

UNIVERSIDADE DE ÉVORA



Mestrado Em
Engenharia dos Recursos Hídricos

“Avaliação dos Recursos Hídricos Disponíveis para Abastecimento da
Cidade de Portalegre. Albufeira da Apartadura versus Sistema de
Captação Subterrânea dos Olhos de Água”



Dissertação realizada por:
Nuno Francisco Martins Redondo Correia da Costa

Orientadora:
Prof^a Auxiliar Rita Guimarães

Évora, 2010

**"Avaliação dos Recursos Hídricos Disponíveis para Abastecimento da
Cidade de Portalegre. Albufeira da Apartadura versus Sistema de
Captação Subterrânea dos Olhos de Água"**

186047

Dissertação realizada por:
Nuno Francisco Martins Redondo Correia da Costa

Orientadora:
Prof^a Auxiliar Rita Guimarães

Resumo

O trabalho apresentado, cujo objectivo é avaliar os recursos hídricos para abastecimento da cidade de Portalegre, albufeira da Apartadura e subsistema de águas subterrâneas dos Olhos de Água, apresenta duas fases.

A primeira prende-se com a caracterização hidrológica da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura, onde se enquadra a análise biofísica, a caracterização fisiográfica, a caracterização do regime pluviométrico e a caracterização do escoamento da referida bacia.

A segunda prende-se com a simulação do comportamento da albufeira da Apartadura face às necessidades de consumo. Para isso recorreu-se à geração de séries sintéticas de escoamento, o que permitiu verificar que a albufeira da Apartadura é suficiente para o abastecimento da cidade de Portalegre, não havendo necessidade de recorrer às captações subterrâneas dos Olhos de Água.

Apresenta-se ainda a caracterização do subsistema de águas subterrâneas dos Olhos de Água e um estudo económico em termos de energia da utilização dos dois sistemas.

“Evaluation Of Available Water Supply For The City Of Portalegre. Apartadura Dam Versus Olhos de Água´s Underground Captivations.”

Abstract

The following essay, which aims to evaluate Portalegre´s city water resources, Apartadura dam and Olhos de Água underground waters subsystem, presents two different phases.

Initially, a hydrologic characterization of the drainage basin of Apartadura´s dam, containing a biophysic analysis, a physiographic characterization, followed by a characterization of the pluviometrical regime and a streamflows characterization of the studying basin.

Following, concerning a simulation of the dam´s behaviour facing the consume necessities. For that matter, were generate synthetic series of streamflows which made possible to verify on how the Apartadura dam is sufficient to supply Portalegre´s city, not leading to take advantage of the Olhos de Água´s underground captivations.

At the end, it is still presented a characterization of Olhos de Água underground captivations and an economic study in therms of energy use of the two systems.

Agradecimentos

À Eng.^a Rita Guimarães pela orientação e disponibilidade sempre demonstrada desde o início, proporcionando não só a conclusão do trabalho como a aquisição de novos conhecimentos.

Ao Eng^o. Paulo Andrade, demonstrando uma total disponibilidade sempre que necessitei do seu auxílio.

Ao Eng^o. Nuno Gracinhas por toda a ajuda, interesse, paciência e disponibilidade manifestada.

À minha família por todo o apoio ao longo da consecução deste trabalho, bem como durante toda a minha vida.

À Ana Paula que sempre me incentivou e motivou mesmo nos momentos mais complicados.

A todos os meus amigos.

Índice Geral

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

1.1 – Considerações Gerais	1
1.2 – Objectivo e Âmbito de Estudo	3
1.3 – Organização da Tese	3

CAPÍTULO II – ANÁLISE BIOFÍSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DA ALBUFEIRA DA APARTADURA

2.1 – Enquadramento Geológico	4
2.1.1 – Domínio da Serra de São Mamede	4
2.1.1.2 – Subdomínio Portalegre-Esperança	4
2.2 – Solos	4
2.3 – Ocupação do Solo	5
2.4 – Climatologia	6
2.5 – Temperatura	6

CAPÍTULO III – CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DA ALBUFEIRA DA APARTADURA

3.1 – Características Geométricas	8
3.1.1 – Considerações Gerais	8
3.1.2 – Forma	9
3.2 – Características da Rede de Drenagem	10
3.2.1 – Ordem dos Cursos de Água	10
3.2.2 – Densidade de Drenagem	10
3.3 – Características do Relevo	12
3.3.1 – Altitude Máxima, Altitude Mínima e Altitude da Nascente	12
3.3.2 – Altitude Média	12
3.3.3 – Altura Média	13
3.3.4 – Hipsometria	14
3.3.5 – Declive Médio da Bacia	15
3.3.6 – Declive Médio do Curso de Água Principal	16

3.3.7 – Características Fisiográficas da Bacia Hidrográfica da Albufeira da Apartadura	16
CAPÍTULO IV – CARACTERIZAÇÃO DO REGIME PLUVIOMÉTRICO	
4.1 - Introdução	18
4.2 – Caracterização da Precipitação da Bacia Hidrográfica da Albufeira da Apartadura	18
4.3 – Preenchimento de Falhas	18
4.4 – Verificação da Consistência dos Dados	19
4.4.1 – Médias Móveis de 10 Anos	19
4.5 – Precipitação na Bacia Hidrográfica da Albufeira da Apartadura	20
4.6 – Lei de Distribuição da Precipitação Anual Ponderada	22
4.7 – Determinação da Precipitação Anual Associada a Vários Períodos de Retorno	25
CAPÍTULO V – CARACTERIZAÇÃO DO ESCOAMENTO	
5.1 - Introdução	27
5.2 – Características Fisiográficas da Bacia Hidrográfica da Ribeira de Seda em Couto de Andreiros	29
5.3 – Caracterização da Precipitação na Bacia Hidrográfica da Ribeira de Seda em Couto de Andreiros	35
5.4 – Aplicação da Regressão Estatística escoamento/Precipitação	37
5.5 – escoamento na Bacia Hidrográfica da Apartadura	38
CAPÍTULO VI – GERAÇÃO DE SÉRIES SINTÉTICAS DE ESCOAMENTO	
6.1 – Considerações Gerais	40
6.2 – Análise dos Registos Históricos de escoamento	40
6.2.1 – Características Estatísticas	40
6.2.2 – Tendência e Outras Alterações Determinísticas	41
6.2.2.1 – Teste de Mann-Kendall	41
6.2.2.2 – Teste de Mann-Whitney	43

6.2.3 – Estrutura Correlacional	44
6.2.4 – Geração de Escoamentos Anuais	46
6.2.4.1 – Método Baseado na Distribuição Log-Normal a Dois Parâmetros Combinada com a Transformação de Wilson-Hilferty	46
6.2.4.2 – Avaliação das Séries Geradas	48

CAPÍTULO VII – SIMULAÇÃO DA EXPLORAÇÃO DA ALBUFEIRA DA APARTADURA

7.1 – Considerações Gerais	50
7.2 – Caracterização da Albufeira da Apartadura	51
7.3 – Cálculo da Probabilidade de Falha e da Garantia Anual	53
7.4 – Cálculo da Probabilidade de Falha e da Garantia Anual Recorrendo às Séries Sintéticas de Escoamento	56

CAPÍTULO VIII – SISTEMA DE CAPTAÇÃO SUBTERRÂNEA DOS OLHOS DE ÁGUA

8.1 – Considerações Gerais	60
8.2 – Hidrogeologia da Formação	60
8.3 – Formação Carbonatada e o Rio Sever	61
8.4 – Entradas de Água no Sistema	62
8.5 – Precauções	62
8.6 – Sistema dos Olhos de Água	63
8.6.1 – Considerações Gerais	63
8.6.2 – Constituição do Sistema	63
8.6.2.1 – Sistema de Monte Sete	65
8.6.3 – Captação	65
8.6.4 – Quantidade	65
8.6.5 – Qualidade	66

CAPÍTULO IX – ESTUDO ECONÓMICO

9.1 – Considerações Gerais	67
9.2 – Estudo Económica da Exploração da Albufeira da Apartadura	67
9.3 – Estação Elevatória	67
9.4 – Custos de Energia	69
9.5 – Estudo Económico da Exploração do Furo dos Olhos de Água	70
9.6 – Conclusão	72

X – CONCLUSÃO	73
----------------------	----

BIBLIOGRAFIA	76
---------------------	----

ANEXOS	79
---------------	----

Índice Anexos

Anexo IV.1 – Preenchimento de Falhas	80
Anexo IV.2 – Médias Móveis de 10 Anos	82
Anexo V.1 – Escoamento na Bacia Hidrográfica da Apartadura	83
Anexo VI.1 – Séries Sintéticas de Escoamento	84
Anexo VII.1 – Cálculo do Consumo	87
Anexo VII.2 – Cálculo dos Diagramas de Comportamento do Reservatório	89

Índice de Figuras

Figura 1.1 – Localização da Albufeira da Apartadura no país.	2
Figura 1.2 – Localização da Albufeira da Apartadura na região.	2
Figura 2.1 – Carta de solos da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura	5
Figura 2.2 – Carta de ocupação de solos da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura	6
Figura 2.3 – Representação gráfica da temperatura máxima, mínima e média mensal da bacia do Tejo	7
Figura 3.1 – Bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura com curvas de nível	8
Figura 3.2 – Rede de drenagem da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura segundo Horton-Strahler	11
Figura 3.3 – Bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura com curvas de nível e hidrografia	13
Figura 3.4 – Hipsometria da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura	14
Figura 3.5 – Carta de declives da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura	16
Figura 4.1 – Médias móveis de ordem 10 para as séries de precipitação em análise	20
Figura 4.2 – Método de Thiessen	21
Figura 4.3 – Função de densidade de probabilidade da distribuição normal	24
Figura 4.4 – Ajustamento da lei normal	25
Figura 5.1 – Bacia hidrográfica da ribeira de Seda em Couto de Andreiros e bacia da albufeira da Apartadura	28
Figura 5.2 – Bacia hidrográfica da ribeira de Seda em Couto de Andreiros com curvas de nível	29
Figura 5.3 – Rede de drenagem da bacia hidrográfica da ribeira de Seda em Couto de Andreiros	30
Figura 5.4 – Bacia hidrográfica da ribeira de Seda em Couto de Andreiros com curvas de nível e hidrografia	31
Figura 5.5 – Hipsometria da bacia hidrográfica da ribeira de Seda em Couto de Andreiros	32
Figura 5.6 – Carta de declives da bacia hidrográfica da ribeira de Seda em Couto de Andreiros	33
Figura 5.7 – Método de Thiessen	35

Figura 5.8 – Recta de regressão precipitação-escoamento	38
Figura 6.1 – Correlograma r_k da série de escoamentos anuais na bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura para o período de 1946 a 1998	46
Figura 7.1 – Barragem da Apartadura	52
Figura 7.2 – Perfil longitudinal pelo eixo da barragem da Apartadura	53
Figura 7.3 – Secção transversal da barragem da Apartadura	53
Figura 7.4 – Diagrama de comportamento do reservatório com $z_t=C$	55
Figura 7.5 – Diagrama de comportamento do reservatório com $z_t=C/2$	55
Figura 7.6 – Diagrama de comportamento do reservatório com $z_t=0$	56
Figura 7.7 – Probabilidade de falha na condição de reservatório cheio	57
Figura 7.8 – Garantia anual na condição de reservatório Cheio	57
Figura 7.9 – Probabilidade de falha na condição de reservatório com metade do volume útil	57
Figura 7.10 – Garantia anual na condição de reservatório com metade do volume útil	58
Figura 7.11 – Probabilidade de falha na condição de reservatório vazio	58
Figura 7.12 – Garantia anual na condição de reservatório vazio	58
Figura 8.1 – Formação carbonatada da Escusa	61
Figura 8.2 – Hidrografia na formação carbonatada da Escusa	62
Figura 8.3 – Localização do sistema dos Olhos de Água	64
Figura 8.4 – Constituição do sistema dos Olhos de Água	64
Figura 9.1 – Horas de bombagem diária por mês	70
Figura 9.2 – Custo energético da exploração da albufeira	70

Índice de Quadros

Quadro 2.1 – Distribuição mensal da temperatura máxima, mínima e média na bacia do Tejo	7
Quadro3.1 – Dados topográficos da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura	8
Quadro 3.2 – Índices de forma da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura	10
Quadro 3.3 – Densidade de drenagem da Bacia Hidrográfica da Albufeira da Apartadura	11
Quadro 3.4 – Altitude máxima, altitude mínima e altitude da nascente	12
Quadro 3.5 – Altitude e altura média da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura	14
Quadro 3.6 – Declive médio da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura	15
Quadro 3.7 – Declive médio da ribeira de Reveladas até ao paredão da barragem da Apartadura	16
Quadro 3.8 – Características fisiográficas da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura	16
Quadro 4.1 - Postos udométricos utilizados no estudo da precipitação	18
Quadro 4.2 Precipitação sobre a bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura	22
Quadro 4.3 – Precipitação associada ao período de retorno segundo a probabilidade de não excedência	26
Quadro 5.1 – Estação hidrométrica utilizada na determinação do escoamento anual	27
Quadro5.2 – Dados Topográficos da bacia hidrográfica da ribeira de Seda em Couto de Andreiros	29
Quadro 5.3 – Índices de forma da bacia hidrográfica da ribeira de Seda em Couto de Andreiros	29
Quadro 5.4 – Densidade de drenagem da bacia hidrográfica da ribeira de Seda em Couto de Andreiros	30
Quadro5.5 – Altitude máxima, altitude mínima e altitude da nascente	31
Quadro 5.6 – Altitude e altura média da bacia da ribeira de Seda em Couto de Andreiros	31

Quadro 5.7 – Declive médio da bacia hidrográfica da ribeira de Seda em Couto de Andreiros	33
Quadro 5.8 – Declive médio da Ribeira de Seda até Couto de Andreiros	33
Quadro 5.9 – Características fisiográficas das bacias hidrográfica da ribeira de Seda em Couto de Andreiros e da albufeira da Apartadura	34
Quadro 5.10 – Postos udométricos utilizados na construção dos polígonos de Thiessen	35
Quadro 5.11 – Coeficientes de Thiessen	36
Quadro 5.12 – Precipitação ponderada da bacia hidrográfica da ribeira de Seda em Couto de Andreiros	36
Quadro 5.13 – Valores de escoamento e precipitação utilizados no cálculo da regressão	37
Quadro 5.14 – Parâmetros a e b obtidos através da regressão precipitação-escoamento	38
Quadro 5.14 – Escoamento anual na bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura	39
Quadro 6.1 – Parâmetros estatísticos da série de escoamentos anuais da bacia hidrográfica	41
Quadro 6.2 – Valores de k , r_k , e limites de confiança, superior e inferior, utilizados na construção do correlograma	45
Quadro 6.3 – Comparação das estatísticas históricas dos escoamentos anuais na bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura e de 1200 séries geradas	49
Quadro 7.1 - Características da albufeira da Apartadura	51
Quadro 7.2 – Valores da probabilidade de falha e garantia anual nas três condições iniciais	54
Quadro 8.1 – Caudal extraído dos furos do Sistema	65
Quadro 9.1 – Perda de carga contínua e potência da bomba	68
Quadro 9.2 – Custos relativos ao ano de 2009	69
Quadro 9.3 – Perdas de carga contínua e potência da bomba, até à câmara de regularização	71
Quadro 9.4 – Perdas de carga contínua e potência da bomba, até ao reservatório dos Enxames	71

Quadro 9.5 – Custos relativos ao ano de 2009, até à câmara de regularização 72

Quadro 9.6 – Custos relativos ao ano de 2009, até ao reservatório dos Enxames 72

I - Introdução

1.1 – Considerações Gerais

A albufeira da Apartadura é a principal fonte de abastecimento público na zona de Marvão e Portalegre. Localizada no distrito de Portalegre, no concelho de Marvão, na freguesia de S. Salvador da Aramenha, pertence à bacia hidrográfica do Tejo e situa-se na ribeira de Reveladas (Figura. 1.1 e 1.2).

A albufeira da Apartadura abastece entre outras, as freguesias da Sé, S. Lourenço, Urra, Rib^a de Nisa, Fortios, Alagoa e ainda as indústrias de Portalegre (freguesias em estudo).

O nível de pleno armazenamento da albufeira da Apartadura encontra-se na cota 595,0 m, para o qual tem um volume útil aproximadamente igual a 7 hm³.

O subsistema da Apartadura pode ser complementado pelos furos de Olhos de Água, localizados na formatação carbonatada da Escusa, no concelho de Marvão, no entanto, devido à relação disponibilidade vs procura água, que se tem verificado nos últimos anos, não tem havido necessidade de utilizar este último recurso.

Para a simulação do comportamento de uma albufeira pode recorrer-se à geração de séries sintéticas de valores de escoamento o que permite avaliar se o armazenamento de água é suficiente para satisfazer a procura que possa existir.

As séries sintéticas de escoamento não são valores reais, nem previsões de valores futuros. São sequências de valores com propriedades estatísticas idênticas aos dados observados e com igual probabilidade de ocorrência no futuro, pelo que podem ser utilizadas como alternativa à série histórica, para a simulação do comportamento de uma albufeira. Permitem portanto, obter vários cenários possíveis, como auxílio à tomada de decisão.

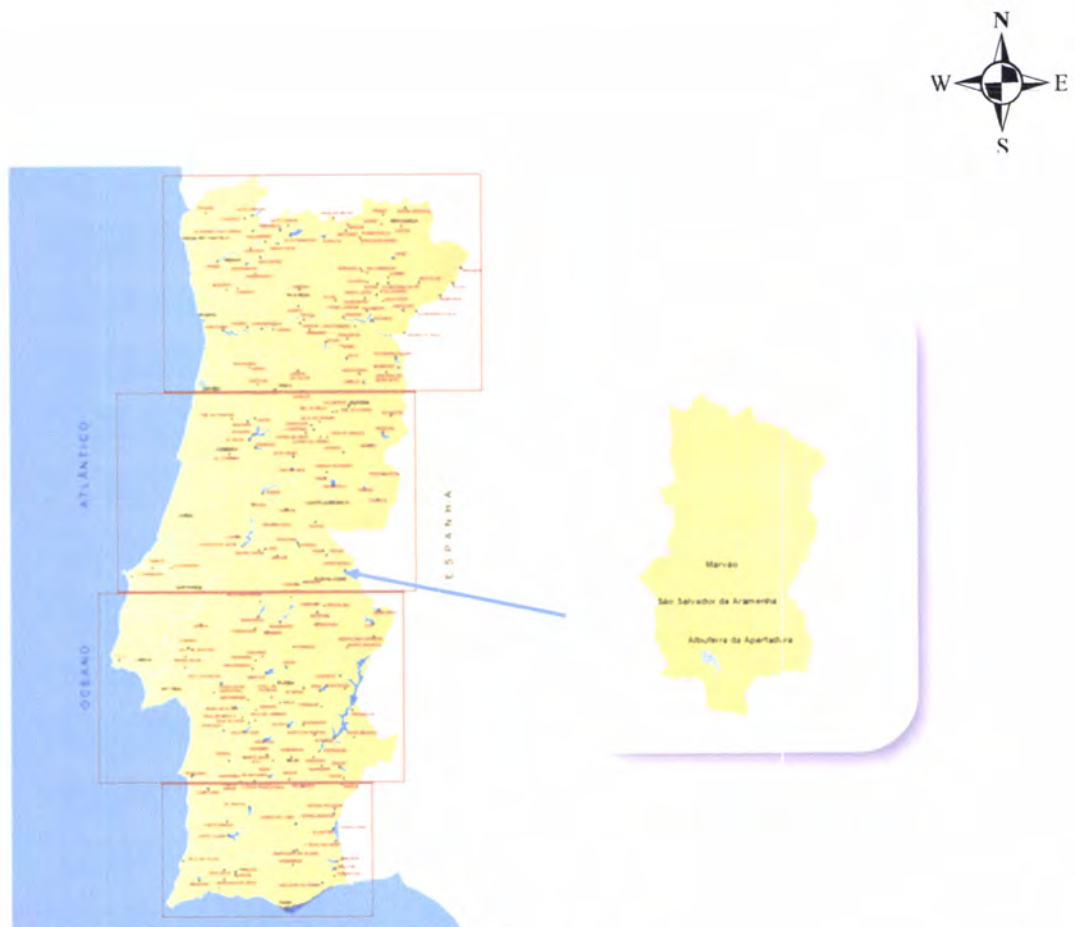


Figura 1.1 – Localização da Albufeira da Apartadura no país.

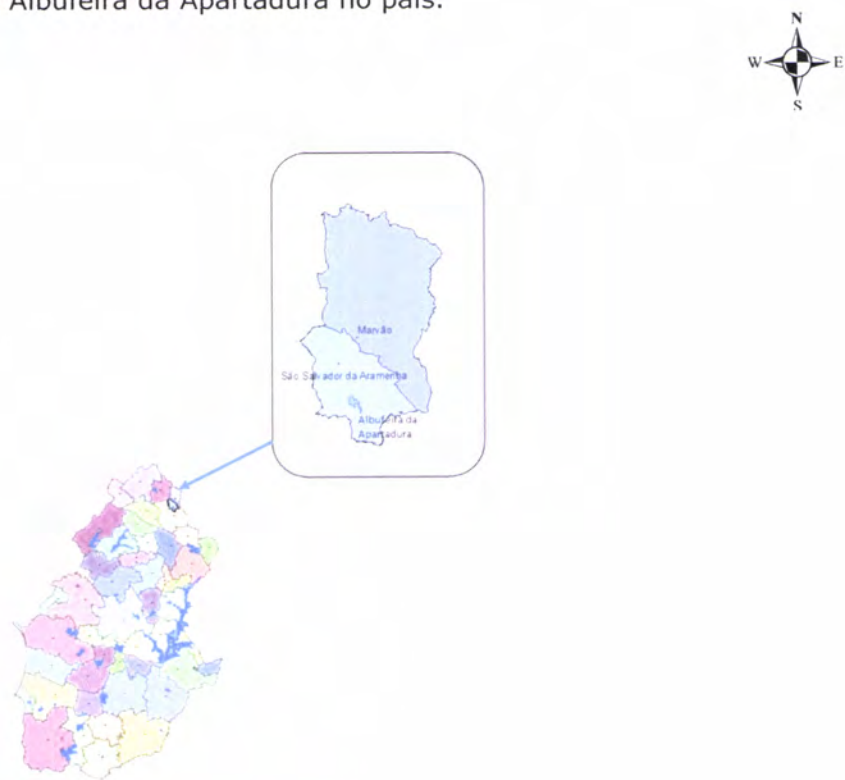


Figura 1.2 – Localização da Albufeira da Apartadura na região.

1.2 – Objectivos e Âmbito de Estudo

O estudo foi realizado no âmbito de uma proposta efectuada pela empresa Águas do Norte Alentejano, com o objectivo de verificar se a albufeira da Apartadura é suficiente para satisfazer a procura de água existente na região que abastece, ou se é necessária a complementação por parte dos furos de Olhos de Água. Para tal foi efectuada um estudo da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura, com o objectivo de avaliar as suas disponibilidades hídricas. Estudou-se o comportamento da albufeira face ao consumo, partindo de três situações diferentes (albufeira cheia, albufeira com metade do volume útil e albufeira vazia), de maneira a saber qual a resposta dada pela albufeira às necessidades de populações e indústrias.

No final foi efectuada uma comparação em termos de custo energéticos da exploração da albufeira da Apartadura e da exploração dos furos dos Olhos de Água.

1.3 – Organização da Tese

O trabalho encontra-se dividido em dez capítulos. No primeiro é feita uma breve introdução ao tema estudado, bem como aos objectivos a atingir.

No segundo capítulo é efectuada uma análise biofísica da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura.

O terceiro capítulo é dedicado à caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura.

No quarto capítulo apresenta-se a caracterização do regime pluviométrico da bacia.

O capítulo número cinco é dedicado à caracterização do escoamento da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura, onde se estuda uma bacia de comparação (ribeira de Seda em Couto de Andreiros) que permite obter o escoamento na bacia em estudo.

No capítulo número seis efectua-se a geração de séries sintéticas de escoamento.

No sétimo capítulo é realizada a simulação da exploração da albufeira através das séries sintéticas de escoamento.

O oitavo capítulo é dedicado à caracterização do sistema de furos dos Olhos de Água.

No nono capítulo é efectuada um estudo económico da utilização da albufeira e da utilização dos furos dos Olhos de Água.

E por fim no décimo capítulo são apresentadas as conclusões possíveis de obter pelo estudo efectuada.

II – Análise Biofísica da Bacia Hidrográfica da Albufeira da Apartadura

2.1 – Enquadramento Geológico do Alentejo

Em termos morfoestruturais, a região Alentejo situa-se, na maior parte da sua extensão, no Maciço Ibérico, integrando ainda, formações da Orla Ocidental.

O Maciço Ibérico representa o segmento mais contínuo do soco varisco europeu e corresponde a um domínio varisco onde não se verificaram reactivações importantes durante os eventos tectonometamórficos alpinos (ERHSA, 2001).

2.1.1 – Domínio da Serra de São Mamede

O sinclínório de Portalegre, localizado na Serra de São Mamede, representa o sector português de uma importante estrutura varisca de direcção WNW-ESE. É limitado a Norte pelo Batólito tardi-varisco de Nisa – Castelo de Vide e a Sul pela zona de cisalhamento Tomar – Badajoz – Córdoba. É constituído por formações de Proterózoico Superior e do Pleozóico Inferior distribuídos por dois subdomínios (ERSHA, 2001):

- Subdomínio de Alegrete – Castelo de Vide – Marvão (Proterózoico superior, Ordovícico inferior e Devónico médio);
- Subdomínio de Portalegre – Esperança (proterozóico superior, Ordovícico inferior a médio e rochas Intrusivas).

2.1.1.2 – Subdomínio Portalegre – Esperança

Formado por, quartzitos do Ordovícico inferior, rochas porfiróides, xistos pelíticos com intercalações grauvacóides, conglomerados e arcoses (Fortios, Castelo de Vide).

2.2 – Solos

Na serra de São Mamede os tipos de solo podem agrupar-se em três grupos:

- Na parte norte predominam os litossolos – solos derivados de rochas consolidadas que se encontram em áreas de grande erosão e são caracterizados por serem muito simples e de fraca aptidão agrícola.
- Na região central os solos presentes são os solos litólicos não húmicos, de granitos associados a afloramentos rochosos – solos relativamente pobres ou degradados que

apresentam potencialidades para sistemas pratenses de sequeiro, em declives mais suaves. Em declives mais acentuados adaptam-se à silvicultura.

- No maciço serrano predominam os solos litólicos não húmicos de quartzitos associados a solos mediterrâneos pardos de xistos ou grauvaques – os solos mediterrâneos pardos são solos formados a partir de rochas não calcárias, que apresentam aptidão para práticas agronómicas.

- Nas zonas com cotas superiores aos 850 m encontram-se principalmente solos litólicos húmicos de quartzitos, xistos e grauvaques.

Na Figura 2.1 apresenta-se a carta de solos da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura.



Figura 2.1 - Carta de solos da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura

2.3 – Ocupação do Solo

Em relação à ocupação dos solos da bacia, pode dizer-se que predominam os sistemas agro-florestais, com destaque para as culturas arvenses em regime de sequeiro, que são exploradas em forma de montado de sobre e/ou azinho, montado de carvalho em menor extensão e áreas de pinhal e eucalipto.

No maciço central há um predomínio de áreas de olival, souto e cerejeira. Os solos aráveis ocupam área reduzida.

Em seguida apresenta-se a carta de ocupação de solo (Figura 2.2).



Figura 2.2 - Carta de ocupação de solos da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura

2.4 – Climatologia

O clima modela as vertentes, determina o comportamento dos rios e exerce influência sobre o padrão de ocupação do solo, factores que influenciam a quantidade e variabilidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

A Serra de São Mamede é uma região onde o traço geográfico é a penepalanície. Segundo Ferreira (1950) in ERSHA, (2001), o clima do concelho de Portalegre é temperado com o Verão seco, e chuva abundante no Inverno. O vento seco e quente que sopra por vezes na Primavera e Verão tem predominantemente a direcção sudoeste.

2.5 – Temperatura

A distribuição da temperatura anual média evolui, aumentando de Norte para Sul e de Oeste para Este. A proximidade do Oceano Atlântico, conjuntamente com a orografia é responsável por uma redução da temperatura anual média.

No Quadro 2.1 e na Figura 2.3 mostra-se a distribuição mensal da temperatura máxima, mínima e média na bacia do Tejo. Pela sua análise pode verificar-se que os valores de temperatura média do dia, variam com regularidade ao longo do ano, situando-se entre os 9º C nos meses de Dezembro e Janeiro e os 21,5º C nos meses de Julho e Agosto. O valor máximo absoluto ocorre nos meses de Julho e Agosto, situando-se nos 28ºC, e o

valor mínimo absoluto situa-se nos meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro situando-se nos 5°C.

Quadro 2.1 – Distribuição mensal da temperatura máxima, mínima e média na bacia do Tejo (www.inag.pt)

Temp (°C)	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Média Anual
Min	11.0	7.0	5.0	5.0	5.0	6.0	8.0	10.0	13.0	15.0	15.0	14.0	10.0
Max	21.0	16.0	13.0	13.0	14.0	16.0	18.0	21.0	25.0	28.0	28.0	26.0	20.0
Méd	16.0	11.5	9.0	9.0	9.5	11.0	13.0	15.5	19.0	21.5	21.5	20.0	15.0

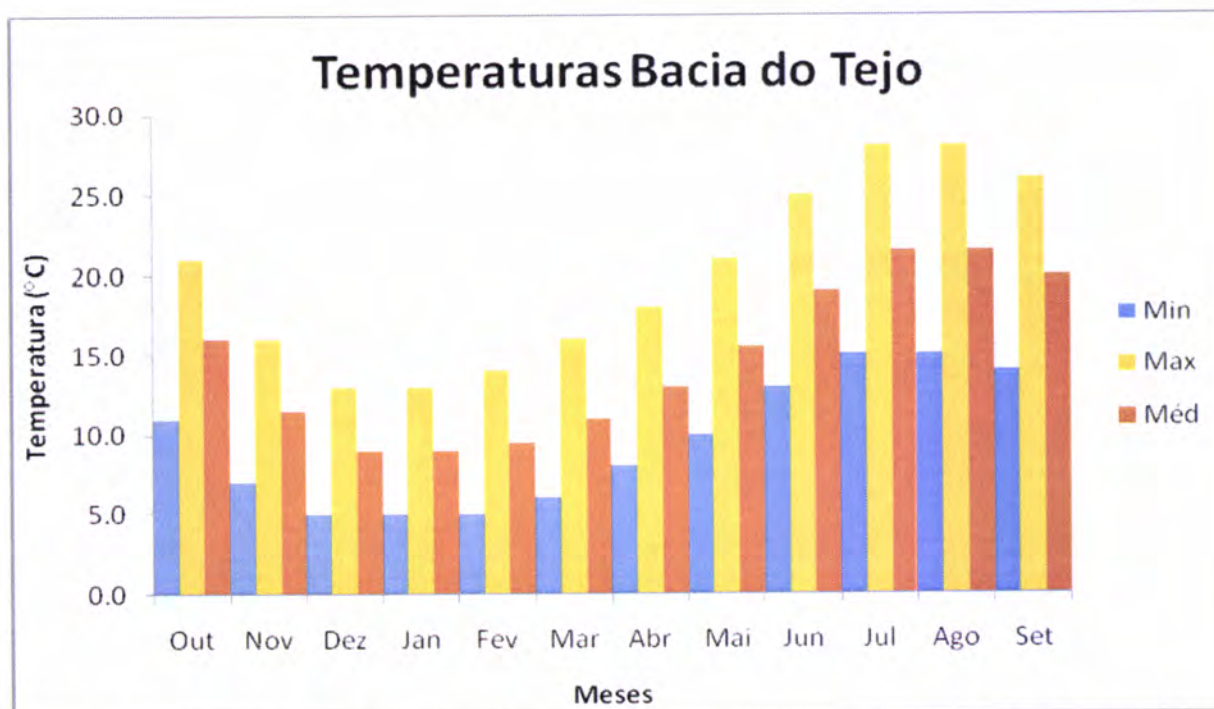


Figura. 2.3 – Representação gráfica da temperatura máxima, mínima e média mensal da bacia do Tejo

III – Caracterização Fisiográfica da Bacia Hidrográfica da Albufeira da Apartadura

3.1 – Características Geométricas

3.1.1 – Considerações Gerais

No Quadro 3.1 apresentam-se os valores de área, perímetro e comprimento do curso de água principal da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura e na Figura 3.1 apresenta-se a bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura Saliente-se que o curso de água principal é a ribeira de Reveladas e a secção de referência da bacia é no paredão da barragem da Apartadura.

Quadro 3.1 – Dados topográficos da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura

Área de drenagem (km ²)	Perímetro (km)	Comprimento Curso de Água Principal (km)
8,53	13,99	5,50

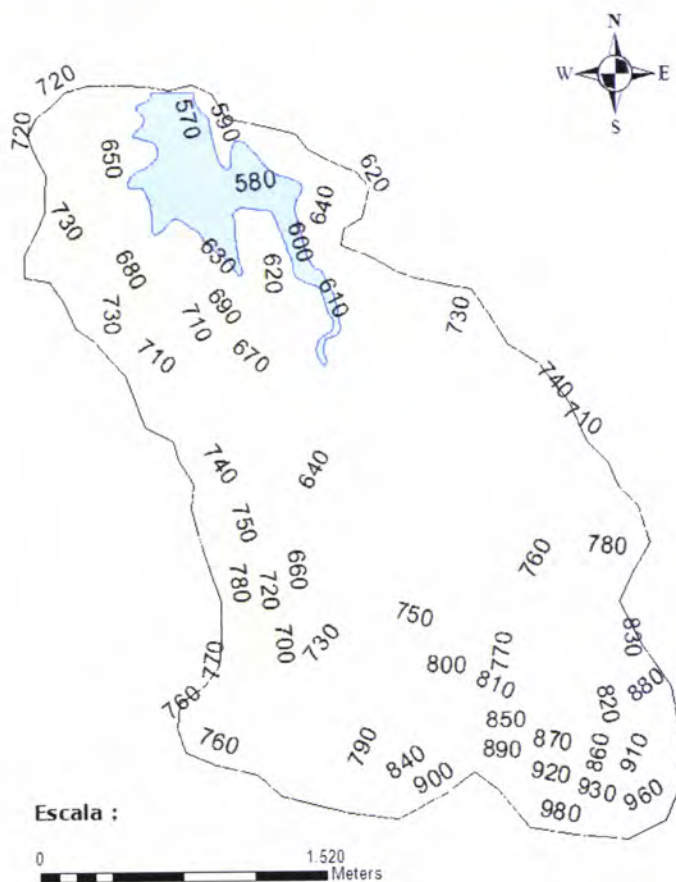


Figura 3.1 – Bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura com curvas de nível

3.1.2 – Forma

Na caracterização da forma da bacia para além duma descrição qualitativa, feita por observação visual, pode recorrer-se a alguns parâmetros de descrição quantitativa, que fornecem informação acerca da maior ou menor tendência para cheias da bacia em estudo.

Pelo desenho da bacia, apresentada na Figura 3.1, pode verificar-se que a bacia tem uma forma relativamente alongada.

Para a descrição quantitativa da forma da bacia calcularam-se os seguintes parâmetros, que relacionam a forma da bacia com formas geométricas conhecidas.

i) Coeficiente de Compacidade:

Relaciona a forma da bacia com um círculo e define-se como a relação que existe entre o perímetro da bacia (P) e o perímetro de um círculo de área (A) igual à da bacia. Expressa-se por,

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad , \quad (3.1)$$

K_c – Coeficiente de compacidade

P – Perímetro da bacia hidrográfica (km)

A – Área da bacia hidrográfica (km²)

Este coeficiente, no mínimo será igual à unidade o que corresponde a uma bacia circular. A bacia terá maior tendência para ocorrência de cheias quanto mais perto da unidade estiver este valor.

ii) Factor de Forma:

Relaciona a forma da bacia com um rectângulo e define-se como a relação que existe entre a largura média da bacia (l) e o comprimento da bacia (L). É calculado por,

$$K_f = \frac{l}{L} \quad . \quad (3.2)$$

Sabendo que, $A = L \times l$, pode escrever-se a expressão do factor de forma como,

$$K_f = \frac{A}{L^2}, \quad (3.3)$$

K_f – Factor de Forma

L – Comprimento do curso de água principal (km)

A - Área da bacia hidrográfica (km²)

Constitui um índice de maior ou menor tendência para ocorrência de cheias. Uma bacia com um factor de forma baixo tem menor tendência para a ocorrência de cheias do que outra com um factor de forma alto.

No Quadro 3.2 apresentam-se os valores calculados, destes dois índices, para a bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura.

Quadro 3.2 – Índices de forma da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura

Coeficiente de Compacidade	Factor de Forma
1,34	0,28

Pode concluir-se que a bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura apresenta uma forma alongada, não apresentando tendência para a ocorrência de cheias. Isto vem confirmar a análise visual feita anteriormente.

3.2 – Características da Rede de Drenagem

3.2.1- Ordem dos Cursos de Água

Para a classificação dos cursos de água utilizou-se a classificação de Horton-Strahler. É uma classificação que reflecte o grau de ramificação existente na bacia e é realizada do seguinte modo. São considerados de primeira ordem as linhas de água iniciais, que não tenham afluentes. Quando duas linhas de água de primeira ordem se unem, é formada uma de segunda ordem. A junção de duas de segunda ordem dá lugar à formação de uma de terceira ordem e assim sucessivamente. Assim dois rios de ordem n dão lugar a um rio de ordem $n+1$. (Lencastre e Franco, 1992)

Seguidamente apresenta-se a rede de drenagem da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura bem como a ordem dos cursos de água (Figura 3.2).

3.2.2 – Densidade de Drenagem

A densidade de drenagem exprime a relação entre o comprimento total dos cursos de água (L_t) e a área total da bacia (A).

$$D_d = \frac{L_t}{A}, \quad (3.4)$$

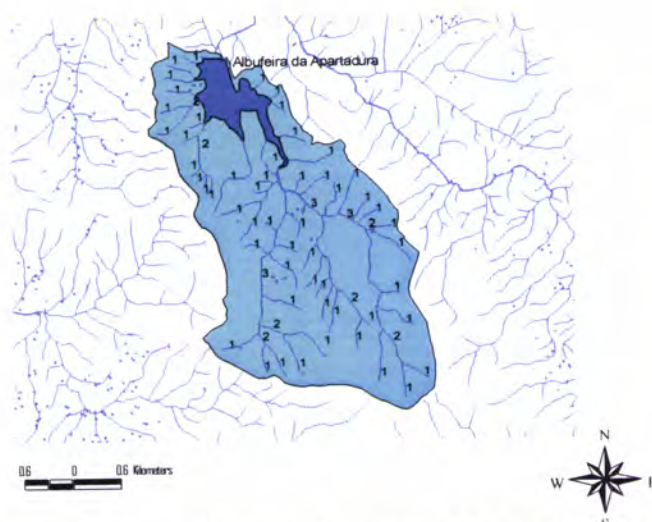


Figura. 3.2 – Rede de drenagem da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura, e ordem segundo Horton-Strahler

A densidade de drenagem varia directamente com a extensão de escoamento superficial e fornece, uma indicação da eficiência da drenagem natural da bacia.

No Quadro 3.3 apresenta-se o cálculo deste índice.

Quadro 3.3 – Densidade de drenagem da Bacia Hidrográfica da Albufeira da Apartadura

D_d (km/km ²)	L_t (km)	A (km ²)
4,10	35,30	8,53

O valor deste índice depende, naturalmente, da escala da carta sobre a qual é medida. Na escala utilizada (1: 25.000), considera-se que este valor corresponde a uma bacia medianamente drenada, o que traduz a fraca tendência para cheias apresentada pela bacia.

3.3 – Características do Relevo

3.3.1 – Altitude Máxima, Altitude Mínima e Altitude da Nascente

A altitude máxima corresponde ao ponto mais alto na bacia hidrográfica; a altitude mínima corresponde à altitude da secção de referência que neste caso se encontra no paredão da barragem da albufeira da Apartadura e a altitude da nascente corresponde à cota a que se encontra a nascente da ribeira de Reveladas. Os valores destas altitudes para a bacia em estudo foram determinados a partir da cartografia existente e encontram-se no Quadro 3.4.

Na Figura 3.3 apresenta-se um mapa com as curvas de nível que atravessam a bacia bem como a sua rede hidrográfica.

Quadro 3.4 – Altitude máxima, altitude mínima e altitude da nascente

Altitude máxima (m)	Altitude mínima (m)	Altitude da nascente (m)
1027,00	571,00	993,50

3.3.2 – Altitude Média

A altitude média da bacia refere-se a cotas acima do nível médio do mar, Z (altitudes), é dada por:

$$\bar{Z} = \sum \frac{\bar{Z}_i A_i}{A} , \quad (3.5)$$

\bar{Z} – Altitude média da bacia (m)

Z_i – Altitude média entre duas curvas de nível consecutivas (m)

A_i – Área entre duas curvas de nível consecutivas (km²)

A – Área total da bacia (km²)

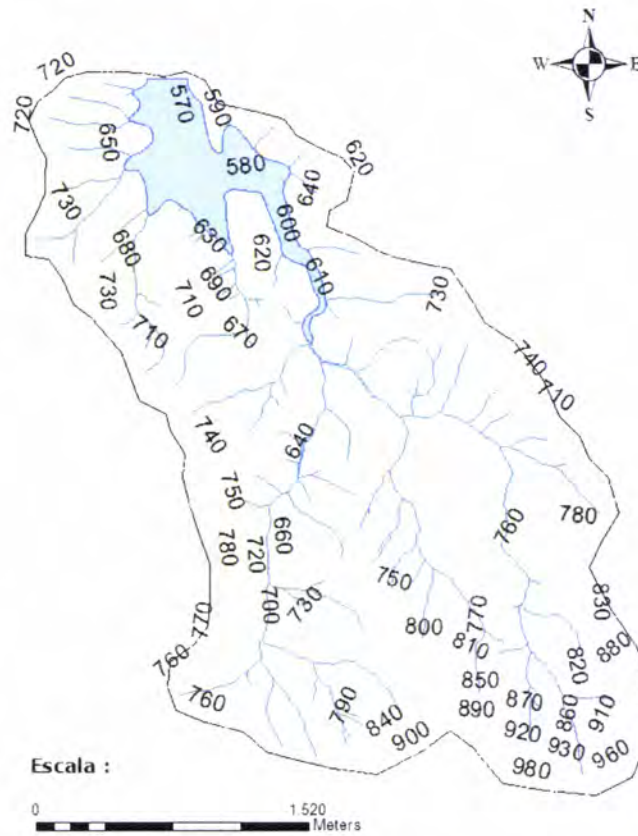


Figura 3.3 – Bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura com curvas de nível e hidrografia

A altitude média da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura foi calculada recorrendo ao programa ARCVIEW 3.2 donde se obteve um valor de 719,00 m.

3.3.3 – Altura Média

A altura média é definida de modo semelhante à altitude média, mas em vez de se referir a cotas acima do nível médio das águas do mar, refere-se a cotas acima da secção de referência e é dada por:

$$\bar{H} = \bar{Z} - Z_{\min}, \quad (3.6)$$

\bar{H} - Altura média (m)

\bar{Z} - Altitude média (m)

Z_{\min} - Altitude mínima (m)

No Quadro 3.5 apresentam-se os valores de altitude e altura média para a bacia em estudo.

Quadro 3.5 – Altitude e altura média da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura

Altitude (m)	Altura média (m)
719,00	148,00

3.3.4 – Hipsometria

A hipsometria representa a distribuição das altitudes na bacia hidrográfica. Na Figura 3.4 apresenta-se a carta de hipsometria da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura elaborada com o programa ARCGIS 9.2.

Como se pode verificar pela figura apresentada, as maiores cotas da bacia situam-se a sudeste e vão amenizando à medida que nos aproximamos da albufeira, que se encontra num vale.

A hipsometria da bacia varia entre os 571 e os 1027m.

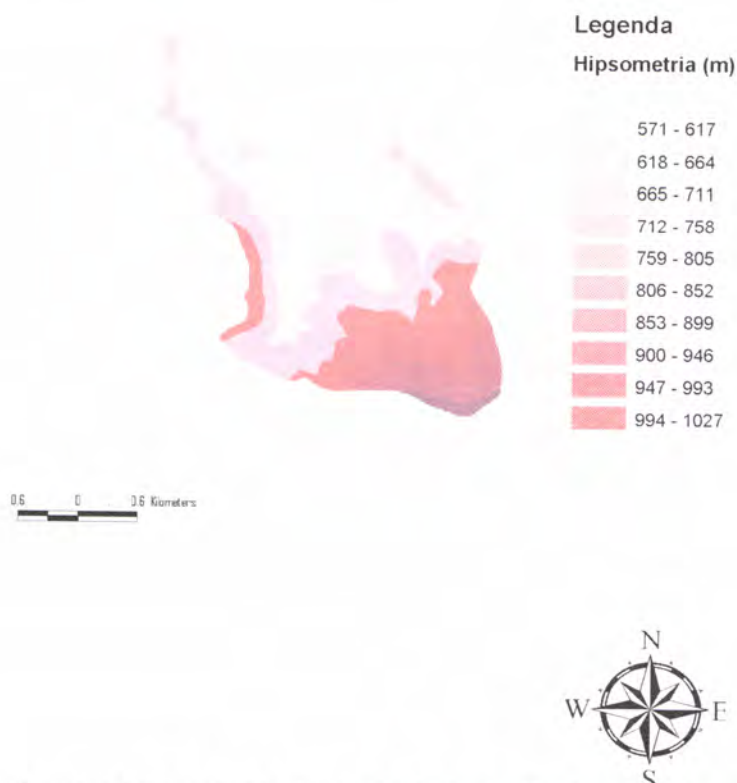


Figura 3.4 – Hipsometria da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura

3.3.5 – Declive Médio da Bacia

O declive médio foi calculado através do programa ARCGIS 9.2. Em seguida apresenta-se a carta de declives da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura (Figura 3.5).

Como se pode constatar através da figura, a bacia é bastante declivosa apresentando maiores declives na zona sudeste e na zona este da albufeira.

Os declives variam entre 0 e 50 % sendo o declive médio de 12,13%, tal como se mostra no Quadro 3.6.

Quadro 3.6 – Declive médio da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura

Declive médio da bacia hidrográfica da Albufeira da Apartadura (%)

12,13

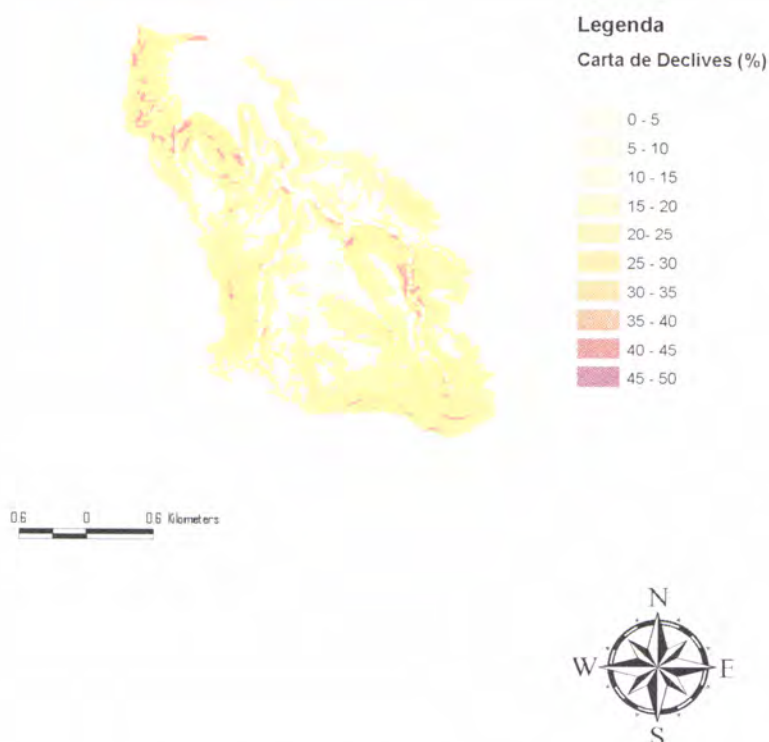


Figura 3.5 – Carta de declives da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura

3.3.6 – Declive Médio do Curso de Água Principal

O declive médio do curso de água, exprime-se pela relação que existe entre a diferença de altitudes entre o ponto mais elevado e o ponto mais baixo do curso de água principal e o comprimento da bacia. É dado por,

$$D_m = \frac{Z_{nas} - Z_{min}}{1000 \times L} , \quad (3.7)$$

D_m – Declive médio (%)

Z_{nas} –Altitude da nascente (m)

Z_{min} –Altitude mínima (m)

L – Comprimento da linha de água principal (km)

Como se referiu anteriormente o curso de água principal é a ribeira de Reveladas até ao paredão da barragem da Apartadura, pelo que se calculou o declive médio apenas para este troço do curso de água. No Quadro 3.7 apresenta-se o valor do declive médio do curso de água.

Quadro 3.7 – Declive médio da ribeira de Reveladas até ao paredão da barragem da Apartadura

Declive médio do curso de água principal (%)
7,68

3.3.7 – Características Fisiográficas da Bacia Hidrográfica da Albufeira da Apartadura

No Quadro 3.8 apresenta-se uma síntese de todas as características fisiográficas calculadas nos pontos anteriores.

Quadro 3.8 – Características fisiográficas da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura

Área da bacia hidrográfica, A (km²)	8,53
Perímetro da bacia hidrográfica, P (km)	13,99
Comprimento do curso de água principal, L (km)	5,50

Quadro 3.8 – Características fisiográficas da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura (Continuação)

Comprimento total das linhas de água, L_t (km)	35,30
Coefficiente de compacidade, k_c (-)	1,34
Factor de forma, k_f (-)	0,28
Densidade de drenagem, D_d (km/km²)	4,10
Altitude máxima, Z_{max} (m)	1027,00
Altitude mínima, Z_{min} (m)	571,00
Altitude média, \bar{Z} (m)	719,00
Altura média, \bar{H} (m)	148,00
Altitude da nascente, Z_{nas} (m)	993,50
Declive médio da bacia, I_m (%)	12,13
Declive médio do curso de água principal, D_m (%)	7,68

IV – Caracterização do Regime Pluviométrico Anual

4.1 – Introdução

No presente capítulo vai proceder-se ao estudo da precipitação sobre a bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura. Para tal seleccionaram-se os postos udométricos nas proximidades da bacia e que apresentassem séries de dados suficientemente longas, para permitir a análise estatística efectuada no capítulo 4.6.

4.2 – Caracterização da Precipitação na Bacia Hidrográfica da Albufeira da Apartadura

Para estimar a precipitação anual da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura utilizaram-se as estações udométricas apresentadas no Quadro 4.1, que são as estações mais próximas da bacia em estudo.

Quadro 4.1 - Postos udométricos utilizados no estudo da precipitação

Designação	Código	Latitude(°N)	Longitude(°W)	Altitude(m)	Bacia	Período de observação
Arronches	19N/01UG	39,12	7,28	257	Guadiana	1/10/1931 1/10/2003
Castelo de Vide	17M/01G	39,41	7,45	552	Tejo	1/10/1932 1/10/2004
Vale do Peso	17L/02UG	39,35	7,65	285	Tejo	1/10/1932 1/10/2001

4.3 – Preenchimento de Falhas

As séries de precipitação a utilizar em estudos hidrológicos devem ser contínuas, isto é, não devem apresentar falhas nos seus registos. Se tal acontecer deve proceder-se ao preenchimento dessas falhas utilizando um dos vários métodos disponíveis.

Apenas se detectou uma falha na série de Castelo de Vide no ano de 1991, falha que foi preenchida através do método U.S. Weather Bureau (Lencastre e Franco, 1992),

$$P_A = \frac{1}{3} \times \left(\frac{\bar{P}_A}{\bar{P}_B} \times P_B + \frac{\bar{P}_A}{\bar{P}_C} \times P_C + \frac{\bar{P}_A}{\bar{P}_D} \times P_D \right), \quad (4.1)$$

A – Estação a corrigir

B, C – Estações utilizadas no preenchimento da falha

P – Precipitação anual (mm)

\bar{P} - Precipitação média anual (mm)

Para o preenchimento da falha na série de Castelo de Vide utilizaram-se os postos de Arronches e Vale do Peso. (Anexo IV.1 pág.80)

4.4 – Verificação da Consistência dos Dados

As séries de precipitação a utilizar devem possuir homogeneidade e consistência.

Uma série de precipitações diz-se homogénea se, ao longo do período de observação não existem alterações nos factores que condicionam a precipitação. Dada a não verificação de mudanças climáticas à escala de tempo abrangida pelas séries de precipitações, as séries de precipitação são, geralmente, homogéneas.

Uma série de precipitações diz-se consistente se, ao longo do respectivo período de observação, não existe alteração do erro sistemático de medição da grandeza. Como exemplos da quebra de consistência, citam-se a mudança do local da instalação de um udómetro, a criação de obstáculos junto de um udómetro, alteração das condições do aparelho, ou modificação no método de observação.

4.4.1 – Médias Móveis de 10 Anos

Para a detecção da inconsistência na série de precipitação anual na bacia utilizou-se o método das médias móveis. Este método consiste em representar, num gráfico, as médias móveis das séries para as quais se quer verificar a consistência. Em abcissas marca-se o número de anos e em ordenadas as médias móveis. Se as séries forem consistentes então, o andamento das respectivas médias móveis é similar.

Dada uma série, $y_1, y_2, \dots, y_k, \dots, y_n$, define-se média móvel de ordem k, como a sequência das médias aritméticas obtidas por:

$$\frac{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_k}{k}, \frac{Y_2 + Y_3 + \dots + Y_{k+1}}{k}, \frac{Y_3 + Y_4 + \dots + Y_{k+2}}{k}, \quad (4.2)$$

O recurso às médias móveis permite reduzir o total da variação dos dados, eliminando assim, flutuações indesejáveis e para a verificação da consistência dos registos anuais da precipitação é recomendado o uso de médias móveis de ordem 10, isto é, considera-se $k = 10$ na expressão 4.2. No (Anexo IV.2 pág.82) apresenta-se o cálculo das médias móveis para os postos considerados e na Figura 4.2 mostra-se a sua representação gráfica.

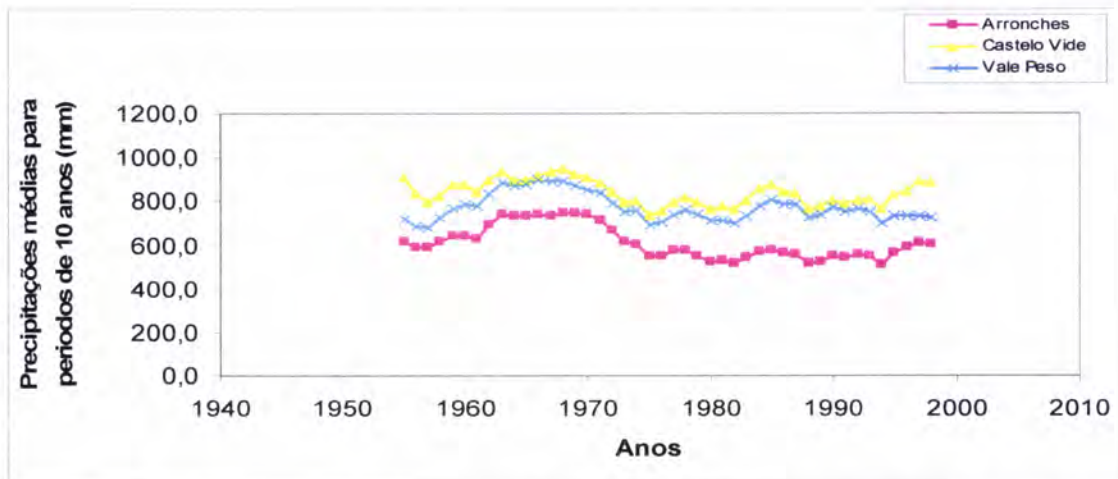


Figura. 4.1 – Médias móveis de ordem 10 para as séries de precipitação em análise

Como se pode observar pela figura acima apresentada não existe inconsistência entre os dados, pois o andamento das diversas curvas é bastante coincidente.

4.5 – Precipitação na Bacia Hidrográfica da Albufeira da Apartadura

Para estimação da precipitação na bacia recorreu-se ao método dos polígonos de Thiessen. Este método baseia-se na atribuição de um factor de ponderação à precipitação registada em cada um dos postos que influenciam a área em estudo. Para a determinação das áreas de influência, unem-se os postos udométricos, três a três, por segmentos de recta, de modo a formarem-se triângulos, com vértices nos referidos postos. Em seguida, traçam-se mediatrizes aos lados dos triângulos, formando-se assim os polígonos de Thiessen. Cada um dos polígonos assim formados tem um único posto de observação no seu interior, e qualquer ponto contido no interior do polígono está mais

próximo desse posto do que qualquer outro. A área limitada pelo contorno da bacia e pelos referidos polígonos, define a área de influência desse posto e dentro da qual se considera a precipitação uniforme e igual à que nele se observa. A precipitação para a bacia é então determinada por,

$$\bar{P} = \frac{\sum P_i \times A_i}{A} = \sum P_i \times K_i, \quad (4.3)$$

\bar{P} - Precipitação ponderada (mm)

P_i - Precipitação no posto i (mm)

A_i - Área de influência no posto i (km²)

A - Área da bacia hidrográfica (km²)

K_i - Factor de ponderação, peso ou coeficiente de Thiessen

Através da realização do Método de Thiessen (Figura 4.2) verificou-se que o único posto com influência na bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura é o posto de Castelo de Vide (17M/01G), donde se considera que a precipitação na bacia é igual à precipitação registada neste posto udométrico, cujos valores se apresentam no Quadro 4.2.

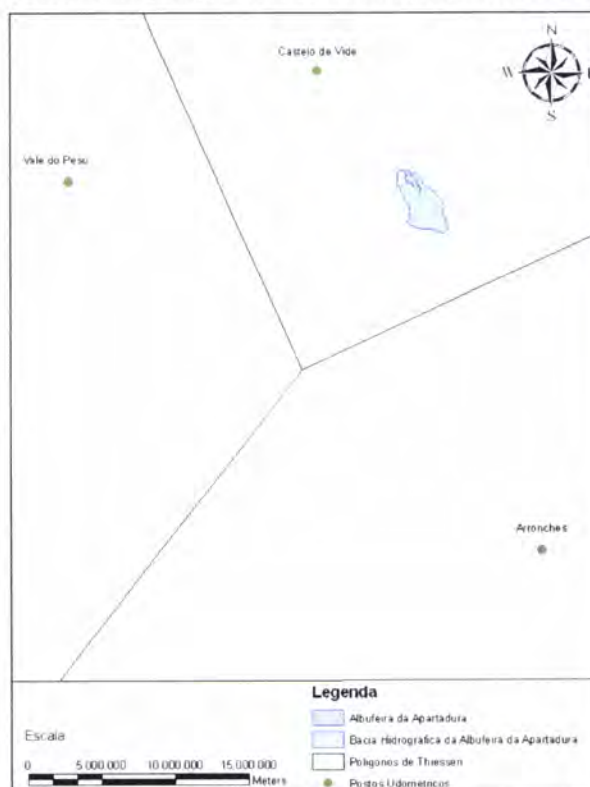


Figura. 4.2 – Método de Thiessen

Quadro 4.2 – Precipitação sobre a bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura

Ano Hidrológico	Precipitação Ponderada (mm)	Ano Hidrológico	Precipitação Ponderada (mm)
1946/1947	1265,0	1972/1973	644,2
1947	967,4	1974	588,8
1948	649,0	1975	557,1
1949	744,4	1976	1022,0
1950	909,0	1977	1095,4
1951	1212,4	1978	1307,8
1952	508,8	1979	770,4
1953	731,2	1980	458,0
1954	897,2	1981	712,5
1955	1232	1982	562,9
1956	576,8	1983	1029,3
1957	568,2	1984	1128,9
1958	910,6	1985	729,2
1959	1290,8	1986	695,2
1960	893,8	1987	1030,8
1961	856,9	1988	588,9
1962	1089,0	1989	868,2
1963	1076,6	1990	758,9
1964	526,1	1991	585,1
1965	1214,4	1992	671,5
1966	819,9	1993	1088,8
1967	712,7	1994	687,5
1968	1086,3	1995	1401,5
1969	997,5	1996	824,5
1970	750,2	1997	1463,5
1971	623,3	1997/1998	542,5
1971/1972	649,3		

4.6 – Lei de Distribuição da Precipitação Anual Ponderada

Os valores de precipitação anual obtidos para a bacia, são em si próprios pouco utilizáveis, pois nada dizem acerca dos valores de precipitação que poderão ocorrer no futuro, ferramenta fundamental para o planeamento e gestão dos recursos hídricos. Eles formam uma sucessão de valores que só serão úteis se forem tratados recorrendo à teoria da probabilidade e estatística. Este tratamento permite atribuir uma probabilidade empírica aos dados, obtendo-se assim uma distribuição de probabilidade empírica, à qual é possível ajustar uma distribuição teórica conhecida. Depois de ajustar uma distribuição teórica conhecida à distribuição empírica, grande parte da informação probabilística da amostra pode ser resumida por essa distribuição teórica e pelos respectivos parâmetros. Isto é, torna-se possível predeterminar os acontecimentos, com maior ou menor incerteza, e obter uma medida dessa incerteza.

Admitindo que a precipitação anual ponderada sobre a bacia é uma variável aleatória contínua, X , ensaiou-se a lei normal como a lei de distribuição que melhor se ajusta à amostra. Para testar a hipótese de normalidade, utilizou-se o método gráfico (ajustamento).

A distribuição normal é uma das mais importantes distribuições de probabilidade, conhecida também como Distribuição de Gauss. Teoricamente, a função de distribuição da soma de n variáveis aleatórias tende para a distribuição Normal quando n aumenta indefinidamente, qualquer que seja a função de distribuição de cada uma das variáveis aleatórias. Por esta razão a distribuição normal adapta-se bem a um grande número de variáveis hidrológicas, nomeadamente à precipitação anual que é resultante da soma de um grande número de variáveis aleatórias.

A função de densidade de probabilidade da distribuição normal com média μ e variância σ^2 é definida por,

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (4.3)$$

e a função de distribuição é dada por,

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}} dx, \quad (4.4)$$

Se a variável aleatória X segue esta distribuição escreve-se: $X \sim N(\mu, \sigma^2)$.

Fazendo uma mudança de variável de modo a que a nova variável tenha $\mu = 0$ e $\sigma = 1$, isto é, transformando-se a variável x com $N(\mu, \sigma)$ numa variável Z com $N(0,1)$ obtém-se a distribuição normal padrão e a função de densidade de probabilidade reduz-se a,

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}, \quad (4.5)$$

e a função de distribuição reduz-se a

$$F(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz, \quad (4.6)$$

Onde z é a variável reduzida dada por,

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}, \quad (4.7)$$

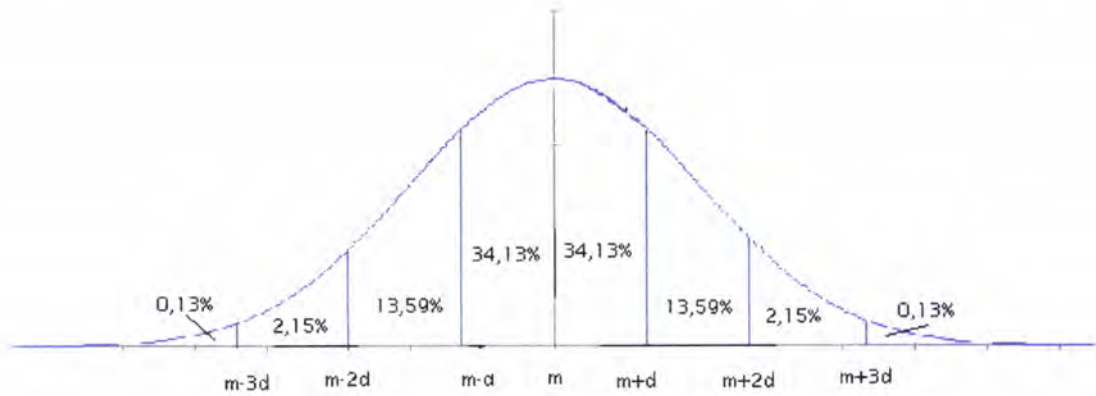


Figura. 4.3 – Função de densidade de probabilidade da distribuição normal

A função de distribuição da distribuição normal pode ser representada graficamente, por uma recta, num gráfico de eixos coordenados, onde em ordenadas se representam os valores de precipitação e em abcissas a variável reduzida Z . Se os dados da amostra seguissem perfeitamente a distribuição normal, eles estariam situados na recta que passa por $(X_{med}-S; -1)$, $(X_{med}; 0)$ e $(X_{med}+S; +1)$.

Sabendo que a média e o desvio padrão da série de precipitação anual na bacia são respectivamente, $\bar{X} = 859,9$ mm e $S = 260,2$ mm, calculou-se a recta teórica da distribuição normal. Na Figura 4.4, encontra-se o traçado da recta teórica de probabilidade juntamente com os valores observados, aos quais se atribuiu uma probabilidade empírica ($F_a(x)$), dada pela fórmula de Weibull,

$$F_a(x) = \frac{m}{N+1}, \quad (4.8)$$

onde m - Número de ordem
 N - Número de anos da amostra.

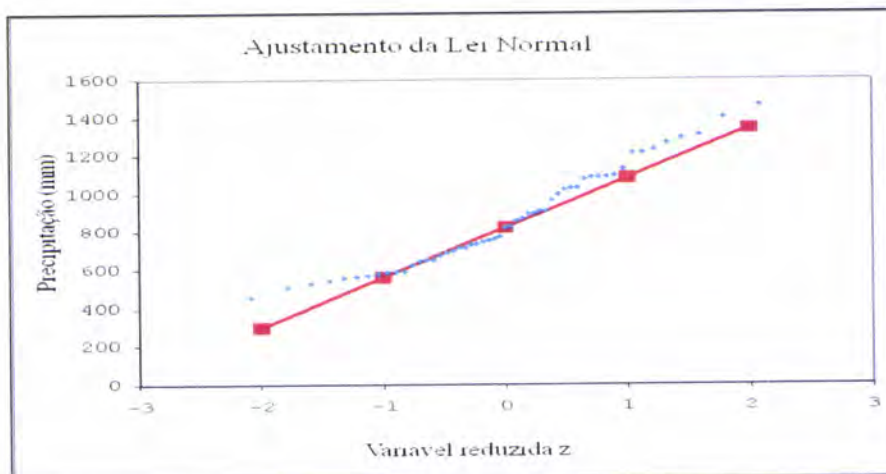


Figura 4.4 – Ajustamento da lei normal

Como se pode verificar pela análise do gráfico da Figura 4.4, os valores observados situam-se próximos da recta teórica, logo pode concluir-se que a precipitação anual na bacia da Apartadura segue a distribuição normal.

4.7 – Determinação da Precipitação Anual Associada a Vários Períodos de Retorno

O período de retorno de um determinado evento, também conhecido como período de recorrência ou tempo de recorrência, é o intervalo de tempo que deve decorrer, em média, para que o valor desse evento seja pelo menos igualado. É um termo bastante utilizado em Hidrologia e é definido como o inverso da probabilidade de um evento ser igualado ou ultrapassado.

$$T = \frac{1}{1 - F(X)} \quad (4.9)$$

Para a caracterização do regime pluviométrico da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura optou-se por determinar os valores de precipitação anual associados a períodos de retorno de 10, 100, 500, 1000.

Para se obter os valores de precipitação associados aos diferentes períodos de retorno (T), foi utilizada a fórmula de Ven Te Chow, dada por,

$$X_T = \bar{X} + S \times K_T \quad (4.10)$$

Onde

X_T – Valor do acontecimento com período de retorno T

\bar{X} - Valor médio da série de precipitação

K_T - Factor de frequência

S - Desvio padrão

No caso da distribuição normal, K_T não é mais do que a variável reduzida z assumindo a fórmula 4.10, a seguinte forma:

$$X_T = \bar{X} + S \times z, \quad (4.11)$$

No Quadro 4.3 apresentam-se os valores da precipitação para os diferentes períodos de retorno.

Quadro 4.3 – Precipitação associada ao período de retorno segundo a probabilidade de não excedência

T (anos)	F(x)		Z	X _t (mm)
10	0,9	90%	1,282	1153,39
100	0,99	99%	2,326	1425,28
500	0,998	99,80%	2,878	1568,87
1000	0,999	99,90%	3,090	1624,06

V – Caracterização do Escoamento

5.1 – Introdução

Por escoamento entende-se "..., a precipitação que não é interceptada pela vegetação ou pelos edifícios atinge a superfície terrestre, de onde é evaporada, se infiltra, ou permanece retida em depressões. Quando a precipitação caída é maior do que as capacidades relativas aos processos anteriormente referidos, o volume de água excedente, em obediência às leis da gravidade, escoam-se à superfície do terreno até à linha de água mais próxima, dando origem ao escoamento superficial."(Lencastre e Franco, 1992)

Como não existem estações hidrométricas dentro da área da bacia, teve que se procurar uma bacia com características idênticas onde existissem dados de escoamento medidos, para seguidamente se aplicar uma regressão estatística de escoamento/precipitação, com vista à determinação dos escoamentos anuais na Bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura.

A estação hidrométrica mais próxima e com dados disponíveis é Couto de Andreiros (18L/01H). No Quadro 5.1 apresentam-se as características da referida estação hidrométrica e na Figura 5.1 apresenta-se a bacia hidrográfica da ribeira de Seda em Couto de Andreiros e a bacia da albufeira da Apartadura.

Quadro 5.1 – Estação hidrométrica utilizada na determinação do escoamento anual

Designação	Código	Curso de água	Latitude(°N)	Longitude(°W)	Bacia	Período de observação
Couto de Andreiros	18L01H	Rib^a de Seda	39,27	7,60	Tejo	1/10/1964 1/10/1993



Figura 5.1 – Bacia hidrográfica da ribeira de Seda em Couto de Andreiros e bacia da albufeira da Apartadura

Como se pode verificar na Figura 5.1, a bacia hidrográfica em Couto de Andreiros é bastante maior do que a bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura, muito embora a disparidade no tamanho, apresentem algumas características semelhantes. A mais visível é sem dúvida a forma pois como se pode observar ambas as bacias apresentam formas alongadas.

Esta e outras características da albufeira hidrográfica de Couto de Andreiros serão provadas de forma analítica à frente.

Para se poder utilizar a bacia hidrográfica no cálculo dos escoamentos anuais da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura, vão ser calculadas as características fisiográficas desta bacia, tal como se fez anteriormente para a bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura, uma vez que só se forem semelhantes esta poderá ser utilizada no estudo em questão.

No Quadro 5.2 apresentam-se os valores de área, perímetro e comprimento do curso de água principal da bacia hidrográfica da ribeira de Seda em Couto de Andreiros.

Quadro5.2 – Dados Topográficos da bacia hidrográfica da ribeira de Seda em Couto de Andreiros

Área de drenagem (km ²)	Perímetro (km)	Comprimento Curso de água principal (km)
244,54	77,80	26,30

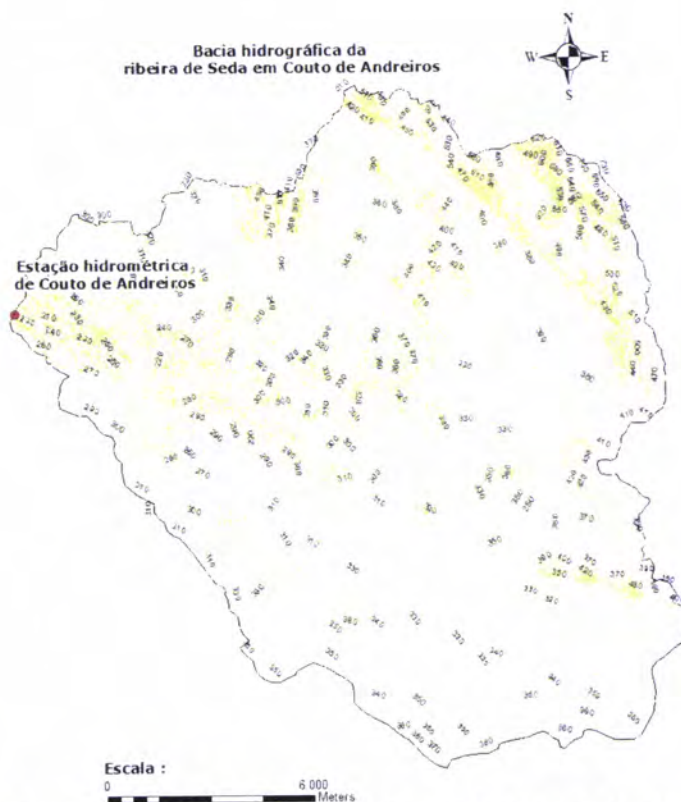


Figura 5.2 – Bacia hidrográfica da ribeira da Seda em Couto de Andreiros com curvas de nível

5.2 – Características Fisiográficas da Bacia Hidrográfica da Ribeira de Seda em Couto de Andreiros

Quadro 5.3 – Índices de forma da bacia hidrográfica da ribeira de Seda em Couto de Andreiros

Coeficiente de Compacidade	Factor de Forma
1,39	0,35

Através dos valores acima obtidos pode concluir-se que a bacia hidrográfica da ribeira de Seda em Couto de Andreiros apresenta uma forma alongada, e não tem tendência para a ocorrência de cheias.

Na Figura 5.3 apresenta-se a rede de drenagem da bacia hidrográfica da ribeira de Seda em Couto de Andreiros e no Quadro 5.4 o valor da densidade de drenagem, donde se pode concluir que estamos perante uma bacia medianamente drenada.

Quadro 5.4 – Densidade de drenagem da bacia hidrográfica da ribeira de Seda em Couto de Andreiros

D_d (km/km ²)	L_t (km)	A (km ²)
6,10	1486,60	244,54



Figura 5.3 – Rede de drenagem da bacia hidrográfica da ribeira de Seda em Couto de Andreiros

No Quadro 5.5 apresentam-se os valores das altitudes máximas, mínima e da nascente da bacia da ribeira de Seda em Couto de Andreiros.

Quadro5.5 – Altitude máxima, altitude mínima e altitude da nascente

Altitude máxima (m)	Altitude mínima (m)	Altitude da nascente (m)
743,8	210	368,6

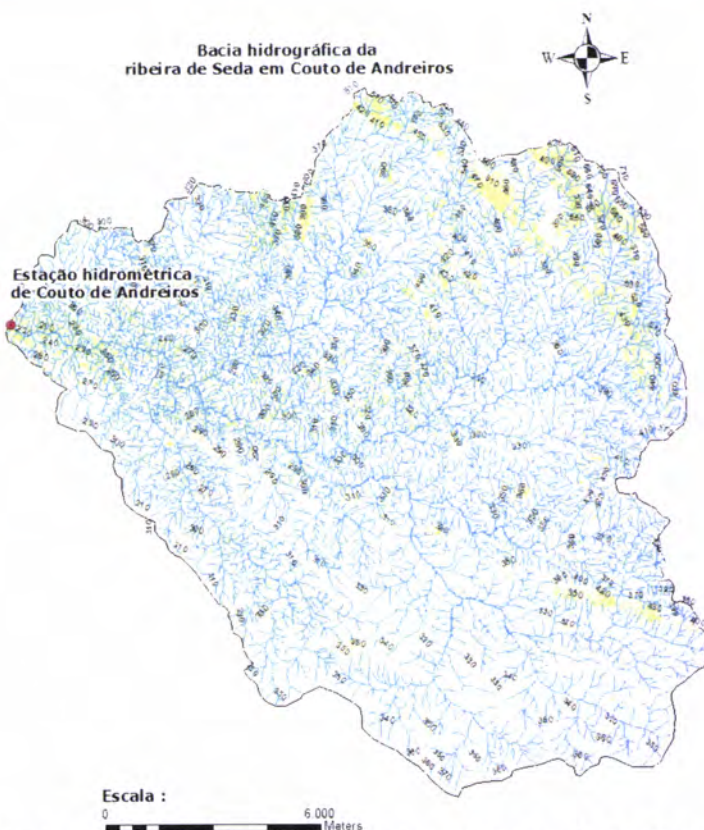


Figura 5.4 – Bacia hidrográfica da ribeira de Seda em Couto de Andreiros com curvas de nível e hidrografia

No Quadro 5.6 apresentam-se os valores da altitude e altura média para a bacia da ribeira de Seda em Couto de Andreiros.

Quadro 5.6 – Altitude e altura média da bacia da ribeira de Seda em Couto de Andreiros

Altitude média (m)	Altura média (m)
341,3	131,3

Quadro 5.7 – Declive médio da bacia hidrográfica da ribeira de Seda em Couto de Andreiros

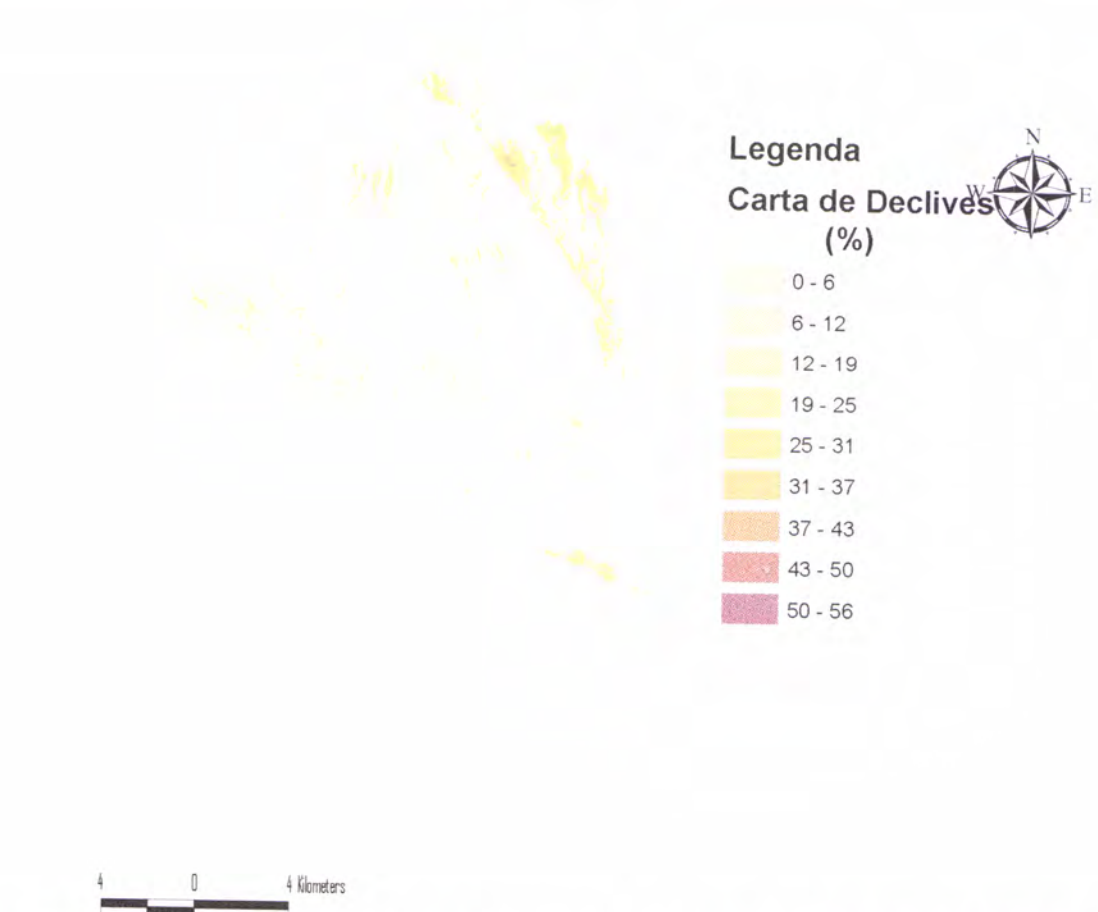
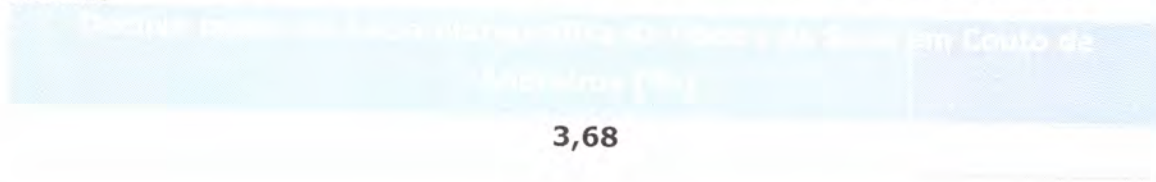
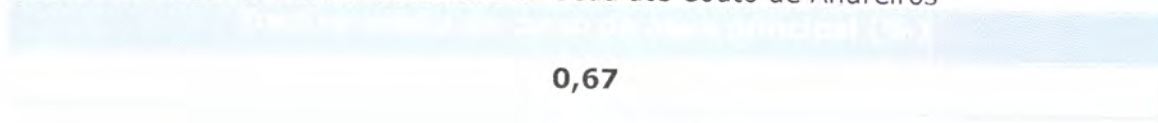


Figura 5.6 – Carta de declives da bacia hidrográfica da ribeira de Seda em Couto de Andreiros

Quadro 5.8 – Declive médio da Ribeira de Seda até Couto de Andreiros



No Quadro 5.9 apresentam-se as características fisiográficas das bacias da albufeira da Apartadura e da ribeira de Seda em Couto de Andreiros. As bacias têm características de forma semelhantes, como se pode observar no quadro, pelos valores do factor de forma e do coeficiente de compacidade, apesar da bacia de Couto de Andreiros ter uma área muito superior à bacia da albufeira da Apartadura. Em relação às características de

Em seguida apresenta-se a carta de hipsometria da bacia hidrográfica da ribeira de Seda em Couto de Andreiros (Figura 5.5).

Como se pode verificar pela figura apresentada, as maiores cotas da bacia situam-se a nordeste; é uma bacia com uma altitude baixa. A hipsometria da bacia varia entre os 210,0 e os 744 m.

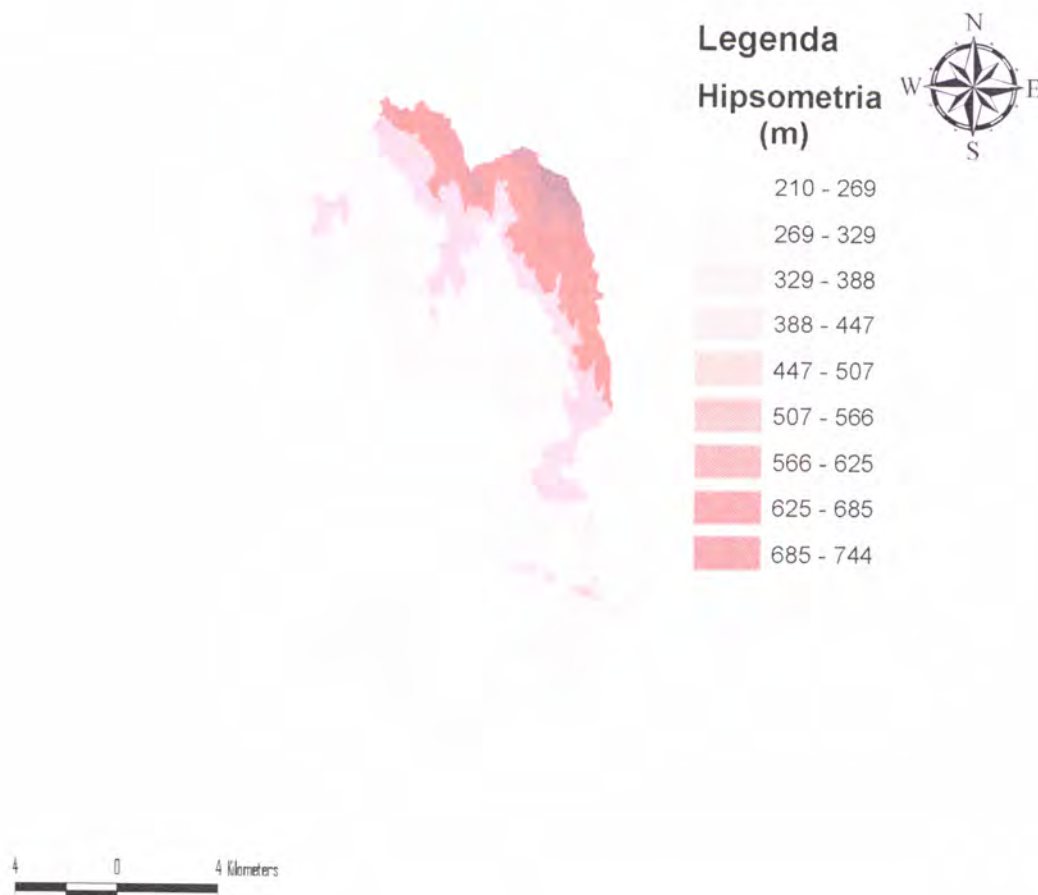


Figura 5.5 – Hipsometria da bacia hidrográfica da ribeira de Seda em Couto de Andreiros

O declive médio foi calculado através do programa ARCVIEW 3.2. Em seguida apresenta-se a carta de declives da bacia hidrográfica da ribeira de Seda em Couto de Andreiros (Figura 5.6).

Como se pode constatar através da figura, a bacia é pouco declivosa apresentando maiores declives na zona nordeste, mas contendo o resto da bacia declives pouco acentuados como se pode verificar na Figura 5.6. Os declives variam entre 0 e 56 %.

relevo, pode ver-se que a bacia da albufeira da Apartadura tem altitudes e declives ligeiramente mais elevados do que a bacia de Couto de Andreiros.

A bacia da ribeira de Seda em Couto de Andreiros pode ser considerada semelhante à bacia em estudo, podendo por isso ser utilizada para a determinação dos escoamentos anuais na bacia da ribeira de Reveladas.

Quadro 5.9 – Características fisiográficas das bacias hidrográficas da ribeira de Seda em Couto de Andreiros e da albufeira da Apartadura

	Bacia Hidrográfica da Ribeira de Seda em Couto de Andreiros	Bacia Hidrográfica da Albufeira da Apartadura
Área da bacia hidrográfica, A (km ²)	244,54	8,53
Perímetro da bacia hidrográfica, P (km)	77,80	13,99
Comprimento do curso de água principal, L (km)	26,30	5,50
Comprimento total das linhas de água, L _t (km)	1486,60	35,30
Coefficiente de compacidade K _c (-)	1,39	1,34
Factor de forma, k _f (-)	0,35	0,28
Densidade de drenagem, D _d (km/km ²)	6,10	4,10
Altitude máxima, Z _{max} (m)	743,80	1027,00
Altitude mínima, Z _{min} (m)	210,00	571,00
Altitude média, Z _{med} (m)	341,30	719,00
Altura média, \bar{H} (m)	131,30	148,00
Altitude da nascente, Z _{nas} (m)	368,60	993,50
Declive médio da bacia, I _m (%)	3,68	12,13
Declive médio do curso de água principal, D _m (%)	0,67	7,68

5.3 – Caracterização da Precipitação na Bacia Hidrográfica da Ribeira de Seda em Couto de Andreiros

Tal como realizado na bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura também agora terão que ser seleccionados postos udométricos para elaboração dos polígonos de Thiessen, para o cálculo da precipitação ponderada sobre a bacia.

Através da realização do Método de Thiessen verificou-se que os postos com influência sobre a bacia são os postos utilizados para a bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura, embora agora todos tenham influência na bacia (Figura 5.7), Castelo de Vide (17M/01G), Arronches (19N/01UG) e Vale do peso (17L/02UG). As características destes postos udométricos foram já apresentadas no quadro 4.1 e reproduzem-se novamente no quadro 5.10.

Quadro 5.10 – Postos udométricos utilizados na construção dos polígonos de Thiessen

Designação	Código	Latitude(°N)	Longitude(°W)	Altitude(m)	Bacia	Período de observação
Arronches	19N/01UG	39,12	7,28	257	Guadiana	1/10/1931 1/10/2003
Castelo de Vide	17M/01G	39,41	7,45	552	Tejo	1/10/1932 1/10/2004
Vale do Peso	17L/02UG	39,35	7,65	285	Tejo	1/10/1932 1/10/2001

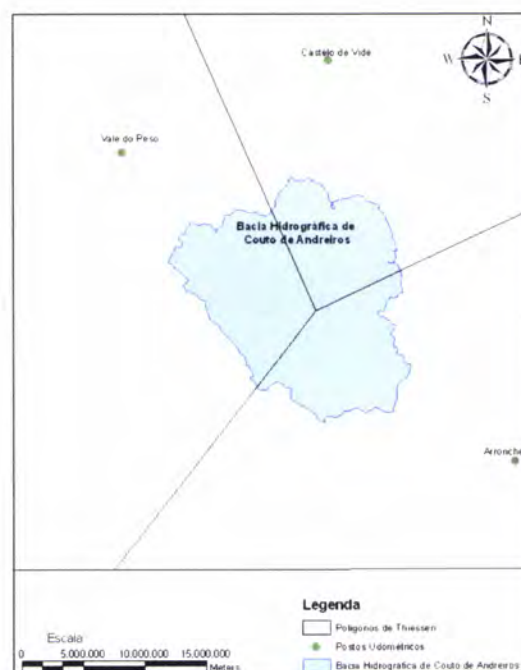


Figura 5.7 – Método de Thiessen

A precipitação ponderada na bacia da ribeira de Seda em Couto de Andreiros foi calculada pelo método de Thiessen. No Quadro 5.11 apresentam-se as áreas de influência dos postos considerados.

Quadro 5.11 – Coeficientes de Thiessen

Estação	Área (km²)	Coeficiente de Thiessen
Arronches	81,6	0,33
Castelo de Vide	68,1	0,28
Vale de peso	94,8	0,39

No Quadro 5.12 apresenta-se a precipitação ponderada da bacia hidrográfica da ribeira de Seda em Couto de Andreiros.

Quadro 5.12 – Precipitação ponderada da bacia hidrográfica da ribeira de Seda em Couto de Andreiros

Ano Hidrológico	Precipitação ponderada (mm)	Ano Hidrológico	Precipitação ponderada (mm)
1946/1947	1005,6	1972/1973	561,7
1947	739,3	1974	538,5
1948	568,5	1975	479,3
1949	622,4	1976	866,2
1950	732,8	1977	931,6
1951	946,2	1978	1100,6
1952	420,3	1979	671,0
1953	588,6	1980	399,5
1954	691,3	1981	624,0
1955	1079,8	1982	421,9
1956	597,6	1983	904,9
1957	615,0	1984	938,4
1958	892,4	1985	665,6
1959	1025,8	1986	646,0
1960	801,0	1987	907,3
1961	780,7	1988	512,3
1962	1011,9	1989	798,8
1963	1041,1	1990	664,7
1964	521,7	1991	489,6
1965	1080,4	1992	580,1
1966	769,0	1993	831,3
1967	610,4	1994	498,2
1968	980,2	1995	1134,0
1969	888,8	1996	777,5
1970	670,3	1997	1094,5
1971	557,0	1997/1998	444,8
1971/1972	568,5		

5.4 – Aplicação da Regressão Estatística Escoamento/Precipitação

Para efectuar a regressão escoamento/precipitação utilizaram-se os dados de escoamento registados na estação hidrométrica de Couto de Andreiros e a precipitação ponderada sobre a mesma bacia, calculada anteriormente. A equação de regressão é dada por,

$$R = a + bP, \quad (5.1)$$

R – Escoamento anual (mm)

P – Precipitação anual ponderada (mm)

a, b – Parâmetros de regressão a estimar pelo método dos mínimos quadrados.

Nos valores de escoamento de Couto de Andreiros existem duas falhas, 1973 e 1985, pelo que a regressão vai ser realizada sem a utilização desses valores de escoamento e sem esses valores de precipitação ponderada.

Quadro5.13 – Valores de escoamento e precipitação utilizados no cálculo da regressão

Ano	Escoamento (dam3)	Escoamento (mm)	Pponderada (mm)
1964/1965	41779	170,8	521,7
1965	206365	843,9	1080,4
1966	90711	370,9	769,0
1967	49708	203,3	610,4
1968	137299	561,5	980,2
1969	105364	430,9	888,8
1970	48176	197,0	670,3
1971	46478	190,1	557,0
1972	43122	176,3	568,5
1974	32930	134,7	538,5
1975	3258	13,3	479,3
1976	106994	437,5	866,2
1977	138836	567,7	931,6
1978	125170	511,9	1100,6
1979	32860	134,4	671,0
1980	1550	6,3	399,5
1981	29040	118,8	624,0
1982	3400	13,9	421,9
1983	65500	267,8	904,9
1984	91640	374,7	938,4
1986	33840	138,4	646,0
1987	76320	312,1	907,3
1988	5660	23,1	512,3
1988/1989	71222	291,2	798,8

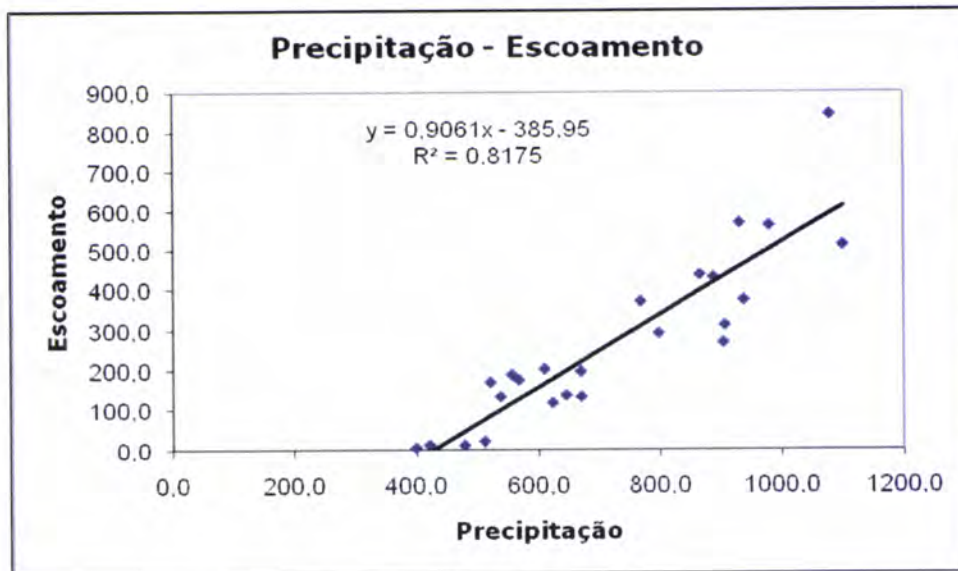


Figura 5.8 – Recta de regressão precipitação-escoamento

Pela análise do gráfico anterior e do coeficiente de determinação (R^2), de 82%, pode concluir-se que os dados se ajustam relativamente bem à recta de regressão pelo que se pode considerar que o escoamento observado na secção de referência da bacia está bem relacionado com a precipitação na mesma bacia.

Quadro 5.14 – Parâmetros a e b obtidos através da regressão precipitação-escoamento

a	b
- 385,95	0,9061

Assim, podemos escrever:

$$R = 385,95 + 0,9061P, \quad (5.2)$$

Esta equação de regressão será usada para o cálculo do escoamento anual da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura.

5.5 – Escoamento na Bacia Hidrográfica da Albufeira da Apartadura

Para o cálculo do escoamento da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura foi utilizada a fórmula (5.2) tendo-se utilizado os valores de precipitação ponderada

calculada em 4.5. No Quadro 5.14 apresentam-se os valores de escoamento anuais assim calculados.

Quadro 5.14 – Escoamento anual na bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura

Ano	Escoamento (10 ⁶ m ³)	Ano	Escoamento (10 ⁶ m ³)
1946/1947	6,5	1973	1,7
1947	4,2	1974	1,3
1948	1,7	1975	1,0
1949	2,5	1976	4,6
1950	3,7	1977	5,2
1951	6,1	1978	6,8
1952	0,6	1979	2,7
1953	2,4	1980	0,2
1954	3,6	1981	2,2
1955	6,2	1982	1,1
1956	1,2	1983	4,6
1957	1,1	1984	5,4
1958	3,7	1985	2,3
1959	6,7	1986	2,1
1960	3,6	1987	4,7
1961	3,3	1988	1,3
1962	5,1	1989	3,4
1963	5,0	1990	2,6
1964	0,8	1991	1,2
1965	6,1	1992	1,9
1966	3,0	1993	5,1
1967	2,2	1994	2,0
1968	5,1	1995	7,5
1969	4,4	1996	3,1
1970	2,5	1997	8,0
1971	1,5	1998	0,9
1971/1972	1,7		

VI – Geração de Séries Sintéticas de Escoamento

6.1 – Considerações Gerais

A geração de séries de escoamento é uma ferramenta importante no planeamento e gestão de recursos hídricos. Os dados sintéticos não acrescentam informação aos dados históricos mas, dada a natureza estocástica do processo de escoamento, eles permitem uma melhor avaliação do processo de planeamento já que constituem sequências alternativas de valores de escoamento com igual probabilidade de ocorrer no futuro.

Para gerar uma sequência de valores de escoamento assume-se que o processo de escoamento é um processo estocástico e que, portanto, a sua evolução no tempo envolve o conceito de probabilidade. Processo estocástico é entendido como uma colecção ordenada de variáveis aleatórias que evoluem no tempo, X_1, X_2, \dots, X_t , cuja sequência X_1, X_2, \dots, X_t resultante da sua observação representa uma única realização do processo. Com a utilização de modelos de geração pretende-se obter sequências alternativas X_1, X_2, \dots, X_t , passíveis de ocorrerem no futuro e que representem o mesmo processo estocástico. A selecção do modelo para geração de valores de escoamento reveste-se portanto de grande importância, uma vez que o modelo deve ser o mais adequado possível, de modo a que as sequências por ele geradas sejam representativas do processo estocástico. Uma vez que o processo estocástico não é conhecido, procura-se que o modelo seja capaz de reproduzir as propriedades estatísticas da série histórica (Guimarães, 2005).

O processo de escoamento é contínuo no tempo; no entanto é usual considerar as suas observações como variáveis discretas, isto é, consideram-se valores de escoamento observados em pontos discretos do tempo (um ano, um mês, um dia). Neste caso vão ser usadas séries de escoamento anuais.

6.2 - Análise dos Registos Históricos de Escoamento

6.2.1 – Características Estatísticas

Seguidamente apresentam-se os parâmetros estatísticos da série de escoamentos anuais da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura.

Quadro 6.1 – Parâmetros estatísticos da série de escoamentos anuais da bacia hidrográfica

Média (10^6m^3)	3,34
Variância	4,02
D. Padrão (10^6m^3)	2,00
C. Variação	0,60
C. Assimetria	0,50
C. Autocorrelação	-0,04
n	53
Curtosis	-0,749
Maximo (10^6m^3)	7,99
Mínimo (10^6m^3)	0,25

6.2.2 – Tendência e Outras Alterações Determinísticas

A detecção da tendência em séries de escoamento anual pode ser vista como um teste de hipóteses, onde a hipótese nula H_0 é a de não existir tendência nos dados e a hipótese alternativa H_1 é a de existir tendência. Para testar estas hipóteses utilizar-se-ão testes não paramétricos. De facto, nos casos em que os dados não sejam normalmente distribuídos os testes não paramétricos são mais potentes do que os paramétricos. (Loftis et al., 1991 in Guimarães 2005).

6.2.2.1 – Teste de Mann-Kendall

Sugerido pela World Meteorological Organization (1998) in Guimarães (2005) é o teste de Mann-Kendall, também chamado teste de "Kendall's Tau". A hipótese nula H_0 é a de que a amostra de dados, x_i , $i = 1, 2, \dots, n$, é independente e identicamente distribuída e portanto não apresenta tendência. A hipótese alternativa H_1 é a de que existe tendência em x_i . A estatística S de Mann-Kendall é definida por,

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{i'=i+1}^n \text{sgn}(x_{i'} - x_i) \quad (6.1)$$

onde, x_i e x_i' são valores consecutivos da amostra de dados, n é o tamanho de amostra e

$$\text{Sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{se } \theta > 0 \\ 0 & \text{se } \theta = 0 \\ -1 & \text{se } \theta < 0 \end{cases}, \quad (6.2)$$

Para $n \geq 8$ a estatística S é aproximadamente normalmente distribuída com média e variância dadas por (Yue et al., 2002 in Guimarães 2005),

$$E[S] = 0 \quad (6.3)$$

$$\text{Var}[S] = \frac{n(n-1)(2n-5) - \sum_{g=1}^n \text{tg}(g-1)(2g+5)}{18}, \quad (6.4)$$

onde, tg é o número de grupos sucessivos com valores iguais de x_i e g é o número de valores x_i envolvidos em cada um dos grupos.

A estatística do teste Z_{Mk} é calculada por,

$$Z_{Mk} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}[S]}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}[S]}} & \text{se } S < 0 \end{cases}, \quad (6.5)$$

A hipótese nula não deve ser rejeitada se ao nível de significância α ,

$$|Z_{Mk}| \leq z_{1-\alpha/2}, \quad (6.6)$$

onde $z_{1-\alpha/2}$ é o quantil $1-\alpha/2$ da distribuição normal estandarizada.

Como resultados da aplicação do teste de Mann-Kendall, obtiveram-se os seguintes resultados $S = -84$ e $\text{Var}[S] = 16995,3$, com a estatística do teste $Z_{mk} = -0,64$. Como

$Z_{mk} = 0,64$ é inferior ao quantil 97,5 % da distribuição normal $[\cong 1,96]$ conclui-se que ao nível de significância de 5% não se rejeita a hipótese de não existir tendência nesta série de escoamentos.

6.2.2.2 – Teste de Mann-Whitney

É um teste não paramétrico para a identificação de diferenças entre as médias de duas amostras e não requer a normalidade dos dados. Considera-se a série x_i , $i = 1, 2, \dots, n$, que pode ser dividida em duas séries $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in_1}$, de tamanho n_1 e n_2 , respectivamente, tal que $n = n_1 + n_2$. Uma nova série $x_{\cdot i}$, $i = 1, 2, \dots, n$ pode ser obtida por ordenação dos dados originais x_i por forma crescente de magnitude. Então, pode testar-se a hipótese nula H_0 de as médias das duas amostras serem iguais contra a hipótese H_1 de as médias das duas amostras serem diferentes, através da estatística

$$Z_{mw} = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} O(x_i) - n_1(n_1 + n_2 + 1)/2}{\sqrt{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)/12}} \quad , \quad (6.7)$$

onde, $O(x_i)$ é o número de ordem da observação x_i na série ordenada $x_{\cdot i}$. Ao nível de significância α , a hipótese nula não deve ser rejeitada se $Z_{mw} \leq Z_{1-\alpha/2}$, (Salas, 1993 in Guimarães 2005)

$$Z_{mw} \leq Z_{1-\alpha/2} \quad , \quad (6.8)$$

Depois de aplicado o teste com $n_1 = 27$ e $n_2 = 26$, determinou-se o valor de $Z_{mw} = 0,71$, como este valor é inferior ao quantil de 97,5% da distribuição normal $[\cong 1,96]$, para um nível de significância de 5% pode concluir-se que a série não apresenta alterações determinísticas.

Conclui-se pelo demonstrado atrás que a série de escoamentos anuais da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura é estacionária.

6.2.3 – Estrutura Correlacional

Uma série x_i , $i = 1, 2, \dots, n$ de valores de escoamento anual diz-se independente no tempo, ou não correlacionada, se os valores de x no ano i são independentes dos valores de x no ano $i - k$, para $k = 1, 2, \dots$. Caso contrário a série diz-se dependente ou autocorrelacionada.

A autocorrelação ou dependência verificada nalgumas séries de escoamento anual deve-se ao transporte de água armazenada na bacia hidrográfica de uns anos para os outros. Em Portugal, os valores de escoamento anual têm sido considerados independentes no tempo, dado que a influência do escoamento do ano anterior sobre o escoamento do ano seguinte é praticamente eliminada pela adopção do ano hidrológico (Quintela, 1967 in Guimarães 2005).

A verificação da independência temporal de uma série de escoamentos anuais pode ser feita através da análise do respectivo correlograma, definido pela representação gráfica do coeficiente de autocorrelação r_k em função de k . r_k é o estimador do coeficiente de autocorrelação ρ_k definido por (Box e Jenkins, 1976 in Guimarães, 2005),

$$\rho_k = \frac{\text{Cov}[x_i, x_{i+k}]}{\text{Var}[x]} \quad , \quad (6.9)$$

O estimador de máxima verosimilhança de ρ_k é dada por (Salas e tal.,1980 in Guimarães,2005),

$$r_k = \frac{\sum_{i=1}^{n-k} (x_i - \bar{x}_i)(x_{i+k} - \bar{x}_{i+k})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n-k} (x_i - \bar{x}_i)^2 \sum_{i=1}^{n-k} (x_{i+k} - \bar{x}_{i+k})^2}} \quad , \quad (6.10)$$

onde \bar{x}_i e \bar{x}_{i+k} são respectivamente, a média dos primeiros $n - k$ valores de x_i e a média dos últimos $n - k$ valores de $n - k$ e k é o incremento temporal que não deve ser superior a $n/4$ (Box e Jenkins, 1976 in Guimarães, 2005).

Uma série pode ser considerada independente se $r_k = 0$ para $k \neq 0$. No entanto, devido a flutuações amostrais a estimativa do coeficiente de autocorrelação pode apresentar

valores diferentes de zero, tornando-se por isso necessário ter uma indicação de quanto ele pode diferir do seu valor teórico. Para tal utiliza-se o intervalo de confiança $(1 - \alpha)$ definido por (Anderson, 1941 in Guimarães 2005),

$$\left[\frac{-1 - Z_{1-\alpha/2} \sqrt{n-k-1}}{n-k}; \frac{-1 + Z_{1-\alpha/2} \sqrt{n-k-1}}{n-k} \right], \quad (6.11)$$

onde $Z_{1-\alpha/2}$ é o quantil $1 - \alpha/2$ da distribuição normal estandarizada. Assim, considera-se a independência da série, para o nível de confiança $(1 - \alpha)$ se r_k se situar naquele intervalo.

Na Figura 6.1 apresenta-se o correlograma da série de escoamentos anuais e no Quadro 6.2 apresentam-se os valores utilizados na construção do mesmo.

Quadro 6.2 – Valores de k , r_k , e limites de confiança, superior e inferior, utilizados na construção do correlograma

k	r_k	Limite Inf. de Confiança	Limite Sup. de Confiança
0	1	-0,2855	0,2478
1	-0,04	-0,2884	0,2499
2	-0,07	-0,2914	0,2521
3	-0,19	-0,2944	0,2544
4	0,08	-0,2975	0,2567
5	-0,16	-0,3008	0,2591
6	-0,05	-0,3041	0,2616
7	-0,09	-0,3076	0,2641
8	0,21	-0,3111	0,2667
9	0,02	-0,3148	0,2694
10	0,03	-0,3187	0,2721
11	-0,09	-0,3226	0,2750
12	-0,09	-0,3267	0,2780
13	-0,09	-0,3310	0,2810

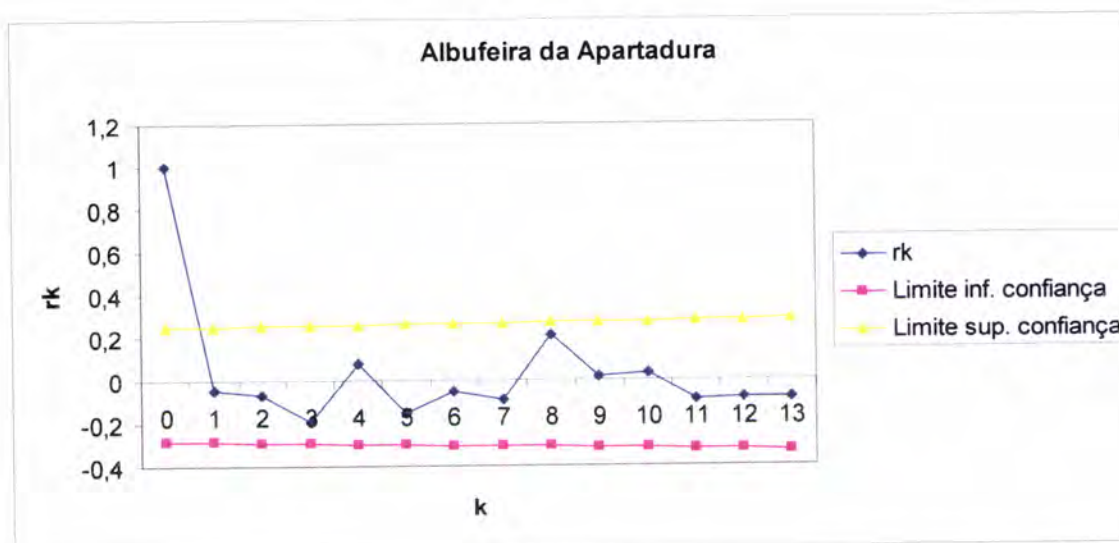


Figura. 6.1 – Correlograma r_k da série de escoamentos anuais na bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura para o período de 1946 a 1998

A função de autocorrelação encontra-se dentro do intervalo de confiança estabelecido, pelo que se conclui que a série de escoamentos anuais na bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura é independente.

6.2.4 – Geração de Escoamentos Anuais

Uma vez que a série de escoamentos anuais históricos é independente, os valores de escoamento podem ser tratados como variáveis aleatórias representadas por uma função de distribuição de probabilidade.

Nos casos em que os valores de escoamento apresentem uma distribuição assimétrica as distribuições a ajustar podem ser várias, sendo uma das mais utilizadas a distribuição Log-Normal a dois parâmetros.

6.2.4.1 – Método Baseado na Distribuição Log-Normal a Dois Parâmetros Combinada com a Transformação de Wilson-Hilferty

Quando os escoamentos anuais apresentarem assimetria, pode assumir-se que os valores de escoamento anual têm distribuição Log-Normal a dois parâmetros e portanto a variável $y_i = \ln x_i$ é normalmente distribuída. Assim, podem gerar-se variáveis aleatórias

com distribuição normal que por exponenciação dão origem a variáveis aleatórias com a distribuição Log-Normal.

Um problema que surge com a geração de séries com base na distribuição Log-normal a dois parâmetros é o facto de quando se aplica a transformação $y_i = \ln x_i$, não é garantido que se obtenha uma série com assimetria nula. Logo, nestes casos, não é correcto assumir que a variável $y_i = \ln x_i$ é normalmente distribuída. Uma das maneiras de contornar este problema é através da aplicação da transformação de Wilson-Hilferty:

$$\delta_i = \frac{2}{\psi_\delta} \left(1 + \frac{\psi_\delta}{6} t_i + \frac{\psi_\delta^2}{36} t_i^3 \right) - \frac{2}{\psi_\delta}, \quad (6.12)$$

onde δ_i é uma variável com assimetria ψ_δ e t_i é uma variável com distribuição normal $N(0,1)$. Este procedimento permite a preservação da assimetria da série histórica.

Segidamente apresenta-se o procedimento utilizado para a geração de escoamentos anuais,

1. Calcular $y_i = \ln (x_i + c)$, onde c é uma constante a adicionar a todos os valores se existirem valores nulos na série.
2. Determinar a média \bar{y} , desvio padrão s_y e coeficiente de assimetria g_y de Y_i ;
3. Gerar variáveis aleatórias u_i uniformemente distribuídas no intervalo $[0,1]$;
4. Gerar variáveis aleatórias t_i com distribuição Normal $N(0,1)$ a partir das variáveis uniformemente distribuídas geradas anteriormente;
5. Aplicar a transformação de Wilson-Hilferty às variáveis t_i obtidas anteriormente;

$$\hat{v}_i = \frac{2}{g_y} \left(1 + \frac{g_y}{6} t_i + \frac{g_y^2}{36} t_i^3 \right) - \frac{2}{g_y}, \quad (6.13)$$

onde, \hat{v}_i é uma série sintética com média zero, variância unitária e assimetria g_y ;

6. Obter valores sintéticos de escoamento anual \hat{x}_i através de;

$$\hat{x}_i = \exp(\bar{y} + s_y \hat{v}_i) - c, \quad (6.14)$$

É de esperar que este método permita a geração de valores de escoamento anual com preservação da média, variância e coeficiente de assimetria da série histórica (Guimarães, 2005).

6.2.4.2 – Avaliação da Qualidade das Séries Geradas

A avaliação da qualidade das séries geradas pode ser feita pela comparação das suas estatísticas com as estatísticas da série histórica. Se as estatísticas da série histórica são preservadas pelas séries geradas então considera-se que estas são sequências alternativas à série histórica podendo ser utilizadas para o objectivo que foram geradas.

A comparação da estatística θ , da série histórica com a estatística $\hat{\theta}$, das s séries geradas pode ser feita determinando a média e desvio padrão de $\hat{\theta}$,

$$M(\hat{\theta}) = \frac{1}{s} \sum_{m=1}^s \hat{\theta}_m \quad , \quad (6.14)$$

$$s(\hat{\theta}) = \frac{1}{s-1} s \sum_{m=1}^s (\hat{\theta}_m - M(\hat{\theta}))^2 \quad ^{1/2} \quad , \quad (6.15)$$

onde, $\hat{\theta}_m$ representa a estatística $\hat{\theta}$ calculada para a m^a série gerada e s é o número de séries geradas.

Depois de calculadas $M(\hat{\theta})$ e $s(\hat{\theta})$ pode estabelecer-se o intervalo de confiança $(1 - \alpha)$ para θ ,

$$\left] M(\hat{\theta}) - z_{1-\alpha/2} s(\hat{\theta}); M(\hat{\theta}) + z_{1-\alpha/2} s(\hat{\theta}) \right[\quad , \quad (6.16)$$

onde $z_{1-\alpha/2}$ é o quantil $1-\alpha/2$ da distribuição normal estandardizada. Considera-se que a estatística θ da série histórica é preservada nas séries geradas se ela se situar dentro daquele intervalo (Guimarães, 2005).

Vão-se gerar 1200 séries de escoamento anual cada uma com $n = 53$ anos, ou seja, igual tamanho ao da série histórica, como se recomenda em Guimarães (2005).

Com um programa em linguagem Visual Basic (Guimarães, 2005) geraram-se 1200 séries de escoamentos anuais. No Anexo VI.1 pág.84 apresentam-se, a título de exemplo, três das séries geradas.

Estabeleceu-se um intervalo de confiança de 95% para se verificar a qualidade das 1200 séries geradas. As estatísticas a comparar são a média \bar{x} , desvio padrão s_x , coeficiente de assimetria g_x e coeficiente de autocorrelação de incremento um r_1 . Foi calculado o erro absoluto $|\theta - \hat{\theta}|$, entre a estatística histórica θ e gerada $\hat{\theta}$.

No Quadro 6.3 apresentam-se os resultados obtidos, nestes resultados está igualmente apresentado se a estatística histórica se encontra no intervalo de confiança previamente estabelecido.

Quadro 6.3 – Comparação das estatísticas históricas dos escoamentos anuais na bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura e de 1200 séries geradas

	s_x		g_x	r_1
	$(10^6 m^3)$	$(10^6 m^3)$		
Histórico	3,3472	2,007	0,4987	-0,0439
Gerado				
Média	3,3714	2,0643	0,7512	-0,029
Desvio Padrão	0,2852	0,2222	0,2851	0,1318
Erro absoluto	0,0242	0,0573	0,2525	0,0149
Dentro do Intervalo?	sim	sim	sim	sim

Pode concluir-se que todas as estatísticas da série histórica são bem preservadas nas séries geradas, uma vez que os valores se encontram dentro do intervalo de confiança previamente estabelecido, podendo estas séries ser utilizadas como alternativa à série histórica.

VII – Simulação da Exploração da Albufeira da Apartadura

7.1 – Considerações Gerais

Neste capítulo pretende-se verificar se o volume de armazenamento existente na albufeira da Apartadura é suficiente para satisfazer, com uma determinada garantia, o consumo. Para tal vai recorrer-se ao cálculo da probabilidade de o reservatório falhar na satisfação do consumo e ao cálculo da garantia anual de o reservatório satisfazer o consumo. Esta probabilidade pode ser calculada por,

$$P_F = \frac{n_F}{n}, \quad (7.1)$$

onde,

P_F – Probabilidade de falha;

n_F – Número de anos em que o reservatório não satisfaz o consumo;

n - Número total de anos em análise, isto é, número de anos da série de afluições.

Inversamente pode calcular-se a garantia anual, isto é, a probabilidade de o reservatório não falhar na satisfação do consumo, por:

$$G = 1 - P_F, \quad (7.2)$$

onde G é a garantia.

Estas grandezas serão calculadas através do método da simulação do comportamento do reservatório partindo de três condições iniciais distintas: reservatório cheio, reservatório com metade do volume de armazenamento e reservatório vazio.

A simulação será efectuada recorrendo à série histórica de escoamentos e às séries geradas no capítulo anterior.

O cálculo do consumo foi efectuado com base nos censos 2001 (populações existentes nas freguesias em estudo) e nas indústrias a laborar na área abastecida pela albufeira da Apartadura. (Anexo VII.1 pág. 87)

De acordo com o Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais, de 23 de Agosto de 1995, para um núcleo habitacional de 20000 a 50000 habitantes (no caso em estudo o objectivo é abastecer 25254 habitantes), a capitação é de 150 l/hab.dia.

Como em qualquer sistema de abastecimento também aqui se terão que considerar fugas e perdas de água, seja através de juntas deficientes, roturas de condutas ou qualquer outra razão anómala. Como o sistema já não é novo considera-se um valor de 28 % de perdas nas tubagens (perdas essas que em sistemas muitos antigos podem chegar aos 50 %) .

Ainda de acordo com o decreto de lei nº 23/95 de 23 de Agosto de 1995 considera-se ainda um acréscimo de 10 % de volume de água entrado no sistema.

7.2 – Caracterização da Albufeira da Apartadura

Seguidamente apresentam-se as características da albufeira da Apartadura, uma vez que o estudo efectuado tem por base a capacidade útil da albufeira para abastecimento da população das freguesias em questão.

Como se pode observar no quadro abaixo a capacidade total da albufeira é de 7465×10^3 m³, mas o volume para abastecimento das diversas populações não se pode ser considerado o total uma vez que há que respeitar o volume morto da albufeira, ou seja uma parcela da albufeira inactiva para fins de captação de água, assim o volume a considerar no abastecimento será o chamado volume útil, que neste caso é de cerca de 7×10^3 m³.

No Quadro 7.1 apresentam-se as características da albufeira da Apartadura.

Quadro 7.1 - Características da albufeira da Apartadura

Albufeira da Apartadura	
Área inundada ao NPA (m²)	480x10 ³
Capacidade total (m³)	7465x10 ³

Quadro 7.1 - Características da albufeira da Apartadura (Continuação)

Albufeira da Apartadura	
Capacidade útil (m³)	6980x10 ³
Volume morto (m³)	485x10 ³
Nível de pleno Armazenamento (NPA) (m)	595,00
Nível de máxima cheia (NMC) (m)	595,95
Nível mínimo de exploração (NME) (m)	568,00

Estas características podem ser observadas nas Figuras 7.2 e 7.3.



Figura 7.1 – Barragem da Apartadura
(http://cnpqb.inag.pt/gr_barragens/gbportugal)

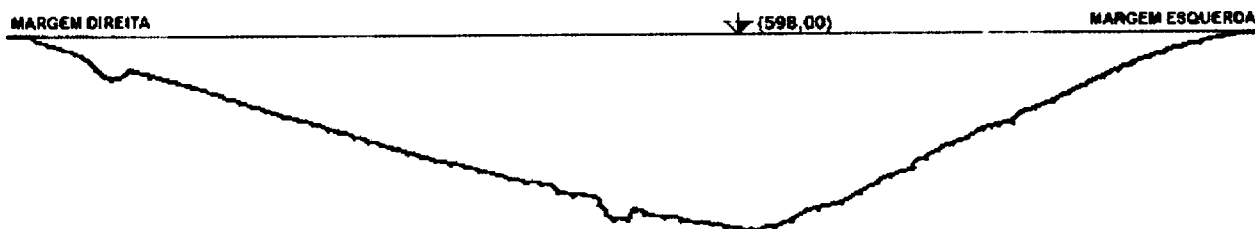


Figura 7.2 – Perfil longitudinal pelo eixo da barragem da Apartadura
(http://cnpgb.inag.pt/gr_barragens/gbportugal)

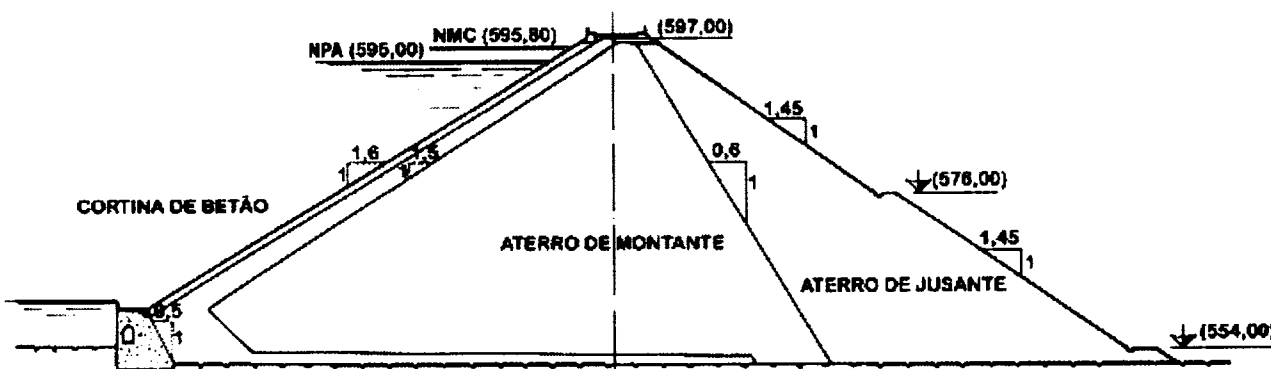


Figura 7.3 – Secção transversal da barragem da Apartadura
(http://cnpgb.inag.pt/gr_barragens/gbportugal)

7.3 – Cálculo da Probabilidade de Falha e da Garantia Anual

Como se referiu anteriormente o cálculo destas grandezas vai ser efectuado recorrendo ao método da simulação do comportamento do reservatório.

Na análise ou simulação do comportamento do reservatório, as alterações de armazenamento de um reservatório são calculadas usando a seguinte equação de armazenamento, (McMahon and Mein, 1986);

$$Z_{t+1} = Z_t + Q_t - D_t - E_t - L_t, \tag{7.3}$$

sujeito a $0 \leq Z_{t+1} \leq C$ onde;

- Z_{t+1} - armazenamento no final do período de tempo t ;
- Z_t - armazenamento no início do período de tempo t ;
- Q_t - afluências durante o período de tempo t ;
- D_t - consumo durante o período de tempo t ;
- E_t - evaporação do reservatório no período de tempo t ;
- L_t - outras perdas;
- C - volume útil da albufeira.

Neste trabalho não serão calculados valores de evaporação do reservatório, assumiu-se que as perdas por evaporação correspondem a aproximadamente 10% do valor do consumo. Também não foram consideradas outras perdas. A albufeira da Apartadura apresenta um volume útil de cerca de 7 hm³, mas neste trabalho apenas se vai considerar um volume útil de 3,5 hm³, uma vez que os outros 50% do volume útil são utilizados para abastecimento de outras freguesias que não intervêm nos objectivos do trabalho proposto. É considerado um consumo de 1,95 x10⁶ m³ por ano.

Para o cálculo da probabilidade de falha (P_F) e da Garantia anual (G) vai efectuar-se o seguinte procedimento:

1. Admitir que inicialmente o reservatório se encontra cheio, i.e., $Z_0=C$;
2. Aplicar a equação 7.3 ano a ano para toda a série histórica, assumindo um valor de $D_t = 1,95 \times 10^6 \text{ m}^3$
3. Calcular a probabilidade de falha (Equação 7.1) dividindo o número de anos em que o reservatório não satisfaz o consumo pelo número total de anos da análise;
4. Calcular a garantia anual pela equação 7.2;
5. Repetir os passos 1 a 4 para o reservatório com metade do volume útil e para o reservatório vazio.

No Quadro 7.2 apresentam-se os valores destas grandezas para as três condições iniciais.

Quadro 7.2 – Valores da probabilidade de falha e garantia anual nas três condições iniciais

Condições	P_F (%)	G (%)
Reservatório cheio	0	100
Reservatório com metade do volume útil	0	100
Reservatório vazio	1,85	98,15

Este procedimento permite também calcular o diagrama de comportamento do reservatório, isto é o gráfico onde se relaciona Z_{t+1} com o número de anos utilizados na análise.

Foram calculados os diagramas de comportamento do reservatório (Anexo VII.2 pág.89) partindo das três condições iniciais já referidas: reservatório cheio ($Z_t=C$), reservatório com metade do volume útil ($Z_t=C/2$) e reservatório vazio ($Z_t=0$). Nas figuras que se seguem apresentam-se os referidos diagramas.

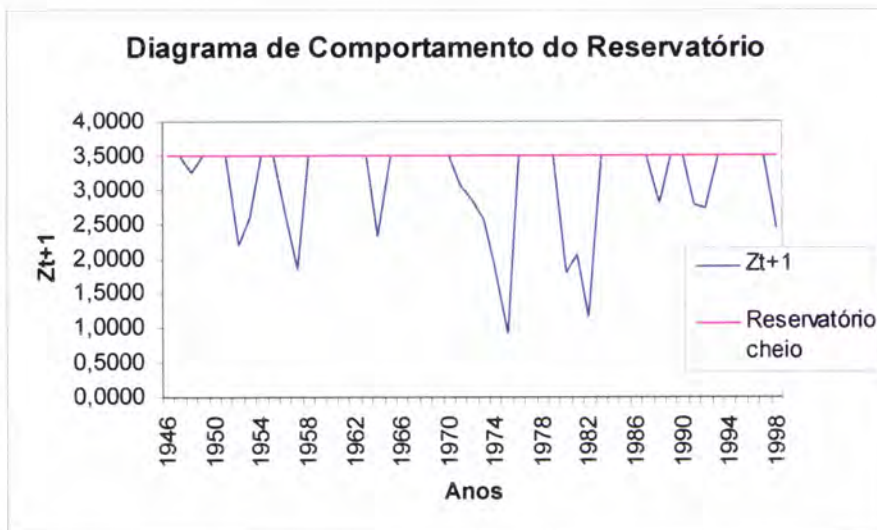


Figura 7.4 – Diagrama de comportamento do reservatório com $Z_t=C$

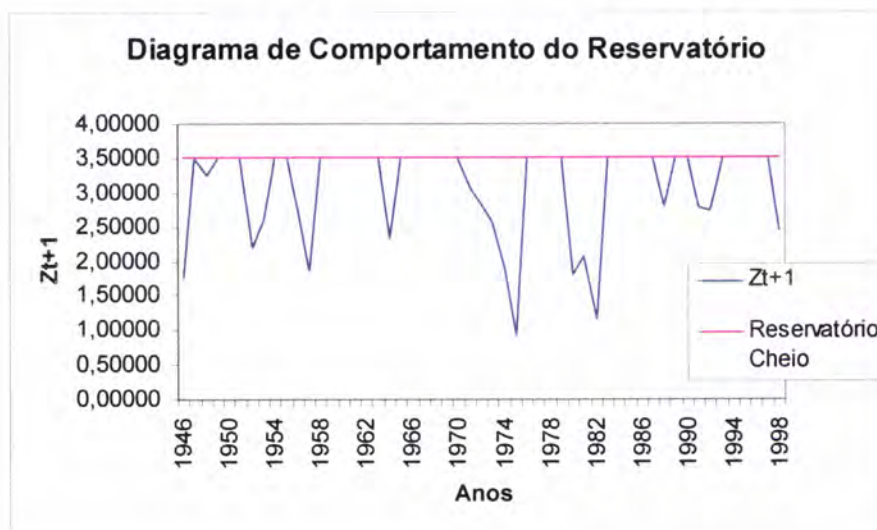


Figura 7.5 – Diagrama de comportamento do reservatório com $Z_t = C/2$

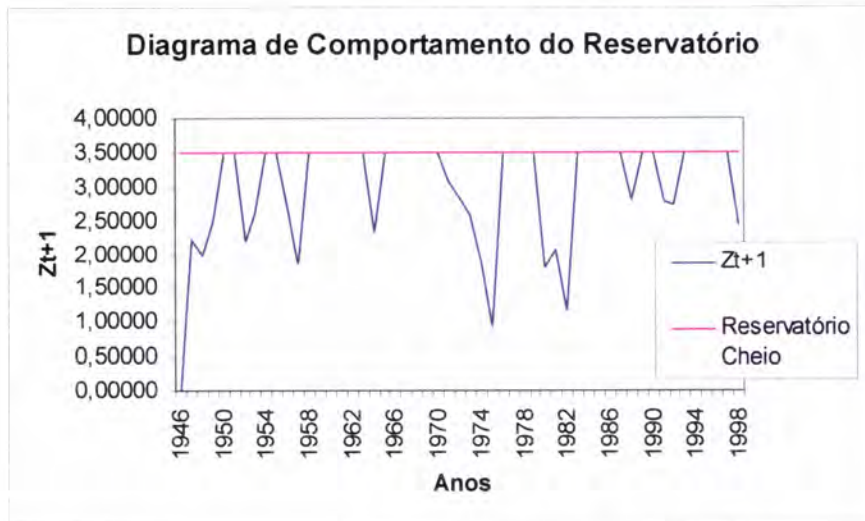


Fig. 7.6 – Diagrama de comportamento do reservatório com $Z_t = 0$

Como se pode observar pelos valores do Quadro 7.2 e pelas figuras, o reservatório nunca falha na satisfação do consumo, mesmo partindo da condição inicial de reservatório vazio. O reservatório apenas se encontra no valor zero no início da análise com a condição inicial de vazio, mas volta a recuperar chegando a estar mesmo no seu máximo por algumas ocasiões.

Pode concluir-se que a albufeira da Apartadura é capaz de satisfazer o consumo considerado.

7.4 – Cálculo da Probabilidade de Falha e da Garantia Anual Recorrendo às Séries Sintéticas de Escoamento

Tendo em consideração que a série histórica é apenas uma das realizações possíveis do processo de escoamento e que nada garante que esta série se repita no futuro, procedeu-se ao cálculo da probabilidade de falha e da correspondente garantia para as 1200 séries sintéticas geradas no capítulo anterior, partindo das mesmas condições iniciais. Com estes valores foi possível construir gráficos que mostram o comportamento do reservatório em função do número de séries utilizadas no estudo. Estes gráficos estão representados nas figuras que se seguem.

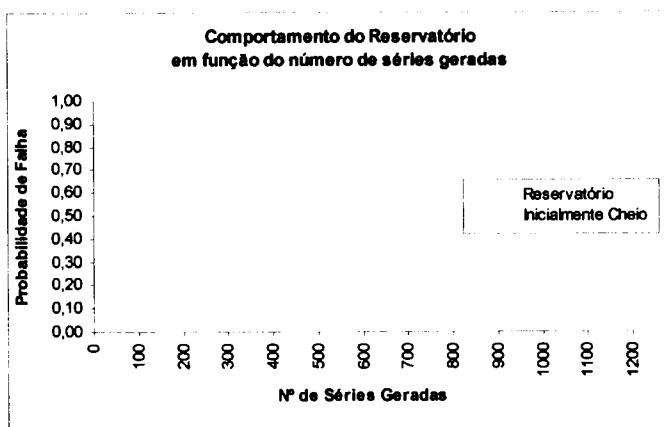


Fig.7.7 – Probabilidade de falha na condição de reservatório cheio

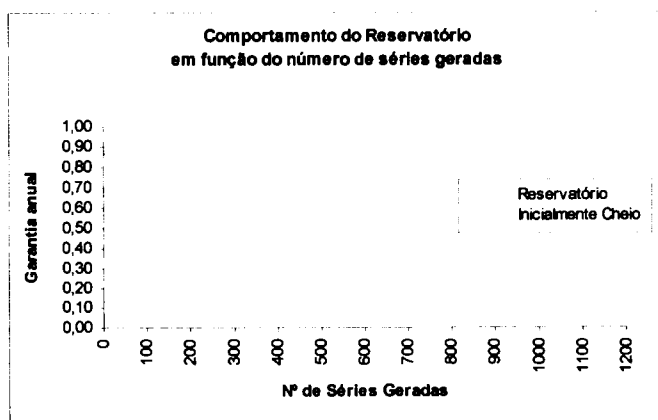


Figura 7.8 – Garantia anual na condição de reservatório cheio

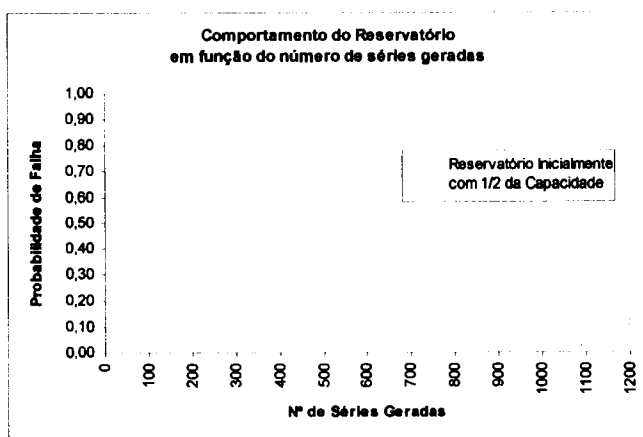


Fig.7.9 – Probabilidade de falha na condição de reservatório com metade do volume útil

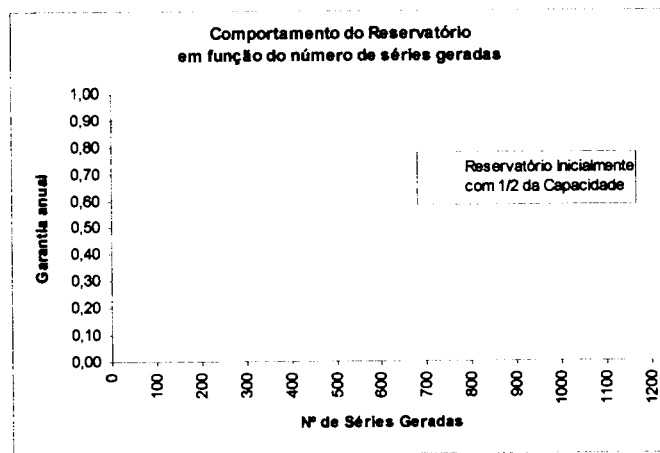


Fig. 7.10 – Garantia anual na condição de reservatório com metade do volume útil

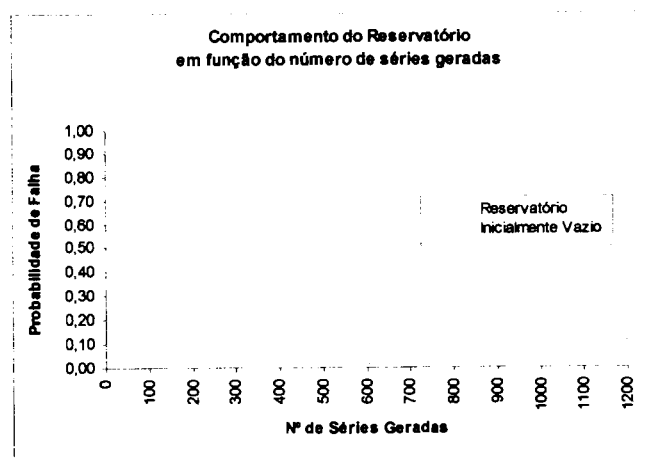


Fig.7.11 – Probabilidade de falha na condição de reservatório vazio

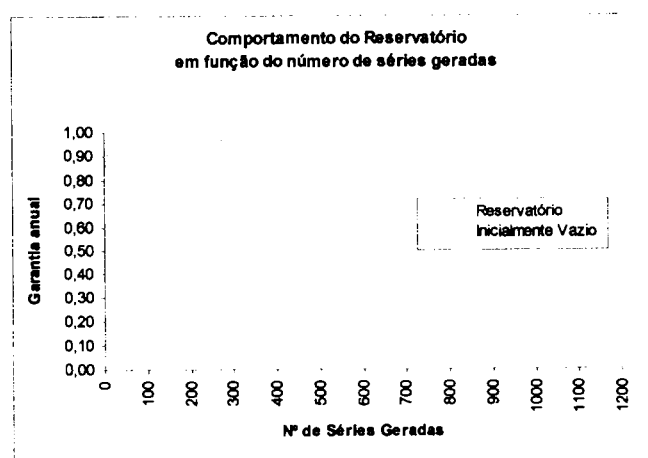


Fig.7.12 – Garantia anual na condição de reservatório vazio

Como se pode verificar pelos gráficos existe sempre uma probabilidade muito baixa de que o reservatório falhe na satisfação do consumo, sendo a percentagem de que isso aconteça muito baixa em qualquer um dos casos apresentados, na ordem dos 20% de máxima. Onde existe maior probabilidade que isso aconteça é quando o reservatório se encontra inicialmente vazio, mas mesmo assim a percentagem de que falhe é muito reduzida.

Por seu turno, como é lógico, os valores de garantia anual são muito elevados sendo os valores mínimos na ordem dos 80/90%, e na grande maioria das séries geradas esse valor é de 100%, ou seja, esta análise vem confirmar que a albufeira é suficiente para satisfazer o consumo das freguesias em estudo.

VIII – Sistema de Captação Subterrânea dos Olhos de Água

8.1 – Considerações Gerais

Com base na proposta efectuada pela empresa Águas do Norte Alentejano neste capítulo vão verificar-se as características do sistema de captação subterrânea dos Olhos de Água, para confirmação de que este é um sistema viável para complementar a albufeira da Apartadura, em caso de necessidade, para satisfação do consumo necessário nas freguesias em estudo.

O sistema de captação subterrânea dos Olhos de Água situa-se na formação carbonatada da Escusa (Castelo de Vide), no concelho de Marvão, freguesia de S.Salvador da Aramenha (figura 8.1).

É um aquífero do tipo cársico, aquíferos estes que são meios com propriedades mais complexas do que as rochas em que a permeabilidade se deve unicamente à fracturação, pois possuem dois tipos de porosidade: a associada às fracturas e cavidades cársicas e por outro lado, a que corresponde aos blocos que constituem a massa rochosa.

Teoricamente considera-se a presença de dois sistemas responsáveis pelo comportamento hidrogeológico deste tipo de meios: Os blocos porosos, com permeabilidade mais elevada e menor capacidade de armazenamento (Monteiro, 1993).

Estas captações são atravessadas pelo rio Sever como se explica mais à frente.

8.2 – Hidrogeologia da Formação

A formação carbonatada não é contínua entre Castelo de Vide e a fronteira com Espanha. A área mais extensa, estende-se entre esta vila e S. Salvador da Aramenha ocupando cerca de 7,8km². A sua profundidade é desconhecida, com 18 sondagens mecânicas nunca se atingiu a base do aquífero. O furo de maior profundidade atingiu cerca de 139m.

O fluxo na formação carbonatada dá-se em sentidos divergentes, a partir da área da Escusa, em direcção a ambos os extremos da formação. Portanto é de prever que a área circundante daquela localidade corresponda à principal zona de recarga (Monteiro, 1993).

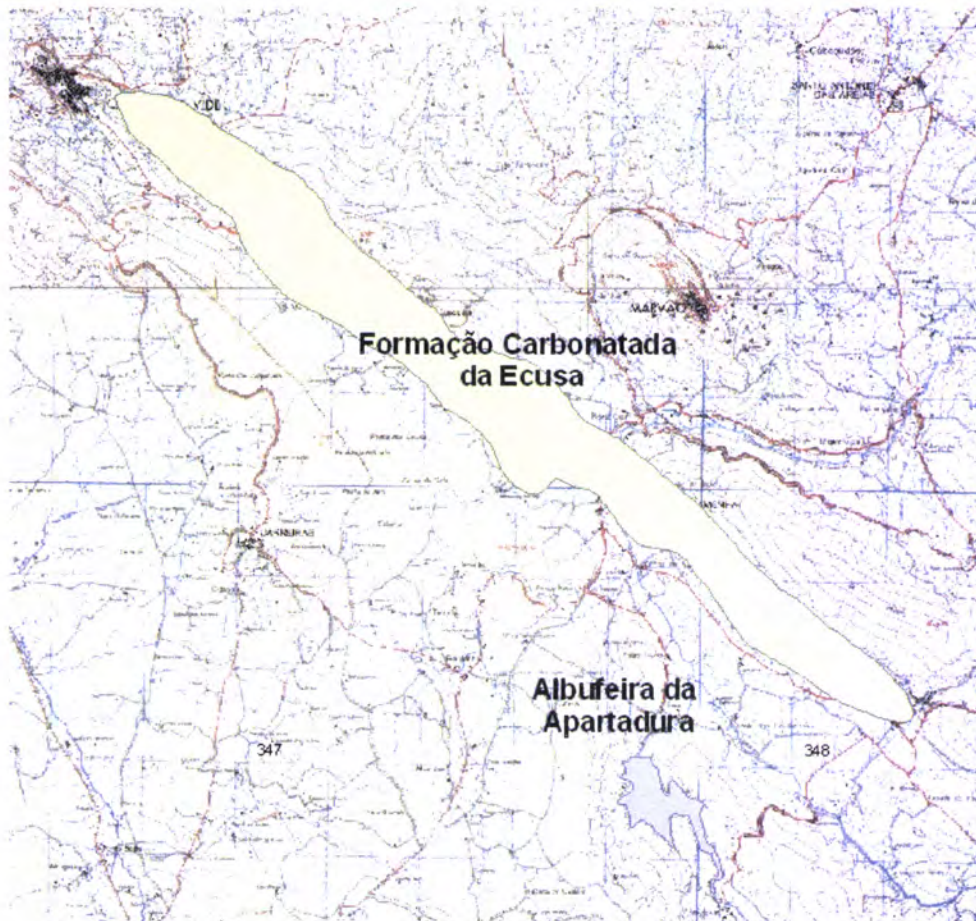


Figura 8.1 – Formação Carbonatada da Escusa

8.3 - Formação Carbonatada e o Rio Sever

Através de estudos de piezometria efectuados por Monteiro, 1993, o curso de água atravessa a formação carbonatada na área em que o fluxo de água se verifica de NW para SE.

O fluxo na formação carbonatada contribui para a alimentação do rio Sever ao longo da margem esquerda. Existe uma área aplanada, adjacente a esta margem do rio, na qual os níveis piezométricos se encontram a uma cota superior à altura da superfície do curso de água. Em períodos de cheia, o nível freático chega mesmo a ultrapassar a superfície topográfica alargando uma faixa da margem esquerda do rio (Monteiro, 1993).

8.4 – Entradas de Água no Sistema

O volume médio escoado no aquífero tem um valor de 451,4mm, que transposto para a área da formação carbonatada 7,8km² corresponde a 3,52x10⁶m³/ano.

A análise da morfologia local no sinclinal de Castelo de Vide permite constatar que na serra de S. Mamede divergem várias bacias. A taxa de infiltração na maior parte dos terrenos paleozóicos é muito baixa. Determinam este facto os declives elevados e a baixa permeabilidade das litologias predominantemente xistentas. A escorrência superficial gerada nos xistos devónicos que limitam as rochas carbonatadas contribui em grande parte para a sua alimentação (Monteiro,1993).



Figura 8.2 – Hidrografia na Formação Carbonatada da Escusa.

8.5 – Precauções

Estas águas hoje ainda de boa qualidade, podem vir a ser deterioradas, se for intensificada a utilização de produtos que contribuam para a entrada em solução de compostos azotados, ultrapassar-se-á a capacidade de depuração do meio.

Será aconselhável que as populações sejam alertadas para este facto, para que deste modo pudesse ser feita uma boa utilização do solo na área da formação carbonatada, para não pôr em causa a qualidade da água. Por outro lado as entidades responsáveis deviam realizar testes químicos da água com alguma regularidade para não pôr em perigo o abastecimento das populações dos concelhos de Castelo de Vide, Marvão e Portalegre.

8.6 – Sistema dos Olhos de Água

8.6.1 – Considerações Gerais

O sistema dos Olhos de Água não sendo actualmente um sistema autónomo, serve a cidade de Portalegre, os aglomerados de Carreiras do concelho de Portalegre, freguesia de Carreiras e o aglomerado de Alvarrões, do concelho de Marvão, freguesia de S. Salvador da Aramenha.

Os furos que alimentam o sistema situam-se na formação carbonatada da Escusa, no aquífero cársico da zona dos Olhos de Água, de S. Salvador da Aramenha. Na Figura 8.2 apresenta-se a localização dos furos do sistema dos Olhos de Água.

Como este aquífero é bastante vulnerável, foi criada uma zona de defesa hidrogeológica em 1990, através da Portaria nº887/90 de 21 de Setembro, com uma área de aproximadamente 1,3 km², onde não se permitem obras de qualquer tipo que possam contribuir para a deterioração da qualidade física, química e bacteriológica do aquífero.

8.6.2 Constituição do Sistema

A captação dos Olhos de Água é constituída por diversos furos em que alguns não se encontram em funcionamento. (Figuras 8.2 e 8.3)

Dos quatro furos existentes no sistema apenas dois se encontram em funcionamento Jk5 e Jk2, mas apenas um serve para abastecimento o jk5, encontrando-se o furo Jk4 e RA6 fora de funcionamento.

O furo Jk5 é ainda reforçado pelo sistema de captações do Monte Sete.



Figura 8.3 – Localização do Sistema dos Olhos de Água (Google Earth)

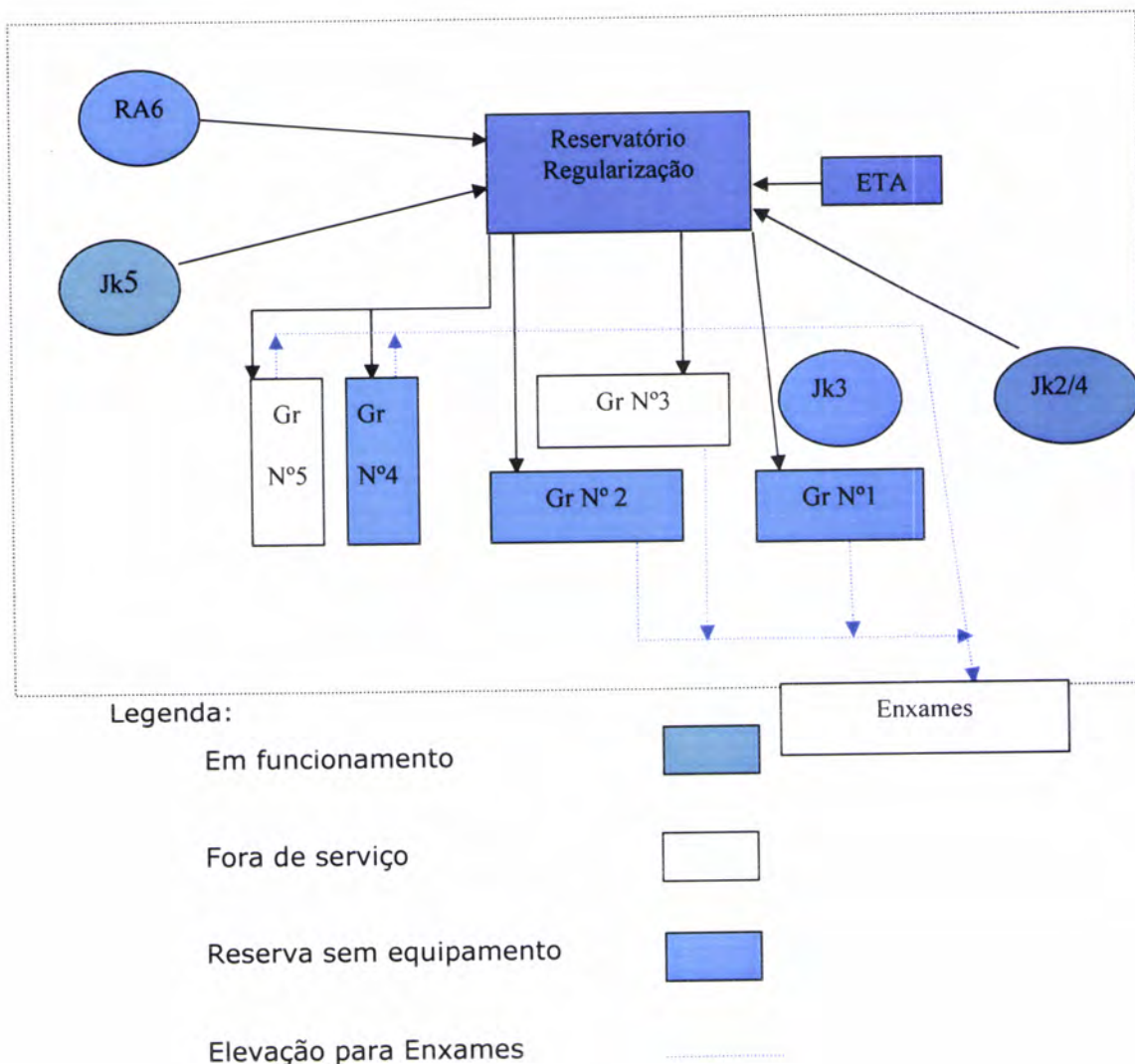


Figura 8.4 – Constituição do Sistema dos Olhos de Água

8.6.2.1 – Sistema de Monte Sete

Localizado no concelho de Portalegre na freguesia de Alegrete, a origem da água deste sistema autónomo é subterrâneo e é constituído por uma nascente (funciona apenas no Inverno) e por um furo.

8.6.3 - Captação

A água captada nos furos, bem como a proveniente de Monte Sete é reunida num reservatório de regularização de 50m³ de capacidade, situado à cota de 540m. Este reservatório serve também de câmara de aspiração em carga aos grupos que elevam os caudais para o reservatório de Enxames.

8.6.4 – Quantidade

Não existindo dados muito concretos sobre a quantidade de água que é possível extrair dos Olhos de Água, sabe-se que estas origens podem dar caudais bastante elevados, da ordem dos 300 m³/h.

Seguidamente apresenta-se um quadro com os valores existentes de ensaios de caudal, nos furos dos Olhos de Água e de Monte Sete.

Quadro 8.1 – Caudal extraído dos furos do Sistema

Furo	Jk5	Jk2	Jk4	RA6	Monte Sete
Caudal (m³/h)	180	28	12,5	10	30

8.6.5 – Qualidade

A água captada é de boa qualidade para o consumo humano sendo tratada à saída do reservatório dos Olhos de Água, antes de ser elevada para o reservatório de Enxames. O tratamento realizado é uma desinfecção através da injeção de hipoclorito na conduta de compressão geral.

Pela análise apresentada, pode concluir-se que o subsistema dos Olhos de Água pode ser um bom complemento à albufeira da Apartadura, em caso de necessidade, nomeadamente através do furo Jk5 com o reforço do sistema de Monte Sete.

IX - Estudo Económico

9.1 – Considerações Gerais

Neste capítulo irá ser realizado um estudo económico em termos de custo de energia, quer da exploração da albufeira da Apartadura até à estação de tratamento (ETA), quer do furo dos Olhos de Água até ao reservatório dos Enxames.

Para a realização de um estudo deste género é necessário saber qual a população a abastecer, as capitações, tipo de adutoras e o seu comprimento.

9.2 – Estudo Económico da Exploração da Albufeira da Apartadura

A Albufeira da Apartadura abastece cinco freguesias do concelho de Portalegre, sendo elas, Sé, S. Lourenço, Urra, Rib^a de Nisa, Fortios, Alagoa e todas as indústrias das freguesias acima referidas.

Tal como referido no capítulo VII, através da consulta dos censos de 2001 chegou-se à conclusão que a população existente nestas cinco freguesias e portanto a população a abastecer é de 25254 habitantes, neste valor estão já integradas as indústrias existentes na zona.

Conforme calculado no capítulo VII a capitação, de acordo com o Dec. Lei 23/95 de Agosto de 1995, para este número de habitante é de 150 l/hab.dia, ao que se acresce 28% de perda ao longo das condutas. Assim, a capitação a utilizar será de 192 l/hab.dia, o que em termos de consumo será de 4849 m³/dia.

A adução da água da estação elevatória até à ETA é realizada por uma conduta de ferro fundido com diâmetro de 350mm e com um comprimento de 300m.

9.3 – Estação Elevatória

Para elevar um determinado caudal a uma altura previamente definida, o aumento de pressão, que a bomba tem que comunicar à água é igual à altura geométrica, acrescida da perda de carga verificada no sistema. A primeira parcela depende unicamente da topografia do terreno, sendo, por isso independente do diâmetro. Já a segunda parcela depende significativamente do diâmetro adoptado, uma vez que a energia necessária

para vencer as perdas de carga diminui com o aumento do diâmetro. (Sá Marques e Oliveira Sousa 2006)

No caso em questão o sistema é constituído por duas bombas que terão que elevar a água a uma altura geométrica de 150m.

A perda de carga unitária na conduta foi calculada utilizando a fórmula de Scimemi:

$$Q = kD^{\alpha}J^{\beta}, \quad (9.1)$$

em que:

Q – caudal (m³/s);

k – rugosidade da parede interior da conduta (igual a 35)

D – diâmetro (m)

α – coeficiente que depende do material da conduta (igual a 2,625)

J – perda de carga unitária (m/m)

β – coeficiente que depende do material da conduta (igual a 0,535)

A perda de carga contínua foi obtida pela seguinte expressão:

$$\Delta H = J \times L, \quad (9.2)$$

em que:

ΔH – perda de carga contínua (m)

J – perda de carga unitária (m/m)

L – comprimento total da conduta (m)

Seguidamente no Quadro 9.1 apresentam-se as perdas de carga e a potência necessária para elevar a água até à ETA.

Quadro 9.1 – Perda de carga contínua e potência da bomba

D (mm)	J (m/m)	ΔH	H	γ Kg/m ³	η (%)	P (W)	P (kW)
350	0,001749	0,524717	150,524	9800	75	132462,3	132,462

Assim sendo, a potência da bomba foi calculada por:

$$P = \frac{Q \gamma H_t}{\eta}, \quad (9.3)$$

em que:

P – potência da bomba (W)

Q – caudal (m³/s)

γ – peso volúmico da água (9800 N/m³)

H_t – altura total de elevação (m)

η – rendimento do grupo motor-bomba (%)

9.4 – Custos de Energia

Este cálculo foi efectuado de acordo com dados cedidos pelas Águas do Norte Alentejano relativamente às horas de trabalho diárias durante o ano de 2009.

Foi considerado um custo do kW.h de 0,0991 Euros.

Quadro 9.2 – Custos relativos ao ano de 2009

Mês	Qmd (m ³ /dia)	Nhbd (h)	Energia Consumida (kW.h)	Custo Energético (€)
Jan	4849	11	1457,09	4476,31
Fev	4849	7	927,24	2572,89
Mar	4849	10	1324,62	4069,37
Abr	4849	10	1324,62	3938,10
Mai	4849	14	1854,47	5697,12
Jun	4849	16	2119,40	6300,97
Jul	4849	20	2649,25	8138,75
Ago	4849	20	2649,25	8138,75
Set	4849	20	2649,25	7876,21
Out	4849	17	2251,86	6917,94
Nov	4849	11	1457,09	4331,91
Dez	4849	12	1589,55	4883,25
Total				67341,59

Qmd – Caudal médio diário (m³/dia)

Nhbd – Número de horas de bombagem por dia (h)

Energia consumida = Nhbd x P (onde Nhbd – número de horas bombeadas dia e P – Potência da bomba (Kw))

Seguidamente apresentam-se gráficos relativo às horas de bombagem e ao custo energético da exploração da albufeira.

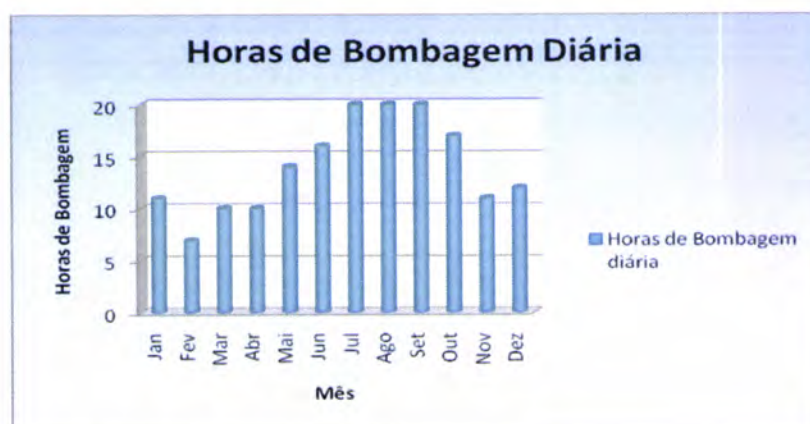


Figura 9.1 – Horas de bombagem diária por mês.

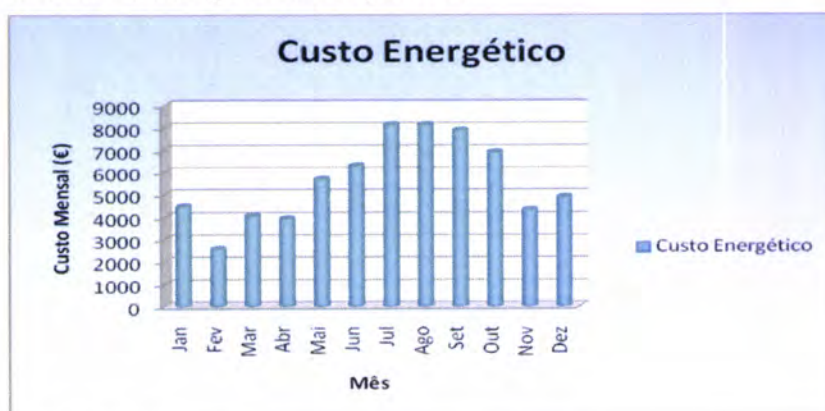


Figura 9.2 – Custo energético da exploração da albufeira.

Através dos gráficos acima apresentados facilmente se verifica que os meses com maior consumo de água nas freguesias serão os meses de Verão, logo são os meses onde existe um maior número de horas de bombagem e consequentemente terá um maior custo para a empresa AdNA.

Como se pode observar pelo Quadro 9.2, no ano de 2009, para se poder transportar a água necessária para abastecimento das cinco freguesias e das indústrias existentes, apenas da estação elevatória até à estação de tratamento de água a empresa AdNA teve um gasto de 67.341,59€.

9.5 - Estudo Económico da Exploração do Furo dos Olhos de Água

O sistema dos Olhos de Água é realizado em duas fases, primeiro existe uma bomba no furo jk5 (furo em funcionamento mencionado no capítulo VIII) que bombeia a água até uma câmara de regularização, a água é aduzida ao longo de 20m por uma conduta adutora de fibrocimento com um diâmetro de 350mm e a uma altura de 56m.

Seguidamente e até ao reservatório dos Enxames, o sistema é composto igualmente por uma bomba que eleva a água através de uma conduta de fibrocimento com diâmetro de 350mm durante 5000m e a uma diferença de altura de 161m.

Este é um sistema contínuo pois a água está sempre em movimento do furo para a câmara de regularização e desta para o reservatório 17 horas por dia sete dias por semana.

Para a realização deste estudo é necessário saber qual a população que o furo poderia abastecer, caso fosse necessário, para compensar a possível falha da Albufeira da Apartadura.

De acordo com o que se viu anteriormente o furo tem uma capacidade de 180 m³/h e trabalha 17h por dia o que corresponde a 3060 m³/dia. Como referido no capítulo VII a capitação para abastecimento da população das diferentes freguesias é de 192 l/hab.dia, pelo que o furo poderia garantir o consumo a 15938 habitantes.

No quadro 9.3 e 9.4 apresentam-se as perdas de carga contínuas e a potência das bombas do furo até à câmara de regularização e desta até ao reservatório dos Enxames.

Neste caso o coeficiente de rugosidade K terá um valor de 48,3 e os coeficientes α e β serão respectivamente 2,68 e 0,56.

Quadro 9.3 – Perdas de carga contínua e potência da bomba, até à câmara de regularização

D (mm)	J (m/m)	ΔH	H	γ (Kg/m ³)	η (%)	P (W)	P (kW)
350	0,000854	0,017083	56,017	9800	75	36597,83	36,60

Quadro 9.4 – Perdas de carga contínua e potência da bomba, até ao reservatório dos Enxames

D (mm)	J (m/m)	ΔH	H	γ (Kg/m ³)	η (%)	P (W)	P (kW)
350	0,000854	4,270865	165,2709	9800	75	107976,97	107,98

Seguidamente apresentam-se os custos em termos de energia para o funcionamento de todo o sistema.

Quadro 9.5 – Custos relativos ao ano de 2009, até à câmara de regularização

Fibrocimento (mm)	Qmd (m³/h)	Nhbd (h)	Energia (Kw.h)	Custo Diário (€)	Custo Anual (€)
350	3060	17	622,16	61,66	22504,57

Quadro 9.6 – Custos relativos ao ano de 2009, até ao reservatório dos Enxames

Fibrocimento (mm)	Qmd (m³/h)	Nhbd (h)	Energia (Kw.h)	Custo Diário (€)	Custo Anual (€)
350	3060	17	1835,61	181,91	66396,71

O sistema teria um custo em termos energéticos de 88.901,28€.

9.6 – Conclusão

Como se pode observar pelos valores calculados acima, embora o sistema dos Olhos de Água possa vir a ser um bom complemento para a albufeira da Apartadura, acarreta maiores custos sobretudo devido à distância entre a exploração e o reservatório, pelo que a utilização da albufeira da Apartadura, como ficou provado em capítulos anteriores é suficiente para abastecer as cinco freguesias em causa, é a mais acertada.

O estudo foi efectuado para o número de habitantes que o furo poderá abastecer, mas poderá ser usado apenas para algumas freguesias. Em caso de necessidade, como já foi mencionado é uma excelente alternativa apesar dos custos que acarreta.

X - Conclusão

Após o término do trabalho, é possível concluir sobre alguns aspectos.

A bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura em termos biofísicos é composta maioritariamente por solos argiluvitados pouco insaturados e solos litólicos, a litologia é fundamentalmente constituída por quartzitos e xistos ou grauvaques. A maior parte do solo é ocupada com sistemas agro-florestais com destaque para as culturas arvenses em regime de sequeiro, que são exploradas em forma de montado de sobre e/ou azinho, montado de carvalho em menor extensão e áreas de pinhal e eucalipto.

Em relação à análise fisiográfica a bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura apresenta uma forma alongada o que fazia supor que não teria tendência para cheias e que os índices de forma vieram confirmar. A bacia em estudo é medianamente drenada como o confirma o valor da densidade de drenagem.

O relevo da bacia é acentuado, sendo uma bacia bastante declivosa, onde as maiores cotas e maiores declives se encontram a sudeste da bacia.

A precipitação na bacia foi calculada utilizando os polígonos de Thiessen, onde se verificou que o único posto que influencia a bacia é o posto de Castelo de Vide, pelo que, a precipitação nesse posto é a precipitação na bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura.

Para o cálculo do escoamento na bacia foi necessária a utilização de uma bacia com características idênticas, dentro do possível, para através de uma regressão estatística Precipitação/Escoamento (onde foi obtido um valor de correlação de 0,81) obter o escoamento na bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura.

Na geração de séries de escoamento foi realizado o teste de Mann-Kendall e Mann-Whitney, para verificar a existência de tendência e outras alterações determinísticas em que se verificou que a série de escoamento da bacia em estudo não apresenta tendência, nem alterações determinísticas. Seguidamente através da estrutura correlacional, construiu-se um correlograma onde se conclui que a série de escoamentos anuais na bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura é independente. Para se verificar a qualidade das séries geraram-se 1200 séries de escoamentos anuais. Estabeleceu-se um intervalo de confiança de 95% para se verificar a qualidade das 1200 séries geradas. As estatísticas a comparar foram a média \bar{x} , desvio padrão s_x , coeficiente de assimetria g_x e coeficiente de autocorrelação de incremento um r_1 . Foi calculado o erro absoluto $|\theta - \hat{\theta}|$, entre a estatística histórica θ e gerada $\hat{\theta}$, onde se concluiu que as estatísticas da série histórica eram bem preservadas nas séries geradas, uma vez que os valores se encontram dentro do intervalo de confiança previamente estabelecido.

Foi efectuado o cálculo da probabilidade de falha e da garantia anual para saber se o armazenamento da albufeira é suficiente para o consumo nas freguesias, inicialmente foi utilizada a série histórica de escoamentos, partindo de três condições da albufeira, reservatório cheio, reservatório com metade do volume útil e reservatório vazio, com resultados muito bons. Nos dois primeiros casos há a garantia de 100% de que o reservatório não vai falhar, ou seja, o armazenamento na albufeira é suficiente para o consumo existente, mesmo quando se parte da condição inicial de reservatório vazio existe uma garantia de 98,15% de que não vai falhar, sendo apenas de 1,85% a probabilidade de falha. O que se verifica também nos diagramas de comportamento do reservatório que nunca chegam a 0.

Como esta série de escoamentos pode não repetir-se, foram efectuados os mesmos cálculos para as 1200 séries sintéticas geradas partindo das mesmas condições iniciais. Também aqui os resultados são bastante satisfatórios verificando-se uma garantia de que o reservatório não falhe em qualquer das condições da ordem dos 80/90% , enquanto que, no máximo, a probabilidade de falha é de 20%.

Pelo que se pode concluir que a albufeira da Apartadura é suficiente para satisfazer as necessidades das freguesias em estudo (Sé, S. Lourenço, Urra, Rib^a de Nisa, Fortios, Alagoa).

Após se concluir que a albufeira era suficiente para as necessidades hídricas em causa foi efectuado um estudo económico em relação a 2009, a nível do consumo de energia da albufeira da Apartadura.

Tendo em conta o consumo médio da população o diâmetro da conduta adutora e as horas de bombagem, obteve-se um valor dispendido pela empresa AdNA de 67.341,59€. Como é lógico, chegou-se igualmente à conclusão que os períodos de maior tempo de bombagem, logo maior gasto de energia, aconteceram nos meses de Verão (Julho, Agosto e Setembro).

Efectuou-se o mesmo estudo para o caso do furo dos Olhos de Água, onde se chegou à conclusão que é mais dispendiosa a utilização deste recurso do que a albufeira, pois para um limite máximo de 15938 habitantes a empresa AdNa teria um gasto de 88.901,28€. Embora a albufeira da Apartadura chegue para abastecer as freguesias, pode concluir-se que este subsistema pode ser um bom complemento à albufeira em caso de necessidade. É bom não esquecer que estas águas hoje ainda de boa qualidade, podem vir a ser deterioradas, uma vez que se for intensificada a utilização de produtos que contribuam para a entrada em solução de compostos azotados ultrapassar-se-á a capacidade de depuração do meio.

Era aconselhável que as populações fossem alertadas para este facto, para que deste modo pudesse ser feita uma boa utilização do solo na área da formação carbonatada para não por em causa as águas. As entidades responsáveis deviam realizar testes

químicos da água com alguma regularidade para não pôr em perigo o abastecimento das populações.

Bibliografia

Decreto Regulamentar nº23/95 de 23 de Agosto, Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Águas e de Drenagem de Águas, 1995.

ERHSA. (2001). Relatório Projecto *Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Alentejo*. Comissão de Coordenação da Região Alentejo. Évora.

Guimarães, R. (2005). *Simulação no Dimensionamento e Gestão de Sistemas de Recursos Hídricos. Geração de Séries Sintéticas de Escoamento*. Tese de Doutoramento, Universidade de Évora, Évora.

Instituto Nacional de Estatística. <http://ine.pt/>

Lencastre, A. e Franco, F. M. (1992). *Lições de Hidrologia*, Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia.

McMahon, T.A. e Mein, R.G. (1986). *River and Reservoir Yield*. Water Resources Publications, Littleton, Colorado.

Monteiro, J.P.G. (1993). *Hidrogeologia da Formação Carbonatada de Escusa (Castelo de Vide)* Dissertação para obtenção do grau de Mestre, Universidade de Lisboa.

Quintela, A. C. (1992). *Hidráulica Aplicada – Parte I, Hidrologia e Recursos Hídricos*, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Sistema Multimunicipal De Abastecimento De Água E Saneamento Do Norte Alentejano (2000). Hidroprojecto e Gestão, S.A.

SNIRH - Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. <http://snirh.inag.pt/>

Sá Marques, J.A. e Sousa, J.O. (2006). *Hidráulica Urbana. Sistema de Abastecimento de Água*. Imprensa da Universidade de Coimbra.

Vilaró, F. e Cuena, J. (1983). *Elementos de Hidrologia de Superfície*. Ediciones Omega S.A. Barcelona.

Outros Elementos de Consulta

Folha nº 325 da Carta Militar de Portugal. Serviços Cartográficos do Exército à escala 1/25000

Folha nº 334 da Carta Militar de Portugal. Serviços Cartográficos do Exército à escala 1/25000

Folha nº 335 da Carta Militar de Portugal. Serviços Cartográficos do Exército à escala 1/25000

Folha nº 336 da Carta Militar de Portugal. Serviços Cartográficos do Exército à escala 1/25000

Folha nº 346 da Carta Militar de Portugal. Serviços Cartográficos do Exército à escala 1/25000

Folha nº 347 da Carta Militar de Portugal. Serviços Cartográficos do Exército à escala 1/25000

Folha nº 348 da Carta Militar de Portugal. Serviços Cartográficos do Exército à escala 1/25000

Folha nº 358 da Carta Militar de Portugal. Serviços Cartográficos do Exército à escala 1/25000

Folha nº 359 da Carta Militar de Portugal. Serviços Cartográficos do Exército à escala 1/25000

Folha nº 360 da Carta Militar de Portugal. Serviços Cartográficos do Exército à escala 1/25000

Folha nº 371 da Carta Militar de Portugal. Serviços Cartográficos do Exército à escala 1/25000

Folha nº 372 da Carta Militar de Portugal. Serviços Cartográficos do Exército à escala 1/25000

Carta de solos nº 347, 1/25000

Carta de solos nº 348, 1/25000

Carta de ocupação solos nº 347, 1/25000

Carta de ocupação solos nº 348, 1/25000

Nota Explicativa da Carta dos Solos de Portugal e Nomenclatura de Ocupação de Solo de Portugal Continental, Instituto de Hidráulica Engenharia Rural e Ambiente, Direcção de Serviços Dos Recursos Naturais e Aproveitamentos Hidroagrícolas. Lisboa (1999).

Anexos

Em seguida apresentam-se os dados de precipitação anual usados na caracterização da bacia hidrográfica da albufeira da Apartadura.

Data	Arronches (mm)	Castelo Vide (mm)	Vale Peso (mm)	Póvoa Meadas (mm)
01-10-1946 9:00	847,4	1265	955,2	939,8
01-10-1947 9:00	556,7	967,4	732,6	747,6
01-10-1948 9:00	499,4	649	570,2	509,2
01-10-1949 9:00	474,4	744,4	662,2	662,6
01-10-1950 9:00	643,4	909	683,2	818,6
01-10-1951 9:00	837,8	1212,4	848,2	923,2
01-10-1952 9:00	256	508,8	498,1	528,4
01-10-1953 9:00	498,8	731,2	563,4	481,8
01-10-1954 9:00	563,6	897,2	653,2	733,6
01-10-1955 9:00	962,8	1232	1071,2	1100
01-10-1956 9:00	597,6	576,8	612,6	485
01-10-1957 9:00	565,5	568,2	691,2	609,2
01-10-1958 9:00	750,2	910,6	1001,6	904
01-10-1959 9:00	748,9	1290,8	1073,7	1006,5
01-10-1960 9:00	619,6	893,8	890,4	827,2
01-10-1961 9:00	722,2	856,9	776,2	788,5
01-10-1962 9:00	904,6	1089	1048,8	966,2
01-10-1963 9:00	964,3	1076,6	1081,8	971
01-10-1964 9:00	537,1	526,1	505,3	452,6
01-10-1965 9:00	933,3	1214,4	1110,7	926,6
01-10-1966 9:00	676,9	819,9	811,6	654,4
01-10-1967 9:00	494,1	712,7	636,9	588,9
01-10-1968 9:00	858,9	1086,3	1008,3	857,5
01-10-1969 9:00	776,2	997,5	907,5	851,2
01-10-1970 9:00	583,3	750,2	687,7	642,4
01-10-1971 9:00	400,1	623,3	644,3	675,6
01-10-1972 9:00	486,5	649,3	581,1	605,9
01-10-1973 9:00	406,6	644,2	635,8	522,5
01-10-1974 9:00	436,8	588,8	590	545,8
01-10-1975 9:00	412,9	557,1	480,5	507,7
01-10-1976 9:00	659,4	1022	932,1	777
01-10-1977 9:00	752,1	1095,4	968,4	967,2
01-10-1978 9:00	822,1	1307,8	1191,4	1081,4
01-10-1979 9:00	549,3	770,4	704,3	632,2
01-10-1980 9:00	332,5	458	415,2	440,5
01-10-1981 9:00	469,3	712,5	693,5	619,5
01-10-1982 9:00	315,6	562,9	412	487
01-10-1983 9:00	703,5	1029,3	988,9	781,3
01-10-1984 9:00	678,5	1128,9	1025,1	907,5
01-10-1985 9:00	508,7	729,2	754,9	659,7
01-10-1986 9:00	532,3	695,2	708,6	660,2
01-10-1987 9:00	684,9	1030,8	1009,9	940,2
01-10-1988 9:00	402,7	588,9	551,6	516,8
01-10-1989 9:00	633,5	868,2	891,3	857,2
01-10-1990 9:00	545,6	758,9	699,6	574,7
01-10-1991 9:00	411,4		488,3	529,3
01-10-1992 9:00	484,4	671,5	596,8	475,1
01-10-1993 9:00	599,7	1088,8	845,6	678,3
01-10-1994 9:00	328,4	687,5	508,4	409,5
01-10-1995 9:00	1013,3	1401,5	1045,6	1082,3
01-10-1996 9:00	809,3	824,5	716,3	815,8
01-10-1997 9:00	841,5	1463,5	1047	1116,2
01-10-1998 9:00	386,1	542,5	425,2	435,9

Como se pode verificar pelo quadro acima apresentado existe uma falha no posto de Castelo de Vide, falha essa que vai ser preenchida através do Método do U.S. Weather Bureau;

$$P_A = \frac{1}{3} \times \left(\frac{\bar{P}_A}{\bar{P}_B} \times P_B + \frac{\bar{P}_A}{\bar{P}_C} \times P_C + \frac{\bar{P}_A}{\bar{P}_D} \times P_C \right)$$

A – Estação a corrigir

B, C, D – Estações utilizadas no preenchimento da falha

P – Precipitação anual

\bar{P} - Precipitação média anual

Ano	Estações utilizadas		
1991	B (Arronches)	C (Vale do Peso)	D (Póvoa Meadas)
P (mm)	414,4	488,3	529,3
\bar{P} (mm)	612,8	766,7	722,2

A (Castelo de Vide)	
\bar{P} (mm)	859,9

Ano	Precipitação em Castelo de Vide (mm)
1991	585,1

Médias Móveis de 10 Anos

Ano	Arronches (mm)	Média móvel (mm)	Castelo Vide (mm)	Média móvel (mm)	Vale Peso (mm)	Média móvel (mm)
1946	847,4		1265		955,2	
1947	556,7		967,4		732,6	
1948	499,4		649		570,2	
1949	474,4		744,4		662,2	
1950	643,4		909		683,2	
1951	837,8		1212,4		848,2	
1952	256		508,8		498,1	
1953	498,8		731,2		563,4	
1954	563,6		897,2		653,2	
1955	962,8	614,0	1232	911,6	1071,2	723,8
1956	597,6	589,1	576,8	842,8	612,6	689,5
1957	565,5	589,9	568,2	802,9	691,2	685,4
1958	750,2	615,0	910,6	829,1	1001,6	728,5
1959	748,9	642,5	1290,8	883,7	1073,7	769,6
1960	619,6	640,1	893,8	882,2	890,4	790,4
1961	722,2	628,5	856,9	846,6	776,2	783,2
1962	904,6	693,4	1089	904,7	1048,8	838,2
1963	964,3	739,9	1076,6	939,2	1081,8	890,1
1964	537,1	737,3	526,1	902,1	505,3	875,3
1965	933,3	734,3	1214,4	900,3	1110,7	879,2
1966	676,9	742,3	819,9	924,6	811,6	899,1
1967	494,1	735,1	712,7	939,1	636,9	893,7
1968	858,9	746,0	1086,3	956,7	1008,3	894,4
1969	776,2	748,7	997,5	927,3	907,5	877,8
1970	583,3	745,1	750,2	913,0	687,7	857,5
1971	400,1	712,9	623,3	889,6	644,3	844,3
1972	486,5	671,1	649,3	845,6	581,1	797,5
1973	406,6	615,3	644,2	802,4	635,8	752,9
1974	436,8	605,3	588,8	808,7	590	761,4
1975	412,9	553,2	557,1	742,9	480,5	698,4
1976	659,4	551,5	1022	763,1	932,1	710,4
1977	752,1	577,3	1095,4	801,4	968,4	743,6
1978	822,1	573,6	1307,8	823,6	1191,4	761,9
1979	549,3	550,9	770,4	800,9	704,3	741,6
1980	332,5	525,8	458	771,6	415,2	714,3
1981	469,3	532,8	712,5	780,6	693,5	719,2
1982	315,6	515,7	562,9	771,9	412	702,3
1983	703,5	545,4	1029,3	810,4	988,9	737,6
1984	678,5	569,5	1128,9	864,4	1025,1	781,1
1985	508,7	579,1	729,2	881,6	754,9	808,6
1986	532,3	566,4	695,2	849,0	708,6	786,2
1987	684,9	559,7	1030,8	842,5	1009,9	790,4
1988	402,7	517,7	588,9	770,6	551,6	726,4
1989	633,5	526,2	868,2	780,4	891,3	745,1
1990	545,6	547,5	758,9	810,5	699,6	773,5
1991	411,4	541,7	585,1	797,7	488,3	753,0
1992	484,4	558,6	671,5	808,6	596,8	771,5
1993	599,7	548,2	1088,8	814,6	845,6	757,2
1994	328,4	513,2	687,5	770,4	508,4	705,5
1995	1013,3	563,6	1401,5	837,6	1045,6	734,6
1996	809,3	591,3	824,5	850,6	716,3	735,3
1997	841,5	607,0	1463,5	893,8	1047	739,1
1998	386,1	605,3	542,5	889,2	425,2	726,4

Médias móveis de ordem 10:

$$\frac{X_i + X_{i+1} + \dots + X_{i+n}}{10} \quad \text{com } n = 1, 2, \dots, n$$

Onde x_i – valor da precipitação no ano i , e n – número de anos de precipitação.

Escoamento na Bacia Hidrográfica da Albufeira da Apartadura

Ano	P. Ponderada (C. Vide) (mm)	Escoamento (mm)	Escoamento (dam ³)	Escoamento (10 ⁶ m ³)
1946	1265	760,3	6462,3	6,46
1947	967,4	490,6	4170,2	4,17
1948	649	202,1	1717,9	1,72
1949	744,4	288,6	2452,7	2,45
1950	909	437,7	3720,4	3,72
1951	1212,4	712,6	6057,1	6,06
1952	508,8	75,1	638,1	0,64
1953	731,2	276,6	2351,0	2,35
1954	897,2	427,0	3629,5	3,63
1955	1232	730,4	6208,1	6,21
1956	576,8	136,7	1161,9	1,16
1957	568,2	128,9	1095,6	1,10
1958	910,6	439,1	3732,7	3,73
1959	1290,8	783,6	6661,0	6,66
1960	893,8	423,9	3603,3	3,60
1961	856,9	390,5	3319,1	3,32
1962	1089	600,8	5106,7	5,11
1963	1076,6	589,6	5011,2	5,01
1964	526,1	90,7	771,4	0,77
1965	1214,4	714,4	6072,6	6,07
1966	819,9	357,0	3034,2	3,03
1967	712,7	259,8	2208,5	2,21
1968	1086,3	598,3	5085,9	5,09
1969	997,5	517,9	4402,0	4,40
1970	750,2	293,8	2497,4	2,50
1971	623,3	178,8	1520,0	1,52
1972	649,3	202,4	1720,2	1,72
1973	644,2	197,8	1681,0	1,68
1974	588,8	147,6	1254,3	1,25
1975	557,1	118,8	1010,1	1,01
1976	1022	540,1	4590,7	4,59
1977	1095,4	606,6	5156,0	5,16
1978	1307,8	799,0	6791,9	6,79
1979	770,4	312,1	2652,9	2,65
1980	458	29,0	246,9	0,25
1981	712,5	259,6	2207,0	2,21
1982	562,9	124,1	1054,8	1,05
1983	1029,3	546,7	4646,9	4,65
1984	1128,9	636,9	5414,0	5,41
1985	729,2	274,8	2335,6	2,34
1986	695,2	244,0	2073,8	2,07
1987	1030,8	548,1	4658,5	4,66
1988	588,9	147,7	1255,0	1,26
1989	868,2	400,7	3406,2	3,41
1990	758,9	301,7	2564,4	2,56
1991	585,1	144,2	1225,9	1,23
1992	671,5	222,5	1891,2	1,89
1993	1088,8	600,6	5105,2	5,11
1994	687,5	237,0	2014,4	2,01
1995	1401,5	883,9	7513,6	7,51
1996	824,5	361,1	3069,6	3,07
1997	1463,5	940,1	7991,1	7,99
1998	542,5	105,6	897,7	0,90

Anos	Escoamento (10 ⁶ m ³)		
1	2,83		
2	5,97		
3	5,32		
4	2,60		
5	1,18		
6	1,54		
7	5,95		
8	1,51		
9	1,03		
10	3,50		
11	0,56		
12	2,08		
13	2,01		
14	0,30		
15	3,90		
16	2,38		
17	5,86		
18	4,19		
19	1,90		
20	1,87		
21	2,24		
22	3,40		
23	0,95		
24	3,78		
25	2,91		
26	8,23		
27	0,91		
28	3,67		
29	3,31		
30	2,55		
31	4,84		
32	2,96		
33	3,31		
34	1,55		
35	2,22		
36	1,50		
37	2,89		
38	6,29		
39	0,93		
40	4,09		
41	4,28		
42	3,62		
43	3,62		
44	0,36		
45	2,81		
46	7,02		
47	1,45		
48	2,38		
49	5,63	Média (10⁶m³)	3,09
50	3,20	Desvio padrão	1,80
51	2,09	Variância	3,24
52	5,62	C. Assimetria	0,75
53	2,77	C. Variação	0,58

Anos	Escoamento (10 ⁶ m ³)		
1	1,82		
2	1,41		
3	7,08		
4	2,02		
5	0,82		
6	3,41		
7	2,69		
8	1,09		
9	1,04		
10	1,88		
11	4,97		
12	7,91		
13	1,77		
14	1,55		
15	5,80		
16	3,99		
17	0,82		
18	1,31		
19	0,79		
20	2,51		
21	2,01		
22	1,77		
23	4,47		
24	1,05		
25	4,18		
26	4,61		
27	3,73		
28	1,81		
29	8,10		
30	10,39		
31	6,47		
32	4,33		
33	2,33		
34	3,82		
35	1,75		
36	0,74		
37	3,54		
38	0,98		
39	3,09		
40	2,58		
41	5,02		
42	1,25		
43	3,58		
44	1,08		
45	2,25		
46	7,43		
47	4,67		
48	3,67		
49	2,72	Média (10⁶m³)	3,16
50	1,64	Desvio padrão	2,18
51	3,14	Variância	4,74
52	1,84	C. Assimetria	1,31
53	2,60	C. Variação	0,69

Anos	Escoamento (10 ⁶ m ³)		
1	1,66		
2	5,92		
3	5,39		
4	2,35		
5	5,97		
6	0,92		
7	3,09		
8	2,39		
9	1,93		
10	1,65		
11	7,48		
12	3,22		
13	2,16		
14	4,81		
15	10,90		
16	0,57		
17	3,08		
18	2,74		
19	6,15		
20	5,69		
21	0,70		
22	3,82		
23	6,03		
24	1,40		
25	2,91		
26	2,86		
27	4,31		
28	1,87		
29	9,88		
30	0,69		
31	3,81		
32	1,71		
33	1,41		
34	6,38		
35	7,25		
36	5,45		
37	2,08		
38	2,10		
39	1,52		
40	0,34		
41	3,47		
42	2,58		
43	1,45		
44	2,39		
45	0,96		
46	8,11		
47	1,86		
48	3,41		
49	6,44	Média (10⁶m³)	3,56
50	1,82	Desvio padrão	2,41
51	3,01	Variância	5,81
52	3,97	C. Assimetria	1,07
53	4,57	C. Variação	0,68

CONCELHO	POPULAÇÃO RESIDENTE	TOTAL DE ALOJAM.	FAMÍLIA CLÁSSICA	ALOJAM. LIVRES	ALOJAM. USO SAZONAL	HABITANT./ FAMÍLIA	POPULAÇ. C/RESIDÊN. SECUNDAR.	ALOJAM. HOTELEIRO	POPULAÇ. FLUTUANTE	POPULAÇ. PRESENTE	POPULAÇ. ABASTEC.	INDÚSTRIA HAB. EQUIV.	CONSUMO
	2001												
Sé	9987	4346	3584	762	267	2,8	743	6	749	9356	8888	5188	51,1
S. Lourenço	5781	2899	2195	704	246	2,6	649	18	667	5649	5367		21,3
Urra	2117	1085	811	274	96	2,6	250	1	251	2076	1972		7,8
Reguengo	712	467	289	178	62	2,5	153		153	731	695		2,8
Rib ^a Nisa	1474	741	565	176	62	2,6	161		161	1356	1289		5,1
Fortios	2021	989	752	237	83	2,7	223	1	224	1863	1770		7,0
Alagoa	715	370	272	98	34	2,6	90		90	90	86		0,3
										Total	20066		95,5

Alojamento livre = Total Alojamento – Família Clássica

Alojamento de uso sazonal = 0,35 x Alojamento livre

Habitante por família = População residente / Família clássica

População c/ residência secundária = Alojamento de uso sazonal / Habitante por família

População flutuante = População c/ residência secundária + Alojamento Hoteleiro

População presente = (População residente x 449/521) + População flutuante

População abastecida = 0,95 x População presente

Consumo =(População Abastecida x ((0,19/0,72)x1,3) + Indústria equivalente habitantes x (0,19/0,72)) / 86,4

Concelho	Sector de actividade		Necessidades estimadas
			(m ³ /ano)
Portalegre	CAE 155	Indústria de lacticínios	51.16
	CAE 1561	Tranformação de cereais e leguminosas	9761,000
	CAE 171e 172	Indústria têxtil	47.783
	CAE 20522	Indústria da cortiça	5.026
	CAE 247	Fabricação de fibras sintéticas ou artificiais	329.629
	CAE 28	Fabricação de produtos metálicos, excepto máquinas e equipamentos	5.463
	CAE 15412	Produção de azeite	894
	CAE 1593	Produção de vinho	1.106
	Total parcial		399662,000

CAE- Código de actividade económica

Fonte- plano de Bacia do Tejo

Capitação	
Capitação/Perdas	
Capitação-consumo doméstico (l/hab.dia)	150
Perda (%)	28
Capitação Bruta (l/hab.dia)	192

Pop	25254	hab
Consumo	4848743	l/dia
	4849	m ³ /dia

Consumo (m³/ano)	1769791,1
Consumo com 10% perdas (m³/ano)	1946770,2
Consumo (10⁶m³)	1,95

Reservatório Cheio $Z_t = C$

	Ano	Z_{t+1}
Z1	1946	3,5000
Z2	1947	3,5000
Z3	1948	3,2679
Z4	1949	3,5000
Z5	1950	3,5000
Z6	1951	3,5000
Z7	1952	2,1881
Z8	1953	2,5891
Z9	1954	3,5000
Z10	1955	3,5000
Z11	1956	2,7119
Z12	1957	1,8575
Z13	1958	3,5000
Z14	1959	3,5000
Z15	1960	3,5000
Z16	1961	3,5000
Z17	1962	3,5000
Z18	1963	3,5000
Z19	1964	2,3214
Z20	1965	3,5000
Z21	1966	3,5000
Z22	1967	3,5000
Z23	1968	3,5000
Z24	1969	3,5000
Z25	1970	3,5000
Z26	1971	3,0700
Z27	1972	2,8402
Z28	1973	2,5712
Z29	1974	1,8755
Z30	1975	0,9356
Z31	1976	3,5000
Z32	1977	3,5000
Z33	1978	3,5000
Z34	1979	3,5000
Z35	1980	1,7969
Z36	1981	2,0539
Z37	1982	1,1587
Z38	1983	3,5000
Z39	1984	3,5000
Z40	1985	3,5000
Z41	1986	3,5000
Z42	1987	3,5000
Z43	1988	2,8050
Z44	1989	3,5000
Z45	1990	3,5000
Z46	1991	2,7759
Z47	1992	2,7171
Z48	1993	3,5000
Z49	1994	3,5000
Z50	1995	3,5000
Z51	1996	3,5000
Z52	1997	3,5000
Z53	1998	2,4477

Metade do Volume Útil $Z_t = C/2$

	Ano	Z_{t+1}
Z1	1946	1,75000
Z2	1947	3,50000
Z3	1948	3,26793
Z4	1949	3,50000
Z5	1950	3,50000
Z6	1951	3,50000
Z7	1952	2,18813
Z8	1953	2,58914
Z9	1954	3,50000
Z10	1955	3,50000
Z11	1956	2,71185
Z12	1957	1,85747
Z13	1958	3,50000
Z14	1959	3,50000
Z15	1960	3,50000
Z16	1961	3,50000
Z17	1962	3,50000
Z18	1963	3,50000
Z19	1964	2,32137
Z20	1965	3,50000
Z21	1966	3,50000
Z22	1967	3,50000
Z23	1968	3,50000
Z24	1969	3,50000
Z25	1970	3,50000
Z26	1971	3,06999
Z27	1972	2,84022
Z28	1973	2,57118
Z29	1974	1,87546
Z30	1975	0,93558
Z31	1976	3,50000
Z32	1977	3,50000
Z33	1978	3,50000
Z34	1979	3,50000
Z35	1980	1,79687
Z36	1981	2,05387
Z37	1982	1,15866
Z38	1983	3,50000
Z39	1984	3,50000
Z40	1985	3,50000
Z41	1986	3,50000
Z42	1987	3,50000
Z43	1988	2,80504
Z44	1989	3,50000
Z45	1990	3,50000
Z46	1991	2,77591
Z47	1992	2,71713
Z48	1993	3,50000
Z49	1994	3,50000
Z50	1995	3,50000
Z51	1996	3,50000
Z52	1997	3,50000
Z53	1998	2,44768

Reservatório Vazio $Z_t = 0$

	Ano	Z_{t+1}
Z1	1946	0,00000
Z2	1947	2,22019
Z3	1948	1,98812
Z4	1949	2,49080
Z5	1950	3,50000
Z6	1951	3,50000
Z7	1952	2,18813
Z8	1953	2,58914
Z9	1954	3,50000
Z10	1955	3,50000
Z11	1956	2,71185
Z12	1957	1,85747
Z13	1958	3,50000
Z14	1959	3,50000
Z15	1960	3,50000
Z16	1961	3,50000
Z17	1962	3,50000
Z18	1963	3,50000
Z19	1964	2,32137
Z20	1965	3,50000
Z21	1966	3,50000
Z22	1967	3,50000
Z23	1968	3,50000
Z24	1969	3,50000
Z25	1970	3,50000
Z26	1971	3,06999
Z27	1972	2,84022
Z28	1973	2,57118
Z29	1974	1,87546
Z30	1975	0,93558
Z31	1976	3,50000
Z32	1977	3,50000
Z33	1978	3,50000
Z34	1979	3,50000
Z35	1980	1,79687
Z36	1981	2,05387
Z37	1982	1,15866
Z38	1983	3,50000
Z39	1984	3,50000
Z40	1985	3,50000
Z41	1986	3,50000
Z42	1987	3,50000
Z43	1988	2,80504
Z44	1989	3,50000
Z45	1990	3,50000
Z46	1991	2,77591
Z47	1992	2,71713
Z48	1993	3,50000
Z49	1994	3,50000
Z50	1995	3,50000
Z51	1996	3,50000
Z52	1997	3,50000
Z53	1998	2,44768