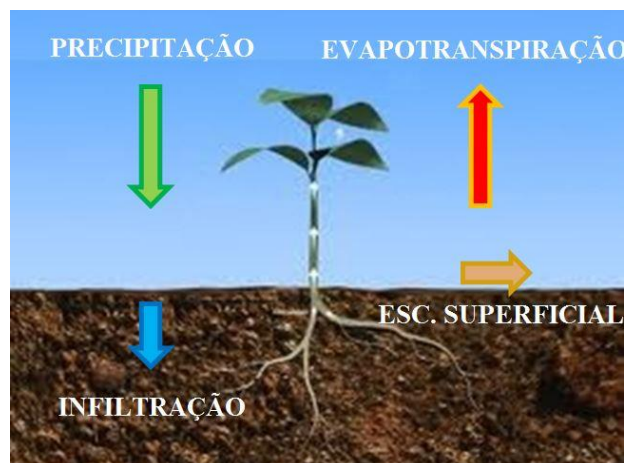


Figura 18 - Balanço hídrico da cultura

O Balanço Hídrico Climatológico (*BHC*) foi desenvolvido inicialmente com o objetivo de caracterizar o clima de uma região, de modo a ser empregado na classificação climática desenvolvida por Thornthwaite na década de 40. Posteriormente, esse método começou a ser empregado para fins agrônômicos dada a grande interrelação da agricultura com as condições climáticas.

Para se elaborar o *BHC*, há a necessidade de se conhecer a capacidade de água disponível no solo (*CAD*) para avaliar as necessidades de água para rega. A *CAD* representa a quantidade de água que o solo consegue reter para utilização daquele tipo de cultura. É função das características físico-hídricas, ou seja, humidade da capacidade de campo, humidade do ponto de emurchecimento, massa específica do solo e da profundidade efetiva do sistema radicular, onde se concentram cerca de 80% das raízes.

Entende-se por capacidade de campo a percentagem de água retida no solo pelas forças de atracção molecular depois de concluída a drenagem da água pela acção da gravidade. Entende-se por ponto de emurchecimento a percentagem de humidade quando as plantas não podem retirar mais água. A diferença entre a capacidade de campo e o ponto de emurchecimento corresponde à capacidade utilizável de um solo, ou seja, a água disponível para as plantas.

Com base na caracterização do solo e da cultura é possível determinar a *CAD* através da expressão [1]:

$$CAD = Z_r \times d_s \times (CC - PE) \quad [1]$$

Em que:

*CAD* – Capacidade de água disponível (mm)

*Z<sub>r</sub>* – Altura radicular (mm)

*d<sub>s</sub>* – Densidade do solo (adimensional)

*CC* – Capacidade de campo (%)

*PE* – Ponto de emurchecimento (%)

Como é praticamente impossível distinguir-se o vapor de água proveniente da evaporação da água no solo e da transpiração das plantas, a evapotranspiração (*ETP*) é definida como sendo o processo simultâneo de transferência de água para a atmosfera por evaporação da água do solo e da vegetação húmida e por transpiração das plantas se a humidade existente no solo estiver sempre disponível em quantidade suficiente.

A determinação dos valores da evapotranspiração da cultura ( $ET_C$ ) é fundamental para a determinação da água armazenada no solo.

A  $ET_C$  corresponde à evapotranspiração da cultura numa dada fase do seu desenvolvimento, sem restrição hídrica, em condições ótimas de crescimento e com ampla área de bordadura para evitar a irradiação do calor de áreas adjacentes.

Para a determinação dos valores de  $ETP$  diários irá recorrer-se ao método empírico Thornthwaite, que se baseia apenas na temperatura média do ar, sendo esta a sua principal vantagem. Foi desenvolvido para condições de clima húmido e, por isso, normalmente apresenta sobre-estimativa da  $ETP$  em condições de clima seco. Apesar dessa limitação, é um método bastante empregado para fins climatológicos, na escala mensal, pelo que será necessário fazer a conversão dos valores diários para valores mensais. Este método parte de uma evapotranspiração padrão ( $ET_p$ ), correspondendo à evapotranspiração para um mês de 30 dias com insolação astronómica de 12 horas.

A formulação do *método empírico Thornthwaite* é a seguinte:

$$i_m = \left(\frac{T_m}{5}\right)^{1,514} \quad [2]$$

Em que:

$i_m$  – Índice de calor mensal

$T_m$  – Temperatura média mensal (°C)

$$I = \sum_1^{12} i_m \quad [3]$$

Em que:

$I$  – Índice de calor anual

$i_m$  – Índice de calor mensal

$$a = 675 \times 10^{-9} \times I^3 - 771 \times 10^{-7} \times I^2 + 792 \times 10^{-5} \times I + 0,49239 \quad [4]$$

Em que:

$a$  – Parâmetro da fórmula de Thornthwaite

$I$  – Índice de calor anual

$$ET_p = 16 \times \left(10 \times \frac{T_m}{I}\right)^a \quad [5]$$

Em que:

$ET_p$  – Evapotranspiração padrão (mm/mês)

$T_m$  – Temperatura média mensal (°C)

$a$  – Parâmetro da fórmula de Thornthwaite

$$ETP = ET_p \times \frac{N}{12} \times \frac{d}{30} \quad [6]$$

Em que:

$ETP$  – Evapotranspiração potencial (mm/mês)

$ET_p$  – Evapotranspiração padrão (mm/mês)

$N$  – Número máximo diário de horas de sol

$d$  – Número de dias do mês

Os valores de  $N$  são função do mês e latitude do local em estudo, obtidos no Quadro 1.

**Quadro 1** - Número máximo diário de horas de sol (Doorenbos y Pruitt, 1977)

Lat. Norte	En	Feb	Mar	Abr	May	Jn	Jul	Ag	Sep	Oc	Nov	Dic
Lat Sur	Jul	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
50	8,5	10,1	11,8	13,8	15,4	16,3	15,9	14,5	12,7	10,8	9,1	8,1
48	8,8	10,2	11,8	13,6	15,2	16,0	15,6	14,3	12,6	10,9	9,3	8,3
46	9,1	10,4	11,9	13,5	14,9	15,7	15,4	14,2	12,6	10,9	9,5	8,7
44	9,3	10,5	11,9	13,4	14,7	15,4	15,2	14,0	12,6	11,0	9,7	8,9
42	9,4	10,6	11,9	13,4	14,6	15,2	14,9	13,9	12,9	11,1	9,8	9,1
40	9,6	10,7	11,9	13,3	14,4	15,0	14,7	13,7	12,5	11,2	10,0	9,3
35	10,1	11,0	11,9	13,1	14,0	14,5	14,3	13,5	12,4	11,3	10,3	9,8
30	10,4	11,1	12,0	12,9	13,6	14,0	13,9	13,2	12,4	11,5	10,6	10,2
25	10,7	11,3	12,0	12,7	13,3	13,7	13,5	13,0	12,3	11,6	10,9	10,6
20	11,0	11,5	12,0	12,6	13,1	13,3	13,2	12,8	12,3	11,7	11,2	10,9
15	11,3	11,6	12,0	12,5	12,8	13	12,9	12,6	12,2	11,8	11,4	11,2
10	11,6	11,8	12,0	12,3	12,6	12,7	12,6	12,4	12,1	11,8	11,6	11,5
5	11,8	11,9	12,0	12,2	12,3	12,4	12,3	12,3	12,1	12,0	11,9	11,8
0° Ecuador	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1

A determinação da  $ET_c$  depende diretamente da  $ETP$ , afetada pelo tipo de cultura e pelo tipo de solo, sendo necessário obter valores de coeficientes de redução para ambas as situações.

Assim, o valor de  $ET_c$  é determinado através da seguinte expressão [7]:

$$ET_c = ETP \times K_c \times K_s \quad [7]$$

Em que:

$ET_c$  – Evapotranspiração da cultura (mm/mês)

$ETP$  – Evapotranspiração potencial (mm/mês)

$K_c$  – Coeficiente de cultivo

$K_s$  – Coeficiente de humidade do solo

Para determinar a água armazenada no solo ( $ARM$ ) é necessário atribuir uma percentagem de reserva mínima no solo ( $R_{cul.min}$ ) de forma a garantir que este nunca ficará sem água. A atribuição deste valor depende do tipo de cultura. De acordo com a publicação de *Tavares Silva* (2011), o valor mínimo para a reserva de água no solo é de 5% para o tipo de cultura em causa.

Assim, tendo em conta a área de cultivo e o valor da reserva mínima de água no solo, a expressão [8] determina o volume mínimo de água armazenada no solo ( $V_{cul.min}$ ).

$$V_{cul.min} = \frac{1}{1000} A_{cul} \times CAD_{min} \quad [8]$$

Em que:

$V_{cul.min}$  – Volume mínimo de água armazenada no solo ( $m^3$ )

$A_{cul}$  – Área total de cultivo ( $m^2$ )

$CAD_{min}$  – Capacidade mínima de água disponível no solo (mm)

Sendo:

$$CAD_{min} = CAD \times R_{cul.min} \quad [9]$$

Em que:

$CAD_{min}$  – Capacidade mínima de água disponível no solo (mm)

$CAD$  – Capacidade de água disponível no solo (mm)

$R_{cul.min}$  – Reserva mínima de água no solo (%)

Para iniciar o balanço hídrico entre a precipitação e a evapotranspiração, considera-se que no início do processo o solo está na sua plena capacidade de água no solo.

A  $ARM$  irá estar compreendida entre o  $CAD$  e o  $CAD_{min}$ , pelo que será necessário atribuir as seguintes condições:

$$se: ARM_{(n-1)} + (P_{d(n)} - ET_{c(n)}) > CAD \rightarrow ARM_{(n)} = CAD \quad [10]$$

$$se: CAD_{min} \leq ARM_{(n-1)} + (P_{d(n)} - ET_{c(n)}) \leq CAD \rightarrow ARM_{(n)} = ARM_{(n-1)} + (P_{d(n)} - ET_{c(n)}) \quad [11]$$

Em que:

$ARM_{(n)}$  – Armazenamento de água no instante de cálculo (mm)

$ARM_{(n-1)}$  – Armazenamento de água no instante anterior de cálculo (mm)

$CAD_{min}$  – Capacidade mínima de água disponível no solo (mm)

$P_{d(n)}$  – Precipitação diária no instante de cálculo (mm)

$ET_{c(n)}$  – Evapotranspiração da cultura no instante de cálculo (mm)

No entanto, nos meses de maior seca, o nível de  $ARM$  atinge valores abaixo do  $CAD_{min}$ . Sempre que este nível é atingido é necessário regar para manter os níveis mínimos de água no solo. Quando as disponibilidades de água armazenada atingem o valor mínimo, a alimentação de água terá origem em primeiro lugar através de um furo e em última alternativa da rede de abastecimento público.

Neste contexto, as necessidades de rega ( $N_{rega}$ ) são determinadas através da seguinte expressão [12]:

$$se: ARM_{(n-1)} + (P_{d(n)} - ET_{c(n)}) < CAD_{min} \rightarrow N_{rega(n)} = CAD_{min} - (P_{d(n)} - ET_{c(n)}) \quad [12]$$

Em que:

$N_{rega(n)}$  – Necessidades de rega no instante de cálculo (mm)

De modo a rentabilizar os sistemas de rega e os custos com a energia relativos aos grupos hidropressores de apoio à rega, será definido um valor para a rega efetiva ( $R_e$ ) por ciclo de rega. O modelo de cálculo considera até 3 ciclos de rega por dia. Sempre que o sistema de rega atua será baseado nas necessidades de rega diária.

A ponderação do valor da rega efetiva é baseada nos valores máximos e médios das necessidades de rega ao longo dos anos da amostra, bem como o desperdício mínimo em cada ano hidrológico.

### 3.2 RECOLHA E TRATAMENTO DE DADOS

Para o dimensionamento dum reservatório de armazenamento de águas pluviais, desenvolveu-se uma folha de cálculo em Excel, baseada em séries temporais de precipitação e temperatura da estação meteorológica na proximidade da área em estudo. Este processo inicia-se com a recolha dos valores da precipitação e temperatura média diária através do SNIRH. Na maior parte das vezes, os dados recolhidos contêm falhas de registos, pelo que deverão ser ainda recolhidos valores de precipitação e temperatura média diárias de estações meteorológicas que se encontrem na proximidade da estação em estudo. Para o preenchimento das falhas será utilizado o *Método U.S. Weather Bureau*.

O *método o U.S. Weather Bureau* consiste em ponderar os valores da precipitação observada em três ou mais postos próximos, na época em que se verifica a falha a preencher, pelas relações entre a precipitação média diária no posto em causa e a precipitação média diária em cada um desses postos. Assim utiliza-se a seguinte expressão [13]:

$$P = \left[ \frac{\bar{P} \times P_1}{\bar{P}_1} + \frac{\bar{P} \times P_2}{\bar{P}_2} + \frac{\bar{P} \times P_3}{\bar{P}_3} \right] \times \frac{1}{3} \quad [13]$$

Em que:

$P$  – Precipitação diária da falha (mm)

$\bar{P}$  - Precipitação média diária do posto em causa (mm)

$P_1$  - Precipitação no dia da falha observada em cada um dos outros postos (mm)

$\bar{P}_1$  - Precipitação média anual em cada um dos outros postos (mm)

As séries hidrológicas a considerar em cálculos e projetos devem possuir homogeneidade e consistência.

Uma série hidrológica diz-se homogénea quando, ao longo do período de observação, não existem alterações nos fatores que condicionam o fenómeno traduzido por essa grandeza. Por outro lado, diz-se consistente se, ao longo do respetivo período de observação, não existem alterações do erro sistemático de medição de uma grandeza.

Irà recorrer-se ao *método das duplas acumuladas* para verificação da consistência das séries anuais dos dados corrigidos.

No *método das duplas acumuladas* a verificação da existência da consistência é feita pela comparação dos valores acumulados da estação em estudo e dos valores acumulados da média das estações na vizinhança, para o mesmo período. Com base nestes valores acumulados é possível observar num gráfico, a validação da consistência da amostra.

Se a série de valores da precipitação anual numa dada estação for consistente, obtêm-se pontos sensivelmente alinhados segundo uma reta que se marcam, no eixo das abcissas, os valores acumulados da precipitação anual dessa estação e, no eixo das ordenadas, os valores acumulados da soma (ou da media aritmética) da precipitação anual dum grupo de estações vizinhas. O ajustamento dos valores acumulados relativamente à reta de regressão linear deve obter uma correlação superior a 95%, para se poder concluir que há consistência.

Se a série na estação em estudo for inconsistente, os pontos não se dispõem segundo uma reta. Se num dado ano se verificar uma alteração significativa nas condições de exploração do ponto, obtêm-se em geral dois segmentos de reta, com quebra no ano correspondente a essa alteração.

Se o ensaio revelar inconsistência e se for encontrada a respetiva explicação ou aceite como significativas do ponto de vista estatístico as diferenças de coeficiente angular dos segmentos da reta do gráfico de valores duplamente acumulados, os valores da precipitação do intervalo de tempo respeitante a um segmento serão ajustados em relação aos do intervalo de tempo tomados como base.

O ajustamento é feito a partir da proporcionalidade dos coeficientes angulares dos segmentos de reta do gráfico de valores duplamente acumulados conforme expressão [14]

$$P_a = P_0 \left( \frac{b}{b_0} \right) \quad [14]$$

Em que:

$P_a$  – Precipitação ajustada (mm)

$P_0$  – Precipitação medida (mm)

$b$  – Coeficiente angular correspondente às observações a ajustar

$b_0$  – Coeficiente angular no intervalo de tempo tomado como referência para o ajustamento

## CAPÍTULO 4 – CASO DE ESTUDO

### 4.1 ENQUADRAMENTO

Este caso de estudo pretende desenvolver um modelo de cálculo capaz de dimensionar um sistema de armazenamento de água pluvial, para uso de rega, tendo como caso de estudo a *Quinta de St.ª Barbara* (Figura 19).

No Anexo 6 juntam-se plantas de implantação do terreno à escala 1:1000.

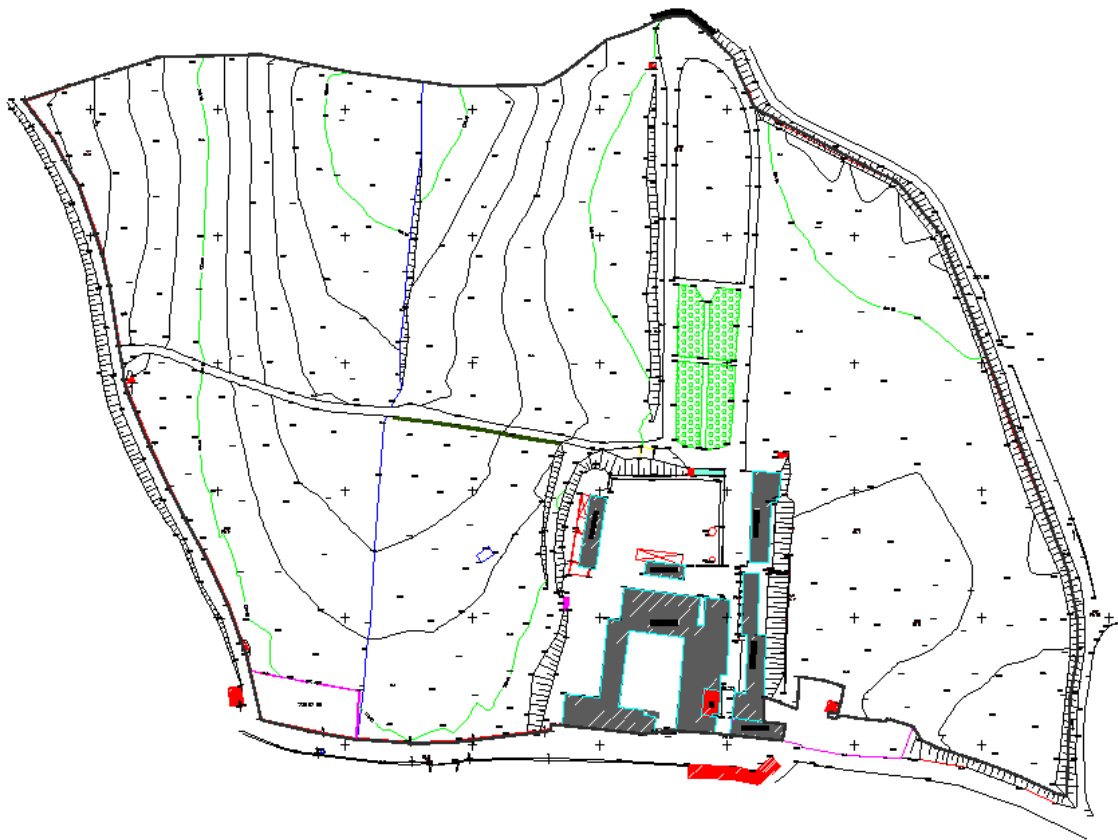


Figura 19 – Implantação da Quinta de St.ª Bárbara

Localizado na freguesia da Trafaria, este equipamento desenvolve, desde a passagem para a Santa Casa da Misericórdia de Almada (SCMA) em 2004, um trabalho de intervenção social com a população residente na freguesia e localidades limítrofes. É constituído por vários edifícios, espaços verdes e um terreno dividido em talhões para cultivo de hortas sociais (Figura 20).



**Figura 20** - Espaços da Quinta St.ª Barbara

O terreno adjacente à quinta tem uma orografia bastante plana e conta com uma área de aproximadamente 9 hectares (Figura 21). No entanto, só cerca de 3 hectares é que serão utilizados para cultivo, e este será dividido em pequenos talhões com áreas compreendidas entre 50 e 100 m<sup>2</sup>.



**Figura 21** - Terreno adjacente (área de cultivo)

Em termos de infraestruturas, a *Quinta de St.ª Barbara* é abastecida pela rede pública e contém um furo com capacidade de extrair um caudal de 2,5 m<sup>3</sup>/h.

## 4.2 RECOLHA E TRATAMENTO DE DADOS

### 4.2.1 SÉRIES TEMPORAIS

O caso de estudo inicia-se com a recolha de dados de precipitação e temperatura média diária da estação do Monte da Caparica (22B/01C), localizada a 870 m da *Quinta St.ª Bárbara*.

Foram ainda recolhidos dados pluviométricos de um conjunto de estações meteorológicas na vizinhança da estação do Monte da Caparica (22B/01C). Os dados obtidos no SNIRH correspondem a registos de séries temporais de precipitação média diária.

As estações meteorológicas escolhidas foram as seguintes:

- Alcochete (21D/01UG)
- Caneças (21B/11UG)
- Vila Nogueira de Azeiteão (22C/02UG)

Estas estações foram escolhidas tendo em consideração os critérios a seguir discriminados, localizadas de acordo com a Figura 22:

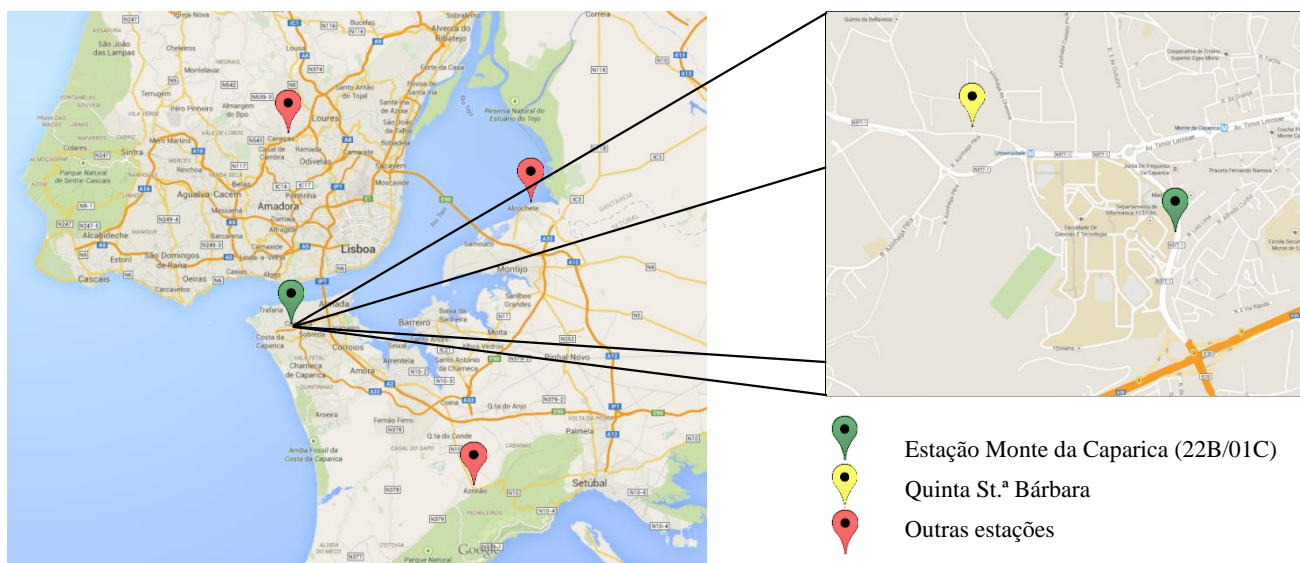


Figura 22 - Localização das estações meteorológicas

- Possibilidade de fazer um polígono que envolva a estação em estudo;
- Proximidade com a estação em estudo;
- Existência de séries de registos temporais de valores diários de precipitação e temperatura para cada uma das estações, num período mínimo de 15 anos.

A caracterização das estações estão definidas no Quadro 2.

Quadro 2 - Caracterização das estações meteorológicas escolhidas

ID	NOME	ALTITUDE	LATITUDE	LONGITUDE	BACIA	DISTRITO	CONCELHO	TIPO ESTAÇÃO	TIPO ESTAÇÃO
		(m)	(°N)	(°W)				(AUTOMÁTICA)	(CONVENCIONAL)
21D/01UG	ALCOCHETE	38.753	-8.953	128747.742	TEJO	SETÚBAL	ALCOCHETE	UDOGRÁFICA	UDOMÉTRICA
21B/11UG	CANEÇAS	38.823	-9.223	105321.297	TEJO	LISBOA	ODIVELAS	UDOGRÁFICA	UDOMÉTRICA
22B/01C	MONTE DA CAPARICA	38.660921	-9.202774	106.897	TEJO	SETÚBAL	ALMADA	CLIMATOLÓGICA	CLIMATOLÓGICA
22C/02UG	VILA NOGUEIRA DE AZEITEÃO	38.516	-9.013	123280.212	TEJO	SETÚBAL	SETÚBAL	UDOGRÁFICA	UDOMÉTRICA

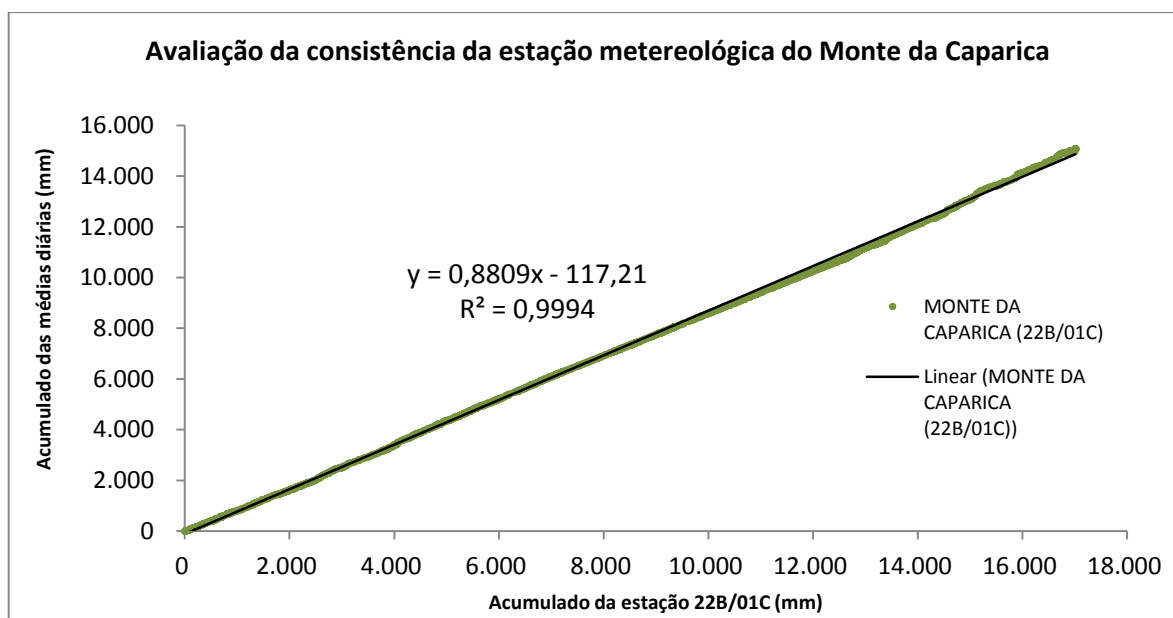
Dados obtidos através do site <http://snirh.pt> em 21/09/2014 12:03

No que diz respeito às distâncias entre as estações meteorológicas, medidas em linha reta, a mais próxima da estação em estudo é a estação de Caneças (21B/11UG). No entanto, as estações de Alcochete (21D/01UG) e de Vila Nogueira de Azeitão (22C/02UG) apresentam valores de correlação mais próximos da unidade, conforme se pode verificar no Quadro 3.

**Quadro 3** - Valores de correlação ( $R^2$ )

PREENCHIMENTO DE FALHAS   Método U.S. Weather Bureau					
REGISTOS COM FALHAS					CORRIGIDO
	ALCOCHETE Precipitação diária (mm)	CANEÇAS Precipitação diária (mm)	MONTE DA CAPARICA Precipitação diária (mm)	VILA NOGUEIRA DE AZEITÃO Precipitação diária (mm)	MONTE DA CAPARICA Precipitação diária (mm)
MÉDIA	1,48	2,50	1,64	1,93	1,72
DESVIO	0,24	0,78	0,09	0,20	0,00
MÁXIMO	119,50	98,70	124,00	98,50	124,00
CORRELAÇÃO	0,9099	0,9036	-	0,9088	1,0000

De acordo com o *método das duplas acumuladas* o valor da correlação ( $R^2$ ) deve ser superior a 95% para garantir consistência dos valores obtidos. Observando o Gráfico 7 pode concluir-se que se aceitam as estações vizinhas pois o valor da correlação é de 99,94%.



**Gráfico 7** – Avaliação da consistência da estação 22B/01C

Para os valores das temperaturas médias diárias da estação do Monte da Caparica (22B/01C) utilizou-se o mesmo método de preenchimento de falhas.

Fazendo o cruzamentos dos dados finais em termos de anos coincidentes entre os valores disponíveis da precipitação e da temperatura, obtem-se o Quadro 4 com 15 anos de registos completos.

**Quadro 4** - Valores finais de precipitação média diária e temperatura média diária

MONTE DA CAPARICA (22B/01C)		
	PRECIPITAÇÃO MÉDIA DIÁRIA (mm)	TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA (°C)
<b>MÉDIA</b>	<b>1,62</b>	<b>16,52</b>
<b>MÁXIMO</b>	<b>124,00</b>	<b>33,25</b>
<b>MÍNIMO</b>	<b>0,00</b>	<b>3,50</b>

No entanto, o modelo de cálculo utilizado testou o funcionamento do sistema num período de 45 anos, tendo em consideração 3 períodos consecutivos, cada um deles constituído pela amostra inicial de 15 anos.

#### 4.2.2 EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A *Quinta de St.<sup>a</sup> Bárbara* é constituída por um conjunto de edifícios e um terreno envolvente de cultivo de hortas sociais, com utilização em todo o ano (entre os meses de Janeiro a Dezembro).

As características da *Quinta de St.<sup>a</sup> Bárbara* em termos de áreas e tipos de cultura, estão apresentadas nos seguintes quadros:

- As áreas totais correspondentes a cada zona são:

$A_{cul}$ – Área total de cultivo (m <sup>2</sup> )	29 759
$A_{cob}$ – Área total das zonas impermeáveis (m <sup>2</sup> )	3 138

- Tipos de cultura:

$T_{cul}$ – Tipo de cultura	Hortícola
-----------------------------	-----------

De acordo com os valores publicados pela *Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz*, da *Universidade de São Paulo* (Adaptado de *Alfonsi et al. (1990)*), as características da cultura e do solo em estudo estão definidas no Quadro 5:

**Quadro 5** - Características da cultura e solo

$Z_r$ – Altura radicular (mm)	200
$CC$ – Capacidade de campo (%)	30
$PE$ – Ponto de emurchecimento (%)	10
$d_s$ – Densidade do solo (-)	1,3

Definida a caracterização do solo e da cultura é possível determinar a *CAD* através da expressão [1], obtendo-se o valor de 52 mm:

A  $ET_c$  é determinada com recurso ao método empírico Thornthwaite e função de coeficientes de redução do solo e da cultura.

De acordo com o estudo efetuado pela unidade de produção de hortícolas da *Embrapa* por *Tavares Silva (2011)* (Anexo 1), os valores do coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) e do coeficiente de humidade do solo ( $K_s$ ) a considerar são (Quadro 6):

**Quadro 6** - Valores de coeficientes de redução

$K_c$	0,85
$K_s$	0,90

Os valores de  $N$  são obtidos no Quadro 7 e dependem do mês e latitude do local em estudo. A *Quinta St.ª Bárbara* está localizada no concelho de Almada, com latitude 38°41'0''N. Para efeitos deste estudo e simplificação do cálculo, considerou-se latitude 40° N.

Quadro 7 - Número máximo diário de horas de sol (Doorenbos y Pruit, 1977)

Lat. Norte	En	Feb	Mar	Abr	May	Jn	Jul	Ag	Sep	Oc	Nov	Dic
Lat Sur	Jul	Ag	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
50	8,5	10,1	11,8	13,8	15,4	16,3	15,9	14,5	12,7	10,8	9,1	8,1
48	8,8	10,2	11,8	13,6	15,2	16,0	15,6	14,3	12,6	10,9	9,3	8,3
46	9,1	10,4	11,9	13,5	14,9	15,7	15,4	14,2	12,6	10,9	9,5	8,7
44	9,3	10,5	11,9	13,4	14,7	15,4	15,2	14,0	12,6	11,0	9,7	8,9
42	9,4	10,6	11,9	13,4	14,6	15,2	14,9	13,9	12,9	11,1	9,8	9,1
40	9,6	10,7	11,9	13,3	14,4	15,0	14,7	13,7	12,5	11,2	10,0	9,3
35	10,1	11,0	11,9	13,1	14,0	14,5	14,3	13,5	12,4	11,3	10,3	9,8
30	10,4	11,1	12,0	12,9	13,6	14,0	13,9	13,2	12,4	11,5	10,6	10,2
25	10,7	11,3	12,0	12,7	13,3	13,7	13,5	13,0	12,3	11,6	10,9	10,6
20	11,0	11,5	12,0	12,6	13,1	13,3	13,2	12,8	12,3	11,7	11,2	10,9
15	11,3	11,6	12,0	12,5	12,8	13	12,9	12,6	12,2	11,8	11,4	11,2
10	11,6	11,8	12,0	12,3	12,6	12,7	12,6	12,4	12,1	11,8	11,6	11,5
5	11,8	11,9	12,0	12,2	12,3	12,4	12,3	12,3	12,1	12,0	11,9	11,8
0° Ecuador	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1

Na determinação *ARM* considerou-se uma reserva mínima de 30% ( $R_{cul.min}$ ). Assim, tendo em conta a área de cultivo e o valor da reserva mínima de água no solo, a expressão [8] determina o volume mínimo de água armazenada no solo ( $V_{cul.min}$ ), no valor de 464,24 m<sup>3</sup>.

A ponderação do valor da rega efetiva é baseada nos valores máximos e médios das necessidades de rega ao longo dos anos da simulação, bem como o desperdício mínimo em cada ano para garantir que os 3 ciclos de rega determinados no processo de cálculo são suficientes em todos os dias de registos, ou seja, não haverá rega insuficiente.

#### 4.2.3 PARÂMETROS DE DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO E SISTEMA DE REGA

O sistema em estudo foi concebido a permitir o aproveitamento de águas pluviais recolhidas nas coberturas dos atuais edifícios da *Quinta de St.<sup>a</sup> Bárbara* e algumas áreas de pavimentação. Foi tido em conta a existência de outras formas de abastecimento de água para além da rede pública de modo a garantir que em caso de excesso de água captada haja proteção total aos equipamentos, bem como proporcionar o escoamento rápido dessas águas para locais que não danifiquem as estruturas de captação, condução e descarga para tratamento e armazenamento.

Definidos todos os parâmetros que levam às necessidades efetivas de rega, inicia-se o dimensionamento do reservatório de armazenamento de águas pluviais.

Convém desde já, definir um conjunto de sistemas de funcionamento paralelos ao dimensionamento do reservatório. O reservatório deverá ser construído considerando pelo menos dois níveis de lâmina de água no seu interior. Um nível mínimo para proteção de equipamentos (bombas, válvulas, etc.) bem como garantir uma reserva mínima para lavagem de fundo, e um nível máximo controlado por uma electroválvula que em caso de atuação bloqueia a entrada de água para o reservatório (Figura 23).

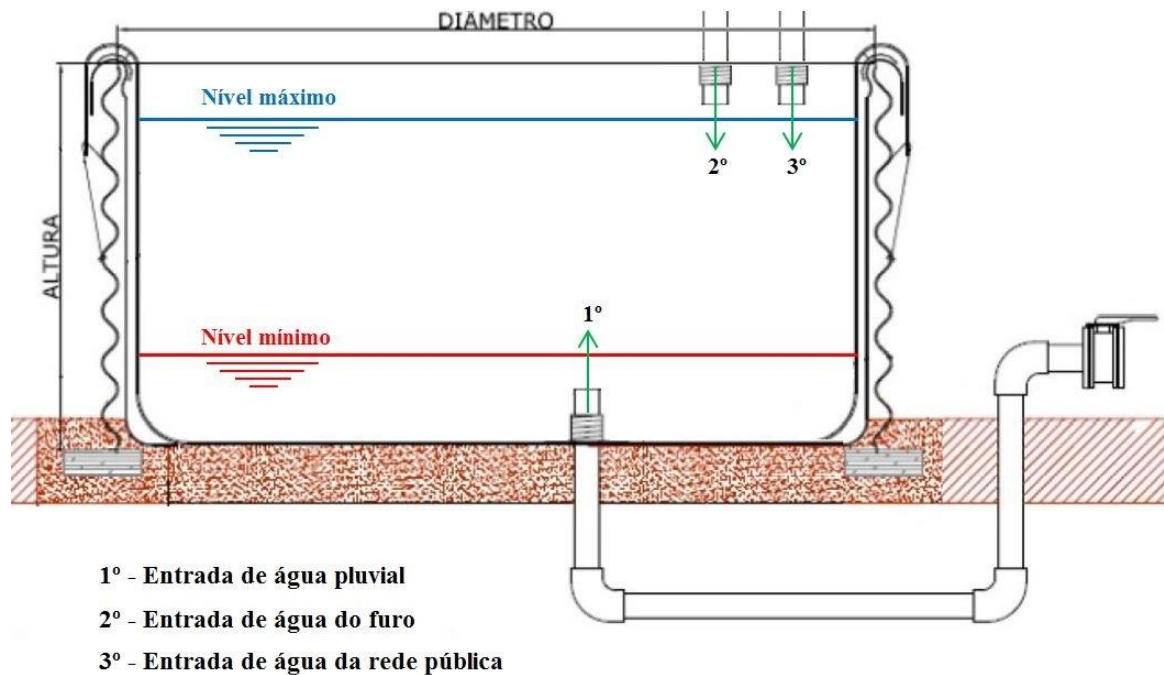


Figura 23 - Esquema representativo do reservatório

Em ambas as situações, os níveis de água são controlados por boiadores que dão sinal ao quadro de comandos. Sempre que o nível mínimo é atingido deverão abrir as electroválvulas de abastecimento externo ao reservatório, com a seguinte prioridade:

- Electroválvula de abastecimento através de furo;
- Electroválvula de abastecimento através da rede pública.

Conforme já referido, a *Quinta de St.<sup>a</sup> Bárbara* possui um furo com capacidade de fornecer um caudal de 2,5 m<sup>3</sup>/h. A primeira electroválvula a abrir é a do furo, que abastecerá o reservatório até fornecer a água suficiente para a rega no dia. Só no caso de o furo não ter capacidade de abastecimento do reservatório é que será aberta a segunda válvula com ligação à rede pública.

#### 4.2.4 SISTEMA DE REGA

O sistema de rega considera um conjunto de equipamentos a jusante do reservatório. Neste caso de estudo considerou-se um sistema de rega por aspersão. Os componentes principais deste sistema de rega, são:

- Aspersor com giro completo e setorial (Figura 24);
- Grupo hidropressor (Figura 25).



Figura 24 - Aspersor de giro completo e aspersor de giro setorial



Figura 25 - Grupo hidropressor

No dimensionamento do grupo hidropressor considerou-se uma pressão mínima de 30 m.c.a. no aspersor mais distante e uma perda de carga de 10 m.c.a., obtendo uma pressão de dimensionamento de 40 m.c.a.. Relativamente ao caudal máximo ( $Q_{max}$ ) a fornecer, considerou-se que a rega é constituída por 3 ciclos com uma duração ( $h_{rega}$ ) de 4 horas diárias por ciclo. Assim, o caudal de dimensionamento do grupo é determinado pela expressão [15]:

$$Q_{max} = \frac{1}{1000} \times \frac{R_e \times A_{cul}}{h_{rega}} \quad [15]$$

Em que:

$Q_{max}$  – Caudal máximo (m<sup>3</sup>/h)

$R_e$  – Rega efectiva (mm)

$A_{cul}$  – Área total da cultura (m<sup>2</sup>)

$h_{rega}$  – Duração da rega (h)

#### 4.2.5 CUSTOS DE INVESTIMENTO E FUNCIONAMENTO

Para atribuição e avaliação de custos de investimento e funcionamento do sistema, consultou-se as empresas *Dunasol*, *Hubel* e *Electrimeca*, no que toca à instalação de todo o sistema, incluindo a rede de captação e distribuição, reservatório e grupo hidropressor (Anexos 2 e 3). Foi definida uma matriz de custos baseada no Quadro 8 e no Quadro 9. Com base nestes quadros obteve-se a equação de custos que permitirá obter o custo de todo o sistema para qualquer volume de reservatório.

**Quadro 8** – Custos do reservatório de 520 m<sup>3</sup>

<i>Reservatório (€)</i>	9.831,13
<i>Grupo hidropressor (€)</i>	2.900,00
<i>Rede de drenagem (€)</i>	2.500,00
<b><i>Total (€)</i></b>	<b>15.231,13</b>

**Quadro 9** - Custos do reservatório de 1020 m<sup>3</sup>

<i>Reservatório (€)</i>	19.662,30
<i>Grupo hidropressor (€)</i>	2.900,00
<i>Rede de drenagem (€)</i>	2.500,00
<b><i>Total (€)</i></b>	<b>25.062,30</b>

A equação de custos é dada pela expressão [16].

$$C_{inv} = 18.9 V_{res} + 5400 \quad [16]$$

Em que:

$C_{inv}$  – Custo total do investimento (€)

$V_{res}$  – Volume do reservatório ( $m^3$ )

Relativamente aos custos com o consumo de água da rede pública e consumo de eletricidade, os valores estão separados conforme apresentado no Quadro 10 e de acordo com os Anexos 4 e 5:

**Quadro 10** – Custos da água e eletricidade

$SMAS$ (€/m <sup>3</sup> )	1,11
$EDP$ (€/kWh)	0,11

Para a determinação dos custos associados à utilização da bomba do furo foi necessário obter as características da mesma, que se apresenta no Quadro 11:

**Quadro 11** - Características da bomba do furo

$Q_{furo}$ (m <sup>3</sup> /h)	2,50
$P_{bomba}$ (kW)	3.20

O custo da energia ( $C_{bomba}$ ) que a bomba do furo consome é determinado através da expressão [17].

$$C_{bomba} = \frac{V_{furo}}{Q_{bomba}} \times P_{bomba} \times EDP \quad [17]$$

Em que:

$C_{bomba}$  – Custo da energia da bomba do furo (€)

$V_{furo}$  – Volume de água retirada do furo ( $m^3$ )

$Q_{bomba}$  – Caudal da bomba do furo ( $m^3/h$ )

$P_{bomba}$  – Potência da bomba do furo (kW)

$EDP$  – Custo do fornecimento de energia elétrica (€/kWh)

Todos os custos anuais associados ao abastecimento de água são atualizados ao ano do projeto (ano zero). Esta atualização é obtida multiplicando cada custo por um fator, que depende de

uma taxa de atualização anual variável de ano para ano. No entanto, para efeitos de simulação de possíveis cenários, neste caso de estudo, fixou-se uma taxa de 2,00 % ao ano. O fator de atualização é determinado pela expressão [18].

$$F_{a(n)} = \frac{1}{(1+T)^n} \quad [18]$$

Em que:

$F_a$  – Fator de atualização

$T$  – Taxa de atualização anual

$n$  – Número do ano correspondente à taxa de atualização

## CAPÍTULO 5 – MODELO DE CÁLCULO

### 5.1 DESCRIÇÃO DO MODELO

Neste capítulo é apresentado o modelo de cálculo de dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de águas pluviais para uso de rega de culturas, por forma a ser utilizado em futuros projetos.

O modelo apresenta um quadro de dados iniciais (Quadro 12), que inclui células de fundo branco para preenchimento manual, células de cálculo automático e caixas de verificação:

Quadro 12 - Dados iniciais

$A_{cul}$	m <sup>2</sup>	29 759,00		
$A_{cob}$	m <sup>2</sup>	3 138,00		
$Z_r$	mm	200,00		
CC	%	30%		
PE	%	10%		
d	-	1,30		
CAD	mm	52,00		
$K_s$	-	0,90		
$K_c$	-	0,85		
$V_{cul.max}$	m <sup>3</sup>	1 547,47		
$R_{cul.min}$	%	30%		
$V_{cul.min}$	m <sup>3</sup>	464,24		
$CAD_{min}$	mm	15,60		
$\Delta_{max.diaria}$	m <sup>3</sup>	<b>389,11</b>		
$\Delta_{min.diaria}$	m <sup>3</sup>	<b>-205,34</b>		
$R_{res.min}$	%	2,50%		
$V_{res.}$	m <sup>3</sup>	<b>1 000,00</b>	✓	
$V_{res.min}$	m <sup>3</sup>	25,00		
$V_{res.max}$	m <sup>3</sup>	1 262,65		
Rega <sub>max.</sub>	mm	6,77		
Rega <sub>med.</sub>	mm	2,70		
Rega	mm	2,30	✓	
Exc. Rega	m <sup>3</sup>	5 452,25		
Rega <sub>max.efetiva</sub>	mm	6,90	✓	
$h_{rega}$	h/dia	4,00		
$Q_{max}$	m <sup>3</sup> /h	17,11		

Início	mês	Janeiro	▼
Fim	mês	Dezembro	▼

$Q_{furo}$	m <sup>3</sup> /h	2,50
$P_{bomba}$	Kwh	3,50
EDP	€/Kwh	0,11
SMAS	€/m <sup>3</sup>	1,11
$TX_{ac}$	%	2,00%
Rede	€	2 500,00
Depósito	€	9 850,00
Bomba	€	2 900,00

Investimento	€	25 062,30
--------------	---	-----------

O processo de dimensionamento inicia-se com o preenchimentos dos registos das séries temporais, calculando os valores diários de evapotranspiração da cultura (Quadro 13), que irá determinar as necessidades de rega.

**Quadro 13** - Resultados da evapotranspiração da cultura diária

REGISTOS DE SÉRIES TEMPORAIS															
ID	Ano	Mês	Dia	P <sub>diária</sub>	P <sub>m.mensal</sub>	T <sub>diária</sub>	T <sub>m.mensal</sub>	I <sub>mensal</sub>	I <sub>anual</sub>	a	N	ETP <sub>mensal</sub>	K <sub>c</sub>	ETC <sub>mensal</sub>	ETC <sub>diária</sub>
-	-	-	-	mm	mm	°C	°C	-	-	-	dias	mm	-	mm	mm
1	1985	Out	1	0,00	0,00	20,95	18,94	7,51	68,61	1,58	31,00	211,83	0,85	162,05	5,23
2	1985	Out	2	0,00	0,00	20,00	18,94	7,51	68,61	1,58	31,00	211,83	0,85	162,05	5,23
3	1985	Out	3	0,10	0,00	19,50	18,94	7,51	68,61	1,58	31,00	211,83	0,85	162,05	5,23
4	1985	Out	4	0,00	0,00	18,75	18,94	7,51	68,61	1,58	31,00	211,83	0,85	162,05	5,23
5	1985	Out	5	0,00	0,00	18,10	18,94	7,51	68,61	1,58	31,00	211,83	0,85	162,05	5,23
6	1985	Out	6	0,00	0,00	17,50	18,94	7,51	68,61	1,58	31,00	211,83	0,85	162,05	5,23
7	1985	Out	7	0,00	0,00	19,00	18,94	7,51	68,61	1,58	31,00	211,83	0,85	162,05	5,23
8	1985	Out	8	0,00	0,00	18,75	18,94	7,51	68,61	1,58	31,00	211,83	0,85	162,05	5,23
9	1985	Out	9	0,00	0,00	19,50	18,94	7,51	68,61	1,58	31,00	211,83	0,85	162,05	5,23
10	1985	Out	10	0,00	0,00	21,00	18,94	7,51	68,61	1,58	31,00	211,83	0,85	162,05	5,23
11	1985	Out	11	0,00	0,00	22,25	18,94	7,51	68,61	1,58	31,00	211,83	0,85	162,05	5,23
12	1985	Out	12	0,00	0,00	22,60	18,94	7,51	68,61	1,58	31,00	211,83	0,85	162,05	5,23
13	1985	Out	13	0,00	0,00	22,25	18,94	7,51	68,61	1,58	31,00	211,83	0,85	162,05	5,23

As necessidades de rega são determinadas com base no balanço entre a precipitação e a evapotranspiração. O quadro de cálculo do nível de água no solo (Quadro 14), determinará o número de ciclos de rega necessários para repor o nível de água no solo, de acordo com os valores definidos no quadro de dados iniciais (Quadro 12).

No início do processo de cálculo considera-se que o solo contém o volume máximo de água necessário para a cultura em estudo, ou seja, o nível da água no solo, no instante inicial, corresponde ao valor de *CAD*.

**Quadro 14** - Resultados na área de cultura

ÁREA CULTURA									
H <sub>cul.e</sub>	H <sub>cul.s</sub>	Δ	ARM	Nec. Rega	Rega 1	Rega 2	Rega 3	Total Rega	
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
			52,00						
0,00	5,23	-5,23	46,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	5,23	-5,23	41,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,10	5,23	-5,13	36,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	5,23	-5,23	31,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	5,23	-5,23	25,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	5,23	-5,23	20,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	5,23	-5,23	15,60	0,09	2,30	0,00	0,00	0,00	2,30
0,00	5,23	-5,23	15,60	5,23	2,30	2,30	2,30	2,30	6,90
0,00	5,23	-5,23	15,60	5,23	2,30	2,30	2,30	2,30	6,90
0,00	5,23	-5,23	15,60	5,23	2,30	2,30	2,30	2,30	6,90
0,00	5,23	-5,23	15,60	5,23	2,30	2,30	2,30	2,30	6,90
0,00	5,23	-5,23	15,60	5,23	2,30	2,30	2,30	2,30	6,90

Nos dias em que há necessidade de repor água no solo na zona de cultura, o reservatório terá que fornecer essas necessidades. O Quadro 15 determina o nível de água no reservatório. Sempre que esse o nível atinge o valor mínimo definido no Quadro 12, a rega será garantida através do fornecimento externo (furo ou rede pública).

No início do processo de cálculo considera-se que o reservatório está na sua capacidade máxima, ou seja, o volume de água no interior do reservatório corresponde ao volume do reservatório definido no quadro de dados iniciais.

**Quadro 15** - Controlo do nível de água no reservatório

RESERVATÓRIO						
$V_{res.e}$	$V_{res.s}$	$\Delta$	$V_{res}$	Forn. Externo	Furo	SMAS
$m^3$	$m^3$	$m^3$	$m^3$	$m^3$	$m^3$	$m^3$
			1 000,00			
0,00	0,00	0,00	1 000,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	1 000,00	0,00	0,00	0,00
0,31	0,00	0,31	1 000,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	1 000,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	1 000,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	1 000,00	0,00	0,00	0,00
0,00	68,45	-68,45	931,55	0,00	0,00	0,00
0,00	205,34	-205,34	726,22	0,00	0,00	0,00
0,00	205,34	-205,34	520,88	0,00	0,00	0,00
0,00	205,34	-205,34	315,54	0,00	0,00	0,00
0,00	205,34	-205,34	110,21	0,00	0,00	0,00
0,00	205,34	-205,34	25,00	120,13	10,00	110,13
0,00	205,34	-205,34	25,00	205,34	10,00	195,34

A ponderação da decisão na escolha da melhor solução para o sistema em estudo, passará pela análise dos vários gráficos de custos totais atualizados, ao longo dos anos. A decisão também deve ser ponderada com base na análise dos níveis de eficiência do reservatório e do sistema.

Entende-se por eficiência do reservatório a capacidade do reservatório armazenar a maior quantidade de água captada, conforme expressão [19].

$$Ef_{res} = \frac{\sum V_{arm}}{\sum V_{cap}} \times 100 \quad [19]$$

Em que:

$Ef_{res}$  – Eficiência do reservatório (%)

$\Sigma V_{arm}$  – Volume total de água armazenada (m<sup>3</sup>)

$\Sigma V_{cap}$  – Volume total de água captada (m<sup>3</sup>)

Entende-se por eficiência do sistema a contribuição da água armazenada relativamente à necessidade de rega efetiva, conforme expressão [20].

$$Ef_{sis} = \frac{\Sigma V_{arm}}{\Sigma V_{rega}} \times 100 \quad [20]$$

Em que:

$Ef_{sis}$  – Eficiência do sistema (%)

$\Sigma V_{arm}$  – Volume total de água armazenada (m<sup>3</sup>)

$\Sigma V_{rega}$  – Volume total de rega efetiva (m<sup>3</sup>)

Entende-se por taxa de crescimento a variação das eficiências do reservatório e do sistema por cada m<sup>3</sup> de aumento de capacidade do reservatório. Esta taxa é calculada através das expressões [21] e [22], respetivamente.

$$TC_{res(n)} = Ef_{res(n)} - Ef_{res(n-1)} \quad [21]$$

Em que:

$TC_{res}$  – Taxa de crescimento do reservatório (%)

$Ef_{res(n)}$  – Eficiência do reservatório no instante de cálculo (%)

$Ef_{res(n-1)}$  – Eficiência do anterior reservatório (%)

$$TC_{sis} = Ef_{sis(n)} - Ef_{sis(n-1)} \quad [22]$$

Em que:

$TC_{sis}$  – Taxa de crescimento do sistema (%)

$Ef_{sis(n)}$  – Eficiência do sistema no instante de cálculo (%)

$Ef_{sis(n-1)}$  – Eficiência do sistema correspondente no instante anterior (%)

## 5.2 EXPLORAÇÃO DO MODELO E ANÁLISE DE RESULTADOS

A escolha do tamanho ideal do reservatório nas condições definidas no quadro de dados iniciais, poderá ser efetuada depois de várias simulações com reservatórios de tamanhos diferentes.

A variação do volume armazenado no reservatório é calculado com base no saldo entre o volume entrado ( $V_{res.e}$ ) e o volume saído ( $V_{res.s}$ ).

Os volumes são determinados com base nas expressões [23] e [24]:

$$V_{res.e} = \frac{1}{1000} \times P_d \times A_{cob} \quad [23]$$

$$V_{res.s} = \frac{1}{1000} \times R_e \times A_{cul} \quad [24]$$

Em que:

$V_{res.e}$  – Volume de água entrada do reservatório ( $m^3$ )

$V_{res.s}$  – Volume de água saída do reservatório ( $m^3$ )

$P_d$  – Precipitação diária (mm)

$A_{cob}$  – Área total das zonas impermeáveis ( $m^2$ )

$A_{cul}$  – Área total de cultivo ( $m^2$ )

$R_e$  – Rega efectiva (mm)

A variação de volume diário ( $\Delta_{res}$ ) é determinado pela seguinte expressão [25]:

$$\Delta_{res} = V_{res.e} - V_{res.s} \quad [25]$$

Em que:

$\Delta_{res}$  – Variação de volume diário ( $m^3$ )

$V_{res.e}$  – Volume de água entrada do reservatório ( $m^3$ )

$V_{res.s}$  – Volume de água saída do reservatório ( $m^3$ )

Para determinar o nível de água no interior do reservatório, começa-se por considerar que no instante inicial o reservatório encontra-se no máximo da sua capacidade ( $V_{res}$ ) e atribuir uma percentagem de reserva mínima de água ( $R_{res.min}$ ). O volume de água no interior do reservatório em cada dia é dado pelas expressões [26], [27] e [28]:

$$se \Delta_{res(n)} + V_{res(n-1)} > V_{res} \rightarrow V_{res(n)} = V_{res} \quad [26]$$

$$se \Delta_{res(n)} + V_{res(n-1)} < V_{res} \times R_{res.min} \rightarrow V_{res(n)} = V_{res} \times R_{res.min} \quad [27]$$

$$se V_{res} \times R_{res.min} < \Delta_{res(n)} + V_{res(n-1)} < V_{res} \rightarrow V_{res(n)} = \Delta_{res} + V_{res(n-1)} \quad [28]$$

Em que:

$V_{res(n)}$  – Volume do reservatório no instante de cálculo ( $m^3$ )

$V_{res(n-1)}$  – Volume do reservatório no instante de cálculo anterior ( $m^3$ )

$\Delta_{res(n)}$  – Variação de volume diário no instante de cálculo ( $m^3$ )

$R_{res.min}$  – Reserva mínima de água no reservatório (%)

Em termos de verificação das disponibilidades máximas dos volumes de água fornecidos através da captação de água das áreas impermeabilizadas foi construída uma coluna que calcula o volume do reservatório diário, de acordo com a expressão [29]:

$$V_{res(n)} = V_{res(n-1)} + \Delta_{res(n)} \quad [29]$$

O volume máximo do reservatório ( $V_{res.max}$ ) capaz de armazenar a água disponível em toda a amostra é dado pela expressão [30]:

$$V_{res.max} = Max [V_{res}]_1^n \quad [30]$$

Definidos os parâmetros de cálculo é possível atribuir volumes de reservatório e iniciar o processo de comparação entre vários cenários.

## 5.2.1 SÉRIE TEMPORAL DE REGISTOS

Baseado nas séries temporais de precipitação e temperatura da estação do Monte da Caparica (22B/01C), foi possível simular dois cenários tendo em conta o impacto que o nível de água no solo tem na viabilidade económica do dimensionamento do reservatório. Assim, consideraram-se os seguintes cenários:

- Para **30%** de reserva mínima de água no solo;
- Para **5%** de reserva mínima de água no solo.

Apresentam-se no Quadro 16 e no Quadro 17 os custos totais atualizados em função do volume do reservatório e do número de anos de exploração do sistema.

**Quadro 16** - Custos totais atualizados no cenário de 30%  $R_{cul.min}$  | Séries temporais

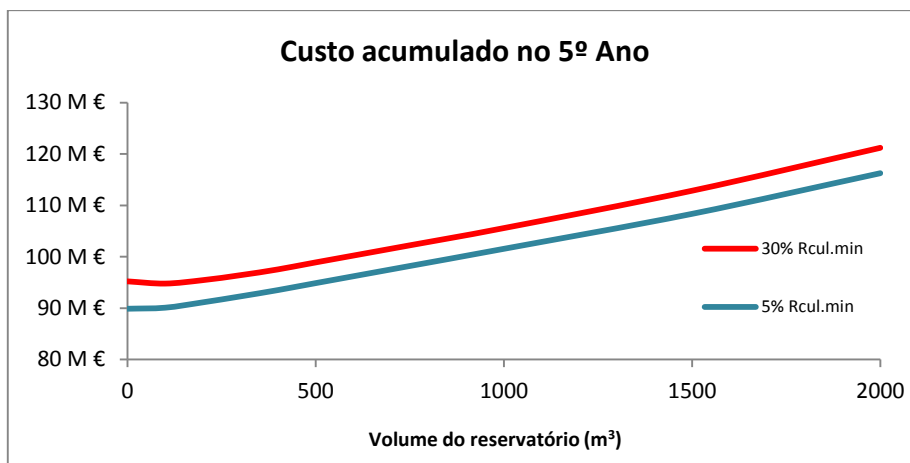
30% $R_{cul.min}$	0	100	200	300	400	500	750	1000	1500	2000
5	95 217,82 €	94 789,05 €	95 449,94 €	96 419,93 €	97 546,67 €	98 907,13 €	102 226,44 €	105 578,26 €	112 849,74 €	121 192,68 €
15	220 221,71 €	216 736,58 €	216 041,37 €	216 070,98 €	216 382,54 €	217 148,73 €	219 265,51 €	221 505,28 €	226 549,44 €	233 601,53 €
30	379 837,44 €	372 358,05 €	369 741,53 €	368 388,41 €	367 526,71 €	367 457,43 €	367 635,14 €	368 027,21 €	369 795,50 €	375 063,64 €
45	498 434,28 €	487 987,09 €	483 943,02 €	481 562,49 €	479 829,05 €	479 139,01 €	477 875,96 €	476 895,17 €	476 229,44 €	480 172,08 €

**Quadro 17** - Custos totais atualizados no cenário de 5%  $R_{cul.min}$  | Séries temporais

5% $R_{cul.min}$	0	100	200	300	400	500	750	1000	1500	2000
5	89 892,00 €	90 097,35 €	91 133,46 €	92 297,92 €	93 526,29 €	94 877,67 €	98 205,29 €	101 547,00 €	108 354,32 €	116 252,38 €
15	209 409,31 €	207 153,23 €	207 190,00 €	207 631,91 €	208 126,02 €	208 826,02 €	210 578,55 €	212 555,41 €	216 861,70 €	223 227,30 €
30	360 991,27 €	355 654,14 €	354 313,47 €	353 678,97 €	353 135,46 €	352 950,83 €	352 493,63 €	352 427,45 €	352 909,63 €	356 981,21 €
45	473 618,90 €	465 992,50 €	463 628,38 €	462 194,09 €	460 879,62 €	460 037,68 €	457 938,63 €	456 354,44 €	453 995,24 €	456 362,34 €

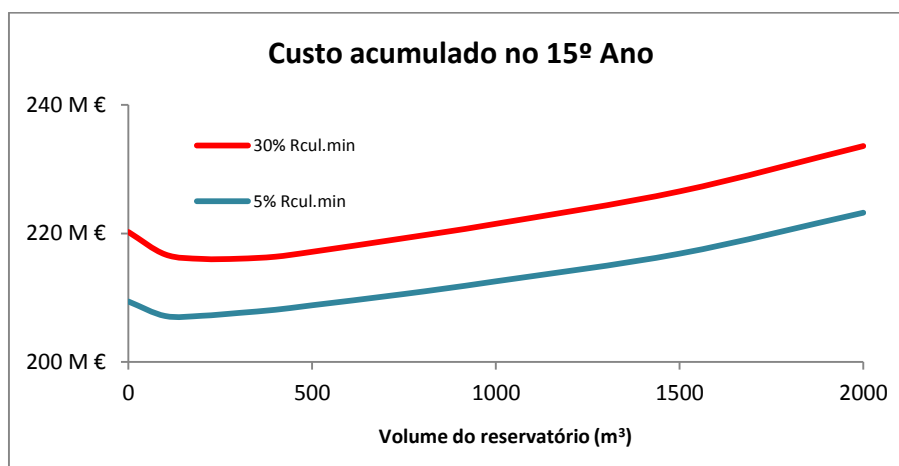
Pode observar-se no Gráfico 8 que até ao 5º ano de funcionamento do sistema, a vantagem de construir um SAAP é praticamente nula. De acordo com o Quadro 16, o retorno de investimento só seria possível para um reservatório de 100 m<sup>3</sup> de capacidade, correspondendo a um custo total atualizado de 94.789,05 €, comparativamente com os 95.217,82 € sem reservatório, isto no cenário de 30% de reserva mínima de água no solo.

Conclui-se ainda que o fato de considerar uma reserva mínima de água no solo mais baixa permite obter custos totais inferiores.



**Gráfico 8** - Curva de custos totais atualizados no 5º ano | Séries temporais

Com a análise do Gráfico 9 alarga a gama de reservatório que permite obter um custo total atualizado inferior à situação sem reservatório. Mantém-se também a mesma tendência relativamente à exploração da água no solo até ao seu limite máximo. No entanto, neste cenário, a gama de reservatórios com retorno de investimento é menor comparativamente com o cenário de 30% de reserva mínima de água no solo.



**Gráfico 9** - Curva de custos totais atualizados no 15º ano | Séries temporais

Com 30 anos de funcionamento do sistema, o custo total atualizado é praticamente o mesmo para reservatórios compreendidos entre os 300 e 1500 m<sup>3</sup> de capacidade. Aliás, qualquer reservatório permite obter retorno de investimento ao fim de 30 anos de funcionamento do sistema. Segundo o Gráfico 10, o reservatório de 1000 m<sup>3</sup> de capacidade no cenário de 5% de reserva mínima no solo, obtém o melhor resultado quanto aos custos totais atualizados.

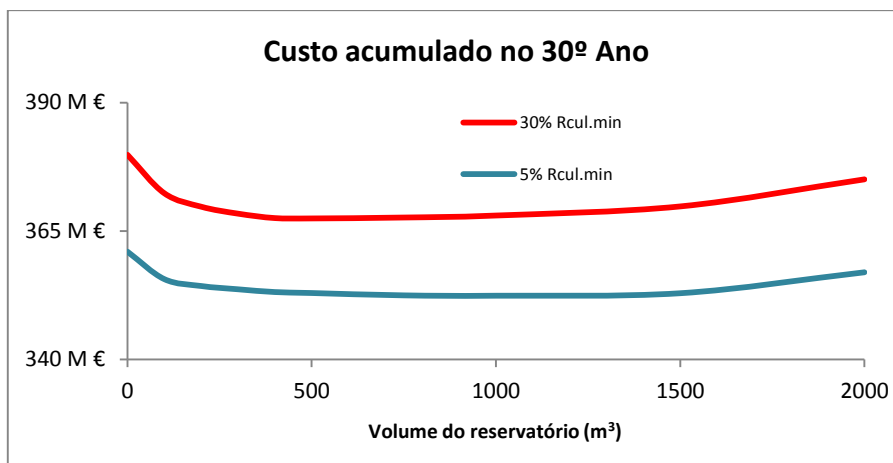


Gráfico 10 - Curva de custos totais atualizados no 30º ano | Séries temporais

Aos 45 anos de funcionamento, mantém-se praticamente a mesma tendência do que aconteceu até aos 30 anos. Pela análise do Gráfico 11, conclui-se que o reservatório de 1500 m³ de capacidade tornam sempre inviáveis estes projetos no que respeita à sua viabilidade económica.

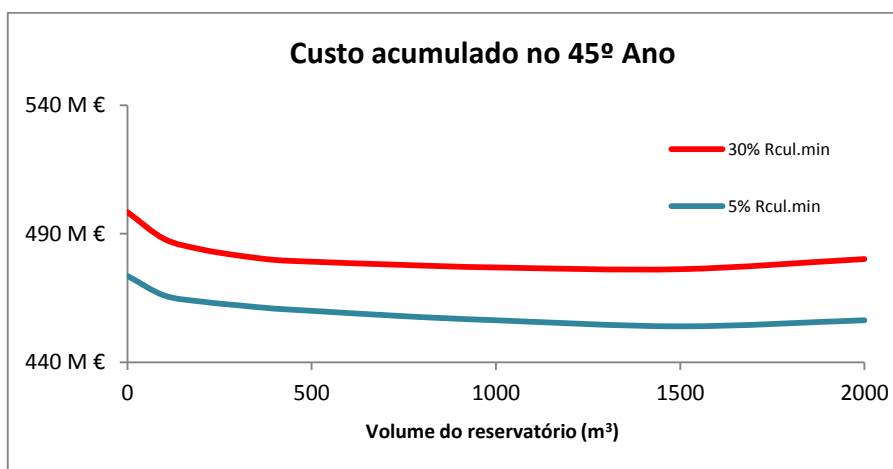


Gráfico 11 - Curva de custos totais atualizados no 45º ano | Séries temporais

Outra conclusão que se pode obter com este modelo de cálculo são os valores de eficiências do reservatório e do sistema.

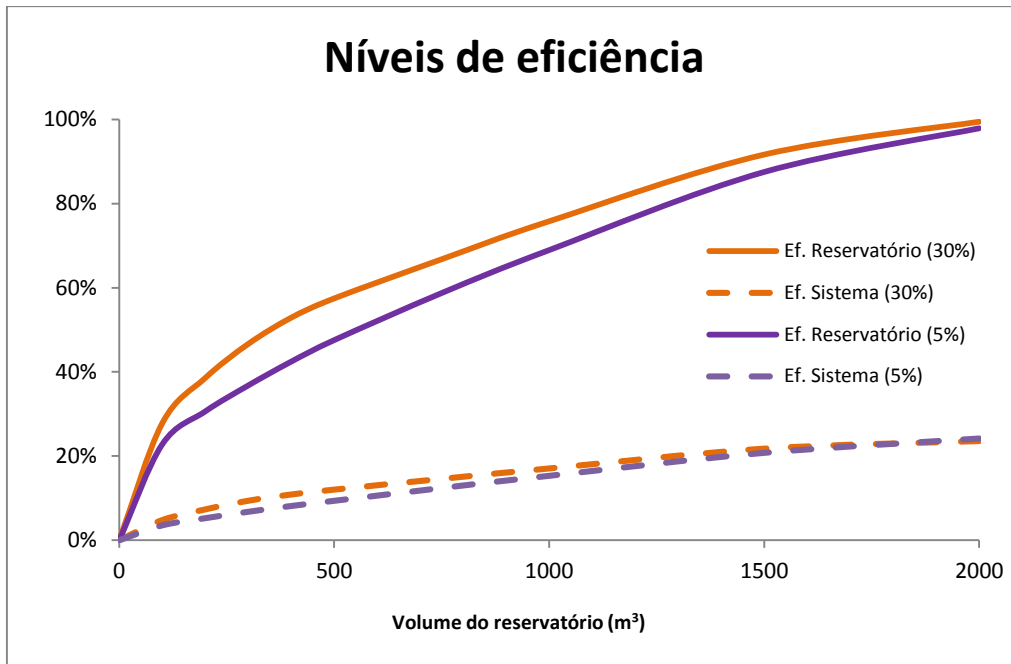


Gráfico 12 - Níveis de eficiência | Séries temporais

Com a análise do Gráfico 12 pode observar-se que reservatórios de pequena capacidade têm baixos níveis de eficiência, tanto ao nível do reservatório como do sistema. O reservatório de 1500 m<sup>3</sup> atinge 92% de eficiência do reservatório e cerca de 22% de eficiência do sistema. Tendo em conta que os valores máximos de eficiência do reservatório e do sistema são 94% e 24%, respetivamente, o reservatório de 1500 m<sup>3</sup> de capacidade é o que apresenta a melhor posição face ao contexto global.

Conclui-se ainda que reservatórios de capacidade superiores a 2000 m<sup>3</sup> não obtêm nenhuma mais-valia, uma vez que a partir desta dimensão foi atingido o máximo da eficiência do sistema.

Em termos de taxa de crescimento, considerando que o reservatório de 100 m<sup>3</sup> de capacidade é comparável com uma situação de inexistência de reservatório, que toma naturalmente valores de crescimento consideráveis, o reservatório de 1500 m<sup>3</sup> de capacidade é o que melhor se destaca neste aspeto uma vez que se compara diretamente com reservatórios de capacidades inferiores. No Gráfico 13 pode analisar-se os valores de taxa de crescimento por cada reservatório estudado.

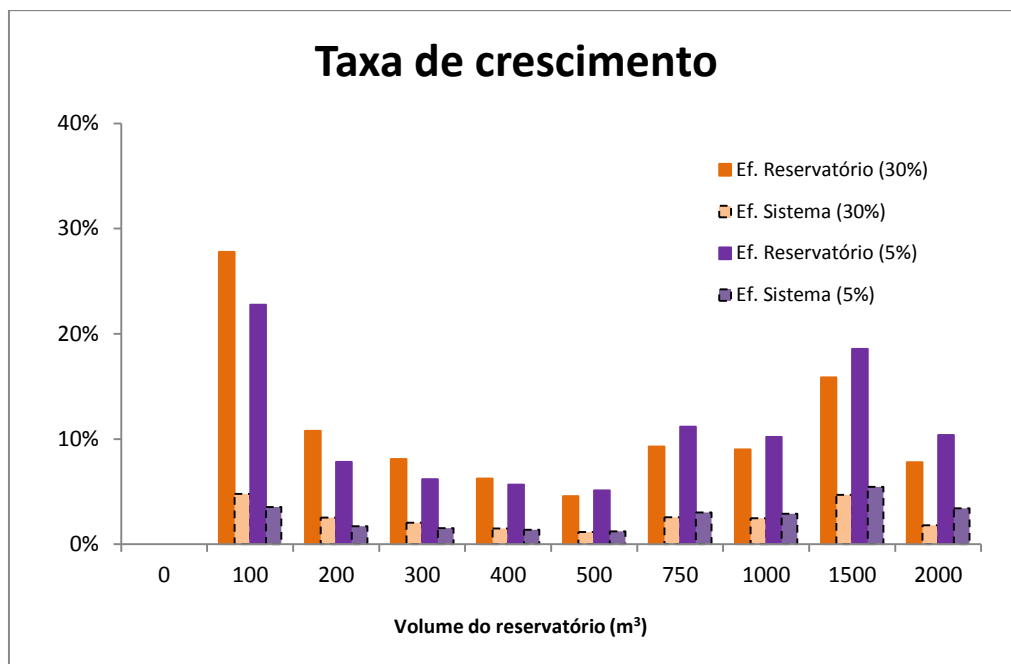


Gráfico 13 - Taxa de crescimento | Séries temporais

## 5.2.2 ANO MÉDIO E ANO DE CARACTERÍSTICAS MÉDIAS

### 5.2.2.1 INTRODUÇÃO

A correta caracterização, modelação e previsão das utilizações de água é uma tarefa indispensável para a adequada conceção e para a gestão otimizada e sustentável dos sistemas de abastecimento água e de drenagem de águas residuais. Para tal, é importante desenvolver metodologias que se revelem como ferramentas práticas para a análise de registos de precipitações médias diárias de uma dada estação meteorológica ao longo de vários anos.

Neste sentido, irá verificar-se se a determinação do *ano médio (AM)* e do *ano de características médias (ACM)*, baseadas na amostra, serão uma alternativa ao processo normal de cálculo.

### 5.2.2.2 ANO MÉDIO

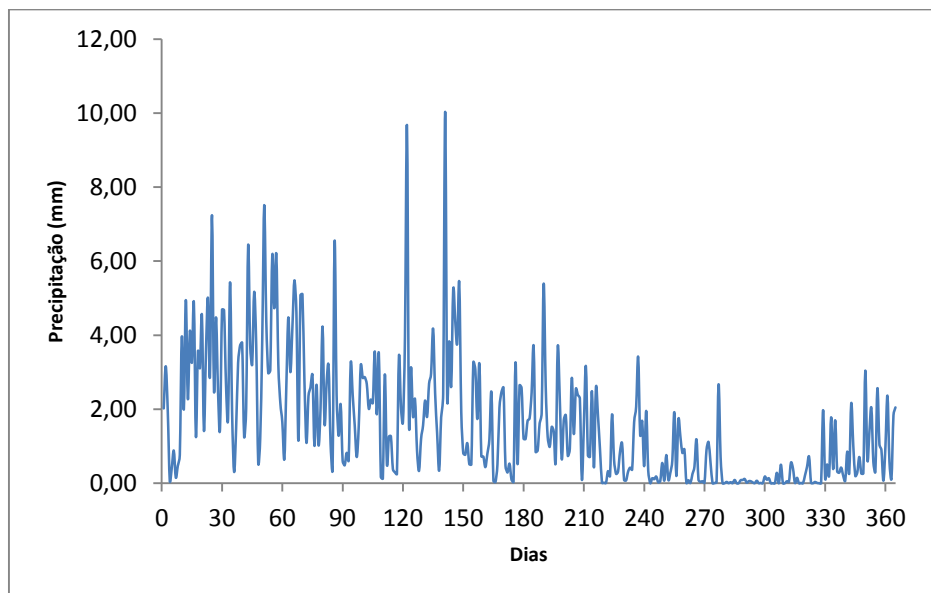
O *ano médio* é representativo de todos os anos e terá valores correspondentes à serie temporal em análise. Considerando um valor por dia, o ano médio tem 365 dias. Determina-se com base na média aritmética dos valores de precipitação observados para cada um dos dias ao longo dos vários anos que compõem o período em análise.

O *ano médio* não é representativo do comportamento das precipitações num determinado ano, visto que é obtido com base em valores médios. Supondo um pico de caudal para o dia 1 de Outubro do Ano 0 este valor seria atenuado se se verificasse que para o dia 1 de Outubro do Ano 1 o caudal fosse nulo. Os valores máximos verificados são atenuados pelos mínimos e vice-versa.

A distribuição da precipitação média diária pode ser representada através de uma curva cronológica de precipitações, que relaciona os valores da precipitação em ordenadas, com o tempo em abcissas, pela ordem em que ocorreram.

O andamento da curva cronológica varia de ano para ano devido às variações da precipitação anual, mas pode apresentar características comuns ao longo dos vários anos, determinadas pelo clima e orografia da região.

Na construção da curva cronológica das precipitações médias diárias (Gráfico 14) neste caso de estudo, foi determinada a média da precipitação diária de cada um dos dias do ano ao longo de 15 anos. Os valores foram baseados nas séries temporais de precipitação da estação do Monte da Caparica (22B/01C).



**Gráfico 14** - Curva cronológica das precipitações médias diárias | AM

Baseado nos valores que suportam o Gráfico 14 foi possível simular dois cenários. À semelhança das séries temporais, os cenários têm por base a importância que o nível de água no solo tem na viabilidade do dimensionamento do reservatório.

Assim, consideraram-se os seguintes cenários:

- Para **30%** de reserva mínima de água no solo;
- Para **5%** de reserva mínima de água no solo.

Os valores obtidos dos custos totais atualizados ao longo de 45 anos estão apresentados no Quadro 18 e no Quadro 19.

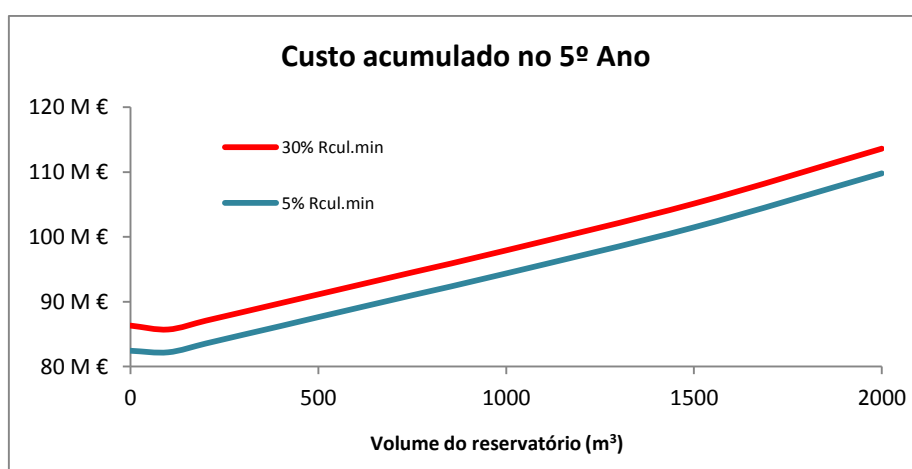
**Quadro 18** - Custos totais atualizados no cenário de 30%  $R_{cul.min}$  | AM

30% $R_{cul.min}$	0	100	200	300	400	500	750	1000	1500	2000
5	86 321,35 €	85 723,03 €	87 080,48 €	88 426,23 €	89 787,32 €	91 137,16 €	94 526,41 €	97 925,76 €	105 130,28 €	113 602,70 €
15	183 947,04 €	180 382,14 €	181 000,19 €	181 581,20 €	182 184,99 €	182 781,51 €	184 277,35 €	185 788,30 €	189 215,20 €	196 531,98 €
30	316 610,15 €	308 991,72 €	308 664,25 €	308 272,21 €	307 919,87 €	307 554,87 €	306 650,26 €	305 771,99 €	304 721,38 €	310 450,88 €
45	415 180,79 €	404 550,54 €	403 520,52 €	402 405,50 €	401 342,74 €	400 263,31 €	397 575,13 €	394 921,64 €	390 544,17 €	395 094,30 €

**Quadro 19** - Custos totais atualizados no cenário de 5%  $R_{cul.min}$  | AM

5% $R_{cul.min}$	0	100	200	300	400	500	750	1000	1500	2000
5	82 445,78 €	82 205,18 €	83 558,71 €	84 920,39 €	86 259,87 €	87 636,50 €	91 007,24 €	94 367,42 €	101 474,73 €	109 796,22 €
15	175 495,35 €	172 551,61 €	173 123,04 €	173 759,45 €	174 307,74 €	174 968,18 €	176 441,27 €	177 891,14 €	181 212,99 €	188 141,09 €
30	301 878,73 €	295 343,00 €	294 934,27 €	294 638,78 €	294 189,71 €	293 936,11 €	292 991,86 €	292 007,13 €	290 773,40 €	295 825,43 €
45	395 783,44 €	386 578,81 €	385 441,80 €	384 453,91 €	383 263,78 €	382 331,04 €	379 590,67 €	376 796,99 €	372 178,41 €	375 836,48 €

Pode observar-se no Gráfico 15 que até ao 5º ano de funcionamento do sistema, a vantagem de construir um SAAP é pouco significativa. De acordo com o Quadro 18, o retorno de investimento só seria possível para um reservatório de 100 m<sup>3</sup> de capacidade, correspondendo a um custo total atualizado de 85.723,03 €, comparativamente com os 86.321,35 € sem reservatório. Esta análise é menos expressiva quando se considera 5% de reserva mínima de água no solo, conforme apresentado no Quadro 19.



**Gráfico 15** – Curva de custos totais atualizados no 5º ano | AM

Conclui-se ainda que o fato de considerar uma reserva mínima de água no solo mais baixa permite obter custos investimento menores. A linha azul do Gráfico 15 é a evidência representativa deste fato.

O Gráfico 16 mantém a mesma tendência do gráfico anterior, apesar de aumentar a gama de reservatórios, entre os 100 e os 500 m<sup>3</sup> de capacidade, com custos totais atualizados inferiores à situação sem reservatório em funcionamento. Mantem-se também a mesma tendência relativamente à exploração da água no solo até ao seu limite máximo.

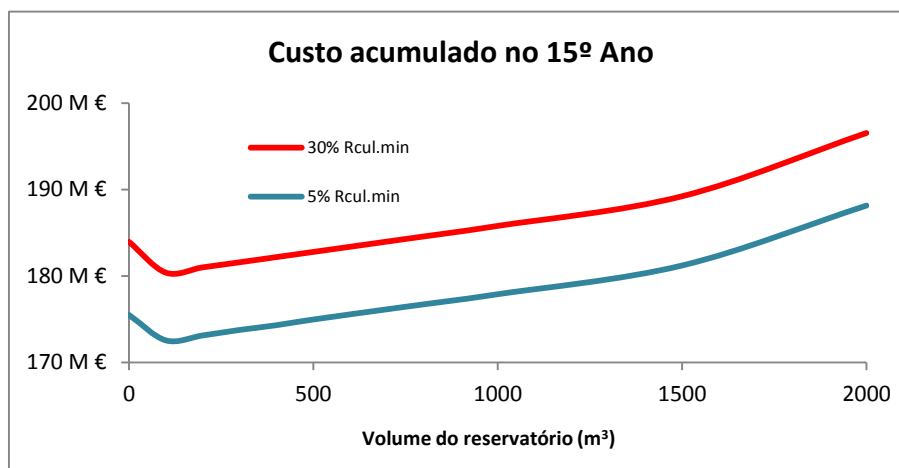


Gráfico 16 - Curva de custos totais atualizados no 15º ano | AM

Com 30 anos de funcionamento do sistema (Gráfico 17), reservatórios de maior capacidade passam a assumir melhores rentabilidades no que toca ao retorno do investimento, com a certeza que o abastecimento de água para rega com recurso a um SAAP é sempre menor do que um sistema sem reservatório em funcionamento. Neste caso, o reservatório de 1500 m<sup>3</sup> de capacidade obtém o custo total atualizado mais baixo.

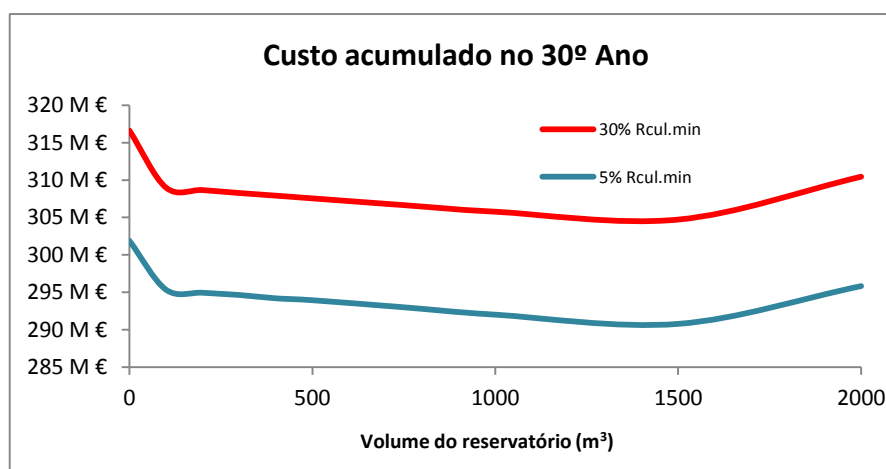


Gráfico 17 - Curva de custos totais atualizados no 30º ano | AM

Aos 45 anos de funcionamento, mantém-se praticamente a mesma tendência do que aconteceu até aos 30 anos. No entanto, o intervalo de reservatórios com custos totais atualizados mais baixos é mais reduzido neste período. De acordo com o Gráfico 18, o reservatório de 1500 m<sup>3</sup> continua a ser o que apresenta custos totais atualizados mais baixo. Para reservatórios superiores a 1500 m<sup>3</sup> o custo total atualizado volta a aumentar.

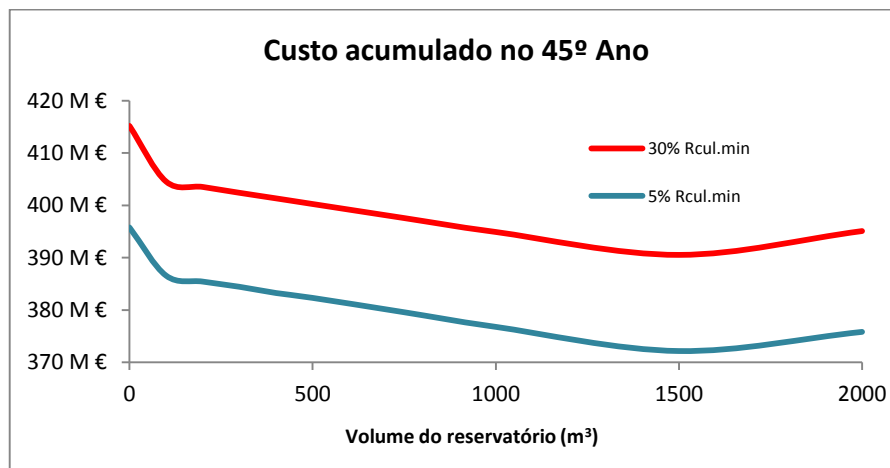


Gráfico 18 - Curva de custos totais atualizados no 45º ano | AM

Os níveis de eficiência baseados no *ano médio* apresentam valores praticamente coincidentes entre os dois cenários, conforme se pode observar no Gráfico 19.

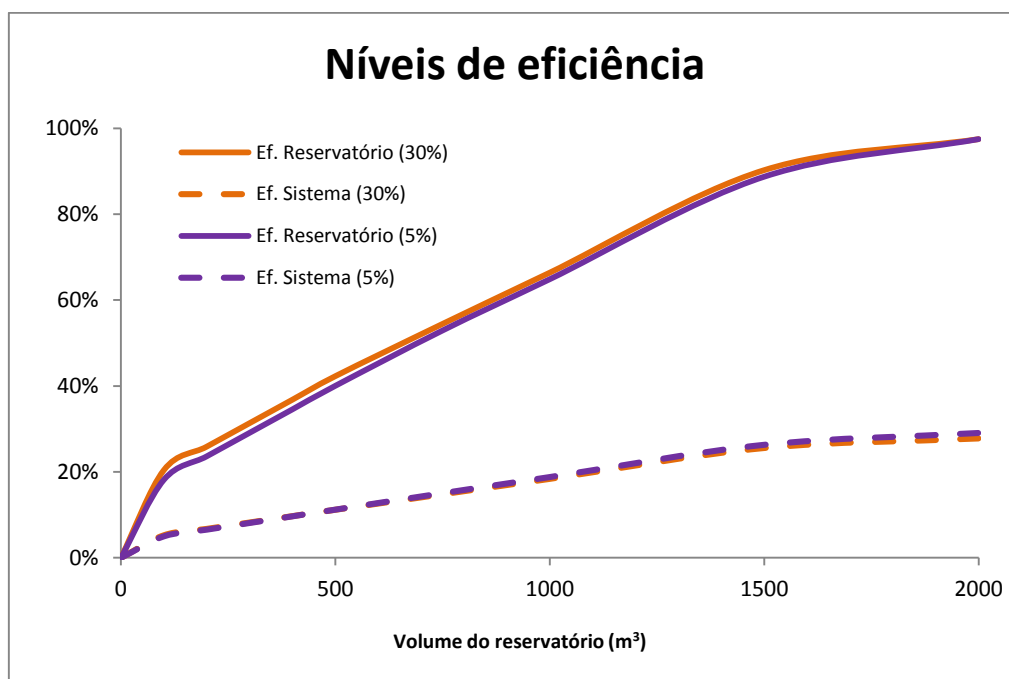


Gráfico 19 - Níveis de eficiência | AM

Reservatórios de pequena capacidade têm baixos níveis de eficiência, tanto ao nível do reservatório como do sistema. O reservatório de 1500 m<sup>3</sup> atinge o valor de 90% de eficiência do reservatório e cerca de 26% de eficiência do sistema. Tendo em conta que os valores máximos de eficiência do reservatório e do sistema são 97% e 29%, respetivamente, o reservatório de 1500 m<sup>3</sup> de capacidade toma a melhor posição em contexto global. Também se conclui que reservatórios de capacidade superiores a 2000 m<sup>3</sup> não obtêm mais-valia, uma vez que a partir desta dimensão foi atingido o máximo da eficiência do sistema.

Em termos de taxa de crescimento, considerando que o reservatório de 100 m<sup>3</sup> de capacidade é comparável com uma situação de inexistência de reservatório, que toma naturalmente valores de crescimento consideráveis, o reservatório de 1500 m<sup>3</sup> de capacidade é o que melhor se destaca neste aspeto uma vez que se compara diretamente com reservatórios de capacidades inferiores. No Gráfico 20 podem analisar-se os valores de taxa de crescimento em cada reservatório estudado.

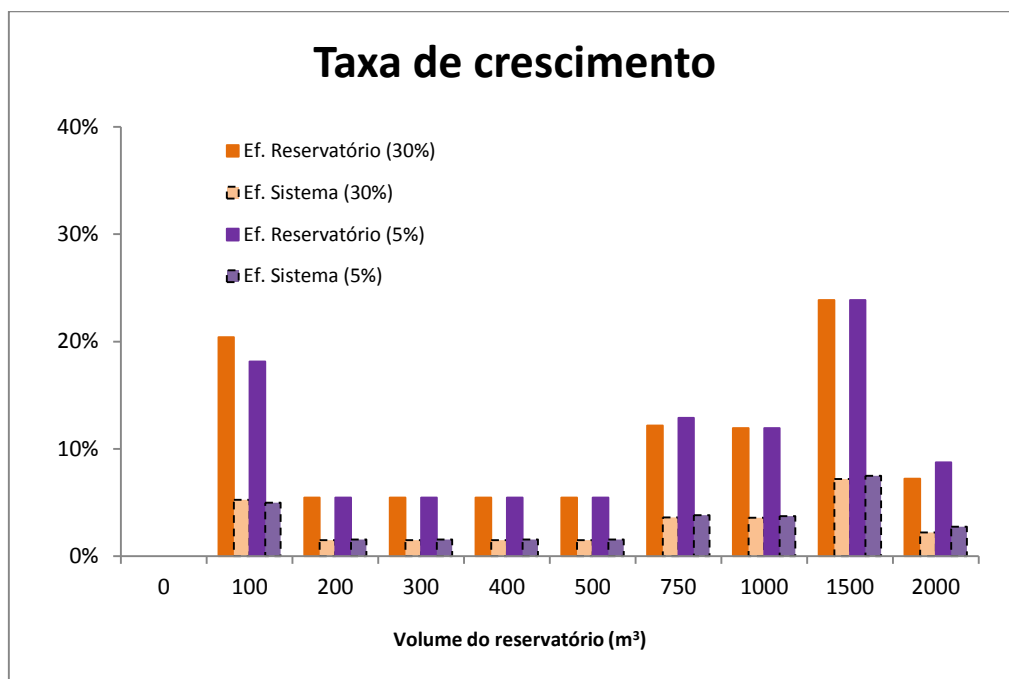


Gráfico 20 - Taxa de crescimento | AM

Considerando que a viabilidade de investimento apoia-se na vertente económica, já se pode concluir que o cenário de 5% de reserva mínima de água no solo obtém valores de custos totais inferiores ao cenário de 30% de reserva mínima de água no solo.

Assim, com base neste pressuposto compararam-se os resultados do *ano médio* com os valores da série temporal para um período de funcionamento do sistema a 30 anos, no cenário de 5% de reserva mínima de água no solo.

Na hipótese de considerar o *ano médio* para o dimensionamento de reservatórios no aproveitamento de águas pluviais para uso de rega, o Gráfico 21 indica que os valores obtidos são significativamente inferiores aqueles que foram determinados com base na série temporal. Esse diferencial atinge o valor máximo de 62.136,22 € para o reservatório de 1500 m<sup>3</sup>.

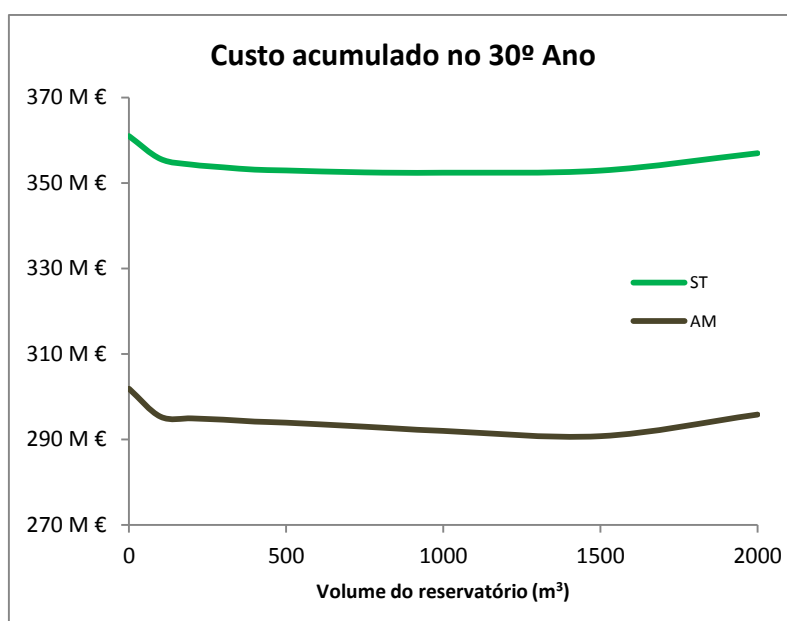


Gráfico 21 - Comparação de custos totais atualizados no 30º Ano | ST & AM

Em termos de comportamento geral ao longo deste período, o *ano médio* apresenta uma distribuição bastante semelhante à série temporal, o que seria espectável.

### 5.2.2.3 ANO DE CARACTERÍSTICAS MÉDIAS

O *ano de características médias* é calculado de forma similar que o *ano médio*, com a diferença que é necessário ordenar de forma decrescente os valores das precipitações diárias para cada ano, sendo calculada a média para cada dia. As médias diárias são atribuídas aos vários dias do ano pela mesma ordem de grandeza dos valores verificados no *ano médio*.

O *ano de características médias* é mais representativo do que o *ano médio* no que respeita à variabilidade da precipitação mensal num posto ou numa região, uma vez que no *ano médio*

os valores extremos perdem a visibilidade com o cálculo da média. No *ano de características médias*, ao dia de precipitação mais elevado do *ano médio* é atribuído o maior valor das médias ordenadas e ao dia com menor precipitação do *ano médio* é atribuído o menor valor das médias ordenadas, sendo respeitadas as características desse dia como dia de valores máximos ou mínimos da precipitação.

A precipitação média corresponde ao valor das médias diárias dos vários dias do ano pela mesma ordem de grandeza dos valores verificados no *ano médio*.

A representação gráfica do *ano de características médias* segue de acordo com o Gráfico 22.

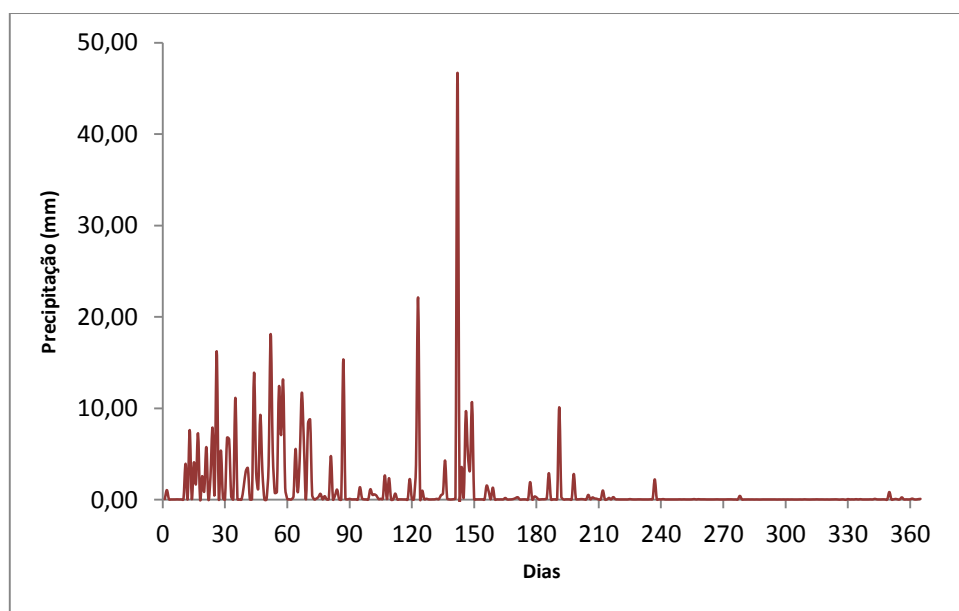


Gráfico 22 - Curva cronológica das precipitações médias diárias | ACM

À semelhança do *ano médio*, os cenários têm por base a importância que o nível de água no solo tem na viabilidade do dimensionamento do reservatório. Assim, consideraram-se os seguintes cenários:

- Para **30%** de reserva mínima de água no solo
- Para **5%** de reserva mínima de água no solo

Os valores obtidos dos custos totais atualizados ao longo de 45 anos estão apresentados no Quadro 20 e no Quadro 21.

**Quadro 20** - Custos totais atualizados no cenário de 30%  $R_{cul.min}$  | ACM

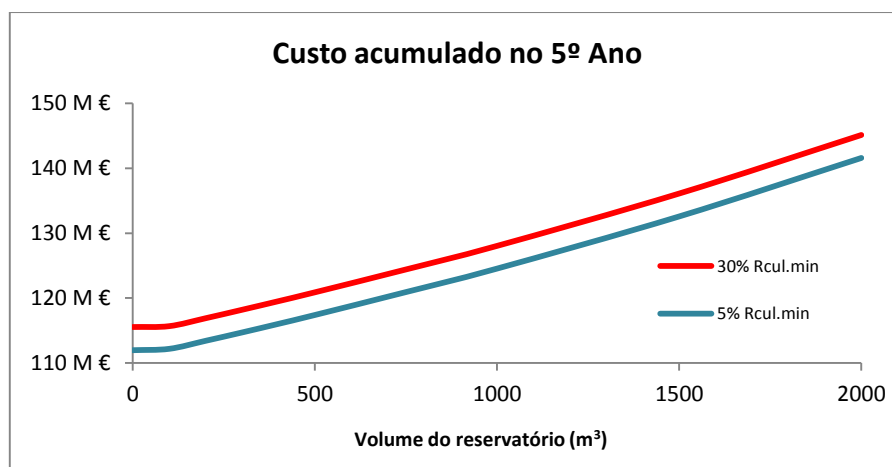
30% $R_{cul.min}$	0	100	200	300	400	500	750	1000	1500	2000
5	115 529,75 €	115 661,08 €	116 883,74 €	118 184,18 €	119 514,14 €	120 880,35 €	124 405,94 €	128 034,41 €	136 108,86 €	145 132,35 €
15	254 217,72 €	252 456,69 €	252 918,47 €	253 472,43 €	254 009,17 €	254 661,22 €	256 279,17 €	258 063,17 €	264 181,72 €	273 319,97 €
30	439 092,97 €	434 618,74 €	434 018,87 €	433 579,67 €	433 110,48 €	432 842,25 €	432 150,49 €	431 748,15 €	435 389,13 €	444 293,48 €
45	576 458,01 €	569 967,82 €	568 579,13 €	567 402,01 €	566 185,39 €	565 233,39 €	562 825,47 €	560 798,65 €	562 598,75 €	571 329,31 €

**Quadro 21** - Custos totais atualizados no cenário de 5%  $R_{cul.min}$  | ACM

5% $R_{cul.min}$	0	100	200	300	400	500	750	1000	1500	2000
5	111 956,27 €	112 166,59 €	113 401,04 €	114 688,28 €	116 018,23 €	117 384,45 €	120 915,62 €	124 536,01 €	132 578,13 €	141 592,09 €
15	246 027,18 €	244 439,40 €	244 927,20 €	245 456,54 €	246 022,53 €	246 655,34 €	248 309,22 €	250 058,54 €	256 068,30 €	265 197,03 €
30	424 816,75 €	420 644,47 €	420 089,96 €	419 607,87 €	419 189,64 €	418 887,88 €	418 258,75 €	417 795,96 €	421 247,32 €	430 135,07 €
45	557 660,03 €	551 567,44 €	550 238,47 €	549 004,87 €	547 855,36 €	546 859,20 €	544 533,75 €	542 427,33 €	543 977,76 €	552 686,46 €

Pode observar-se no Gráfico 23 que até ao 5º ano de funcionamento do sistema não há vantagem em construir um SAAP.

Conclui-se ainda que o fato de considerar uma reserva mínima de água no solo mais baixa permite obter custos totais menores, apesar de pouco significativa até este período, conforme se pode verificar no Gráfico 23.



**Gráfico 23** - Curva de custos totais atualizados no 5º ano | ACM

Com a leitura do Gráfico 24, observa-se que a gama de reservatórios inferiores a 500 m³ de capacidade apresentam custos totais atualizados inferiores ao cenário sem reservatório. Mantem-se também a mesma tendência relativamente à exploração da água no solo até ao seu limite máximo.

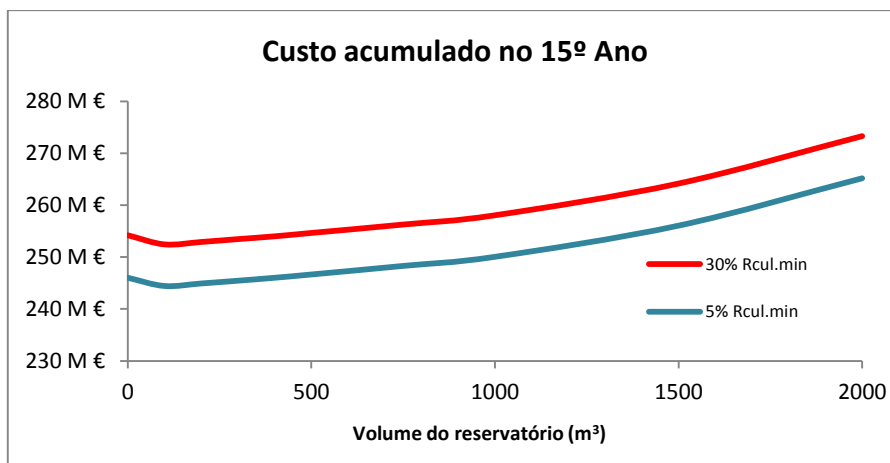


Gráfico 24 - Curva de custos totais atualizados no 15º ano | ACM

Com 30 anos de funcionamento do sistema (Gráfico 25), aumenta a gama de reservatórios com custos totais atualizados inferiores a um sistema sem reservatório. O reservatório de 1000 m<sup>3</sup> de capacidade apresenta o custo total atualizado mais baixo, no total de 417.795,96 €, no cenário de 5% de reserva mínima. O diferencial entre os dois cenários toma maior expressão neste período.

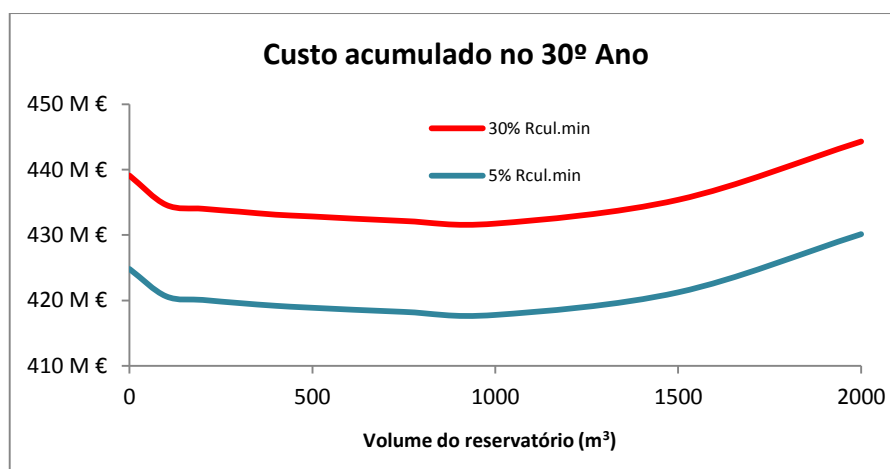
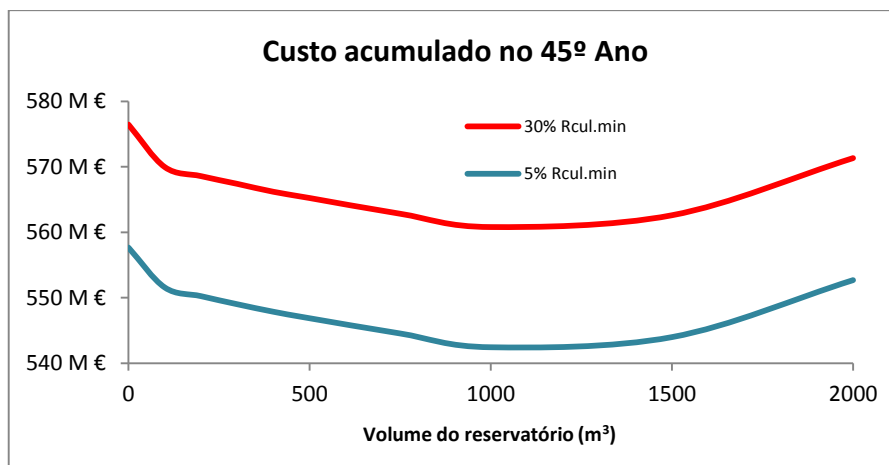


Gráfico 25 - Curva de custos totais atualizados no 30º ano | ACM

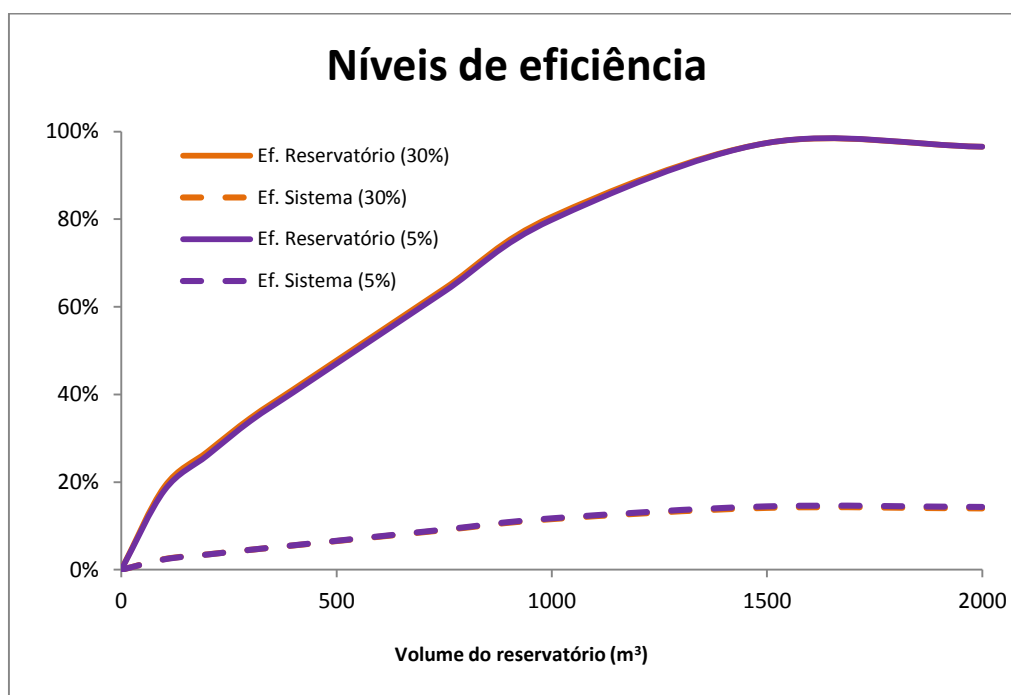
Aos 45 anos de funcionamento, mantém-se exatamente a mesma tendência do que aconteceu até aos 30 anos. De acordo com o Gráfico 26, o reservatório de 1000 m<sup>3</sup> de capacidade continua a ser o que apresenta melhor resultado no aspeto económico.

Em termos absolutos, o diferencial entre os dois cenários totaliza 18.642,85 €, a favor do cenário com aproveitamento máximo da água no solo.



**Gráfico 26** - Curva de custos totais atualizados no 45º ano | ACM

Os níveis de eficiência do reservatório e do sistema baseados no *ano de características médias* apresentam valores praticamente coincidentes, conforme se pode observar no Gráfico 27.



**Gráfico 27** - Níveis de eficiência | ACM

Reservatórios de pequena capacidade têm baixos níveis de eficiência, tanto ao nível do reservatório como do sistema. Neste estudo, os valores de eficiência do sistema são manifestamente baixos, quando comparados com estudos anteriores. O Gráfico 27 indica que

o reservatório de 1500m<sup>3</sup> capacidade atinge o máximo de eficiência do reservatório, com 97,41%.

Em termos de taxa de crescimento, considerando que o reservatório de 100 m<sup>3</sup> de capacidade é comparável com uma situação de inexistência de reservatório, que toma naturalmente valores de crescimento consideráveis, os reservatórios de maior capacidade, são os que melhor se destacam neste aspeto. Destaca-se o reservatório de 2000 m<sup>3</sup> de capacidade, onde assume valores negativos, ou seja, tem níveis de eficiência inferiores ao reservatório de 1500 m<sup>3</sup>.

No Gráfico 28 pode analisar-se os valores de taxa de crescimento em cada reservatório estudado.

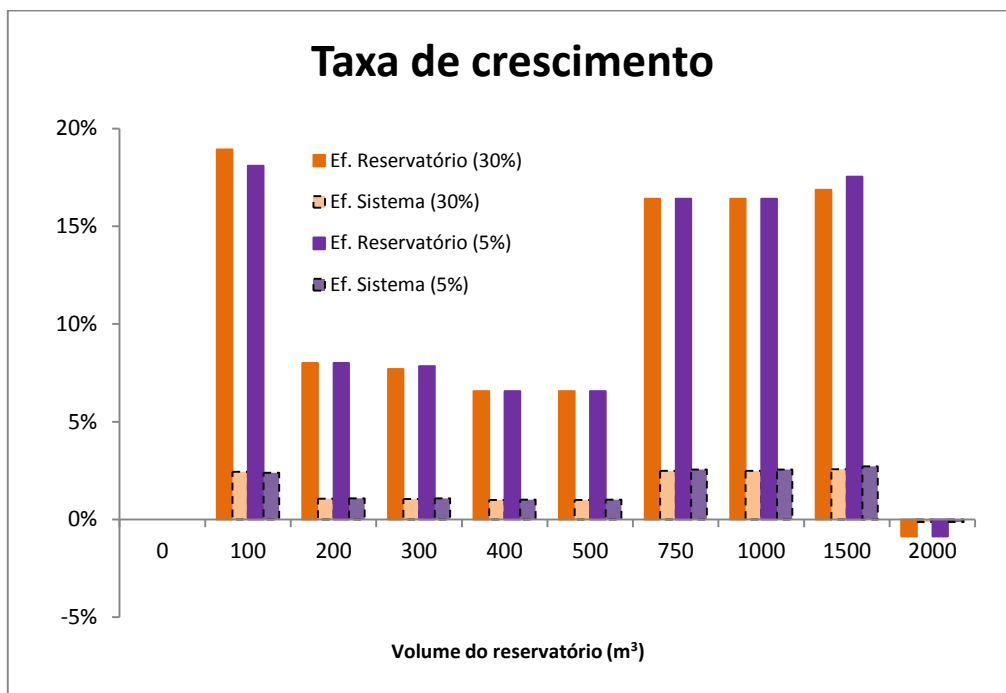


Gráfico 28 - Taxa de crescimento | ACM

À semelhança do *ano médio*, compararam-se os resultados do *ano de características médias* com os valores da série temporal para um período de funcionamento do sistema a 30 anos, no cenário de 5% de reserva mínima de água no solo.

Ao contrário do que seria espectável, o Gráfico 29 indica que os valores obtidos com base no *ano de características médias* são significativamente superiores aqueles que foram

determinados com base na série temporal. Tendo em conta os resultados obtidos para o *ano médio*, estava-se na expectativa de se obter valores abaixo da série temporal.

Esse diferencial atinge o valor máximo de 73.153,86 € para o reservatório de 2000 m<sup>3</sup> de capacidade.

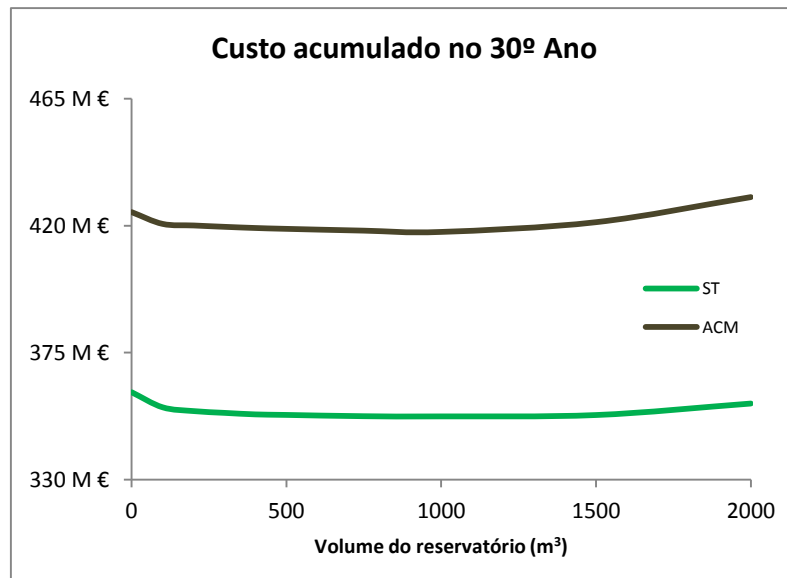


Gráfico 29 - Comparação de custos totais atualizados no 30º Ano | ST & ACM

Em termos de comportamento geral ao longo deste período, o *ano de características médias* apresenta uma distribuição semelhante à série temporal. No entanto, seria expectável obter valores de custos totais atualizados próximos da série temporal.

### 5.2.3 OUTROS CASOS DE ESTUDO

#### 5.2.3.1 CASO I

O *Caso I* baseia-se nas séries temporais de precipitação e temperatura da estação do Monte da Caparica (22B/01C), à semelhança do caso de estudo. Contudo, neste *Caso I* pretende-se analisar a variação no dimensionamento do SAAP considerando uma área de captação relativa significativamente maior.

No caso de estudo, a área de captação de água pluvial corresponde a cerca de 11% da área de rega. Neste *Caso I*, considerou-se uma área de captação 30% da área de rega, num total de aproximadamente 9000 m<sup>2</sup>.

Também neste *Caso I* foi possível simular dois cenários tendo em conta o impacto que o nível de água no solo tem na viabilidade económica do dimensionamento do reservatório. Assim, consideraram-se os seguintes cenários:

- Para **30%** de reserva mínima de água no solo;
- Para **5%** de reserva mínima de água no solo.

Os valores obtidos dos custos totais atualizados ao longo de 45 anos estão apresentados no Quadro 22 e no Quadro 23.

**Quadro 22** - Custos totais atualizados no cenário de 30%  $R_{cul.min}$  | Caso I

<b>30% <math>R_{res.min}</math></b>	0	500	1000	1500	2000	5000	7500	10000	12500
5	95 217,82 €	96 656,76 €	102 535,57 €	109 118,43 €	115 766,80 €	157 662,15 €	200 222,19 €	245 187,24 €	290 123,69 €
15	220 221,71 €	210 998,33 €	213 208,90 €	216 418,88 €	220 106,52 €	247 604,24 €	287 696,26 €	333 228,86 €	378 739,16 €
30	379 837,44 €	356 737,20 €	353 566,49 €	352 137,79 €	351 541,64 €	357 328,06 €	392 090,28 €	436 335,51 €	480 541,86 €
45	498 434,28 €	465 023,32 €	457 854,26 €	452 978,94 €	449 199,88 €	438 854,48 €	469 656,57 €	512 945,26 €	556 182,76 €

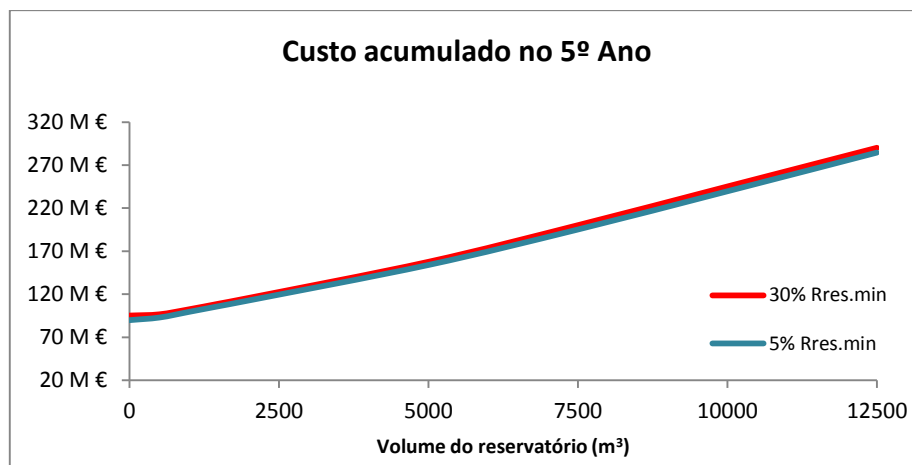
**Quadro 23** - Custos totais atualizados no cenário de 5%  $R_{cul.min}$  | Caso I

<b>5% <math>R_{res.min}</math></b>	0	500	1000	1500	2000	5000	7500	10000	12500
5	89 892,00 €	92 936,79 €	99 546,37 €	106 192,54 €	112 840,49 €	153 992,85 €	195 213,34 €	239 615,80 €	284 552,25 €
15	209 409,31 €	203 764,46 €	206 783,82 €	209 988,33 €	213 498,64 €	238 573,56 €	276 962,22 €	321 932,23 €	367 442,52 €
30	360 991,27 €	344 128,46 €	342 367,49 €	340 929,24 €	340 024,01 €	341 587,46 €	373 380,68 €	416 645,30 €	460 851,65 €
45	473 618,90 €	448 420,98 €	443 108,15 €	438 220,27 €	434 034,23 €	418 128,30 €	445 021,02 €	487 018,52 €	530 256,01 €

Tendo em conta que a área de captação é bastante superior ao caso de estudo, os reservatórios de armazenamento acompanham também esta tendência, pelo que foi necessário obter comparações entre reservatório de maiores dimensões.

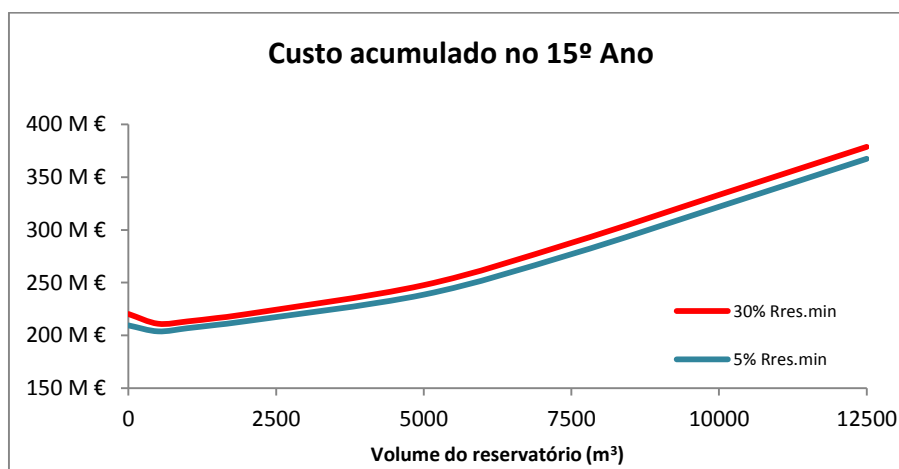
Porém, para análise comparativa com a série temporal também foram calculados os custos totais atualizados para a gama de reservatórios que tem vindo a ser apresentado.

Pode observar-se no Gráfico 30 que até ao 5º ano de funcionamento do sistema, não existe qualquer vantagem económica em construir um SAAP. Conclui-se ainda que é pouco significativo o ganho em considerar uma reserva mínima de água no solo mais baixa, conforme se pode observar no Gráfico 30, ao contrário do que tem sido concluído em outros casos.



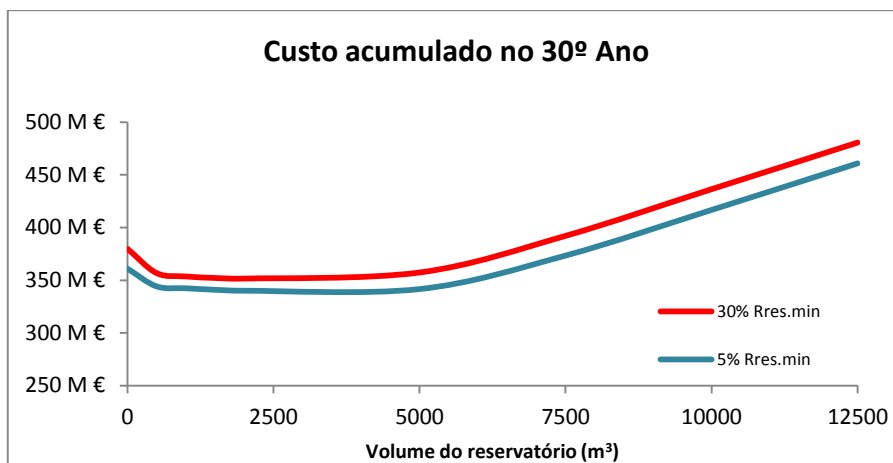
**Gráfico 30** - Curva de custos totais atualizados no 5º ano | Caso I

Com a análise do Gráfico 31 observa-se uma ligeira inversão da tendência de custos. Para reservatórios até 1500 m<sup>3</sup> de capacidade, ao fim de 15 anos de funcionamento, o sistema torna-se viável economicamente. Mantém-se também a mesma tendência relativamente à exploração da água no solo até ao seu limite máximo, ou seja, pouco expressivo.



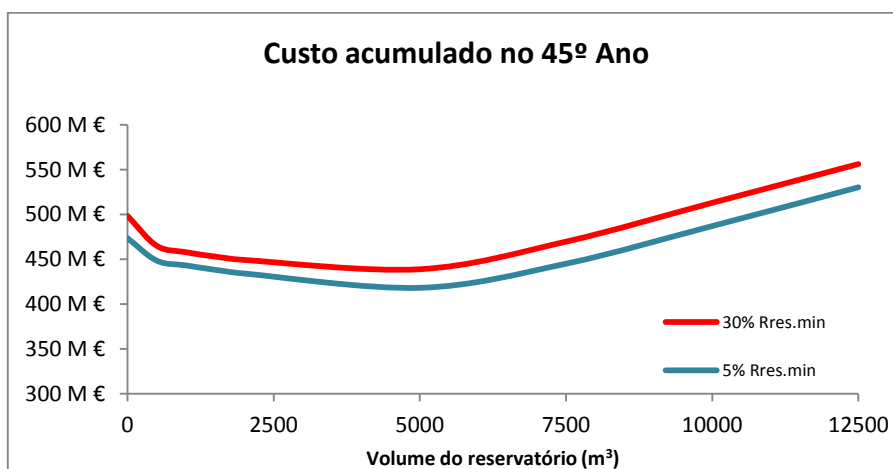
**Gráfico 31** - Curva de custos totais atualizados no 15º ano | Caso I

Com 30 anos de funcionamento do sistema, a gama de reservatórios que permitem obter resultados positivos no retorno do investimento aumentou. De acordo com a análise do Gráfico 32, reservatórios até 5000 m<sup>3</sup> de capacidade têm custos totais atualizados inferiores ao sistema sem reservatório.



**Gráfico 32** - Curva de custos totais atualizados no 30º ano | Caso I

Aos 45 anos de funcionamento, mantém-se praticamente a mesma tendência do que aconteceu até aos 30 anos. Pela análise do Gráfico 32 e do Gráfico 33, conclui-se que reservatórios de 7500 m<sup>3</sup> de capacidade tornam sempre inviáveis estes projetos no que respeita à sua viabilidade económica.



**Gráfico 33** - Curva de custos totais atualizados no 45º ano | Caso I

Outra conclusão que se pode obter com este modelo de cálculo são os valores de eficiências do reservatório e do sistema.

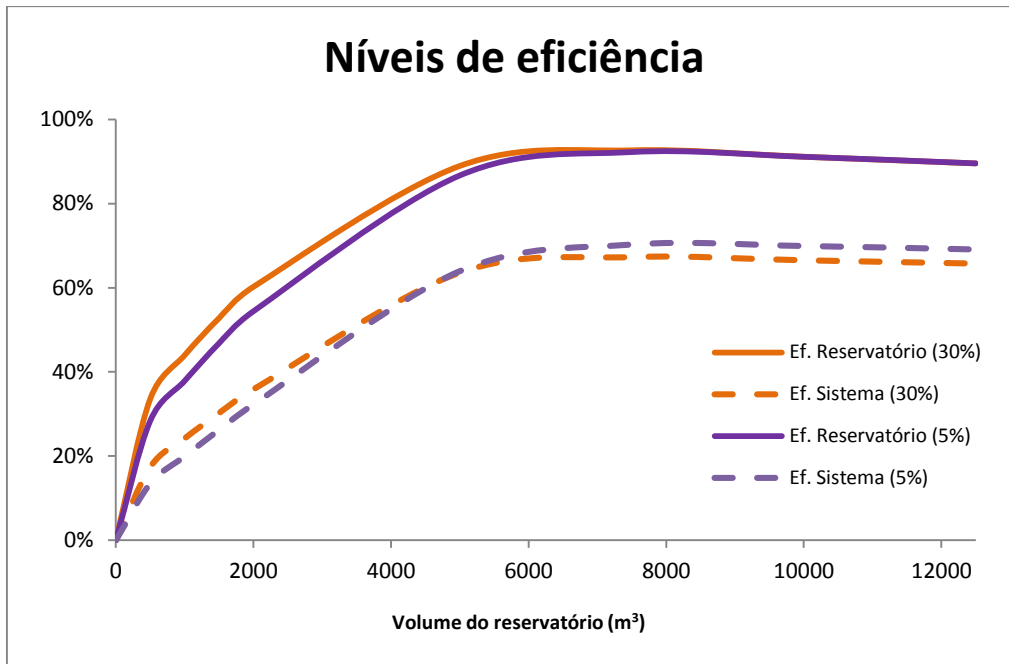


Gráfico 34 - Níveis de eficiência | Caso I

Com a análise do Gráfico 34 pode observar-se que reservatórios até 1000 m<sup>3</sup> de capacidade têm baixos níveis de eficiência, tanto ao nível do reservatório como do sistema. O reservatório de 5000 m<sup>3</sup> atinge 87% de eficiência do reservatório e cerca de 64% de eficiência do sistema. Tendo em conta que os valores máximos de eficiência do reservatório e do sistema são 93% e 70%, respetivamente, o reservatório de 5000 m<sup>3</sup> de capacidade é o que apresenta a melhor posição face ao contexto global.

Conclui-se ainda que reservatórios de capacidade superiores a 7500 m<sup>3</sup> não obtêm nenhuma mais-valia, uma vez que a partir desta dimensão foi atingido o máximo da eficiência do sistema.

Em termos de taxa de crescimento, considerando que o reservatório de 100 m<sup>3</sup> de capacidade é comparável com uma situação de inexistência de reservatório, que toma naturalmente valores de crescimento consideráveis, o reservatório de 5000 m<sup>3</sup> de capacidade é o que melhor se posiciona neste aspeto, uma vez que se compara diretamente com reservatórios de capacidades inferiores.

No Gráfico 35 pode analisar-se os valores de taxa de crescimento por cada reservatório estudado, destacando-se ainda os valores negativos de taxas de crescimento nos reservatórios de 10000 e 12500 m<sup>3</sup>.

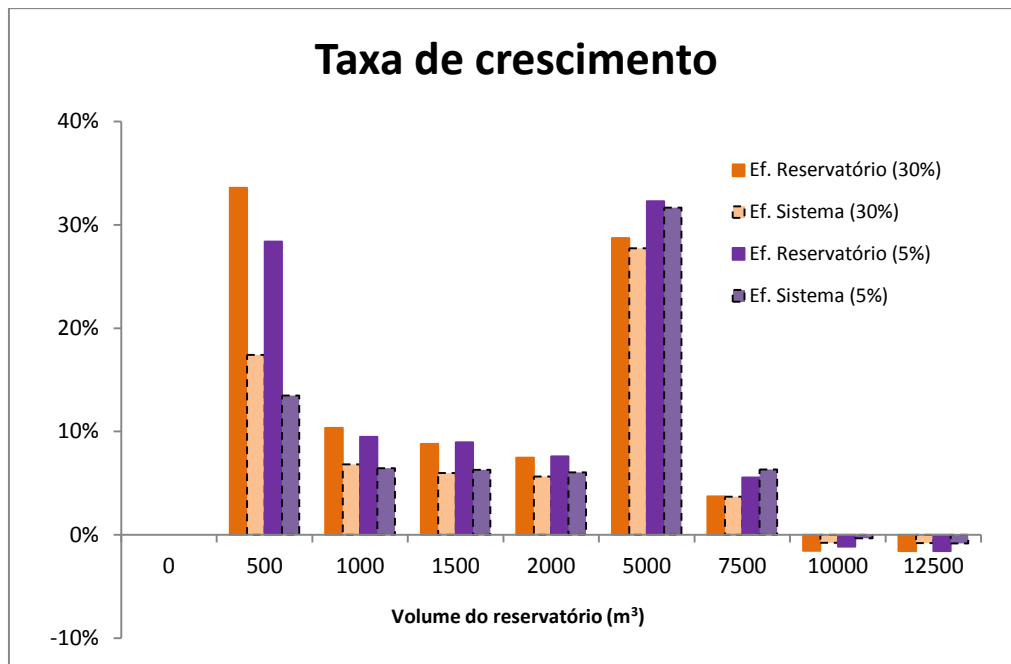


Gráfico 35 - Taxa de crescimento | Caso I

No Gráfico 35 pode analisar-se os valores de taxa de crescimento por cada reservatório estudado, destacando-se ainda os valores negativos de taxas de crescimento nos reservatórios de 10000 e 12500 m<sup>3</sup>.

À semelhança dos casos anteriores, compararam-se os resultados do *Caso I* com os valores da série temporal para um período de funcionamento do sistema a 30 anos, no cenário de 5% de reserva mínima de água no solo.

Neste pressuposto, o Gráfico 36 indica que os valores obtidos com base no *Caso I* são inferiores aqueles que foram determinados com base na série temporal. Esse diferencial atinge o valor máximo de 16.957,20 € para o reservatório de 2000 m<sup>3</sup>.

Em termos de comportamento geral ao longo deste período, o *Caso I* apresenta uma distribuição pouco semelhante à série temporal comparativamente com outros casos já mencionados. Ao contrário do que se tem verificado noutros casos, o reservatório de 2000 m<sup>3</sup> de capacidade atinge o valor mais baixo dos custos totais atualizados para esta análise. Este resultado está diretamente ligado ao fato da área de captação ser significativamente maior do que no caso da série temporal. Contudo, é o reservatório de 5000 m<sup>3</sup> de capacidade que consegue obter o valor mínimo para um retorno de investimento a 45 anos.

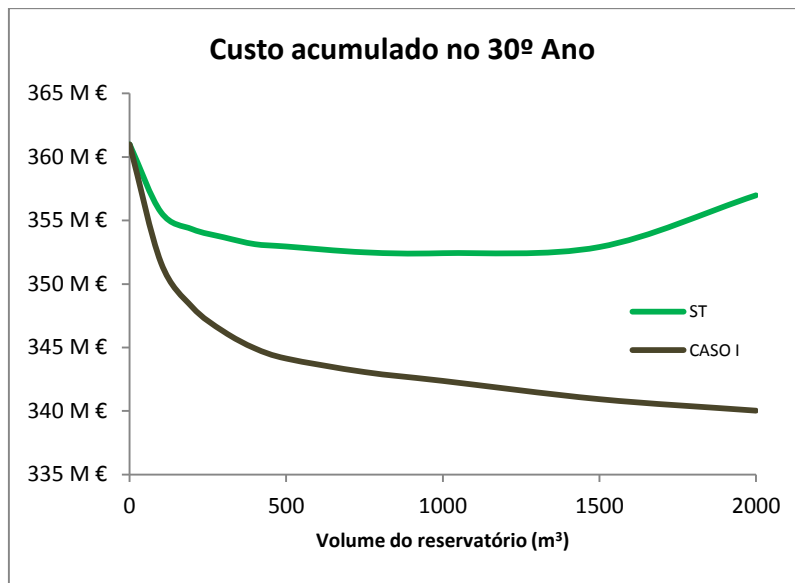


Gráfico 36 - Comparação de custos totais atualizados no 30º Ano | ST & Caso I

### 5.2.3.1 CASO II

O *Caso II* baseia-se nas séries temporais de precipitação e temperatura da estação do Monte da Caparica (22B/01C), à semelhança do caso de estudo. Contudo, neste *Caso II* pretende-se analisar a variação no dimensionamento do SAAP considerando outro tipo de cultura.

No caso de estudo, o tipo de cultura é hortícola correspondendo uma altura radicular de 200 mm. No *Caso II*, será considerado uma cultura de batata, que corresponde uma altura radicular entre os 250 e 600 mm. Para efeitos de estudo, considerou-se uma altura radicular de 500 mm.

Também neste *Caso II* foi possível simular dois cenários tendo em conta o impacto que o nível de água no solo tem na viabilidade económica do dimensionamento do reservatório. Assim, consideraram-se os seguintes cenários:

- Para **30%** de reserva mínima de água no solo;
- Para **5%** de reserva mínima de água no solo.

Os valores obtidos dos custos totais atualizados ao longo de 45 anos estão apresentados no Quadro 24 e no Quadro 25.

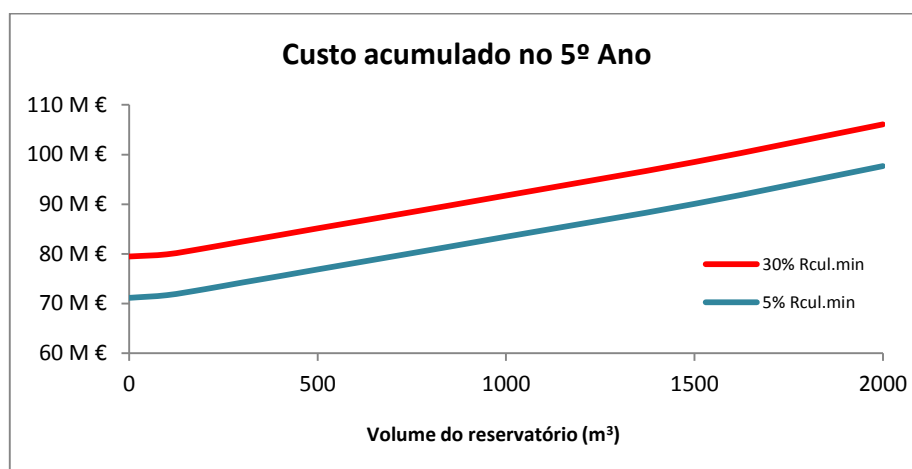
**Quadro 24** - Custos totais atualizados no cenário de 30%  $R_{cul.min}$  | Caso II

30% $R_{res.min}$	0	100	200	300	400	500	750	1000	1500	2000
5	79 467,09 €	79 911,12 €	81 126,84 €	82 471,51 €	83 797,18 €	85 135,02 €	88 417,23 €	91 750,14 €	98 498,39 €	106 078,93 €
15	188 110,82 €	186 436,72 €	186 744,12 €	187 355,94 €	187 939,99 €	188 613,68 €	190 295,00 €	192 072,93 €	196 228,56 €	201 965,53 €
30	323 867,68 €	319 544,95 €	318 676,00 €	318 337,66 €	317 950,91 €	317 720,41 €	317 139,11 €	316 726,19 €	316 945,76 €	319 921,64 €
45	424 737,02 €	418 446,33 €	416 703,33 €	415 659,01 €	414 550,95 €	413 648,62 €	411 386,15 €	409 345,41 €	406 640,42 €	407 564,76 €

**Quadro 25** - Custos totais atualizados no cenário de 5%  $R_{cul.min}$  | Caso II

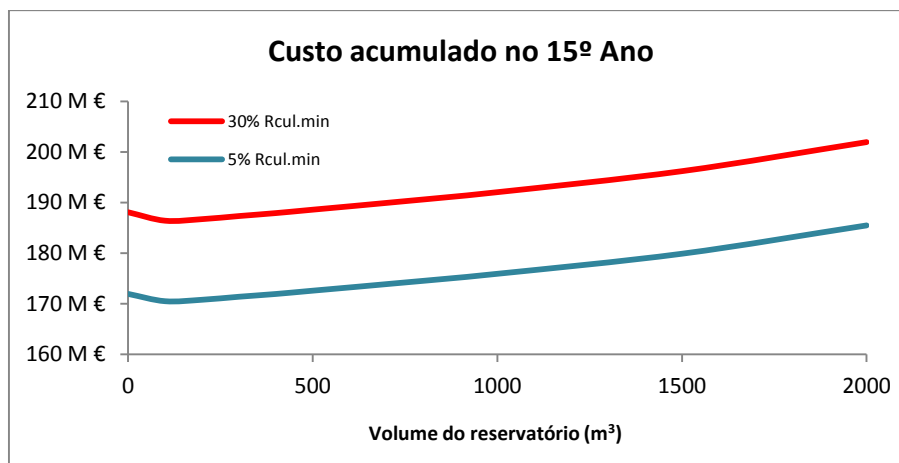
5% $R_{res.min}$	0	100	200	300	400	500	750	1000	1500	2000
5	71 142,84 €	71 683,74 €	72 880,38 €	74 226,90 €	75 524,72 €	76 863,29 €	80 136,70 €	83 442,49 €	90 069,60 €	97 674,20 €
15	171 970,31 €	170 529,50 €	170 812,82 €	171 409,12 €	171 958,16 €	172 608,01 €	174 232,80 €	175 945,35 €	179 913,69 €	185 506,17 €
30	295 734,54 €	291 818,44 €	290 907,50 €	290 542,12 €	290 094,36 €	289 822,30 €	289 142,47 €	288 615,58 €	288 508,71 €	291 232,72 €
45	387 693,18 €	381 937,90 €	380 139,63 €	379 059,69 €	377 871,29 €	376 914,24 €	374 522,04 €	372 331,22 €	369 196,40 €	369 789,11 €

Pode observar-se no Gráfico 37 que até ao 5º ano de funcionamento do sistema, não existem qualquer vantagem económica em construir um SAAP. Conclui-se ainda que é significativo o ganho em considerar uma reserva mínima de água no solo mais baixa, conforme se pode observar no Gráfico 37.



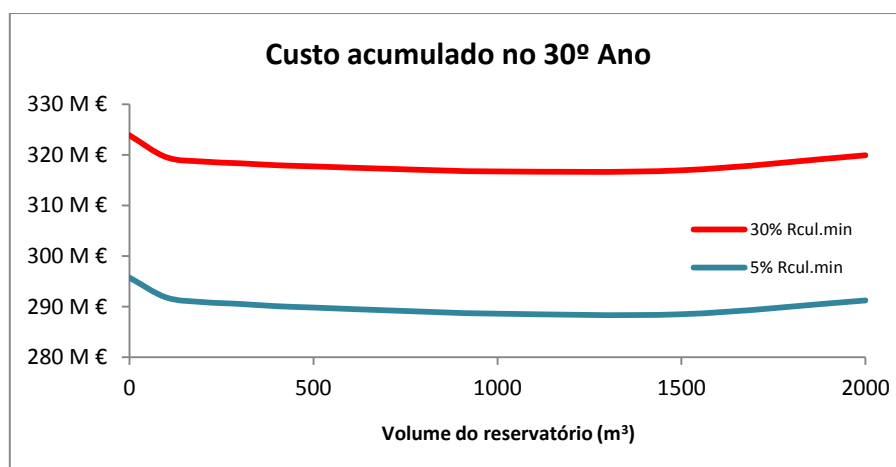
**Gráfico 37** - Curva de custos totais atualizados no 5º ano | Caso II

Com a análise do Gráfico 38 observa-se uma inversão da tendência de custos. Para reservatórios até 300 m<sup>3</sup> de capacidade, ao fim de 15 anos de funcionamento, o sistema torna-se viável economicamente. Aumenta significativamente a vantagem económica em explorar ao máximo a água disponível no solo.



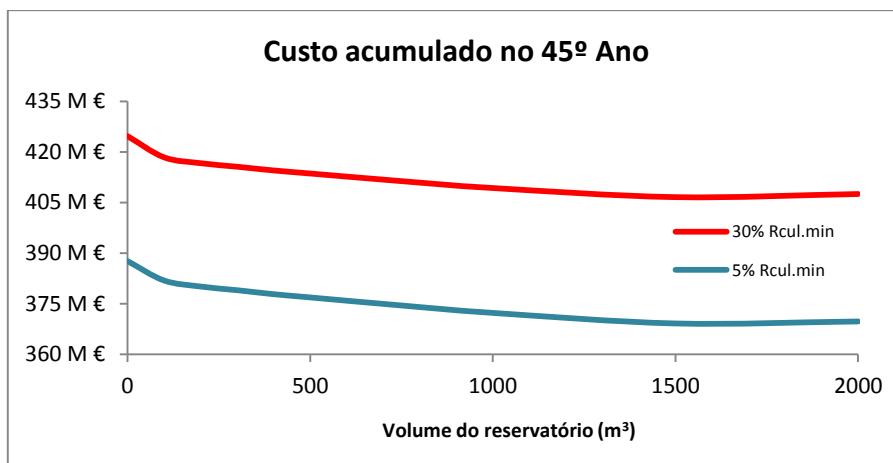
**Gráfico 38** - Curva de custos totais atualizados no 15º ano | Caso II

Com 30 anos de funcionamento do sistema, a gama de reservatórios que permitem obter resultados positivos no retorno do investimento aumentou. De acordo com a análise do Gráfico 39, todos os reservatórios analisados têm custos totais atualizados inferiores a um sistema sem reservatório, destacando-se o reservatório de 1500 m<sup>3</sup> de capacidade com o custo mais baixo para este período.



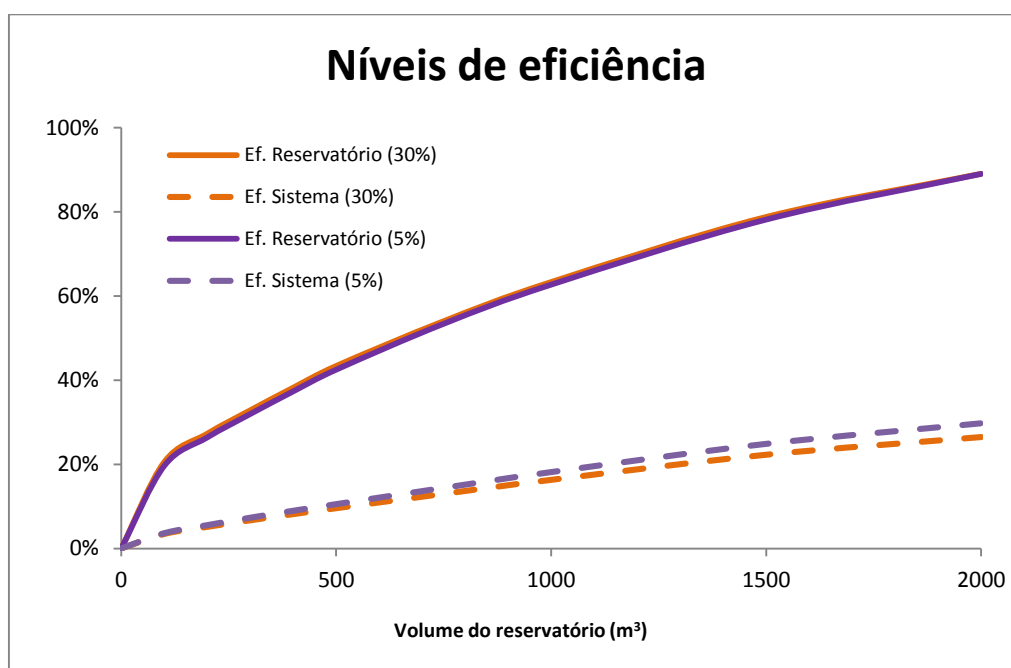
**Gráfico 39** - Curva de custos totais atualizados no 30º ano | Caso II

Aos 45 anos de funcionamento, mantém-se praticamente a mesma tendência do que aconteceu até aos 30 anos. Pela análise do Gráfico 39 e do Gráfico 40, conclui-se que reservatório de capacidade superior a 1500 m<sup>3</sup> têm tendência para tornar inviáveis economicamente estes projetos.



**Gráfico 40** - Curva de custos totais atualizados no 45º ano | Caso II

Outra conclusão que se pode obter com este modelo de cálculo são os valores de eficiências do reservatório e do sistema.



**Gráfico 41** - Níveis de eficiência | Caso II

Com a análise do Gráfico 41 pode observar-se que reservatórios de pequena capacidade têm baixos níveis de eficiência, tanto ao nível do reservatório como do sistema. O reservatório de 1500 m<sup>3</sup> atinge 78% de eficiência do reservatório e cerca de 25% de eficiência do sistema. Tendo em conta que os valores máximos de eficiência do reservatório e do sistema são 89% e

30%, respetivamente, o reservatório de 1500 m<sup>3</sup> de capacidade é o que apresenta a melhor posição face ao contexto global.

Em culturas com alturas radiculares superiores ao caso de estudo, é praticamente indiferente considerar a possibilidade de explorar ao máximo a água disponível no solo até 5% do CAD. Conforme se pode observar no Gráfico 41 as linhas de eficiência para os cenários de 30% e 5% de reserva mínima de água no solo são praticamente coincidentes para qualquer tipo de capacidade de reservatório.

Em termos de taxa de crescimento, considerando que o reservatório de 100 m<sup>3</sup> de capacidade é comparável com uma situação de inexistência de reservatório, que toma naturalmente valores de crescimento consideráveis, o reservatório de 1500 m<sup>3</sup> de capacidade é o que melhor se destaca neste aspeto uma vez que se compara diretamente com reservatórios de capacidades inferiores. No Gráfico 42 pode analisar-se os valores de taxa de crescimento por cada reservatório estudado.

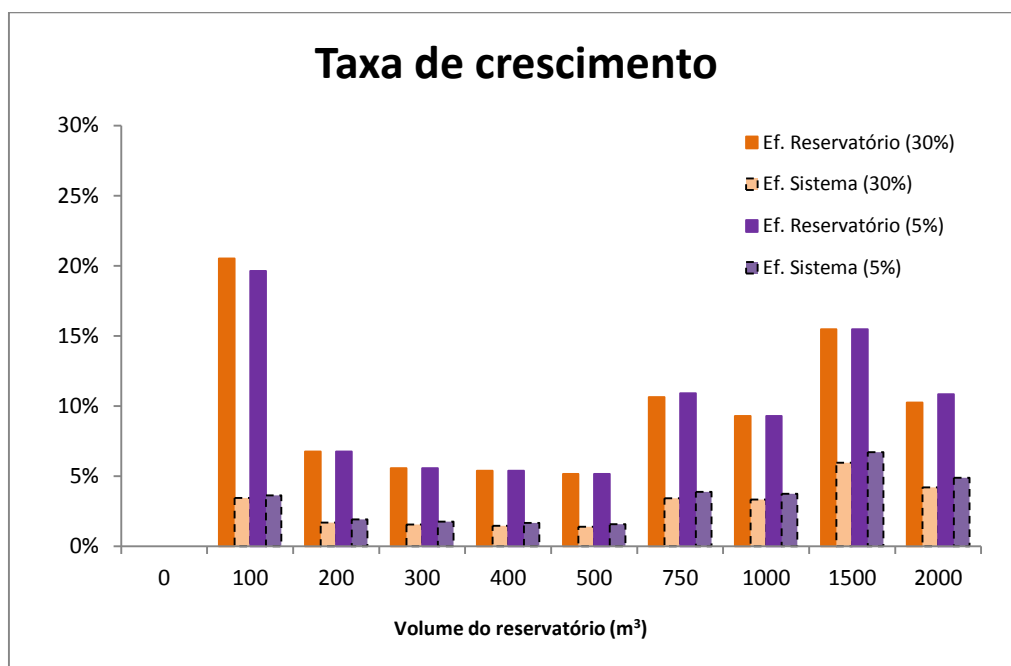


Gráfico 42 - Taxa de crescimento | Caso II

À semelhança dos casos anteriores, compararam-se os resultados do *Caso II* com os valores da série temporal para um período de funcionamento do sistema a 30 anos, no cenário de 5% de reserva mínima de água no solo.

Neste pressuposto, o Gráfico 43 indica que os valores obtidos com base no *Caso II* são sempre favoráveis, ou seja, os custos totais atualizados são sempre inferiores aqueles que foram determinados com base na série temporal. Esse diferencial atinge o valor máximo de 65.748,49 € para o reservatório de 2000 m<sup>3</sup>.

Em termos de comportamento geral ao longo deste período, o *Caso II* apresenta uma distribuição semelhante ao da série temporal. Conforme se tem verificado noutros casos, também neste estudo o reservatório de 1500 m<sup>3</sup> atinge o custo total atualizado mínimo.

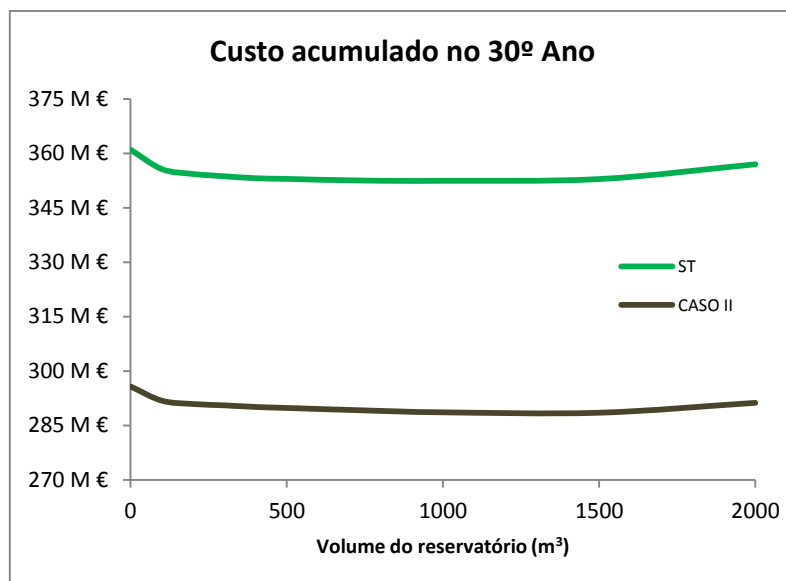


Gráfico 43 - Comparação de custos totais atualizados no 30º Ano | ST & Caso II

## CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO

Com a realização deste trabalho, conclui-se que o aproveitamento da água pluvial para rega de culturas na *Quinta de St.ª Bárbara* é uma técnica com potencial bastante significativo no aspeto económico e conseqüentemente relevante no aspeto ecológico e ambiental.

Do ponto de vista económico, verificou-se que não há linearidade dos custos totais atualizados relativamente à capacidade do reservatório. Contudo, dada a relevância destes resultados, sempre que possível, será importante obter valores realistas para os custos inerentes ao reservatório, seus acessórios e tarifas médias.

Da análise aos valores obtidos das séries temporais, tendo como pressuposto o interesse em obter retorno de investimento até 30 anos, conclui-se que o reservatório de 1500 m<sup>3</sup> de capacidade é o que apresenta a melhor posição face ao contexto global. No que diz respeito aos níveis de eficiência e taxas de crescimento, este reservatório é também o que demonstra resultados próximos do cenário ideal, reforçando assim a sua escolha. Na perspectiva a longo prazo, o reservatório de 1500 m<sup>3</sup> de capacidade revela os melhores resultados ao nível do retorno de investimento, destacando-se relativamente a outros reservatórios.

Na tentativa de simplificar o processo de cálculo, determinou-se o *ano médio* e o *ano de características médias*, com base na amostra da série temporal, que apresentam resultados significativamente diferentes entre si.

O *ano médio*, apresenta valores de custos totais atualizados significativamente inferiores aos das séries temporais, podendo assim concluir-se que deverá ser prudente a utilização deste processo no dimensionamento de um sistema de aproveitamento de águas pluviais para uso de rega de culturas. No entanto, quer a capacidade do reservatório ótimo como os níveis de eficiência são bastante próximos dos resultados obtidos através das séries temporais.

Relativamente ao *ano de características médias*, os resultados obtidos são conservadores relativamente aos obtidos com base nas séries temporais, ou seja, são significativamente superiores. Posto isto, conclui-se que o *ano de características médias* não se deverá utilizar no dimensionamento de um sistema de aproveitamento de águas pluviais para rega. Contudo, a expectativa seria obter valores bastante próximos das séries temporais.

Assim, sugere-se em futuros trabalhos, neste âmbito, a comparação dos resultados obtidos do *ano de características médias*, neste caso de estudo, com valores obtidos de sistemas instalados noutras regiões do país. Os termos comparativos poderão justificar se se trata de um caso particular desta região, ou se porventura o *ano de características médias* não se deve aplicar no dimensionamento de sistemas com este fim, apresentando comportamentos bastante distintos dos valores da série temporal.

Alargando o estudo a outros casos, baseados nos dados das séries temporais, é possível analisar o comportamento do sistema em diferentes condições.

No *Caso I*, considerou-se que a área de captação de águas pluviais correspondia a 30% da área de cultivo. Os resultados obtidos, permitem concluir que seria necessário construir reservatórios de maior capacidade para obter custos totais atualizados mais baixos para um retorno de investimento a 30 anos. Nesta situação, deverá haver o cuidado de verificar a disponibilidade de espaço no local para construir todo o sistema de armazenamento. Neste caso, o reservatório de 5000 m<sup>3</sup> de capacidade apresenta o melhor comportamento, para os vários aspetos em estudo, tanto económicos como de eficiência de funcionamento. Contudo, fazendo a comparação para o reservatório de 1500 m<sup>3</sup>, entre este caso e o caso de estudo, o fato de aumentar a área de captação de águas pluviais baixa os custos totais atualizados.

No *Caso II*, analisou-se o comportamento do sistema para uma cultura de batata, com uma altura radicular de 500 mm. Nesta situação, o comportamento geral do sistema é muito semelhante ao do caso de estudo. Porém, nesta situação é praticamente irrelevante tentar explorar ao máximo a água disponível no solo, uma vez que os níveis de eficiência são praticamente iguais comparativamente a um cenário mais conservador que possa garantir uma reserva de 30% no solo. Neste caso, os custos totais atualizados também são significativamente inferiores ao do caso de estudo. Conclui-se que, culturas com alturas radiculares superiores às do caso de estudo obtêm custos de rega inferiores.

Outro aspeto importante analisado neste trabalho é a eventual vantagem de rentabilizar a água que está disponível no solo. Para isso, foram considerados dois cenários. Um primeiro cenário que considera 30% de reserva de água no solo e um segundo cenário com apenas 5%. Em todas as hipóteses analisadas, para uma cultura de hortícola, sob o aspeto económico é de extrema relevância utilizar o máximo de água disponível no solo na zona de cultivo. Através

da análise do *Caso II*, conclui-se que as culturas com maior altura radicular reduzem a importância de utilizar a água disponível no solo em termos de eficiência.

O interesse em instalar um SAAP pode aumentar nos casos em que os valores de investimento baixem ou os custos com o fornecimento de água através da rede pública aumentem. Em Portugal, o custo de abastecimento de água pela rede pública é ainda relativamente baixo comparativamente com outros países da União Europeia, pelo que este sistema ainda é pouco utilizado.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### [1] Legislação

[1.1] Decreto-Lei n.º 23/95, de 23 de Agosto, Diário da República – I Série – B, n.º 194

[1.2] Decreto-Lei n.º 152/97 de 19 de Junho, Diário da República – I Série – A, n.º

[1.3] Decreto-Lei 198/2008 de 8 de Outubro, Diário da República – I Série, n.º 195

[1.4] Diretiva n.º 2000/60/CE (DQA,2000), de 23 de Outubro de 2000;

[1.5] Decreto-Lei n.º 86/2002, de 6 de Abril, Diário da República – I Série – A, n.º 3257

### [2] Internet

[2.1] Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

<http://snirh.pt/>, acedido em 28 de Maio de 2014

[2.2] Legislação dos aproveitamentos hidroagrícolas

<http://sir.dgadr.pt/legreg>, acedido em 2 de Junho de 2014

[2.3] Portal da Agricultura Urbana e Periurbana

<http://www.portau.org/>, acedido em 2 de Junho de 2014

[2.4] Necessidades hídricas de culturas

<http://www.dgadr.mamaot.pt/rec-hid/nec-hidricas-culturas>, acedido em 5 de Junho de 2014

[2.5] Associação Portuguesa de Recursos Hídricos

<http://www.aprh.pt/>, acedido em 28 de Maio de 2014

[2.6] Instalador de depósitos GRAF

<http://www.graf.pt/>, acedido em 13 de Julho de 2014

[2.7] Hortas Comunitárias

<http://www.plantarportugal.org/index.php/agricultura-biologica/1054-hortas-comunitarias.html>, acedido em 10 de Junho de 2014

[2.8] Números sobre o Regadio tradicional em Portugal

<http://sir.dgadr.pt/numeros>, acessido em 3 de Março de 2014

[2.9] Cultiv'Art

[https://www.facebook.com/pages/CultivArte/103783959664245?ref=stream&viewer\\_id=0](https://www.facebook.com/pages/CultivArte/103783959664245?ref=stream&viewer_id=0),  
acessido em 2 de Março de 2014

[2.10] Centro Social da Trafaria

<http://www.scma.pt/servicos/Centro-Social-da-Trafaria/13>, acessido em 2 de Março de 2014

[2.11] Gerando Verde

<http://gerandoverde.blogspot.pt/2011/05/economize-agua.html>, acessido em 2 de Março de 2014

[2.12] Depósitos de água Brás Mendonça

<http://www.bmclda.com/depositos/>, acessido em 13 de Julho de 2014

[2.13] Casa do Eirado

[http://www.casadoeirado.com/\\_pt/index.php](http://www.casadoeirado.com/_pt/index.php), acessido em 12 de Junho de 2014

[2.14] História sobre o Castelo de Lamego

<http://avillamaria.blogspot.pt/2012/12/castelos-de-portugal.html>, acessido em 6 de Agosto de 2014

[2.15] Ecologia global em Tamera

<http://www.tamera.org/pt/projetos/autonomia-ecologia/>, acessido em 24 de Agosto de 2014

### **[3] Livros e outros documentos**

[3.1] A. Ramos Pereira; J.L. Zêzere; P. Morgado (2007). *“Os Recursos Naturais em Portugal: Inventariação e Proposta de um Modelo Geográfico de Avaliação”*, Livro de Resumos, Universidade Nova de Lisboa.

[3.2] AFONSO, Armando da Silva (2010). *“Seminário Água e Sustentabilidade – Uso Eficiente da água nos sistemas prediais”*, Aveiro.

[3.3] MUELLER, Bernd Walter (2011). “ O Segredo da água – A base para um novo Mundo - Restabelecer o Ciclo Hidrológico através da Criação de Paisagens de Retenção”, Editora Meiga.

[3.4] SELBORNE, Lord (2001). “A ética do uso da água doce”, Editora PUC Minas.

[3.5] FELÍCIO, Ana Maria; CARLOS, Diana (2014). “Definição Estratégica para o Cluster da Água a Médio e Longo Prazo”, Editora UFPR.

[3.6] EDWARDS, Hannah (2011). “Os recursos hídricos do planeta estão sob pressão do crescimento rápido das demandas por água e das mudanças climáticas”, Tricontinental Editora.



# Anexo 1

---

Tabelas com atribuição dos parâmetros  $Z_r + K_c + K_s$



## Anexo 2

---

Custo dos reservatórios



## Anexo 3

---

Custo do grupo hidropressor



## Anexo 4

---

Tarifas e Taxas do SMAS Almada



## Anexo 5

---

Tarifas e Taxas da EDP



## Anexo 6

---

Planta da *Quinta de St.<sup>a</sup> Bárbara*