

# **UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO**

**ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**

**Departamento de Engenharias**



## **Necessidade e Disponibilidade de Água para uma Gestão Hídrica Eficiente na Bacia Hidrográfica de Vila Chã**

**Joana Filipa Pinto da Costa**

Dissertação apresentada à Universidade de Trás-os-Montes e  
Alto Douro para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil

Outubro de 2010

# **UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO**

**ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**

**Departamento de Engenharias**



## **Necessidade e Disponibilidade de Água para uma Gestão Hídrica Eficiente na Bacia Hidrográfica de Vila Chã**

**Orientador Científico  
Luís Filipe S. Fernandes**

**Joana Filipa Pinto da Costa**

Dissertação apresentada à Universidade de Trás-os-Montes e  
Alto Douro para a obtenção de Grau do Mestre em Engenharia Civil

Outubro de 2010

Dedico este trabalho aos meus pais e marido pela  
atenção de todos os dias.

Ao Professor Luís Filipe Sanches Fernandes, pela compreensão, dedicação e exigência de todos os dias, para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Engenheiro Levi Roçadas pelo apoio e dinamismo na resolução dos problemas que foram aparecendo.

À Engenheira Alda Pereira pela cooperação e apoio no desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus colegas e amigos Francisco, Carlos e Maria pelo grupo formado ao longo do ano que facilitou o estudo e desenvolvimento do trabalho efectuado.

À DHI, em especial à Sra. Sílvia Leirião, pelo apoio prestado, na resolução dos problemas que iam surgindo no desenvolvimento do trabalho.

Aos meus pais pelo apoio e dedicação que sempre prestaram desde o início do curso.

Ao meu marido por toda atenção e compreensão que sempre prestou na realização deste trabalho.

## Resumo

O crescimento global da população, paralelamente com os desenvolvimentos industriais e tecnológicos têm originado um aumento dos consumos de água a nível mundial, tornando indispensável uma gestão equilibrada dos recursos hídricos. Os sistemas de informação geográfica (SIG) constituem um meio de suporte ao planeamento e gestão destes recursos com grande aplicabilidade. Como software de suporte ao estudo das disponibilidades e necessidades hídricas das albufeiras, o MIKE BASIN tem sido largamente aplicado em diversos pontos do mundo em distintas pesquisas. Este software é integrado com o SIG, o que constitui uma ferramenta de interesse para uma gestão eficaz dos recursos hídricos naturais, no âmbito geográfico da bacia hidrográfica. Este trabalho desenvolve uma aplicação do software MIKE BASIN na bacia hidrográfica de Vila Chã, no concelho de Alijó. A aplicação dos SIG na modelação hidrológica auxiliou o tratamento da informação espacial, revelando-se de grande interesse na tomada de decisões relacionadas quer com a gestão quer com o planeamento dos recursos hídricos naturais. Nos dois cenários propostos para o ano de 2070 (abastecimento de água ao concelho de Sabrosa e reflorestamento dos matos com pinheiro bravo), estimou-se que ocorra uma redução das disponibilidades hídricas da albufeira de Vila Chã. Esta não terá capacidade para garantir na totalidade o abastecimento de água às populações, em especial, nos meses de Verão. No caso de ocorrência de um incêndio as disponibilidades hídricas aumentam, permitindo a garantia da totalidade das necessidades populacionais, contudo não é um cenário passível de realizar.

**Palavras-chave:** Recursos Hídricos; Bacia Hidrográfica; Sistema de Apoio à Decisão (SAD); Sistemas de Informação Geográfica (SIG); MIKE BASIN;

## Abstract

The global population growth, along with the industrial developments and technological advances have led to an increase of water consumption worldwide, making it essential to a balanced management of water resources. The geographic information systems (GIS) are a means to support the planning and management of these resources with wide applicability. As software to support the study of the existing reservoirs and water needs, the MIKE BASIN has been widely applied in various parts of the world in different surveys. This software is integrated with the GIS, which is a tool of interest for the effective management of natural water resources within the geographical scope of the watershed. This work develops a software application MIKE BASIN River Basin in Vila Cha in the municipality of Alijó. The application of GIS in hydrologic modeling aided the treatment of spatial information, revealing the great interest in making decisions related either to the management and the planning of natural water resources. In two different scenarios proposed for the year 2070 (water supply to the municipality of Sabrosa and reforestation of the forests with pine), estimated to be decreased water availability Bayou Village Cha. This will not be able to ensure the entire water supply to the population, especially in the summer months. In the event of a fire, water availability increases, enabling the security needs of all populations, but is not a scenario likely accomplish.

**Keywords:** Water Resources; Watershed; Decision Support System (DDS), Geographic Information (GIS); MIKE BASIN.

# Índice

## Resumo

1- Enquadramento.....	2
1.1- Âmbito e objectivos do estudo .....	5
2- Revisão da Literatura.....	7
2.1- Definição de Recursos Hídricos .....	7
2.2- Distribuição da água na Europa.....	8
2.3- Deterioração dos Recursos Hídricos: Poluição Hídrica .....	11
2.4- Fenómenos Extremos: Secas e Inundações.....	13
2.5- Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos Naturais .....	14
2.6- Legislação Internacional.....	15
2.7- Gestão dos Recursos Hídricos em Portugal.....	18
2.7.1- Legislação Nacional.....	20
2.8- Sistemas de Apoio à Decisão (SAD).....	22
2.9- Sistemas de Informação Geográfica (SIG).....	23
2.10- Modelos de Simulação do Sistema Hídrico.....	24
3. Metodologia.....	29
3.1- Enquadramento Geográfico .....	29
3.2- Caracterização da Barragem de Alijó.....	33
3.3- MIKE BASIN .....	34
3.3.1- Aplicação .....	35
3.4- Tratamento dos dados.....	39
3.4.1- Introdução dos dados no modelo .....	42
4- Resultados e Análise de Sensibilidades.....	50
5- Conclusões e Perspectivas Futuras.....	77
Referências Bibliográficas.....	80

## Anexos

## Índice de figuras

Figura 1.1 – Representação esquemática da estrutura da dissertação .....	4
Figura 2.1 – Ciclo hidrológico.....	8
Figura 2.2 – Fontes Poluidoras .....	12
Figura 3.1 – Enquadramento geográfico dos concelhos de Alijó e Murça.....	29
Figura 3.2 – Localização da Barragem de Alijó.....	30
Figura 3.3 – Barragem de Alijó .....	30
Figura 3.4 – Freguesias abrangidas pela Bacia Hidrográfica de Vila Chã .....	31
Figura 3.5 – Precipitação média anual na área da bacia hidrográfica .....	32
Figura 3.6 – Temperatura média anual na área da bacia hidrográfica.....	33
Figura 3.7 – Encadeamento metodológico proposto .....	35
Figura 3.8 – Sentido de fluxo determinado .....	36
Figura 3.9 – Linha de água produzida pelo software.....	37
Figura 3.10 – Sub-bacia produzida pelo programa.....	38
Figura 3.11 – Representação do sistema de Vila Chã .....	38
Figura 3.12 – Usos do solo na Bacia Hidrográfica de Vila Chã.....	40
Figura 3.13 – Propriedades do utilizador de água .....	43
Figura 3.14 – Condições de operação da albufeira.....	44
Figura 3.15 – Variação da quantidade de CO <sub>2</sub> libertada para a atmosfera.....	45
Figura 3.16 – Localização geográfica das freguesias do concelho de Sabrosa	46
Figura 3.17 – Reflorestamento com pinheiros bravos .....	47
Figura 3.18 –Área ardida de mato.....	48

## Índice de gráficos

Gráfico 2.1 – Disponibilidade de água doce na Europa .....	9
Gráfico 2.2 – Intensidade de captação da água como percentagem do total dos recursos renováveis de água doce na Europa .....	10
Gráfico 4.1 – Disponibilidades hídricas mensais na albufeira em 2008 (m <sup>3</sup> /s) .....	50
Gráfico 4.2 – Volume de água mensal na albufeira em 2008 (m <sup>3</sup> ).....	51
Gráfico 4.3 – Nível de água na albufeira no ano de 2008 (m).....	52
Gráfico 4.4 – Necessidades hídricas populacionais garantidas no ano de 2008 (m <sup>3</sup> /s).....	53
Gráfico 4.5 – Comparação do nível de água real e simulado no ano 2008 (m).....	54
Gráfico 4.6 – Comparação do volume de água mensal, real e simulado, no ano 2008 (m <sup>3</sup> ) .....	55
Gráfico 4.7– Disponibilidades hídricas mensais na albufeira no cenário I (m <sup>3</sup> /s).....	56
Gráfico 4.8 – Volume de água mensal na albufeira no cenário I (m <sup>3</sup> ) .....	57
Gráfico 4.9 – Comparação do volume de água mensal no cenário I e ano de 2008 (m <sup>3</sup> ) .....	58
Gráfico 4.10 – Nível de água na albufeira para o cenário I (m) .....	59
Gráfico 4.11– Balanço entre as disponibilidades hídricas e necessidades hídricas no cenário I (m <sup>3</sup> /s).....	60
Gráfico 4.12 – Necessidades hídricas garantidas pela albufeira no cenário I (m <sup>3</sup> /s).....	61
Gráfico 4.13 – Défice nas necessidades hídricas estimadas no cenário I (m <sup>3</sup> /s).....	62
Gráfico 4.14 – Disponibilidades hídricas mensais no cenário II (m <sup>3</sup> /s) .....	63
Gráfico 4.15 – Volume de água mensal na albufeira no cenário II (m <sup>3</sup> ).....	64
Gráfico 4.16 – Comparação do volume de água mensal no cenário II e o ano de 2008 (m <sup>3</sup> ) .....	65
Gráfico 4.17 – Nível de água na albufeira no cenário II (m).....	66

Gráfico 4.18 – Balanço entre as disponibilidades hídricas e as necessidades hídricas mensais no cenário II ( $m^3/s$ ) .....	67
Gráfico 4.19 – Necessidades hídricas garantidas pela albufeira no cenário II ( $m^3/s$ ).....	68
Gráfico 4.20 – Défice nas necessidades hídricas estimadas no cenário II ( $m^3/s$ ) .....	69
Gráfico 4.21 – Disponibilidades hídricas mensais no cenário III ( $m^3/s$ ).....	70
Gráfico 4.22 – Volume de água mensal na albufeira no cenário III ( $m^3$ ).....	71
Gráfico 4.23 – Nível de água na albufeira no cenário III (m) .....	72
Gráfico 4.24 – Balanço entre as disponibilidades hídricas e as necessidades hídricas mensais no cenário III ( $m^3/s$ ) .....	73
Gráfico 4.25 – Comparação das disponibilidades hídricas mensais nos cenários considerados (l/s).....	74
Gráfico 4.26 – Comparação do défice nas necessidades hídricas nos cenários I e II ( $m^3/s$ ).....	75

## Índice de quadros

Quadro 3.1 – Precipitação efectiva (mm) .....	39
Quadro 3.2 – Coeficientes de escoamento.....	40
Quadro 3.3 – Precipitação efectiva e útil (mm).....	41
Quadro 3.4 – Escoamento superficial na bacia de Vila Chã.....	42

## Índice de equações

Equação 3.1 – Coeficiente de escoamento .....	39
Equação 3.2 – Coeficiente de escoamento ponderado.....	41
Equação 3.3 – Escoamento superficial .....	42

## Abreviaturas

ATMAD – Águas de Trás-os-Montes e Alto Douro

CEE – Comunidade Económica Europeia

CNA – Conselho Nacional da Água

Confagri – Confederação Nacional das Cooperativas Agrícolas e do Crédito Agrícola de Portugal

D.L. – Decreto-Lei

DQA – Directiva Quadro da Água

EUA – Estados Unidos da América

FCUL – Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

INE – Instituto Nacional de Estatística

INAG - Instituto Nacional da Água

ISA - Instituto Superior de Agronomia

MDT – Modelo Digital de Terreno

MIS – Management Information Systems

N – Norte

NE – Nordeste

NPA – Nível de Pleno Armazenamento

PBH – Plano de Bacia Hidrográfica

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

PNA – Plano Nacional da Água

REN – Reserva Ecológica Nacional

SAD – Sistemas de Apoio à Decisão

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

SNIRH – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

SW – Sudoeste

SWAT – Soil and Water Assessment Tool

USGS – United State Geological Survey

W – Oeste

WEAP – Water Evaluation and Planning

## Simbologia

% – Percentual

C – Coeficiente de Escoamento

ha – Hectare

Km – Quilómetro

Km<sup>2</sup> – Quilómetro quadrado

l – Litro

l/s – Litro por segundo

L/s/Km<sup>2</sup> – Litro por segundo por quilómetro quadrado

m – Metro

m<sup>3</sup> – Metro cúbico

m<sup>3</sup>/s – Metro cúbico por segundo

mm – Milímetro

°C – Graus celsius

s – Segundo

# **Capítulo 1**

Enquadramento

## 1- Enquadramento

Durante o século XX, o consumo de água aumentou significativamente, devido ao crescimento populacional, desde então a problemática da gestão da água tem-se anunciado de enorme interesse e importância (Vieira, 2003). Cerca de 97,5 % da água, existente na terra, corresponde a oceanos e mares (Cavaco e Simões, 1998).

A poluição das águas subterrâneas e superficiais deve ser conjuntamente integrada na gestão dos recursos hídricos naturais, na medida em que afecta a sua qualidade. Para além da poluição hídrica, também as catástrofes naturais contribuem para a deterioração dos recursos, em especial as secas, embora as inundações possam provocar elevados prejuízos, quer ambientais, materiais e humanos (e-Geo, 2008).

Assim sendo, o Homem tem necessidade de interferir sistematicamente no ciclo hidrológico para satisfazer as suas necessidades hídricas e garantir de forma racional a continuidade da quantidade e da qualidade deste recurso natural para as gerações vindouras (Mendes, 2009).

Ao longo do tempo, têm-se realizado inúmeras obras hidráulicas, a nível mundial, entre as quais, se destacam grandes barragens.

Tendo por base esta realidade, é urgente promover a gestão racional dos recursos hídricos naturais, para minimizar as suas consequências é necessário definir um leque de acções de modo a melhorar essa gestão (Mendes, 2009).

O aparecimento dos SAD derivou particularmente da evolução tecnológica, nomeadamente do software e do hardware. Foram utilizados pela primeira vez numa comunicação feita por Gorry e Scott Morton, mas a sua publicação pública foi apenas em 1978, por Keen e Scott Morton. Na década de 80, a essência dos SAD sofreu modificações resultantes da disponibilização de ferramentas de modelação e da utilização dos computadores (Cabral, 2001).

O desenvolvimento das tecnologias de informação têm colaborado, em larga escala, para o aperfeiçoamento dos meios de suporte ao planeamento e gestão dos recursos hídricos naturais (Vieira, 2000).

Como instrumentos de apoio à monitorização dos recursos hídricos existem os SIG, estes permitem reunir e guardar todas as informações geográficas para a simplificação do tratamento de dados (Vieira, 2000).

Os SIG assumem um papel importante no desenvolvimento dos SAD, em especial, na gestão dos recursos hídricos (Rodrigues et al, 2003).

Nos últimos anos, têm-se desenvolvido múltiplos modelos de simulação hídrica que possibilitam encontrar soluções para problemas de planeamento e gestão dos recursos hídricos (Curi, 2008).

Na vasta oferta de softwares de gestão dos recursos hídricos, considerou-se o MIKE BASIN, pelas suas potencialidades, em especial, na gestão de bacias hidrográficas, o software indicado para o estudo da Bacia Hidrográfica de Vila Chã. O estudo da área abrangida pela Bacia Hidrográfica de Vila Chã engloba a caracterização do tipo de usos do solo e da precipitação mensal. A análise das disponibilidades hídricas foi realizada para o ano de 2008, e para o ano de 2070, com a finalidade de promover, a longo prazo, o desenvolvimento de acções integradas de gestão da água e de ordenamento do território.

O trabalho foi dividido em cinco capítulos. O primeiro capítulo refere-se ao enquadramento do tema: problemática da gestão dos recursos hídricos. No segundo capítulo, fez-se uma breve caracterização geral da situação mundial e, particularmente, em Portugal. Encontram-se definidas as diferentes componentes dos recursos hídricos (superficiais ou subterrâneos, numa lógica de ciclo hidrológico). Abordou-se também a importância da sua gestão eficiente, uma vez que, se verificam grandes alterações climáticas e alteração de comportamentos susceptíveis de originar graves problemas como, por exemplo, as secas extremas. Numa perspectiva histórica, foram referidos os principais acontecimentos que conduziram à legislação actual sobre os recursos hídricos, quer a nível mundial quer a nível nacional. Existindo uma enorme variedade de programas, que têm por base auxiliar na tomada de decisões de planeamento e gestão eficiente dos recursos hídricos, o software utilizado foi o MIKE BASIN por apresentar melhores potencialidades. Assim sendo, foram referidas algumas das suas aplicações de carácter internacional.

No terceiro capítulo, fez-se o enquadramento geográfico da Bacia Hidrográfica de Vila Chã, contemplando a caracterização dos usos do solo e a precipitação média mensal. Foi efectuado o tratamento dos dados de entrada para a aplicação do MIKE BASIN. O quarto capítulo consistiu na análise dos resultados decorrentes da aplicação do MIKE BASIN, estes correspondem ao ano de 2008 e cenários propostos (2070). Finalmente, o quinto capítulo corresponde às conclusões finais do trabalho e perspectivas futuras. A figura 1.1 apresenta de forma esquemática a estrutura da dissertação.

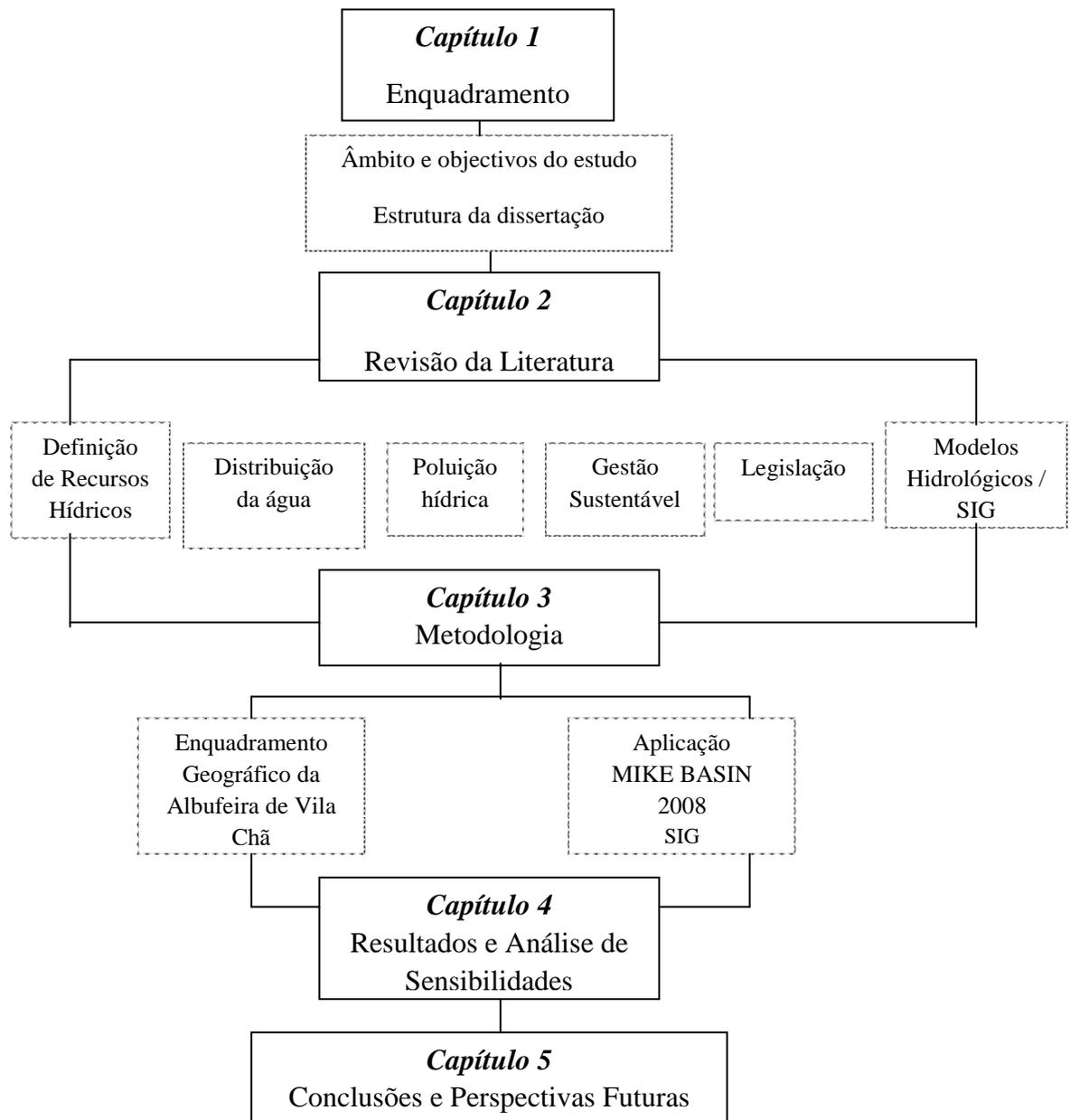


Figura 1.1 – Representação esquemática da estrutura da dissertação

## 1.1- Âmbito e objectivos do estudo

O objectivo principal deste trabalho foi prever atempadamente a quantificação das disponibilidades hídricas existentes na albufeira de Vila Chã, para os anos de 2008 e 2070, através da aplicação de ferramentas informáticas de apoio à decisão, capazes de dar resposta à multiplicidade de problemas no âmbito dos recursos hídricos naturais. Um outro objecto deste trabalho foi demonstrar parte do funcionamento de um modelo aplicado a uma bacia hidrográfica, para melhor gerir e planear os recursos hídricos dessa região.

## **Capítulo 2**

Revisão da Literatura

## 2- Revisão da Literatura

### 2.1- Definição de Recursos Hídricos

Existem sobre a água diferentes definições, segundo (Jha e Gupta, 2003) *“a água é uma necessidade básica para manter a vida e o desenvolvimento da sociedade”*.

*“A água é dos recursos ambientais o que menos se tem valorizado até ao momento. Contudo, pela qualidade de serviços e sectores de desenvolvimento económico a ela associados, é cada vez mais visto e avaliado como um bem económico, como os outros.”* (Rodrigues, 2009)

*“A abundância e a carência de água têm tido, através dos tempos, profundas repercussões na evolução dos povos, a ponto de se ficar devendo à disponibilidade de recursos hídricos em certas regiões o florescimento de civilizações que aí encontram condições de fixação e desenvolvimento”* (Lima et al., 2003).

Os recursos hídricos, por serem bens essenciais à vida, devem ser encarados como bens sociais. Estes, por estarem presentes em quase todas as actividades sectoriais, tornam-se necessariamente num bem económico (Rodrigues, 2009).

Podem ser classificados em disponíveis e potenciais, os primeiros provêm da intervenção humana através de captações de água do ciclo hidrológico, ao contrário dos potenciais que equivalem à máxima quantidade de água que supostamente se obteria deste ciclo (Mendes, 2009).

Os aproveitamentos hidráulicos são responsáveis pela produção de energia, controle de cheias, abastecimento de água às populações, pelo que, é necessário controlar sobretudo a parcela de precipitação que cai na rede hidrográfica, obtendo-se proveitos do ciclo hidrológico natural (Lencastre e Franco, 2003).

*“O ciclo hidrológico é a sequência fechada de fenómenos pelos quais a água passa do globo terrestre para a atmosfera, na fase de vapor, e regressa*

àquele, nas fases líquida e sólida” (INAG, 2009). As diversas fases do ciclo hidrológico são ilustradas na figura 2.1.



Figura 2.1 – Ciclo hidrológico; adaptado de Evans, USGS, 2009

## 2.2- Distribuição da água na Europa

Segundo Cavaco e Simões, “só uma pequena percentagem da água existente à superfície da terra é doce (2,5%) e desta, apenas uma parcela muito reduzida (0,007%) está disponível para o Homem em lagos, rios, albufeiras e aquíferos. Mas, por outro lado, apenas 1/6 dos recursos hídricos renováveis e disponíveis são actualmente explorados.” (Cavaco e Simões, 1998).

Os usos da água são vários e diversificam de acordo com o país, por exemplo, no continente europeu a indústria gasta 53% da água, a agricultura 28% e por último com 19% está o consumo doméstico (Cavaco e Simões, 1998). O gráfico 2.1 ilustra a disponibilidade hídrica nos países da Europa.

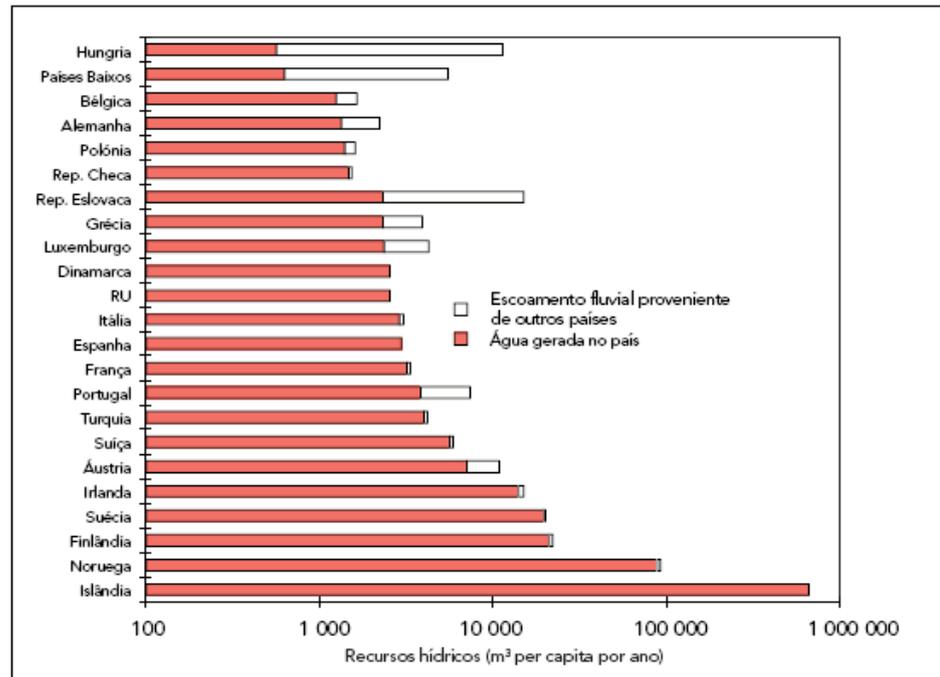


Gráfico 2.1 – Disponibilidade de água doce na Europa; adaptado Nixon, S.C. et al, 2000

A Islândia é o país com maior quantidade de água, ao contrário da Hungria que corresponde ao país com menor disponibilidade em recursos hídricos.

A maior quantidade de água doce existente ocorre em bacias hidrográficas internacionais: 261 bacias hidrográficas, representando 45% da área continental do mundo, sendo 60% das reservas hídricas superficiais (Costa et al., 2008).

Em relação à captação de água doce, para os mais diversos usos (agricultura, indústria, consumo doméstico), varia entre os países da Europa, como ilustra o gráfico 2.2.

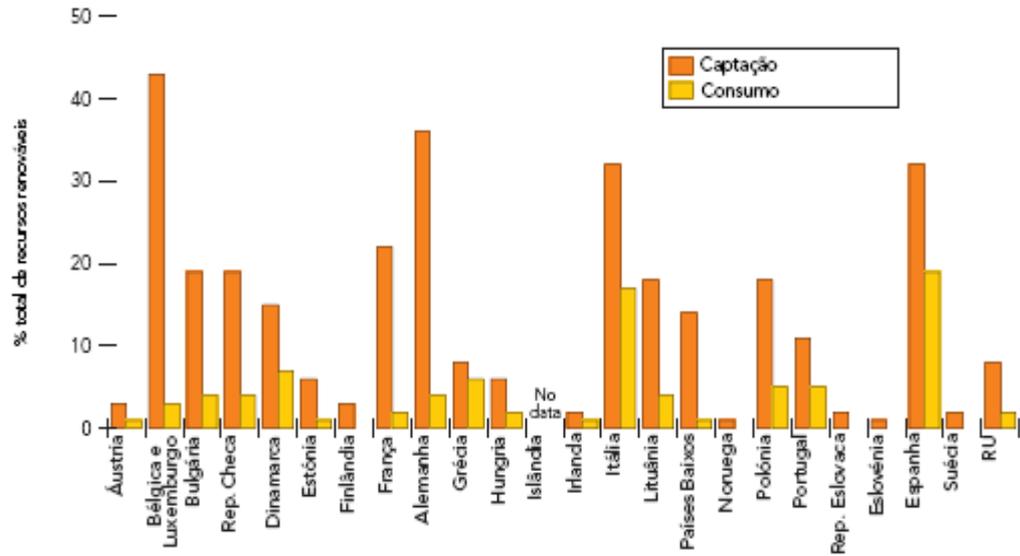


Gráfico 2.2 – Intensidade de captação da água como percentagem do total dos recursos renováveis de água doce na Europa; adaptado Nixon, S. C., et al, 2000

Em África, as variações da precipitação têm grande influência sobre os recursos hídricos, as zonas áridas apenas captam 10% da água que resulta da precipitação, nestas zonas é indispensável a existência de um sistema de reserva artificial das águas. Em comparação com outros países do mundo, o nível de gestão dos recursos hídricos é muito rudimentar, as infra-estruturas quando existentes são débeis. Para os países africanos é prioritária a construção de novas infra-estruturas e reestruturação da gestão em vigor. O maior desafio que o Médio Oriente e a África do Norte enfrentam é a escassez de água, sendo a principal preocupação a gestão dos caudais de água e de bacias na superfície, uma vez, que têm um clima mais árido. Por outro lado, nos países da Ásia Oriental e do Pacífico, a gestão dos recursos hídricos permite a redução da pobreza e fomentará o desenvolvimento sustentável. Na China Ocidental, a prioridade é desenvolver as potencialidades existentes para a recolha de água e a gestão das várias bacias hídricas, procurando soluções que evitem a perda de água. Os países como a Indonésia, Filipinas, Tailândia e Vietname, possuem grande quantidade de recursos hídricos. Contudo, têm problemas no

abastecimento público e poluição, sendo necessária uma gestão mais produtiva destes recursos. Os desafios já mencionados são comuns para os países da Europa de Leste e Ásia Central, mas o grande problema destes países é a falta de recursos financeiros para a manutenção das infra-estruturas que já existem. Na Rússia, uma percentagem da capacidade de produção de energia hidroeléctrica não é explorada por falta de conservação. Neste caso, não é necessária a construção de obras hidráulicas, mas sim, investir na requalificação das existentes, nomeadamente no aperfeiçoamento da drenagem no caso de ocorrência de cheias. Na América Latina e Caraíbas, a gestão dos recursos hídricos é de difícil resolução, pois os países estão sujeitos a graves catástrofes naturais, sendo a eficiência do serviço de abastecimento urbano afectada e conseqüentemente a qualidade da água (Banco Mundial, 2006).

No Brasil, a concentração populacional em zonas de mínima disponibilidade de água agrava a gestão equilibrada da água, embora a gestão dos recursos hídricos, no último século, tenha sido fortemente desenvolvida. Apesar de possuir grande disponibilidade em água, o Brasil sofre frequentemente graves secas e conseqüente degradação dos recursos hídricos (Freitas et al., 2008). Este país é dos mais ricos em disponibilidade de água doce do mundo, dispondo de uma ampla rede fluvial. Contudo, a sua distribuição não é uniforme, assim como a distribuição da população, a maior parte está disponível nas Regiões Norte e Centro-Oeste (Przybysz, 2007).

### 2.3- Deterioração dos Recursos Hídricos: Poluição Hídrica

Apesar da distribuição irregular dos recursos hídricos e da diminuição da precipitação, a disponibilidade de água para o Homem é afectada também pela poluição e pelas catástrofes naturais. Neste sentido, a gestão dos recursos hídricos enfrenta inúmeros desafios, entre os quais, a escassez dos recursos hídricos disponíveis, bem como a sua deterioração (Ruhoff e Pereira, 2004). Os problemas de degradação e escassez de água não são recentes, por exemplo, na Idade Média, surgiram como conseqüência da perda de infra-estruturas e técnicas de tratamento de águas (Freitas et al., 2009).

O crescimento populacional desorganizado, o crescente desenvolvimento económico e o aquecimento global prejudicam os recursos naturais, em especial, a água (Vieira, 2003). No final do século XX, a degradação ambiental provocou a poluição dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais (e-Geo, 2008).

Segundo o Plano de Bacias Hidrográficas, a poluição hídrica “*é a introdução directa ou indirecta, em resultado de actividade humana, de substâncias, ou de calor no ar, na água ou no solo, que possa ser prejudicial para a saúde humana ou para a qualidade dos ecossistemas aquáticos ou dos ecossistemas terrestres directamente dependentes dos ecossistemas aquáticos, que dê origem a prejuízos para bens materiais, ou que prejudique ou interfira com o valor paisagístico/recreativo ou com outras utilizações legítimas do ambiente*” (PBH do Douro, 2001).

A poluição hídrica resulta, entre outros, do lançamento de esgotos sanitários sem tratamento, provocando problemas no desenvolvimento socioeconómico, prejudicando a qualidade de vida da população (Instituto Geológico e Mineiro, 2001).

A figura 2.2 ilustra as várias fontes de poluição hídrica.



Figura 2.2 – Fontes Poluidoras; adaptado do Instituto Geológico e Mineiro, 2001

## 2.4 - Fenómenos Extremos: Secas e Inundações

Como já foi referido, as catástrofes naturais têm também um peso relevante na problemática da gestão dos recursos hídricos naturais (Banco Mundial, 2006).

As inundações, que se caracterizam por excesso de água, causam graves prejuízos materiais, embora contribuam para a deposição de sedimentos que desempenham a função de fertilizar os terrenos agrícolas. A construção de obras hidráulicas (barragens) permite o seu controlo (Vieira, 2003).

Existiam, no ano de 1950, aproximadamente 5000 barragens passando para 845000 no ano de 2003, sendo a capacidade de armazenamento das albufeiras cerca de 20% do escoamento total anual (Vieira, 2003). Contudo, as barragens têm as suas desvantagens, impedem o intercâmbio longitudinal dos rios, alteram a intensidade, a frequência, o transporte de nutrientes e a temperatura da água, diminuem o transporte de sedimentos afectando, desta forma, a qualidade da água (Azevedo et al., 2005).

*“Até à data, 61% dos grandes rios do mundo já são considerados massas de água altamente ou moderadamente modificadas ou fragmentadas”* (Azevedo et al., 2005).

Mas, se as cheias são um fenómeno prejudicial extremo, resultante da distribuição irregular da água, as secas são cada vez mais significativas, se tivermos em conta que as necessidades hídricas do Homem estão a aumentar (Cunha et al., 2009).

*“A União Europeia reconhece a necessidade de um planeamento ao nível da bacia das medidas de protecção das cheias”* (Maia e Ribeiro, 2009).

Facilmente se depreende que as catástrofes naturais devem estar integradas no planeamento dos recursos hídricos, uma vez que os afectam consideravelmente (Pisqueras, 2006).

*“Os últimos anos têm evidenciado a vulnerabilidade dos países europeus a baixas precipitações que conduzem a períodos de seca, escassez de água em rios e albufeiras, bem como a um empobrecimento da qualidade da água”* (Nixon, S. C., et al, 2000).

A participação pública pode ser considerada uma medida importante na gestão das secas, os utilizadores têm a possibilidade de decidir e intervir, por

exemplo, os agricultores da bacia do Douro tomaram medidas para melhorar a gestão da bacia do Juncar, em Espanha, decidiram reduzir a sua actividade agrícola em mais de 60% (Pisqueras, 2006).

## 2.5- Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos Naturais

A gestão de bacias hidrográficas deve abranger a recuperação e a conservação dos cursos de água, procurar desenvolver a compatibilização dos usos de água (Maia e Ribeiro, 2009).

Na gestão da água, é primordial ter como base a noção de desenvolvimento sustentável, pois o problema de escassez de água não só afecta a população actual, mas também as gerações vindouras, uma vez que as suas necessidades hídricas tendem a aumentar, devido à mudança dos hábitos de vida (Vieira, 2003).

*“Os actuais problemas, que se levantam no domínio dos recursos hídricos, impõem a necessidade de procurar evitar que a crescente escassez de água possa constituir obstáculo ao desejável desenvolvimento económico”* (Azevedo et al., 2009).

De acordo com o Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais (PEAASAR), existem importantes insuficiências, tais como: *“mantém-se acentuada a dispersão e multiplicidade de origens de água, associadas a um número elevado de sistemas de pequena dimensão. Mais de 90% dos sistemas servem menos de 5000 habitantes cada e, no total, apenas 20% da população, em muitos casos envelhecidos e pouco fiáveis. Os volumes de consumos não facturados são elevados, situando-se, na grande maioria dos sistemas, acima de 40% da água produzida. As formas de gestão dos sistemas utilizados continuam a evidenciar grande fragilidade organizativa e operacional e a não pautar por sólidos critérios de sustentabilidade económica, financeira e ambiental”* (Mendes, 2009).

A administração dos recursos hídricos é um processo difícil, pelo que é fundamental desenvolver as soluções certas, com o objectivo de se atingir a máxima eficácia através da minimização dos custos associados (Rodrigues, 2009).

O principal objectivo do planeamento dos recursos hídricos é garantir o abastecimento de água com qualidade e em quantidades razoáveis, para permitir o desenvolvimento das actividades dela resultante (Vieira, 2000).

O prévio conhecimento dos recursos hídricos existentes, numa região, é um importante impulso para a sua gestão correcta e para um planeamento adequado da ocupação sustentada do território. Um projecto de planeamento de bacias hidrográficas deve abranger a caracterização dos recursos naturais da população e a definição de objectivos e planos, considerando a vulnerabilidade dos recursos hídricos, bem como, a identificação dos problemas e suas soluções (Ruhoff e Pereira, 2004).

## 2.6- Legislação Internacional

Sendo a água um recurso natural indispensável à vivência de todos os seres e coexistindo obstáculos que a condicionam, desde muito cedo, as entidades políticas têm desenvolvido legislação sobre a sua utilização.

*“É neste sentido que, nos últimos anos, se tem introduzido legislação, a nível político dos vários Governos e Organizações, na perspectiva de implementar a gestão sustentável da água como resposta ao facto de esta representar cada vez mais um recurso estratégico, social e económico”* (Mendes, 2009).

O aumento do consumo de água e a variação, no tempo e no espaço, da disponibilidade hídrica, conduziu ao desenvolvimento de políticas de gestão dos recursos hídricos (Albertin e Mauad, 2008). A urgência e o interesse pela protecção dos recursos naturais têm contribuído para o estabelecimento de legislação sobre o planeamento e gestão destes recursos, nomeadamente, no contorno geográfico da bacia hidrográfica (Vieira, 2000).

Na Cimeira Mundial de Joanesburgo dos Recursos Hídricos, a gestão integrada de recursos hídricos foi definida *“como um processo, que promove o desenvolvimento coordenado da gestão das águas, das terras e dos recursos associados, a fim de maximizar o bem-estar económico e social sem comprometer a sustentabilidade dos ecossistemas vitais”* (Rahaman e Varis, 2005).

A presente gestão integrada dos recursos hídricos remonta a séculos passados, por exemplo, em Valência, existe desde o século décimo. Este país foi possivelmente o primeiro a desenvolver a gestão da água com base em bacias hidrográficas. A Associação de Direito Internacional ratificou, em 1966, as “Regras de Helsínquia”, contendo as orientações para a utilização e desenvolvimento dos recursos hídricos de bacias hidrográficas compartilhadas. Em 1977, na conferência das Nações Unidas sobre a Água, em Mar del Plata, na Argentina, realizou-se uma avaliação do estado dos recursos hídricos para garantir que uma oferta adequada de qualidade da água estava disponível para satisfazer as necessidades e aumentar a eficiência do uso da água, a nível mundial. O Mar del Plata foi importante na história do desenvolvimento dos recursos hídricos. Mais tarde, em 1992, na Conferência Internacional sobre Água e Meio Ambiente, realizada em Dublin, na Irlanda, foram definidas políticas de gestão da água para o desenvolvimento sustentável. A Agenda 21, Plano de Acção estabelecido pela Conferência das Nações Unidas do Rio, em 1992, considerava a poluição resultante das actividades humanas uma ameaça aos ecossistemas aquáticos e sugeria soluções para combater a poluição. A implementação da Agenda 21, a nível local, permite uma cooperação entre os governos no desenvolvimento de directrizes para que o planeamento dos recursos hídricos seja sustentável. De entre as medidas propostas citam-se algumas: o acompanhamento dos Planos de Bacias Internacionais e do Plano Nacional de Recursos Hídricos; a monitorização da qualidade de água para consumo; o ordenamento do território, valorização ambiental de albufeiras e orlas costeiras; a protecção dos aquíferos subterrâneos, da Reserva Ecológica Nacional (REN) e de zonas húmidas; a promoção da utilização mais eficiente da água apoiada pelo tarifário da água. Em 1992, foi homologada, em Helsínquia, a “Convenção Internacional sobre a Protecção e Utilização dos Cursos de Água Transfronteiriços e dos Lagos Internacionais”, esta convenção tinha como finalidade fortalecer as disposições nacionais e internacionais existentes, relativas à gestão e protecção dos cursos de água transfronteiriços e admitindo como princípios fundamentais o princípio do poluidor-pagador, da precaução e do desenvolvimento sustentável dos recursos hídricos. A Comissão de Direito Internacional das Nações Unidas começou, em 1970, a elaboração da “Convenção sobre a Lei das Utilizações dos Cursos de Água Internacionais

não Relacionadas com a Navegação”, que só mais tarde, em 1997, foi aprovada pela Assembleia das Nações Unidas, determinando que os Estados que partilhem uma bacia hidrográfica devem adoptar uma gestão equitativa dos recursos hídricos. Os aquíferos que sejam partilhados não se enquadram nesta convenção. Esta convenção tem como objectivo principal a utilização sustentável dos recursos hídricos para as gerações, actual e vindoura. As deficiências apontadas à Conferência realizada em Dublin foram abordadas, em 2000, no Segundo Fórum Mundial da Água. Este Fórum foi realizado, em Haia, e nele foram discutidos vários assuntos, entre os quais, a protecção dos ecossistemas, a gestão de bacias hidrográficas através da gestão integrada dos recursos hídricos. A privatização dos sectores, público e privado, foram apresentadas como meio para se alcançar os objectivos. Entrou em vigor, em Dezembro de 2000, a Directiva Quadro da Água (DQA) ou Directiva 2000/60/CE, com a finalidade de anular o conceito habitual de protecção das águas, propondo a conservação da qualidade das águas costeiras, superficiais e subterrâneas. Esta Directiva pretende também fazer cumprir os objectivos dos acordos internacionais, como por exemplo, a Convenção Oslo-Paris para a Protecção do Meio Ambiente Marinho do Atlântico Nordeste. Em Dezembro de 2001, em Bona, realizou-se a Conferência Internacional sobre Água Doce, que teve como objectivo contribuir para a criação de soluções globais para a problemática da água. Em 2002, em Joanesburgo, a Cimeira Mundial sobre o Desenvolvimento Sustentável obteve sucesso, na medida em que colocou a gestão integrada dos recursos hídricos no topo das soluções para se conquistar uma eficiência hídrica, em todas as grandes bacias hidrográficas do mundo. Em 2003, no Japão, em Quioto, realizou-se o Terceiro Fórum Mundial da Água, deste resultou uma declaração que englobava não apenas a gestão dos recursos hídricos, mas também a questão problemática da água potável, do saneamento básico, do abastecimento de água para o desenvolvimento rural, a prevenção da poluição e conservação dos ecossistemas. Estas cimeiras foram determinantes para consciencializar, a nível mundial, a urgência de uma gestão integrada da água. Esta gestão aborda, não só a água para abastecimento e tratamento de águas residuais, mas também o controlo das cheias, secas e a conservação dos ecossistemas (Rahaman e Varis, 2005).

## 2.7- Gestão dos Recursos Hídricos em Portugal

Portugal também partilha com os restantes países, o crítico problema da gestão dos recursos hídricos naturais. Portugal continental situa-se na extremidade sudoeste da Península Ibérica, fazendo fronteira com a Espanha, sendo banhado pelo oceano Atlântico. A geografia do território português é ocupada por influências Mediterrânicas e Atlânticas o que se reflecte na sua fauna, flora e no clima. As características atmosféricas são responsáveis pela diminuição da precipitação de Norte para Sul do país. A Cordilheira Central provoca elevadas precipitações na encosta atlântica das montanhas de Noroeste, estas, simultaneamente com a Serra da Estrela, registam valores elevados de precipitação. As Serras de Grândola e de Cercal, na região litoral alentejana, desempenham o efeito barreira em relação ao interior alentejano. As serras algarvias são as zonas que concentram maior quantidade de precipitação, nomeadamente a Serra de Monchique. Em contrapartida, a temperatura aumenta de Norte para Sul de Portugal, as temperaturas baixas correspondem às zonas mais húmidas e as temperaturas altas às zonas mais secas. Devido à acção moderada do oceano Atlântico, a zona do litoral regista menor amplitude térmica em relação ao interior, onde normalmente ocorre um arrefecimento no Inverno e um elevado aquecimento no Verão. Em Portugal existem grandes áreas de baixa altitude, tendo 70% do território valores abaixo de 400 metros e pouco mais de 12% acima dos 700 metros, contudo a distribuição do relevo entre o Norte e o Sul é desigual (Ferreira, 2009).

*“O interior norte montanhoso é recortado por profundos vales encaixados, transitando progressivamente até à zona costeira para uma morfologia muito mais aplanada”* (Ferreira, 2009).

As suas zonas mais altas situam-se no interior norte, por exemplo, a Serra da Estrela com 1993m, Açor com 1418m entre outros. A Sul do Tejo o relevo oferece terrenos com pouca ondulação (Ferreira, 2009).

*“As características da rede hidrográfica e da densidade de drenagem estão intimamente ligadas ao tipo de clima, à natureza do solo aos acidentes tectónicos das áreas atravessadas”* (Ferreira, 2009).

Os rios que marcam a rede hidrográfica são: o Minho, o Douro, o Lima, o Tejo e o Guadiana, tendo os rios, a norte do Tejo, um percurso de orientação NE-SW. A rede de drenagem está bem ajustada aos acidentes tectónicos, ao contrário do que se passa na zona Sul, em que a rede de drenagem não se adapta ao sistema de acidentes tectónicos. Em relação à ocupação do solo, o pinheiro bravo predomina em todo o Oeste atlântico até ao Sado. No litoral e nas depressões interiores existem algumas manchas de sobreiros. Na região algarvia e na vertente meridional da Serra da Arrábida predominam as alforrecas, as figueiras e as amendoeiras (Ferreira, 2009).

*“Os solos presentes em Portugal são em geral jovens, pouco desenvolvidos com características que em certos casos reflectem predominantemente as rochas subjacentes, noutras o relevo ou o clima”* (Ferreira, 2009).

Em geral, os solos são ácidos, salvo os desenvolvidos sobre as rochas graníticas predominantemente básicas. Consoante a região, são variáveis os recursos de água subterrânea quer em relação ao seu volume e quantidade. *“São um reflexo das características das formações rochosas que compõem a sub-superfície, dos solos superficiais, bem como das condições climáticas”* (Ferreira, 2009).

Os rios mais importantes da Península Ibérica, na sua maioria, desaguam na sua fachada ocidental, sendo a única excepção o rio Ebro. Os três principais rios (os mais compridos), Douro, Tejo e Guadiana determinam o seu curso em função da inclinação geral, têm origem na parte oriental da Península Ibérica, a 200 km do Mediterrâneo, para terminarem no Atlântico depois de um percurso de cerca de 800 km a 1000 km, quer na fronteira luso-espanhola quer no litoral português. O conjunto dos rios que confluem no litoral português drena aproximadamente 296500 km<sup>2</sup>, correspondente a 51% da superfície da Península Ibérica. As bacias “espanholas” dos rios Tejo, Guadiana e Douro provenientes da Cordilheira Bética, bem como a do Minho, oriundo dos Montes Cantábricos, são mais extensas que as correspondentes bacias portuguesas (Daveau, 1995).

### 2.7.1- Legislação Nacional

Em relação a outros países da União Europeia, em termos de cobertura da população, Portugal ainda apresenta valores abaixo das médias apontados como objectivos nacionais (Mendes, 2009).

Em Portugal, a gestão dos recursos hídricos, iniciou-se relativamente cedo, embora, ao longo dos anos, esta gestão tenha vindo a ser aperfeiçoada. Foi assinado, em 1864, o primeiro Tratado de Limites entre Espanha e Portugal, no qual os rios internacionais ibéricos delimitaram cada Estado, foi limitado o uso das águas internacionais impondo-se a equidade dos usos. Em 1927, foi realizado um Convénio, o qual foi substituído pelo Convénio de 1964, por ser mais abrangente, serviu para regular o aproveitamento hidroeléctrico dos troços internacionais. Ultimamente, têm ocorrido conflitos no uso compartilhado dos recursos hídricos entre Portugal e Espanha, fruto da evolução socioeconómica de cada país, sendo que a Espanha lidera no que respeita a obras hidráulicas. Tais problemas, em 1998, convergiram para a realização entre os dois países de um acordo cooperativo, a Convenção sobre a Protecção e o Aproveitamento Sustentável das Águas de Bacias Hidrográficas Luso-Espanholas, que entrou em vigor somente a 17 de Janeiro de 2000. Esta Convenção define as normas do Direito internacional e comunitário designadamente o Convénio de Espoo, de 1991, sobre a avaliação de impactes ambientais fronteiriços. A referida convenção estabelece a protecção das águas subterrâneas e superficiais e dos ecossistemas terrestres e aquáticos, circunscrevendo as bacias hidrográficas partilhadas, a fim de fomentar a sustentabilidade dos recursos hídricos ibéricos e a cooperação em situações de secas ou de cheias. Portugal, só quando aderiu a CEE, é que iniciou a legislação sobre recursos hídricos, os diplomas nacionais neste campo são: *“Constituição da República Portuguesa, 1976, que estabelece como uma das tarefas fundamentais do Estado preservar os recursos naturais (artigo 9º); D.L. n.º 74/90, de 7 de Março – Lei de Qualidade da Água – fixando as normas gerais de descarga de águas residuais urbanas e industriais, nos meios receptores, sendo responsabilidade da Administração o seu D.L. n.º 45/94, de 22 de Fevereiro, que regula o processo de planeamento de recursos hídricos,*

*elaboração e aprovação de planos de recursos hídricos; D.L. n.º 236/98, de 1 de Agosto, que estabelece normas, critérios e objectivos de qualidade de água, transpondo para o direito interno a Directiva n.º 80/778/CEE; D.L. n.º 348/98, de 9 de Novembro, que transpõe para o direito interno a Directiva n.º 98/15/CE; D.L. n.º 68/99, de 11 de Março, que transpõe para o direito interno a Directiva n.º 91/676/CEE; Portaria n.º 429/99, de 15 de Junho, que estabelece os valores-limite de descarga das águas residuais na água ou no solo, dos estabelecimentos industriais; D.L. n.º 243/2001, de 5 de Setembro, que transpõe para o direito interno a Directiva n.º 98/83/CE, alterando do D.L. n.º 236/98; D.L. n.º 112/2002, de 17 de Abril, que aprova o PNA (Plano Nacional da Água), passando a ser responsável pela gestão dos recursos hídricos em Portugal, protecção e uso equilibrado da água, mas não fazendo referência à necessidade de uso sustentável deste recurso ou de contribuição para o desenvolvimento sustentável, mas antes à sua optimização, em desacordo com o espírito da DQA; Despacho do Ministro do Ambiente e do Ordenamento do Território 13799/2000, de 6 de Junho, que cria um grupo de trabalho para elaborar uma Lei da Água.”* O esboço deste projecto foi apresentado em 2002, ao Conselho Nacional da Água (CNA) para ser aplicado o modelo institucional e as exigências da Directiva do Quadro da Água que estava em falta a correcção das imperfeições relativas aos recursos hídricos. Em Outubro de 2002, o Ministério do Ordenamento do Território e do Ambiente elabora uma comissão de acompanhamento para a apresentação final da proposta da Nova Lei da Água até Março de 2003. O Laboratório de Engenharia Civil com o apoio do Instituto Superior de Agronomia (ISA), desenvolveu o Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água, apresentado em 2001, tendo como objectivo a avaliação da eficiência de utilização da água em Portugal nos sectores urbano, agrícola e industrial. Este programa esboça as medidas que contribuem para o uso eficiente dos recursos hídricos. A gestão dos recursos hídricos desenvolve-se em diferentes planos: o Plano Nacional da Água (PNA) que abrange todo o território nacional e o Plano de Bacias Hidrográficas (PBH) que abrange quinze bacias hidrográficas. Para além destes, existem planos cujo campo espacial é o da bacia hidrográfica com cursos de água pouco significativos, estes planos pretendem apaziguar a gestão dos recursos hídricos de carácter sectorial e regional (Confagri, 2008).

## 2.8- Sistemas de Apoio à Decisão (SAD)

Apareceram, no final da década de 60, os SAD, substituindo os Sistemas de Informação para Gestão (SIG/MIS – Management Information Systems). Os SAD diferem dos SIG/MIS por serem direccionados para uma decisão particular, a ser tomada apenas por um único decisor (Cabral, 2001).

Segundo Castro (2000), *“o SAD permite a definição do modelo de um sistema de recursos hídricos superficiais sobre uma base geográfica de uma forma interactiva. Proporciona a especificação da estrutura funcional de uma bacia hidrográfica, incluindo barragens, captações, descargas, caudais difusos e cargas poluentes.”*

De acordo com Cabral (2001), os SAD são sistemas interactivos que têm como objectivo principal apoiar os decisores na resolução de problemas bem como a tomar decisões.

O crescente desenvolvimento das tecnologias de informação têm contribuído, em larga escala, para o melhoramento dos meios de suporte ao planeamento e à gestão dos recursos hídricos. A conjugação das ferramentas informáticas constitui um SAD, cujo objectivo é proporcionar toda a informação essencial ao processo de decisão. Todavia, estes sistemas não contribuem directamente para a tomada de decisão, apenas sugerem soluções para os problemas (Cabral, 2001). Estes conceitos foram aplicados em estudos de duas bacias hidrográficas: bacias dos rios Cávado e Ave. No primeiro caso de estudo foi avaliado o impacto da captação de Areias de Vilar na qualidade da água do rio, a bacia hidrográfica do Rio Cávado está localizada na região noroeste de Portugal, abrangendo nove municípios, confronta a sul com as bacias dos rios Ave e Douro e a norte com as bacias dos rios Lima e Neiva. No segundo caso, na bacia hidrográfica do Rio Ave, a água é utilizada para abastecimento público, para fins agrícolas e para admissão de descargas de efluentes sem tratamento. O principal objectivo, deste estudo, foi aumentar a qualidade da água na bacia, pelo que foi desenvolvido um modelo matemático para auxiliar as políticas regionais de controlo da qualidade das águas superficiais. Nestes dois casos de estudos de gestão da qualidade da água

distinguiu-se a aplicação de SAD como base de gestão e planeamento de recursos hídricos, no âmbito regional da bacia hidrográfica (Vieira, 2000).

Segundo Cabral (2001), nos EUA, o Rio Colorado e os seus afluentes abasteciam aproximadamente um terço do território do Estado de Colorado, este rio localiza-se numa região árida onde a quantidade de água é escassa para satisfazer as necessidades hídricas dos utilizadores. Para além deste facto, a gestão das águas do Colorado estava condicionada por diversos factores, em especial, pela legislação estadual. Neste caso, o principal objectivo da aplicação do SAD consistiu em proporcionar a capacidade de desenvolver informação correcta para a tomada de decisões.

A aplicação dos SIG na modelação hidrológica facilita a manipulação da informação espacial, sendo a sua conjugação de grande importância na tomada de decisões relacionadas com o planeamento dos recursos hídricos naturais (Santos et al., 2009).

A utilização destas duas ferramentas no âmbito geográfico da bacia hidrográfica é uma mais-valia na caracterização dos parâmetros hidrológicos e consequentemente, contribui para uma gestão eficiente dos recursos hídricos (Santos et al., 2009).

## 2.9- Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

*“O planeamento e gestão de recursos hídricos, em sintonia com o ordenamento do território devem assentar em modernas tecnologias de informação e de transferência de dados, como única forma de definir políticas e estratégias de gestão eficientes”* (Vale e Painho, 2009).

Nos estudos dos problemas hidrológicos que envolvem a variação espacial, é de extrema importância recorrer ao SIG (Santos et al., 2009).

A grande maioria dos modelos utilizados na hidrologia, depende de parâmetros, quer de carácter espacial quer temporal, com variabilidade significativa (declive, características do solo), pelo que é vantajoso, em tempo

real, realizarem-se ajustamentos espaciais dos dados de entrada ou na escolha de novas opções de modelo (Quintela e Portela, 2009).

Os SIG assumem um papel importante no desenvolvimento dos SAD, em especial, na gestão dos recursos hídricos (Rodrigues et al, 2003).

Segundo Rodrigues et al. (2003), *“na gestão dos recursos hídricos a componente informação deve ser apresentada de forma (geo)gráfica, numérica ou alfanumérica, de modo a permitir a criação de associações ou relações de carácter espacial significativas para quem tenha de decidir.”*

Os SIG são instrumentos que possibilitam recolher, modificar e visualizar a informação espacial que interpreta a realidade para um determinado conjunto de objectivos. O principal objectivo dos SIG é proporcionar a informação necessária para apoiar a correcta tomada de decisão (Cabral, 2001). Os SIG constituem instrumentos de apoio à monitorização dos recursos hídricos, a sua utilização permite reunir e guardar as informações geográficas para simplificação do tratamento de dados (Santana et al., 2008).

Um exemplo da aplicação dos SIG é o caso de estudo da área abrangida pela bacia do rio Zêzere, correspondente à área de drenagem entre a barragem da Bouçã e a barragem do Castelo do Bode. Teve como objectivo principal proteger a qualidade da água da albufeira de Castelo de Bode. Esta albufeira tem importância no desenvolvimento nacional, uma vez que abastece em água potável grande parte da população portuguesa (Vale e Painho, 2009).

## 2.10- Modelos de Simulação do Sistema Hídrico

A atribuição de recursos hídricos, na bacia hidrográfica, é uma das questões mais críticas. Para a definição de políticas, e consequentemente melhorar o desempenho hídrico, é fundamental uma análise integrada da bacia hidrográfica. Esta modelação, à escala da bacia hidrográfica, fornece informações essenciais aos decisores políticos para as decisões sobre a distribuição desses recursos (Jha e Gupta, 2003).

Nas últimas décadas, têm sido desenvolvidos modelos de simulação hídrica que permitem encontrar soluções para os problemas de planeamento e de gestão dos recursos hídricos. O modelo mais antigo de simulação remonta

ao ano de 1953 e corresponde ao estudo feito pelos engenheiros das Forças Armadas Americanas, que estudavam a operação de seis reservatórios no Rio Missouri. Mais tarde, nos anos 70, prosperaram outros modelos, nomeadamente o HEC-3, desenvolvido pelo Centro de Engenharia Hidrológica, o modelo HEC-5 desenvolvido pelo Centro de Engenharia Hidrológica, o modelo HYSSR desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros da Divisão do Pacífico Norte. Na década de 80, nos Estados Unidos da América, foi proposto o modelo de simulação HADCM2 (“Hadley Centre Global Climate Model”), para estudar o impacto das precipitações e o aumento da quantidade de água para os diversos usos. Embora estes modelos de simulação fossem uma ferramenta importante na gestão dos recursos hídricos, tinham uma limitação, não permitiam a escolha da melhor alternativa nos problemas mais complexos (Curi, 2009).

O MIKE 11 é um modelo que permite a modelação dos rios, podendo ser aplicado na análise e mitigação do risco de inundação, na previsão, em tempo real, de inundação e de qualidade da água (MIKE BASIN, 2008).

O modelo HEC-HMS é uma ferramenta de modelação hidrológica, esta foi desenvolvida pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos da América. Permite simular os processos de evaporação-precipitação, os seus resultados expressos em hidrogramas podem, em conjunto com outros modelos, serem utilizados para estudos sobre a disponibilidade dos recursos hídricos. Este modelo tem informação que permite caracterizar as sub-bacias, os troços de cursos de água, as derivações, as fontes e as depressões.

O HEC-GeoHMS é uma extensão para o ArcView que possibilita delinear automaticamente bacias hidrográficas e as linhas de água a partir dos Modelos Digitais do Terreno (MDT). Com base no MDT são traçadas as linhas de escoamento e as fronteiras da bacia hidrográfica numa estrutura de dados hidrológicos, que representam a bacia e a sua resposta à precipitação. O HEC-HMS foi aplicado numa bacia hidrográfica, localizada a Sul do rio Tejo, com uma área de 110 km<sup>2</sup>, para calcular os caudais de cheia para diferentes períodos de retorno (Santos et al., 2009).

O modelo WEAP (“Water Evaluation and Planning”) é uma ferramenta importante na gestão dos recursos hídricos. O WEAP permite analisar a vulnerabilidade do sistema hídrico através das alterações climáticas, indicando

a disponibilidade e uso da água no futuro. Este modelo foi utilizado na bacia hidrográfica do Limpopo (Wilson, 2007).

O modelo SWAT (“Soil and Water Assessment Tool”) é um modelo matemático desenvolvido nos EUA pelo Agricultural Research Service e pela Texas A&M University em 1996. O modelo tem por finalidade antever o efeito das acções resultantes do uso e da alteração do solo sobre os recursos hídricos, podendo ser aplicado em pequenas e grandes bacias hidrográficas. As simulações podem ser realizadas em intervalos de tempo diários, mensais e anuais. Para a simulação, é necessário o modelo digital do terreno, a hidrografia, o mapa de solos, o mapa de uso do solo, as séries temporais de precipitação, a temperatura máxima e mínima, a radiação solar, a humidade relativa e a velocidade do vento. Têm sido realizadas diversas aplicações deste modelo, particularmente na Europa e nos Estados Unidos, para analisar as mudanças climáticas e os efeitos do uso do solo sobre os recursos hídricos. No Brasil, este modelo foi aplicado para simular o escoamento e a produção de sedimentos numa microbacia hidrográfica, a Bacia do Altíssimo, na bacia hidrográfica do Rio Negro (Souza et al., 2009).

O modelo de simulação MIKE BASIN tem sido largamente aplicado em vários pontos da Europa, foi desenvolvido na Dinamarca, pelo “Danish Hydraulic Institute”. Associado ao ArcView GIS, permite a resolução de problemas, por exemplo, a consequência da distribuição da água, do seu uso equitativo ou da sua qualidade, fornecendo soluções a nível da bacia hidrográfica. Faculta o planeamento das infra-estruturas de irrigação potencial, o desempenho da albufeira, a capacidade de abastecimento de água, o tratamento de águas residuais, a análise dos caudais consumidos pelo uso: doméstico, industrial, na agricultura, na energia hidráulica, na navegação, encontrando o seu equilíbrio de usos. Permite realizar o estudo dos ecossistemas, da qualidade da água e efeitos das mudanças globais. É um modelo versátil, tendo por base os recursos ambientais e hídricos, fornece de uma maneira simples, um quadro de gestão mais eficiente para enfrentar as questões críticas existentes nas bacias hidrográficas (MIKE BASIN, 2008).

Como o MIKE BASIN funciona em plataforma ArcView GIS, permite a visualização geográfica, esta abordagem espacial é adequada para os projectos de recursos hídricos (Jha e Gupta, 2003).

Desta forma, o MIKE BASIN é ideal para obter rapidamente uma visão geral dos problemas e oportunidades dos recursos hídricos, mesmo em grandes áreas (MIKE BASIN, 2008). Devido às suas características, este modelo tem sido aplicado em diversas investigações, entre as quais, a título de exemplo, na bacia do rio Sungai Skudai, na Dinamarca, para avaliação de cenários de diminuição de poluentes industriais (Albertin e Mauad, 2008). Este modelo foi também aplicado, na bacia do rio Atibaia, no estado de São Paulo, no Brasil (Lima et al, 2008). Actualmente é aplicado nos EUA (especificamente pelo North Carolina Department of Water Resources), na Europa, Ásia, Austrália e África. Na República Checa, este modelo foi utilizado para avaliar a qualidade da água à escala nacional (Hala, 2010). Na bacia do Rio Kok, no norte da Tailândia onde foram avaliados os recursos hídricos e a poluição (DHI, 2009). Como consequência, de um elevado crescimento da população na Bacia Cape Fear na Carolina do Norte, o abastecimento de água disparou, para encontrar a solução do problema, foi utilizado o modelo MIKE BASIN (Holdstock, 2009). Na bacia do rio Leba, na Polónia, é outro exemplo, da sua aplicação, para modelar os aspectos quantitativos e qualitativos dos usos da água na respectiva bacia (Dorota et al., 2002).

## **Capítulo 3**

Metodologia

### 3- Metodologia

#### 3.1- Enquadramento Geográfico

A albufeira de Vila Chã localiza-se na freguesia de Vila Chã, pertencente ao concelho de Alijó, no distrito de Vila Real. A função principal desta albufeira é abastecer a população dos concelhos de Alijó e de Murça (INAG, 2009). A figura 3.1 ilustra o enquadramento geográfico dos concelhos de Alijó e de Murça.

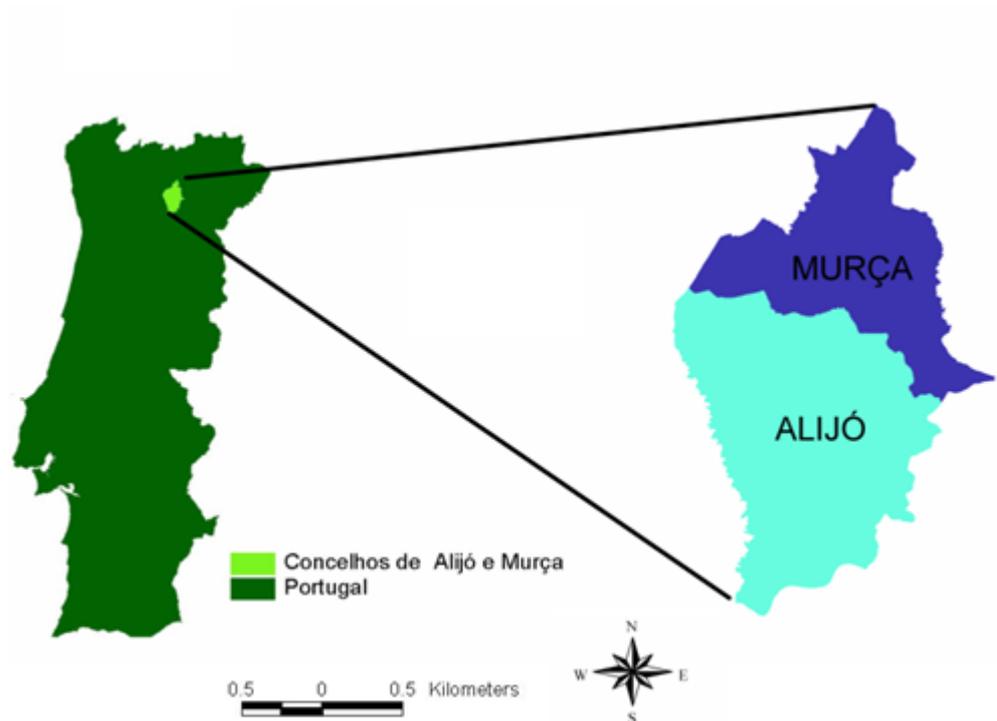


Figura 3.1 – Enquadramento geográfico dos concelhos de Alijó e de Murça

A barragem de Alijó, ilustrada nas figuras 3.2 e 3.3, é da responsabilidade do Instituto da Água, tendo sido iniciada a sua construção em 1985 e concluída em 1991 (INAG, 2008). O seu principal acesso é pela estrada municipal 323-1, sendo a sua localização a 3 km de Alijó.

Para efeitos da prática de actividades secundárias na albufeira, não está classificada pelo decreto-lei n.º 2/88 (Pereira et al., 2008).

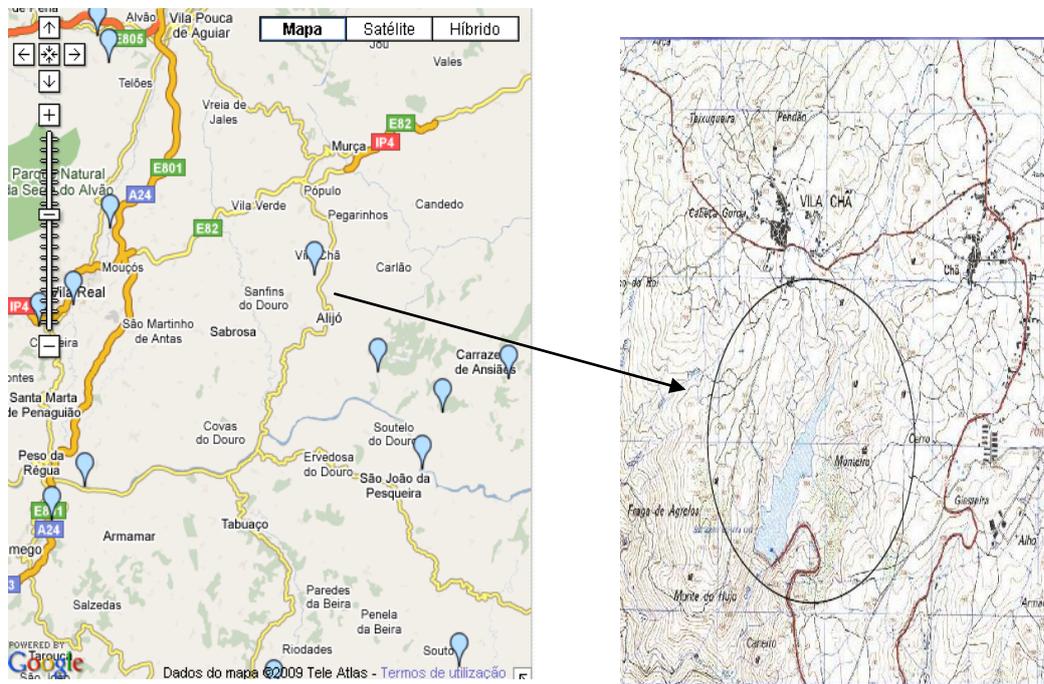


Figura 3.2 – Localização da Barragem de Alijó, adaptado de Pereira et al., 2008)



Figura 3.3 – Barragem de Alijó adaptado do Instituto da Água – INAG, 2009

A bacia hidrográfica abrange algumas das freguesias do concelho de Alijó, nomeadamente as freguesias de Vila Chã, Carlão, Pegarinhos e Alijó,

sendo a sua área maioritariamente ocupada pela freguesia de Vila Chã, como sugere a figura 3.4.

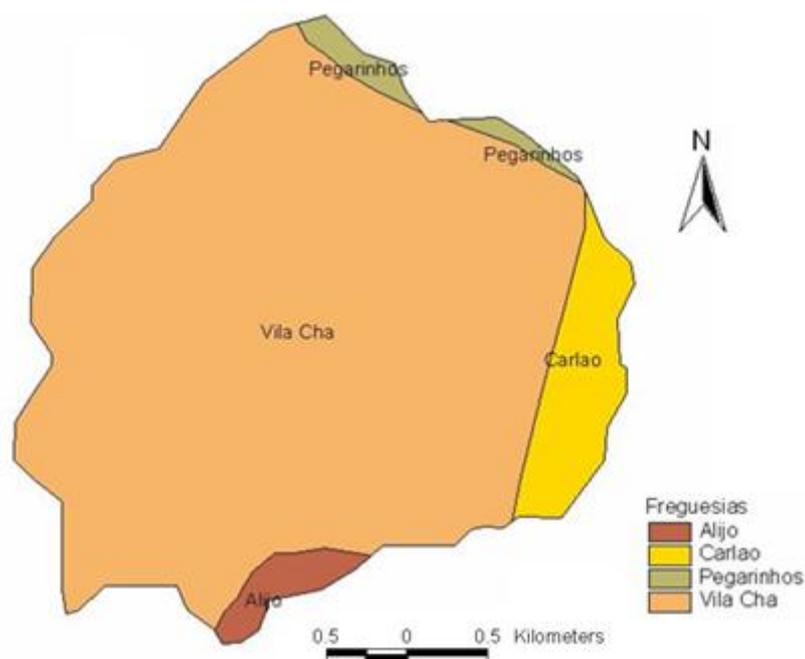


Figura 3.4 – Freguesias abrangidas pela Bacia Hidrográfica de Vila Chã

Esta albufeira pertence à bacia hidrográfica do Douro, sendo um afluente do Rio Pinhão (Pereira et al, 2008). “*A Bacia Hidrográfica do Rio Douro está compreendida entre os paralelos 40°20’ e 43°10’ N e os meridianos 01°43’ e 08°40’ W, cortando longitudinalmente a Península Ibérica e com orientação dominante Este-Oeste. Esta bacia tem a forma de um losango, cujas diagonais Este-Oeste e Norte-Sul têm aproximadamente 560 e 300 Km, respectivamente.*” (PBH do Douro).

No concelho de Alijó, existe uma rede hidrográfica constituída por pequenos ribeiros que desaguam na albufeira. Estes cursos de água, juntamente com os rios, contribuem para suavizar a orografia agreste destas terras. Este concelho é subdividido em duas zonas climáticas: a norte situa-se a terra fria ou montanha e a terra quente situa-se para o vale do Pinhão e a sul da serra do

Vilarelho. Em ambas as zonas, a pluviosidade distribui-se por cerca de 50 dias do ano, sendo a intensidade superior a 10 mm. Neste concelho, existe uma vasta mancha florestal, constituída principalmente por pinheiros bravos, mas também, amieiros, carvalhos, castanheiros, freixos, loureiros, salgueiros, sobreiros e zimbros. O seu relevo é acidentado, sendo definido orograficamente por um conjunto de elevações naturais (Teixeira, 2005).

A linha de água principal é a ribeira da Chã (INAG, 2008), com um comprimento de 5,8 km e declive de 2,20 % (SNIRH, 2008). A bacia hidrográfica possui uma altitude média de 761 m, estando compreendida entre valores mínimos de 656 m e máximos de 823 m, com declive médio de 8,30% (SNIRH, 2008). Trata-se de uma bacia hidrográfica sensivelmente pequena, tendo aproximadamente uma área de 9 km<sup>2</sup>. O caudal integral médio anual é de cerca 2929x1000 m<sup>3</sup> e o caudal de cheia cerca de 72 m<sup>3</sup>/s (INAG, 2009).

Na área que abrange a bacia hidrográfica, é visível uma divisão significativa da precipitação média anual, sendo que de montante para jusante esse valor aumenta, como ilustra a figura 3.5

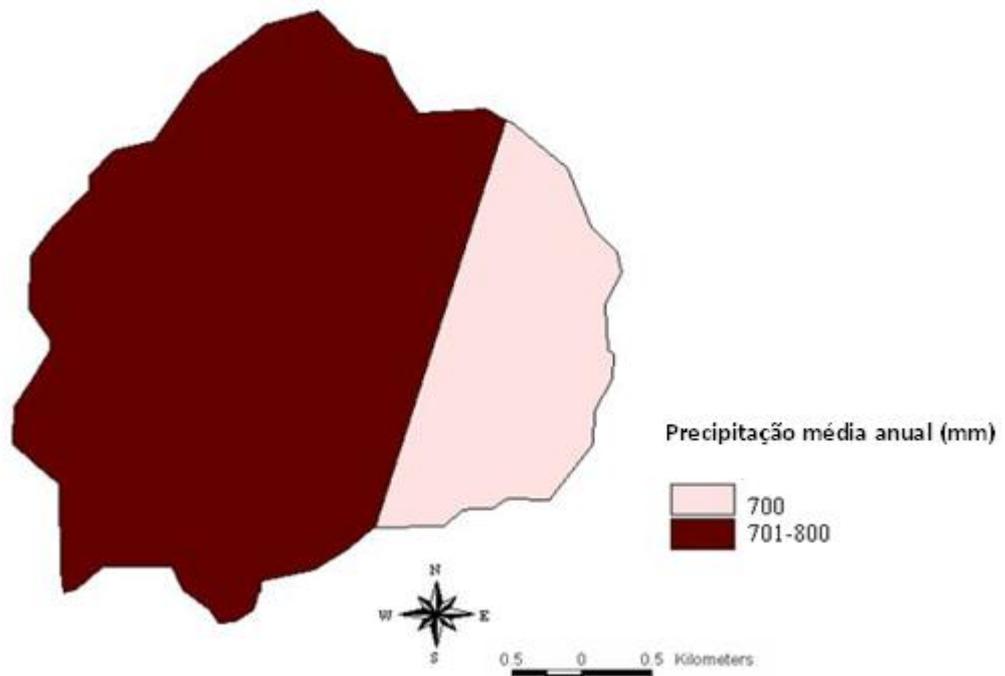


Figura 3.5 – Precipitação média anual na área da bacia hidrográfica

No caso da temperatura média anual, a situação é diferente, pois o valor é homogéneo, em toda a área da bacia hidrográfica, sendo esse valor entre os 12,5°C e os 15°C, como ilustra a figura 3.6.

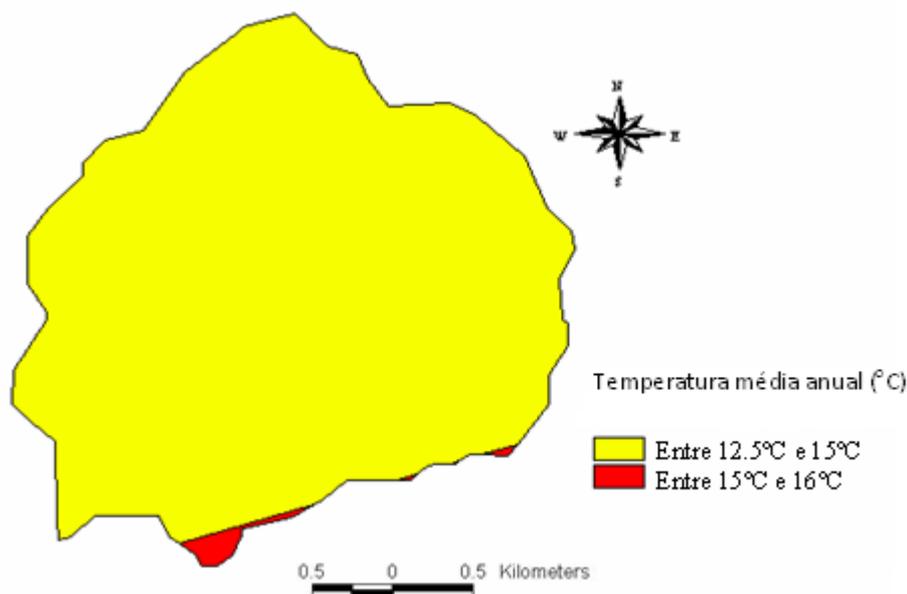


Figura 3.6 – Temperatura média anual na área da bacia hidrográfica

### 3.2- Caracterização da Barragem de Alijó

A altura da barragem acima da fundação é 40 m sendo de 36 m acima do terreno natural. O coroamento tem de cota 660,9 m, sendo o seu comprimento de 167 m e largura de 6 m. A fundação da barragem é em granitos alcalinos com volume de aterro de 352,4 x 1000 m<sup>3</sup> (INAG, 2008).

A sua área inundada, ao nível de pleno armazenamento (NPA) é de 180 x 1000 m<sup>2</sup>, possui uma capacidade total de 1740 x 1000 m<sup>3</sup> e útil de 1590 x 1000 m<sup>3</sup>, sendo o seu volume morto de 150 x 1000 m<sup>3</sup> (INAG, 2008). Os níveis máximos de cheia, de pleno armazenamento e mínimo de exploração correspondem respectivamente a 658,5 m, 659,9 m e 640 m (INAG, 2008).

A Barragem de Alijó é em aterro, possui um descarregador de cheias do tipo canal de encosta na margem esquerda, sem qualquer sistema de controlo.

A cota da crista de soleira é de 658,5 m com um desenvolvimento da soleira de 20,9 m (INAG, 2008). O caudal máximo descarregado é na ordem dos 52 m<sup>3</sup>/s, sendo a dissipação de energia por trampolim. Na margem esquerda, localiza-se a descarga de fundo em conduta sob aterro, com uma secção de 1m, o caudal transportando máximo é de 2,5m<sup>3</sup>/s. O controlo a montante é feito por uma comporta plana e a jusante por howell-bunger, a dissipação de energia é por jacto oco e fossas de erosão (INAG, 2008). O sub-sistema de Vila Chã possui uma estação elevatória, três reservatórios e tem 31 km de comprimento das condutas (Atkins, 2005). A Barragem de Alijó é reforçada com mais 25 minas e 9 furos (PBH do Douro, 2001). Este sistema abastece um universo populacional de cerca de 21072 habitantes (INE, 2001).

### 3.3- MIKE BASIN

O MIKE BASIN permite, para qualquer bacia hidrográfica, a criação da rede fluvial, incluindo a configuração dos rios principais e seus afluentes, a hidrologia da bacia no espaço e no tempo, bem como, os potenciais usos da água (Wallick e Borden, 2006). Os rios principais e os seus afluentes são representados por uma rede de “arcos” e “nós”, os arcos correspondem às uniões entre os nós e representam canais e adutoras e os nós representam pontos importantes do sistema, por exemplo, reservatórios de água (DHI Water & Environment, 2003). O MIKE BASIN é aplicável a bacias hidrográficas de todos os tamanhos, variando de pequenos sistemas a bacias hidrográficas internacionais de larga escala. Pode ser utilizado em locais onde os dados são escassos, obtendo-se resultados fiáveis, auxiliando na recolha mais pormenorizada de dados e orientando a tomada de decisões estratégicas (Ireson et al. 2006). É um modelo baseado em tempo contínuo e não tem limite em termos de duração do período de simulação, permitindo ao utilizador definir os intervalos de tempo, daí ser considerado um modelo flexível (Kjelds, 1999). O movimento da água, dentro e fora da rede hidrográfica, é especificado em séries temporais de dados.

### 3.3.1- Aplicação

A figura 3.7 apresenta o encadeamento metodológico proposto na presente dissertação.

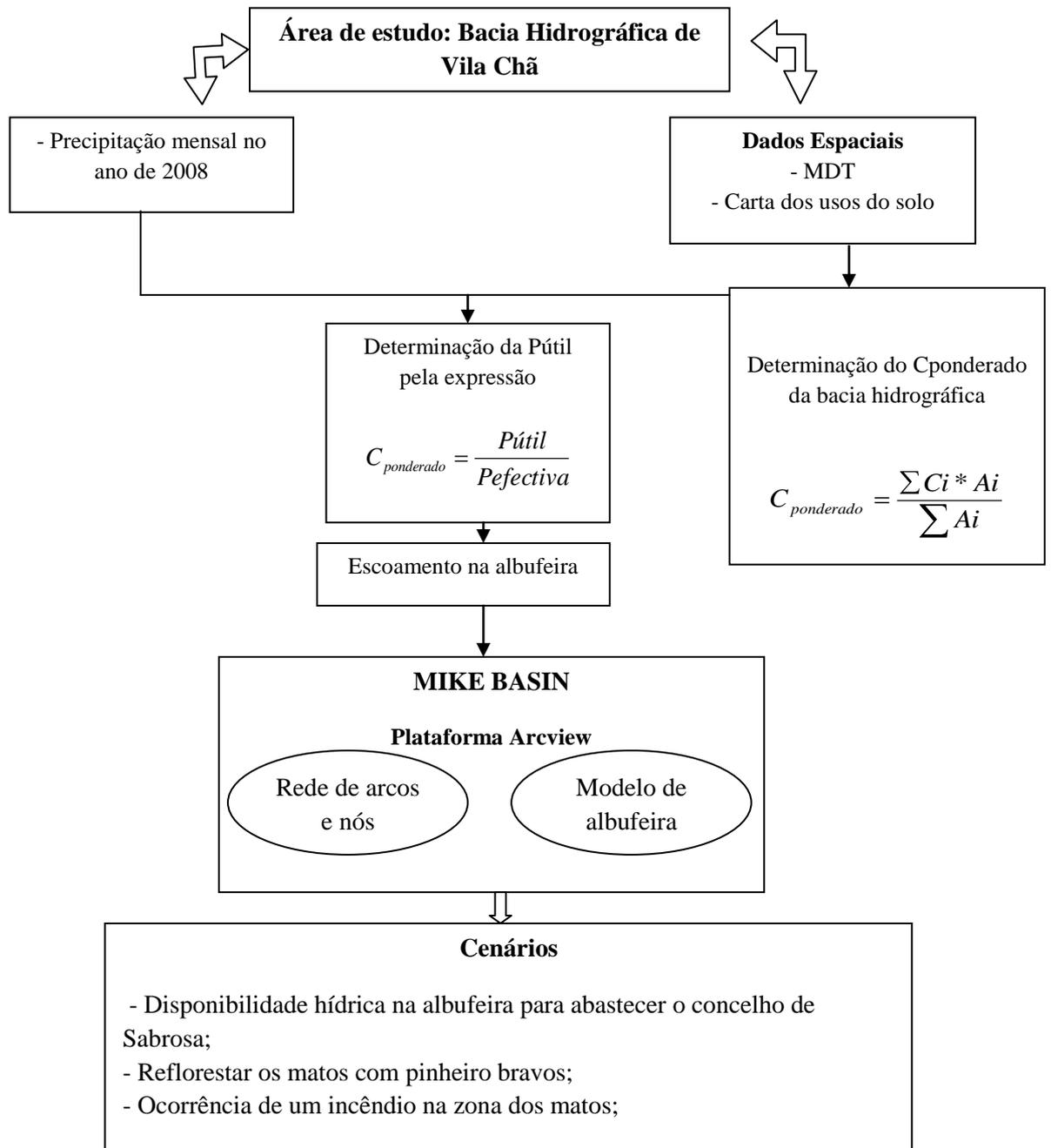


Figura 3.7 – Encadeamento metodológico proposto

Ao iniciar a aplicação, toda a informação deve estar georeferenciada para que o modelo desenvolvido esteja correcto. Assim sendo, é necessário que os “layers” estejam devidamente georeferenciados, definindo-lhe características. Nesta aplicação, os “layers” estão georeferenciados para o Datum Lisboa Hayford Gauss IGeoE. No novo projecto, é necessário activar as três extensões “Temporal Analyst”, “Load Calculator” e “MIKE BASIN” e seleccionar a opção começar um novo projecto com uma nova geodatabase “Personal Gold”.

Com todos os parâmetros base definidos, o passo seguinte é a criação do modelo no software, para tal introduz-se o MDT, em formato raster, num layer da plataforma SIG. O MDT é desenvolvido, tendo em consideração as curvas de nível da área em estudo. No menu MIKE BASIN, selecciona-se a opção “Process Dem” e activa-se a opção “Calculate Flow Direccion”. Com este processo obtém-se a sentido do escoamento superficial, ilustrado na figura 3.8.

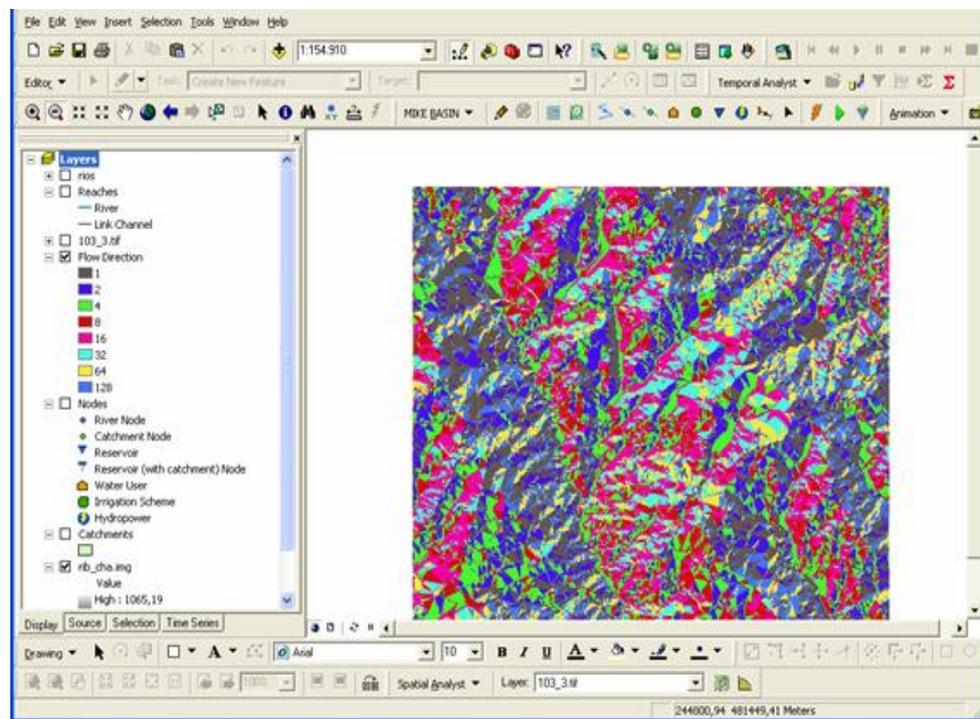
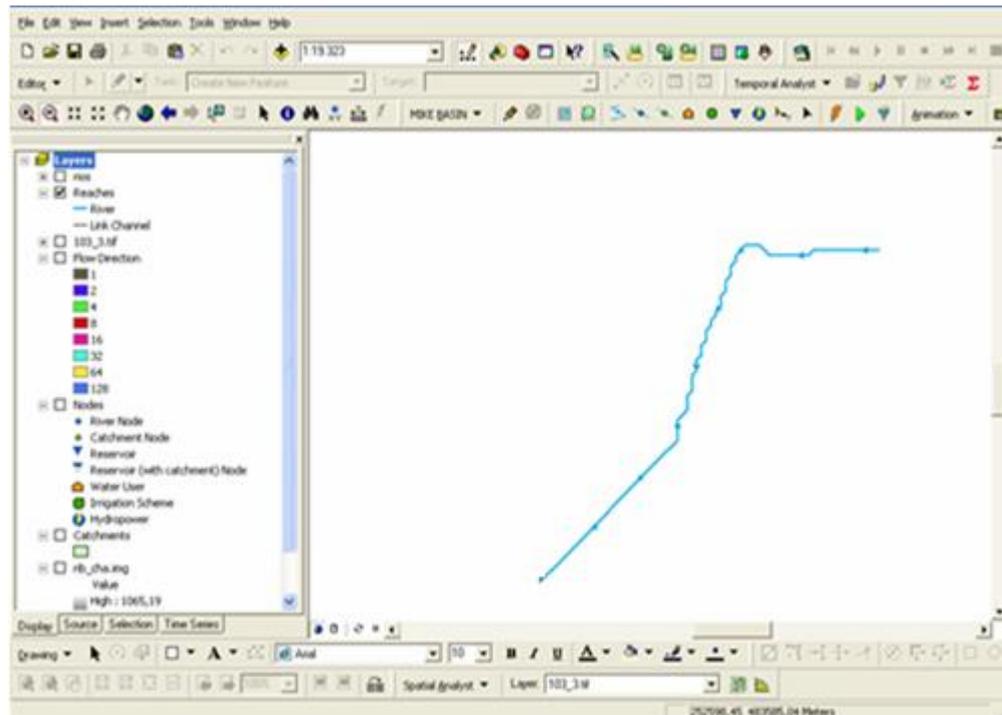


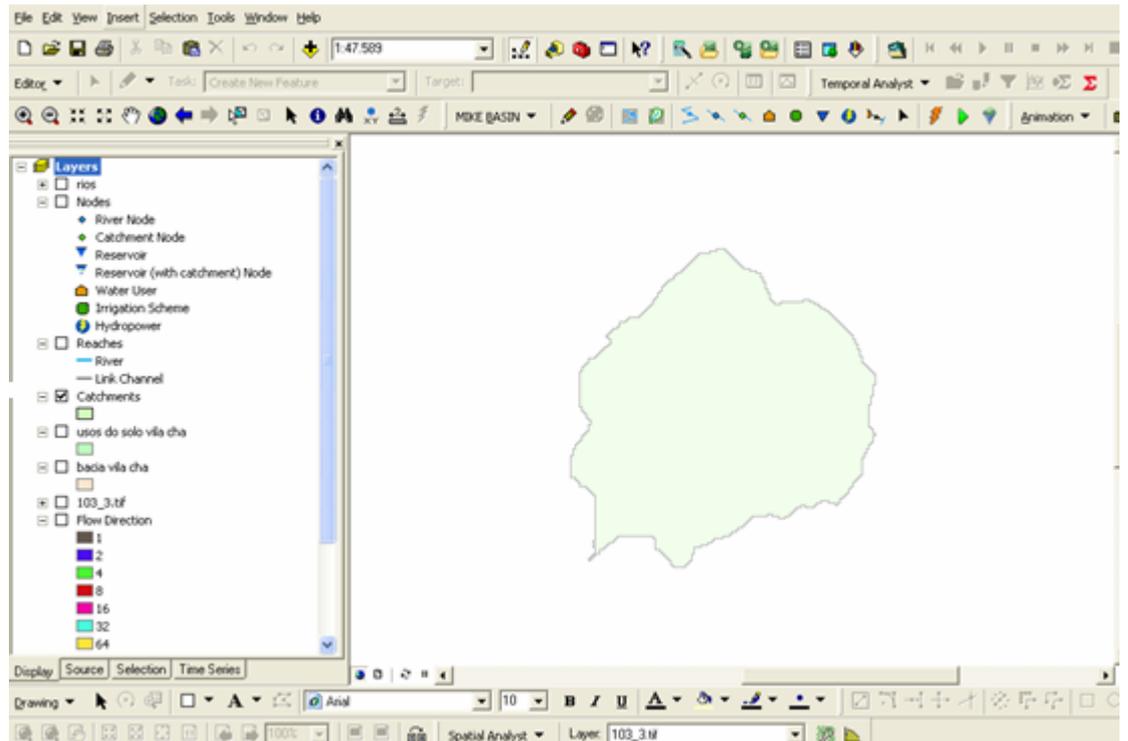
Figura 3.8 – Sentido de fluxo determinado

Para delinear as linhas de água, selecciona-se a opção “Trace River”, bastando apenas indicar o seu início, este passo é realizado com o auxílio das cartas militares de Portugal. O MIKE BASIN tem a capacidade de delimitar as linhas de água até jusante. A figura 3.9 mostra a linha de água da Bacia Hidrográfica de Vila Chã.



3.9 – Linha de água traçada pelo software

Após o delineamento da linha de água, com o auxílio do comando “Reservoir (with catchment)” foi traçada a sub-bacia, como sugere a figura 3.10.



3.10 – Sub-bacia produzida pelo software

Em seguida, introduziu-se o local onde a água é extraída, a albufeira é representada na aplicação por “Reservoir (with Catchment)” Node e os utilizadores da água por “Water User”, como ilustra a figura 3.11.



Figura 3.11 – Representação do sistema de Vila Chã

### 3.4- Tratamento dos dados

O escoamento superficial constitui um dado a ser introduzido no modelo. É obtido com base na precipitação útil e na precipitação efectiva da bacia hidrográfica de Vila Chã. Os valores do quadro 3.1 correspondem aos valores médios mensais da precipitação efectiva no ano de 2008.

DATA	PRECIPITAÇÃO (mm)
Janeiro	91,2
Fevereiro	42,7
Março	24,3
Abril	143,0
Maió	24,4
Junho	14,3
Julho	0,7
Agosto	12,2
Setembro	30,1
Outubro	31,5
Novembro	23,6
Dezembro	64,7

Quadro 3.1 – Precipitação efectiva média mensal em 2008 (mm)

Com base na equação do coeficiente de escoamento (equação 3.1), determina-se a precipitação útil.

$$C = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{efectiva}}} \quad \text{Equação 3.1}$$

Para calcular o coeficiente de escoamento utilizou-se a carta dos usos do solo, ilustrada na figura 3.12, onde se pode verificar que grande parte da área da bacia hidrográfica é ocupada pela agricultura de regadio e mato, ao contrário da vinha que tem uma área pouco significativa.

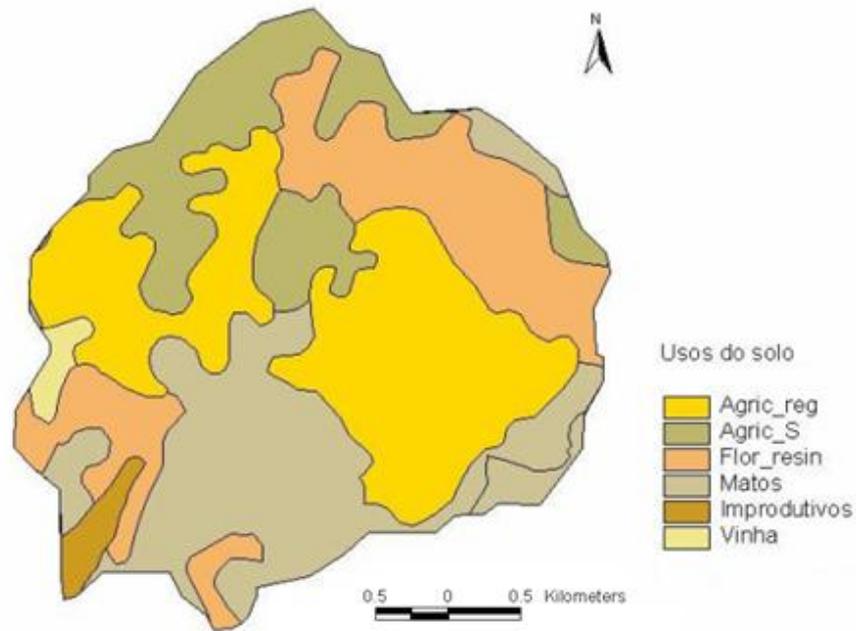


Figura 3.12 – Usos do solo na bacia hidrográfica de Vila Chã

O coeficiente de escoamento é a razão entre a precipitação útil e a precipitação efectiva. Este depende de vários factores como o tipo de solo, cobertura vegetal, o grau de saturação do solo e o declive geral da bacia. Tendo por base o livro *Lições de Hidrologia* (Lencastre e Franco, 2003) o quadro 3.2, apresenta os valores do coeficiente de escoamento (C) para os usos de solo considerados.

USOS DO SOLO	COEFICIENTE ESCOAMENTO
Urbano	0,90
Agricultura de regadio	0,45
Vinha	0,15
Matos	0,75
Pastagens	0,35
Floresta Resinosa	0,50
Floresta Mista	0,25
Improdutivos	0,50

Quadro 3.2 – Coeficientes de escoamento (C)

Com base na equação 3.2, foi determinado o valor do coeficiente do escoamento ponderado da bacia hidrografia em estudo, cujo valor é de 0,247.

$$C_{ponderado} = \frac{\sum C_i * A_i}{\sum A_i} \quad \text{Equação 3.2}$$

Sendo que:

$C_i$  é o coeficiente de escoamento de cada tipo de solo

$A_i$  é a área correspondente a cada tipo de solo

Os valores da precipitação útil são apresentados no quadro 3.3.

<b>Data</b>	<b>Precipitação Efectiva (mm)</b>	<b>Precipitação Útil (mm)</b>
<b>Janeiro</b>	91,2	22,53
<b>Fevereiro</b>	42,7	10,55
<b>Março</b>	24,3	6,00
<b>Abril</b>	143,0	35,33
<b>Mai</b>	24,4	6,03
<b>Junho</b>	14,3	3,53
<b>Julho</b>	0,7	0,17
<b>Agosto</b>	12,2	3,01
<b>Setembro</b>	30,1	7,44
<b>Outubro</b>	31,5	7,78
<b>Novembro</b>	23,6	5,83
<b>Dezembro</b>	64,7	15,98

Quadro 3.3 – Precipitação efectiva e útil média mensal em 2008 (mm)

Conhecendo os valores mensais da precipitação útil, determinou-se pela equação 3.3 o caudal médio mensal, apresentado no quadro 3.3.

$$Q = \frac{P_{\text{útil}} * 10^{-3} * \text{área}}{\text{dias} * \text{horas} * \text{seg}} \quad \text{Equação 3.3}$$

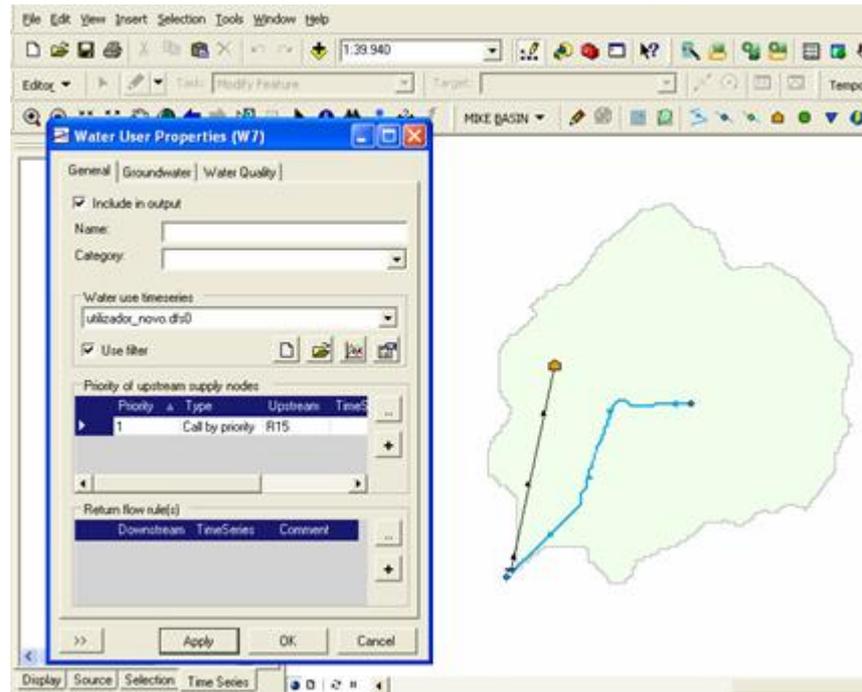
Meses	Escoamento (m <sup>3</sup> /s)	Escoamento (l/s/Km <sup>2</sup> )
Janeiro	0,0704	8,41
Fevereiro	0,0365	4,36
Março	0,0188	2,24
Abril	0,1140	13,63
Mai	0,0188	2,25
Junho	0,0114	1,36
Julho	0,0005	0,06
Agosto	0,0094	1,12
Setembro	0,0240	2,87
Outubro	0,0243	2,91
Novembro	0,0188	2,25
Dezembro	0,0499	5,97

Quadro 3.4 – Escoamento superficial na bacia hidrográfica de Vila Chã

### 3.4.1 - Introdução dos dados no modelo

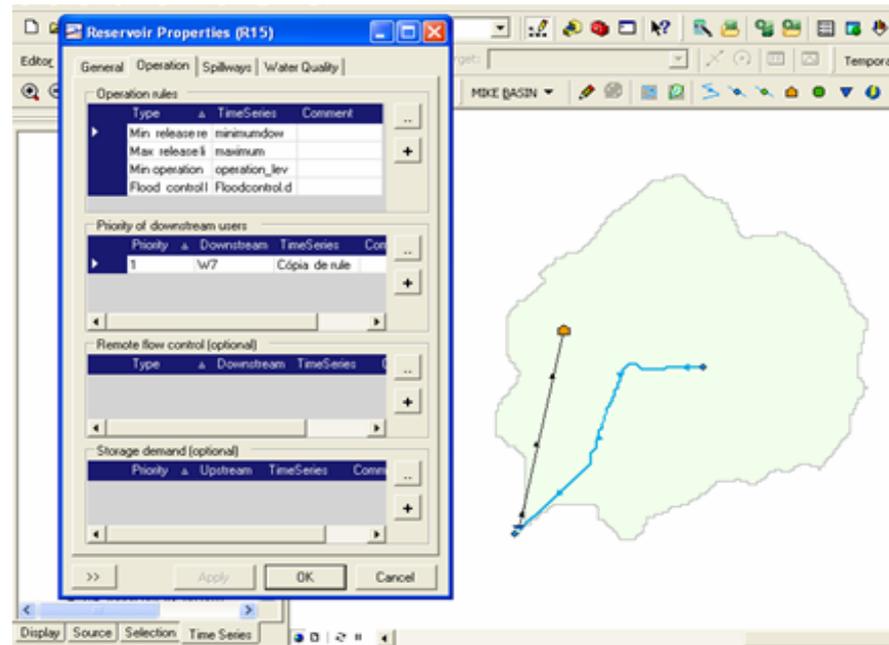
A informação pode ser importada para o modelo em diversos formatos, por exemplo, em Excel, como foi efectuado nesta aplicação.

O passo seguinte é associar a informação temporal ao espaço. Assim, selecciona-se o comando  do menu MIKE BASIN e o local onde se pretende carregar a informação, como ilustra a figura 3.13 para o caso do “Water User”.



3.13 – Propriedades do utilizador de água

Neste ponto, a albufeira encontra-se localizada espacialmente no modelo, sendo imprescindível, para uma correcta gestão da água, a definição de algumas características de armazenamento (através de áreas e volumes). Para além destas características, nas propriedades do reservatório, é necessário definir as condições de operação da albufeira, definindo-se a cota mínima de operação, a variação das cotas de água e o caudal ecológico máximo e mínimo como sugere a figura 3.14. Neste caso de estudo, a prioridade de utilização da água da albufeira foi definida com prioridade 1 para a população dos concelhos de Alijó e de Murça.



3.14 - Condições de operação da albufeira

Após a realização de todos os passos mencionados, o modelo está inteiramente definido, possibilitando a realização das simulações. Para tal selecciona-se o comando “run” , no menu MIKE BASIN.

As necessidades de água adoptadas, nas várias simulações, tiveram por referência as necessidades hídricas do ano de 2008, presumindo-se que para cada ano que passa, cada pessoa consome mais 1l/dia de água, ou seja, 365 l por ano. Os valores de referência foram extraídos do SNIRH.

Foi realizada uma simulação relativa ao ano de 2008, nesta pretendeu-se estimar as disponibilidades hídricas na albufeira. Pela comparação dos resultados obtidos, na simulação, com os valores reais fornecidos pelo SNIRH, foi possível analisar a veracidade dos resultados, bem como o rigor do modelo usado.

A realização das simulações, referentes ao ano de 2070, implicou o conhecimento do clima, em especial, o comportamento da precipitação para esse ano, visto que o clima não é claramente estável. Assim sendo, para este estudo foram adoptados os dados do projecto SIAM II (Alterações Climáticas em Portugal: Cenários Impactos e Medidas de Adaptação) desenvolvido pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL) em colaboração

com investigadores de diversas instituições portuguesas. Os seus resultados foram apresentados em 2006, constituindo a mais recente avaliação integrada dos potenciais impactos das Alterações Climáticas, sendo que, para Portugal, até ao final do século XXI, os modelos prevêem alterações na precipitação. Os cenários climáticos obtidos com modelos regionais (sendo os dados referentes ao modelo HadRM3 do *Hadley Center UK*) indicam evidentes alterações nos padrões climáticos do final do século XXI no período de (2070-2099), relativamente ao período de controlo (1961-1990). Este modelo utilizou precipitações do passado e com base nas concentrações de CO<sub>2</sub>, apresentadas na figura 3.15, prevendo-se a redução da precipitação.

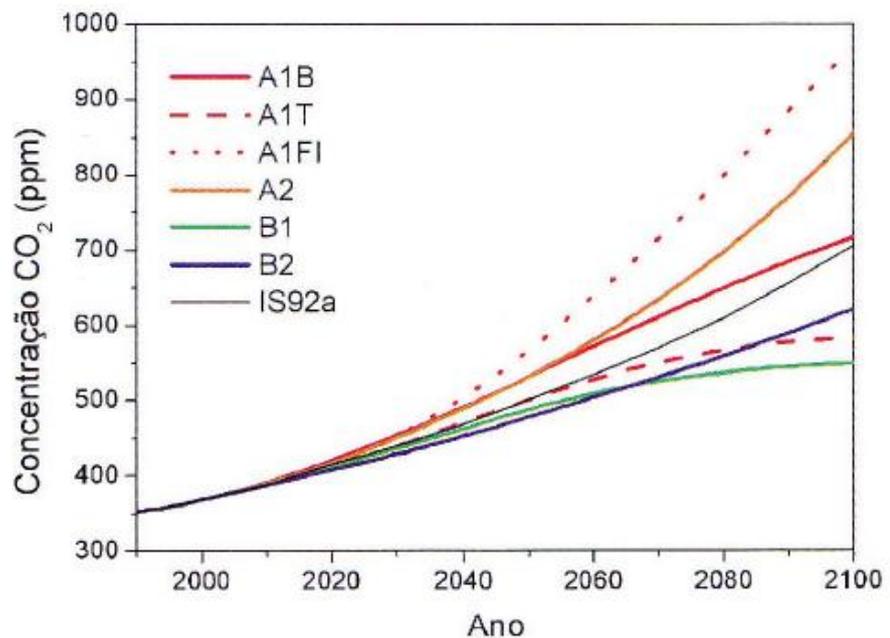


Figura 3.15 – Variação da quantidade de CO<sub>2</sub> libertada para a atmosfera (Santos e Miranda, 2006)

Para o período de tempo compreendido entre 2070 e 2099, ocorrerá uma redução da precipitação de 10 % nos meses de Inverno, 30% nos meses de Outono, 50% nos meses de Primavera e 60 % nos meses de Verão (Santos e Miranda, 2006). O anexo 4 ilustra os mapas que representam geograficamente a redução da precipitação associada a cada ponto e para estação do ano.

Os cenários em análise, para o ano de 2070 são:

**Cenário I:** Nesta simulação, pretendeu-se verificar se a albufeira de Vila Chã terá disponibilidades hídricas capazes de garantir o abastecimento de água, não só apenas aos concelhos de Alijó e de Murça, mas também ao concelho de Sabrosa. A figura 3.16 mostra as freguesias do concelho de Sabrosa. A albufeira do Pinhão, que integra a barragem de Torre do Pinhão, permite fazer o abastecimento de água ao concelho Sabrosa, Alijó, Peso da Régua e a algumas freguesias do concelho de Vila Real. Sendo abastecidas muitas freguesias, tornou-se necessário prever novas soluções para evitar a escassez da água à população, em especial, nos meses de Verão, onde a reserva de água não só é condicionada pela diminuição da precipitação, mas também pelos consumos de água que tendem a aumentar, devido à chegada dos emigrantes. A população a ser servida passa de 21072 habitantes para 24079 habitantes, logo as necessidades hídricas aumentam. O anexo 1 apresenta a precipitação útil, efectiva e o escoamento superficial para este cenário.



Figura 3.16 – Localização geográfica das freguesias do concelho de Sabrosa; adaptado *Sabrosa Município – Terras de Fernão Magalhães*, 2009.

**Cenário 2** – O cenário proposto foi o de reflorestar os matos com pinheiro bravo, uma vez que, o pinheiro bravo é uma espécie de árvore de grande interesse económico, pois proporciona uma grande produção de madeira e permite a recuperação de solos pobres. Neste cenário, ilustrado na figura 3.17, pretende-se prever se a albufeira de Vila Chã terá disponibilidade hídrica para abastecer a população dos concelhos de Alijó e de Murça. O anexo 2 mostra a precipitação útil, efectiva e o escoamento superficial para este cenário.

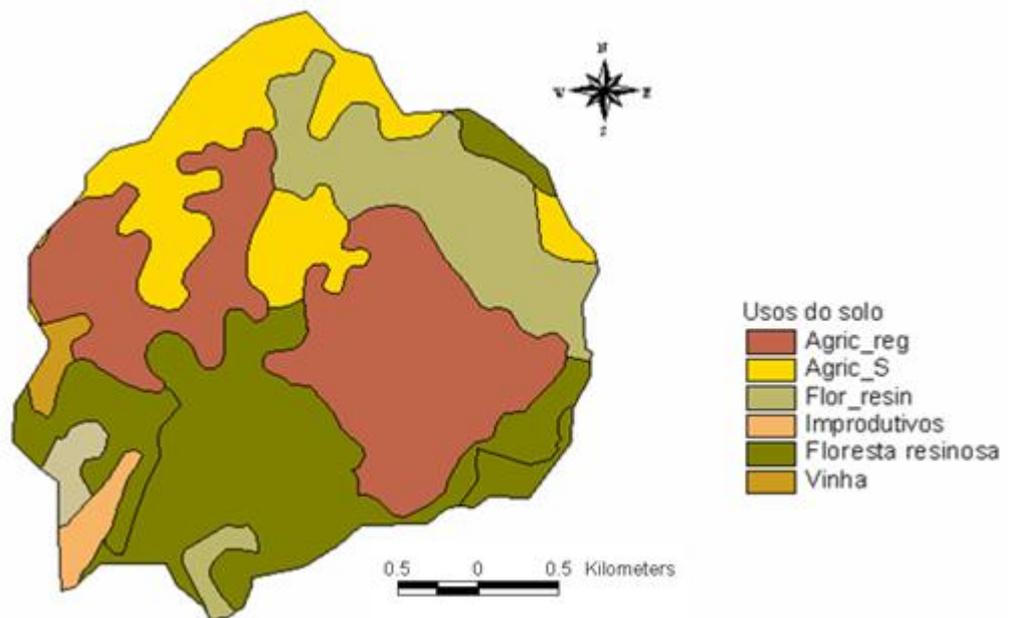


Figura 3.17 – Reflorestamento dos matos com pinheiros bravos

**Cenário 3** – Neste cenário, simulou-se a ocorrência de um incêndio na área abrangida por mato, ao contrário dos anteriores estima-se que o escoamento superficial na albufeira aumente. A figura 3.18 ilustra a zona que corresponde à área ardida, esta abrange cerca de 26% da área total da bacia hidrográfica. A precipitação útil, efectiva e o escoamento superficial são apresentados em anexo 3.

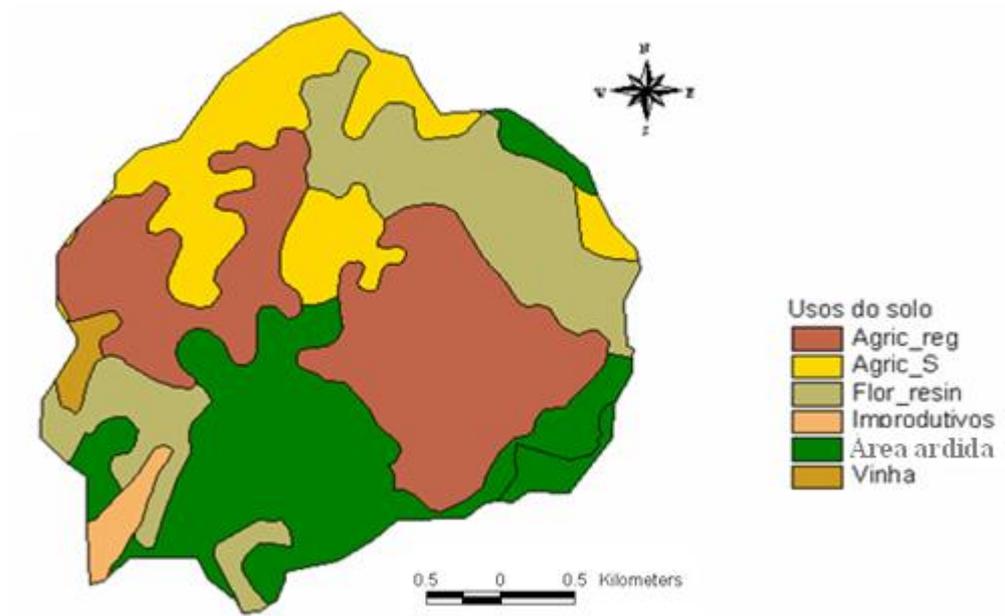


Figura 3.18 – Área ardida de mato

## **Capítulo 4**

Resultados e Análise de Sensibilidades

## 4- Resultados e Análise de Sensibilidades

O gráfico 4.1 ilustra as disponibilidades hídricas médias mensais na albufeira de Vila Chã, ao longo do ano 2008 simulados com o MIKE BASIN.

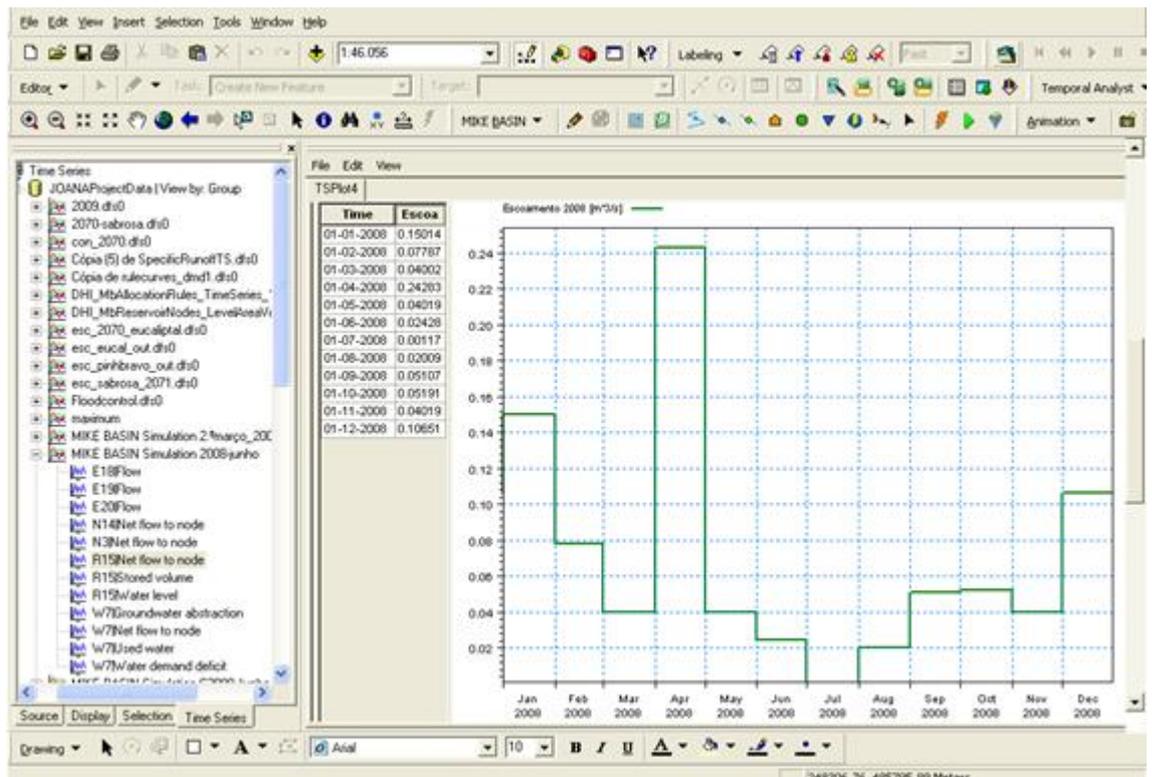


Gráfico 4.1 – Disponibilidades hídricas médias mensais na albufeira em 2008  
(m<sup>3</sup>/s)

O escoamento superficial anual total, no ano de 2008, é de aproximadamente  $2,2 \times 10^9$  l. O valor máximo de escoamento superficial na albufeira é atingido no mês de Abril e o valor mínimo atingido no mês de Julho. Nos meses de Verão, registam-se os valores mais baixos de escoamento, não apenas como consequência da diminuição da precipitação e aumento da temperatura. No primeiro trimestre, verifica-se um decréscimo gradual do escoamento superficial, embora se registre um aumento pontual no mês de Abril. No período entre Setembro e Outubro, o escoamento superficial é sensivelmente constante.

O gráfico 4.2 mostra o volume de água mensal na albufeira, considerando as necessidades hídricas da população e as disponibilidades hídricas da albufeira.

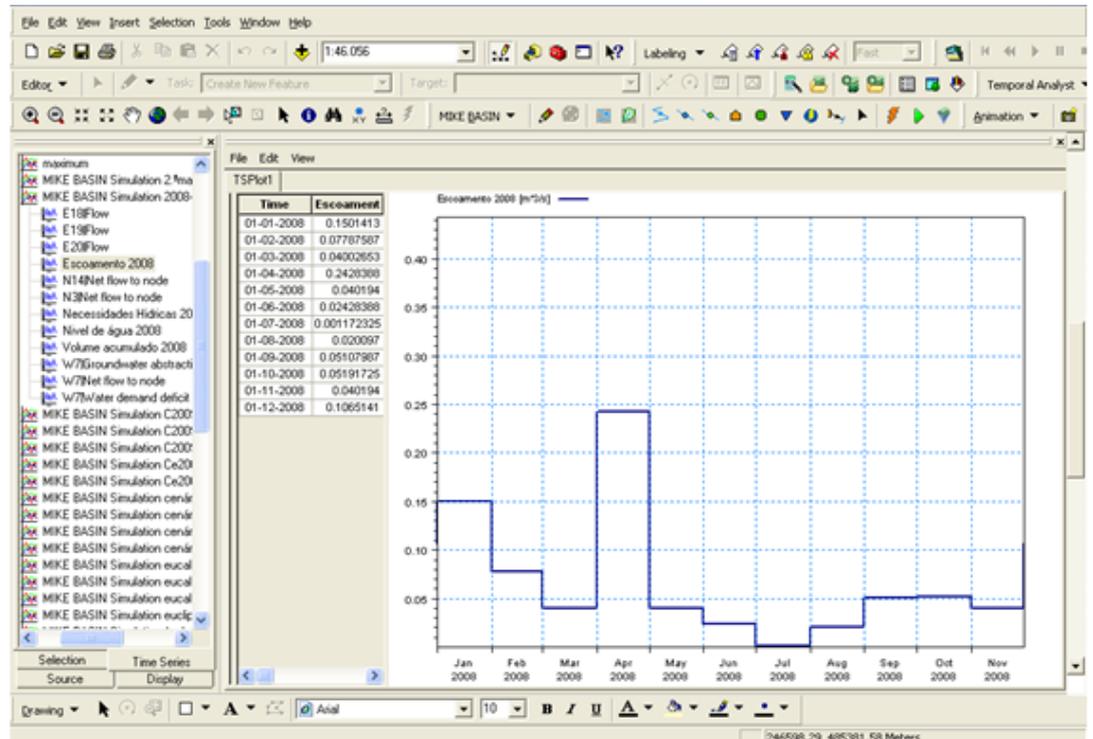


Gráfico 4.2 – Volume de água mensal na albufeira em 2008 (m<sup>3</sup>)

Da análise do gráfico, verifica-se que nos primeiros cinco meses do ano a albufeira estará a encher, atingindo o valor máximo de  $1,836 \times 10^6 \text{ m}^3$  no mês de Maio, mantendo-se constante no mês de Abril. Nos meses de Verão, ocorrerá um decréscimo acentuado do volume de água, atingindo o valor  $1,64 \times 10^6 \text{ m}^3$  no mês de Setembro. Nos meses de Outono e Inverno, terá disponibilidades hídricas suficientes para garantir o abastecimento nos meses críticos, (Junho, Julho e Agosto).

O gráfico 4.3 demonstra a variação do nível de água, na albufeira, no ano de 2008.

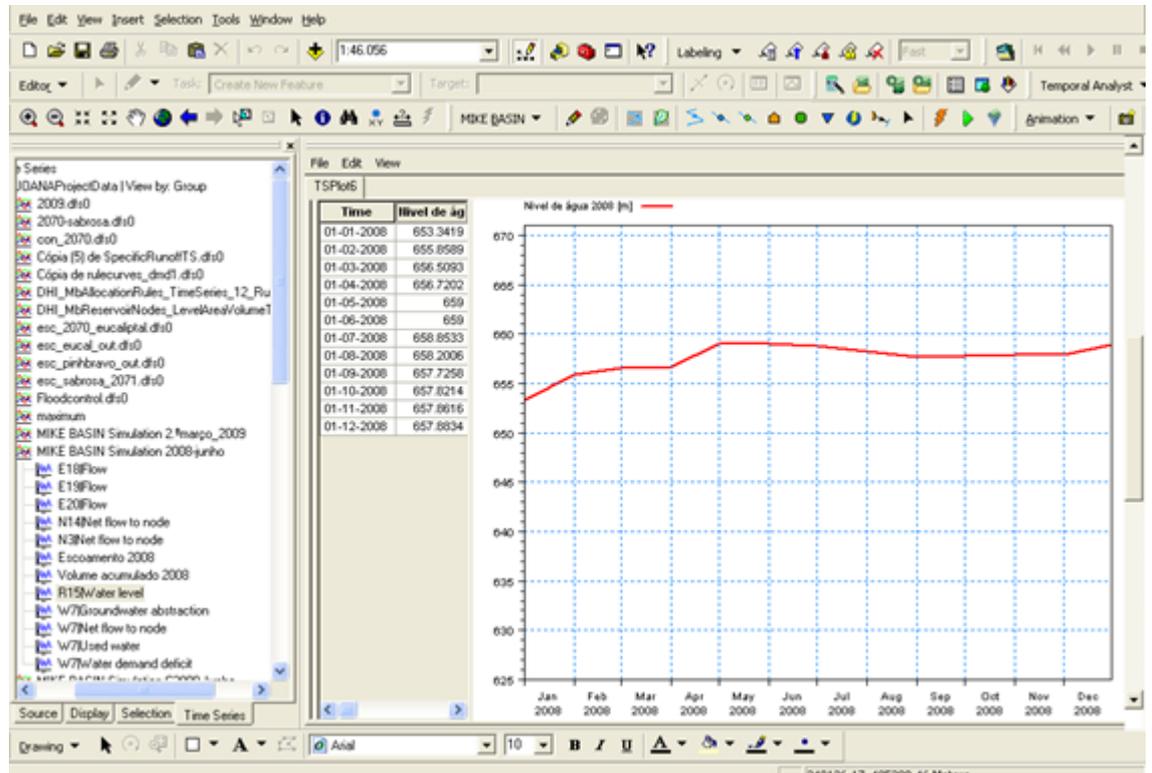


Gráfico 4.3 – Nível de água na albufeira no ano 2008 (m)

Da observação do gráfico, verifica-se que nos primeiros cinco meses do ano ocorre um aumento gradual do nível de água na albufeira, atingindo o nível de água máximo de 659 m em Maio e Junho, começando a decrescer no segundo semestre do ano.

As necessidades hídricas populacionais garantidas pela albufeira em 2008 são ilustradas no gráfico 4.4.

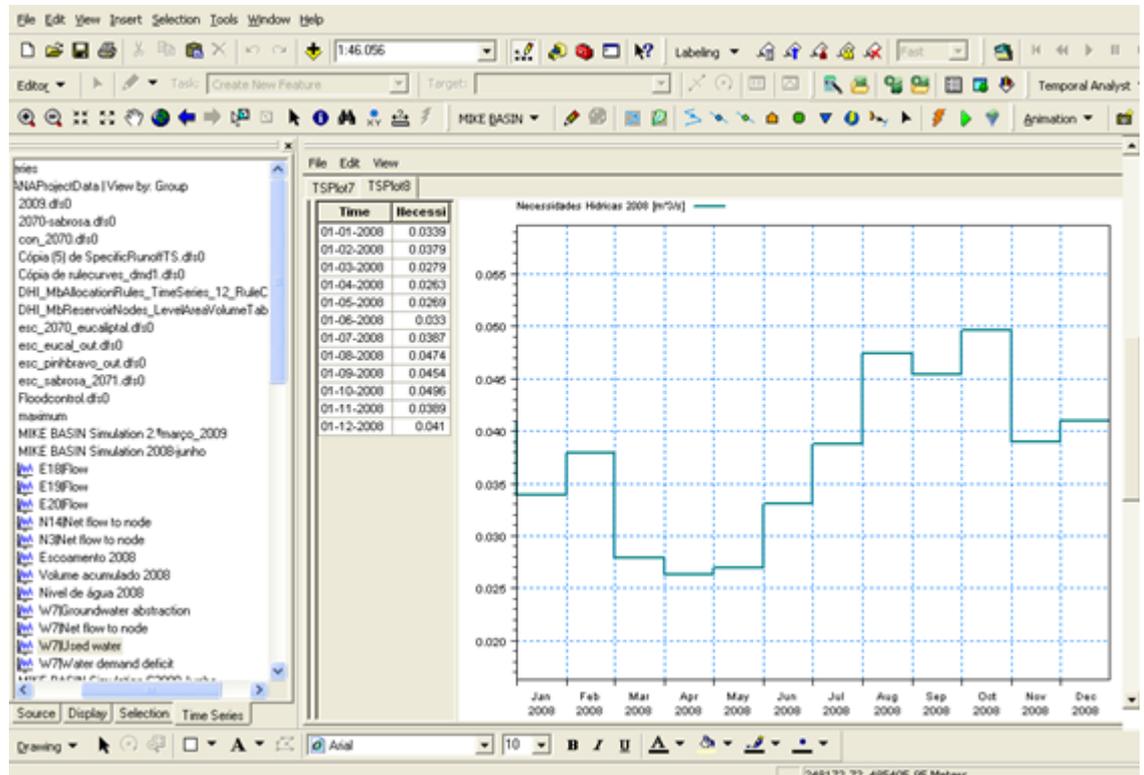


Gráfico 4.4 – Necessidades hídricas populacionais garantidas no ano 2008  
(m<sup>3</sup>/s)

As necessidades hídricas no primeiro semestre do ano são inferiores quando comparadas com o segundo semestre, registando o valor mínimo de 0,0263 m<sup>3</sup>/s no mês de Abril e o valor máximo de 0,0454 m<sup>3</sup>/s no mês de Outubro.

No gráfico 4.5 fez-se a comparação dos valores do nível de água, na albufeira, reais (cedidos pelo SNIRH) e os valores estimados pelo software MIKE BASIN.

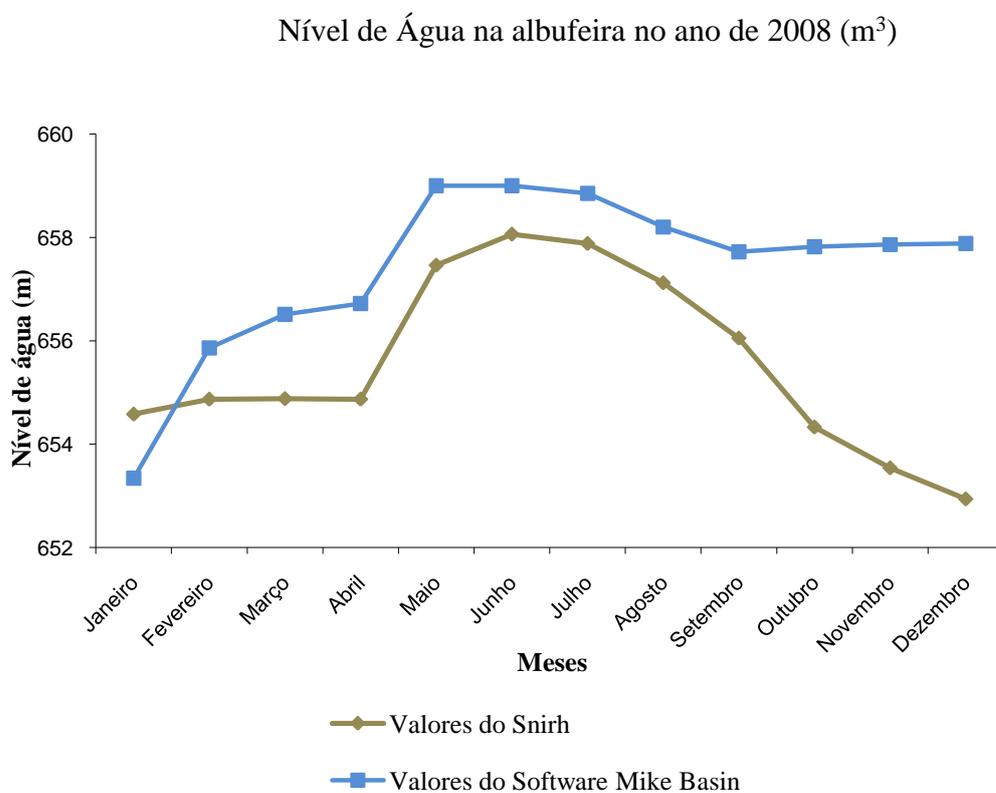


Gráfico 4.5 – Comparação do nível de água, real e estimado, no ano 2008 (m)

O comportamento das duas linhas é semelhante, embora no último trimestre do ano se verifique uma diferença no seu comportamento, talvez devido aos valores do coeficiente de escoamento adoptados não estarem de acordo absoluto com a realidade.

No mês de Janeiro, na situação real, o nível de água na albufeira é superior ao valor da simulação efectuada.

No período de tempo entre Janeiro e Abril, na simulação o nível de água no primeiro semestre tem um aumento gradual, enquanto na realidade esse aumento é pouco evidente. No período entre Abril e Agosto as duas situações tendem a ser semelhantes.

O gráfico 4.6 ilustra a comparação dos valores reais do volume mensal de água na albufeira (cedidos pelo SNIRH) e os valores estimados pelo MIKE BASIN

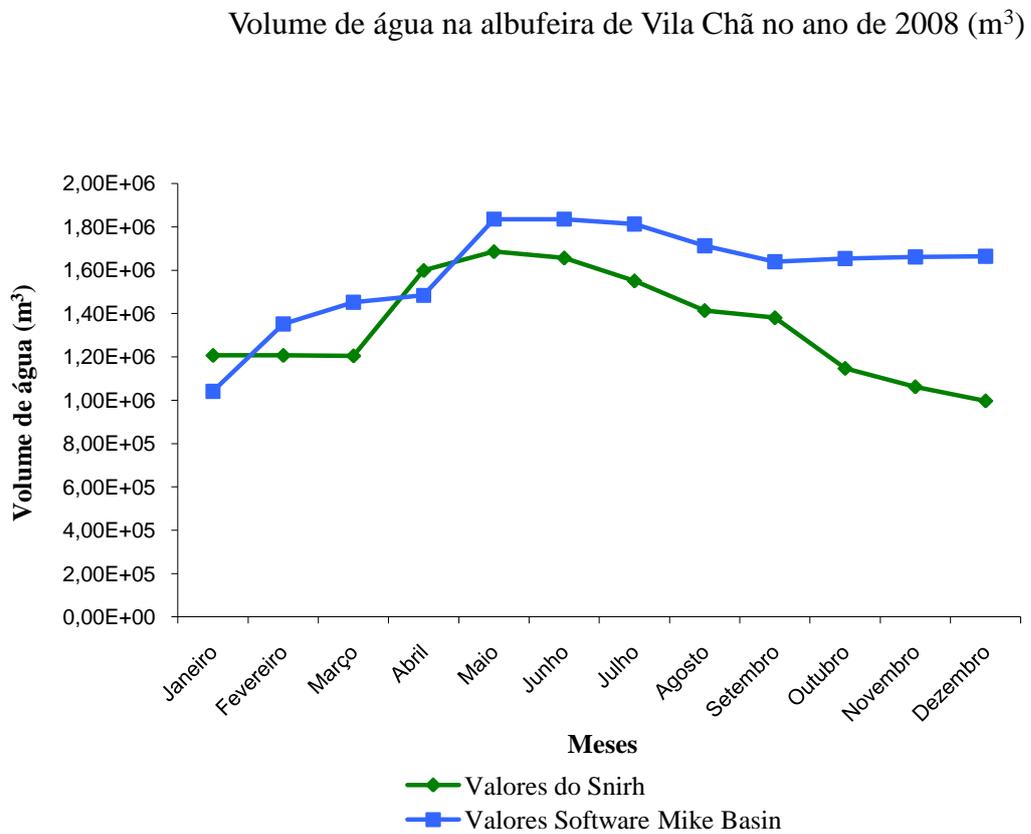


Gráfico 4.6 – Comparação do volume de água mensal, real e estimado, no ano 2008 (m<sup>3</sup>)

Como seria de esperar, o volume de água na albufeira tem o mesmo comportamento do nível de água.

Com base na análise anterior, considera-se que o software MIKE BASIN tem capacidade para efectuar as simulações pretendidas para o ano de 2070.

CENÁRIO I: Abastecimento de água ao concelho Sabrosa no ano de 2070.

O gráfico 4.7 evidencia as disponibilidades hídricas médias mensais na albufeira no ano de 2070.

O escoamento superficial total anual será de aproximadamente  $1,53 \times 10^9$  l, será inferior ao do ano de 2008, uma vez que, segundo o projecto SIAM se prevê um decréscimo da precipitação.

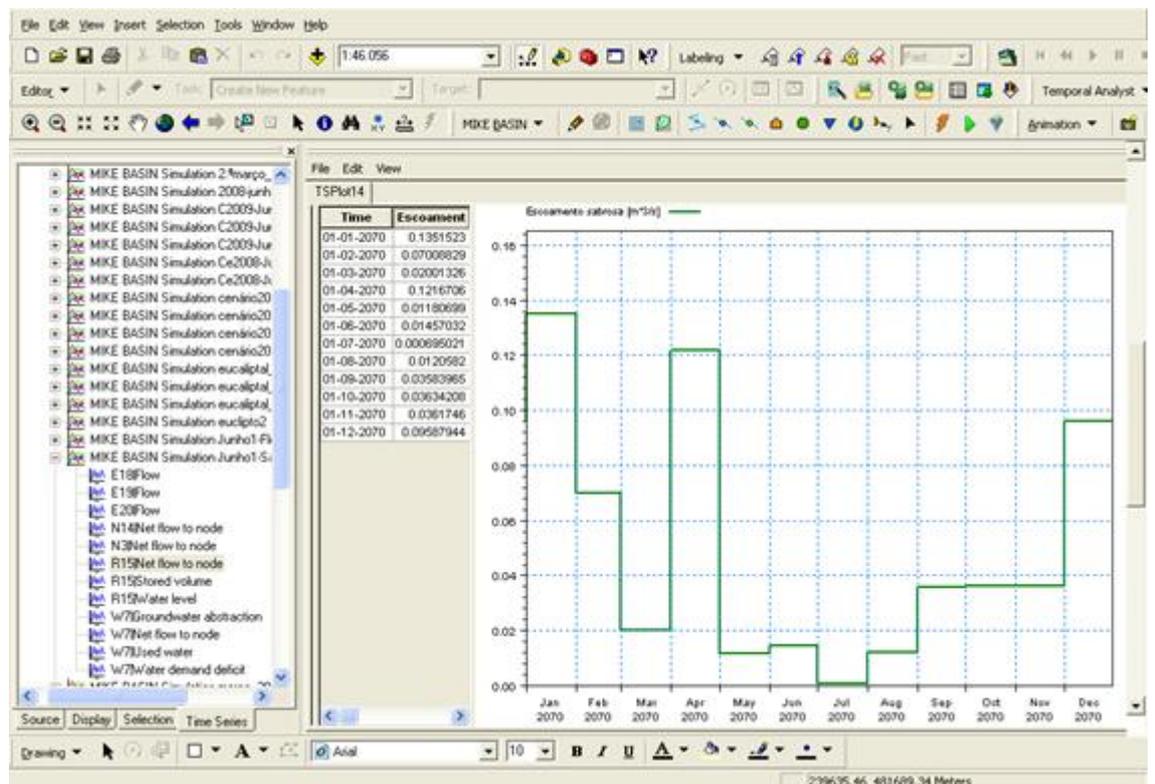


Gráfico 4.7 – Disponibilidades hídricas médias mensais na albufeira no cenário I (m<sup>3</sup>/s)

É no mês de Janeiro que se registará o valor máximo do escoamento superficial na albufeira de  $0,135 \text{ m}^3/\text{s}$ . O valor mínimo de  $0,0007 \text{ m}^3/\text{s}$  será verificado no mês de Julho. Os valores mais baixos do escoamento serão atingidos nos meses de Verão, uma vez que ocorre um decréscimo da precipitação. Nos meses de Outubro e Novembro, o escoamento superficial será sensivelmente igual.

O gráfico 4.8 apresenta o volume de água mensal simulado na albufeira, tendo em conta as disponibilidades hídricas populacionais e as necessidades hídricas populacionais.

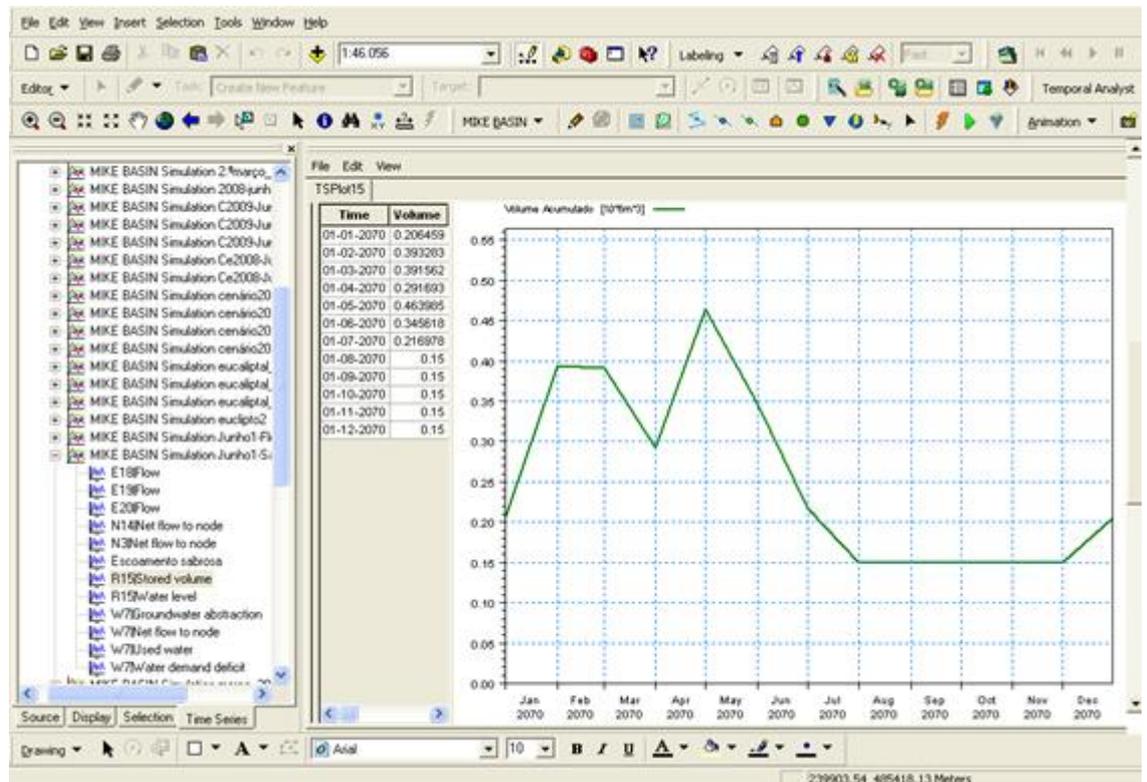


Gráfico 4.8 – Volume de água mensal na albufeira no cenário I ( $m^3$ )

Nos primeiros cinco meses do ano, prevê-se um aumento do volume de água na albufeira, embora no mês de Abril, ocorra um decréscimo no volume de água. A albufeira entrará em funcionamento de exploração mínimo a partir do mês de Agosto até ao final do ano de 2070, permanecendo com o volume de água de  $0,15 \times 10^6 m^3$ .

O gráfico 4.9 mostra a comparação do volume de água entre o ano de 2008 e o ano de 2070 (no caso de abastecimento ao concelho de Sabrosa).

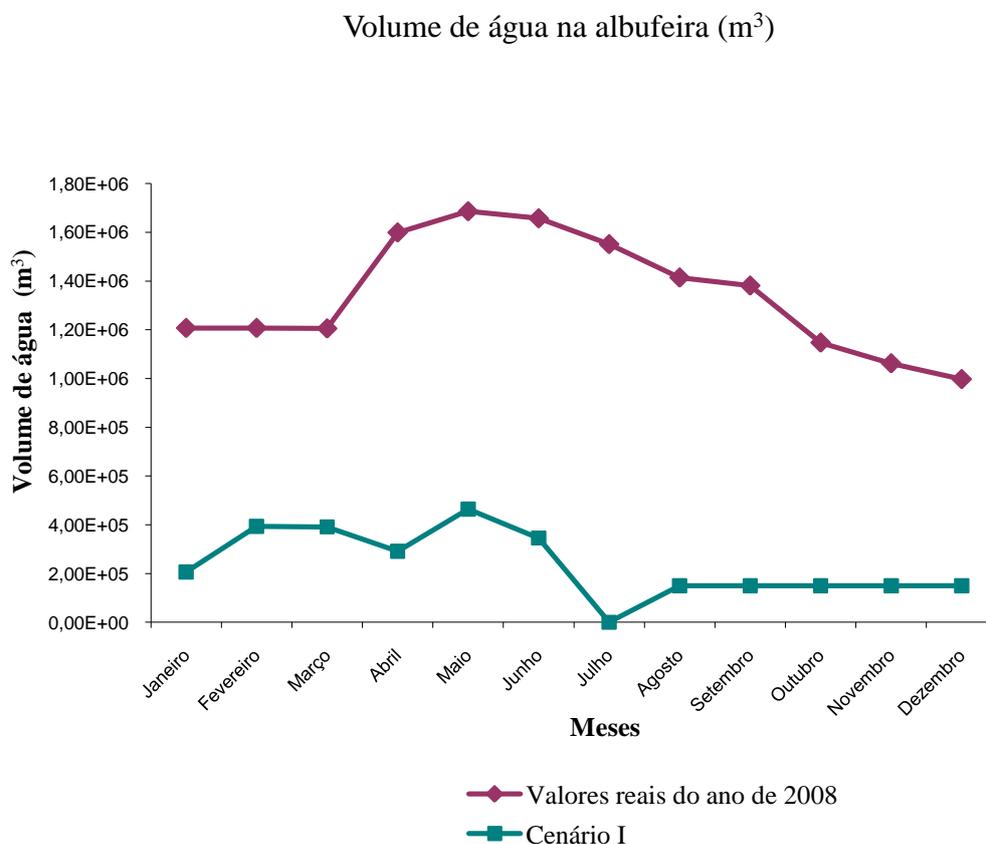


Gráfico 4.9 – Comparação do volume mensal de água entre o ano de 2008 e o cenário I.

O volume de água mensal no ano de 2008 é significativamente superior ao cenário I, o que seria de esperar, uma vez que, para o ano de 2070 a previsão seja de diminuição da precipitação e acréscimo das necessidades hídricas como consequência do aumento populacional.

No primeiro trimestre do ano de 2008, o volume de água mantém-se sensivelmente constante no valor  $1,21 \times 10^6 \text{ m}^3$ , ao contrário do ano de 2070, que aumenta gradualmente. No mês de Abril, no ano de 2070 verifica-se um decréscimo do volume de água atingindo o valor de  $2,92 \times 10^5 \text{ m}^3$ , enquanto no ano de 2008 ocorre um aumento do volume de água, registando-se o valor  $1,60 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Para ambos os anos, o mês que regista o valor máximo de volume

de água é o mês de Maio, e o mês de Julho o valor mínimo. No ano de 2070, o volume de água mantém-se constante nos meses de Outubro a Dezembro.

A variação do nível de água na albufeira no cenário I é ilustrada no gráfico 4.10.

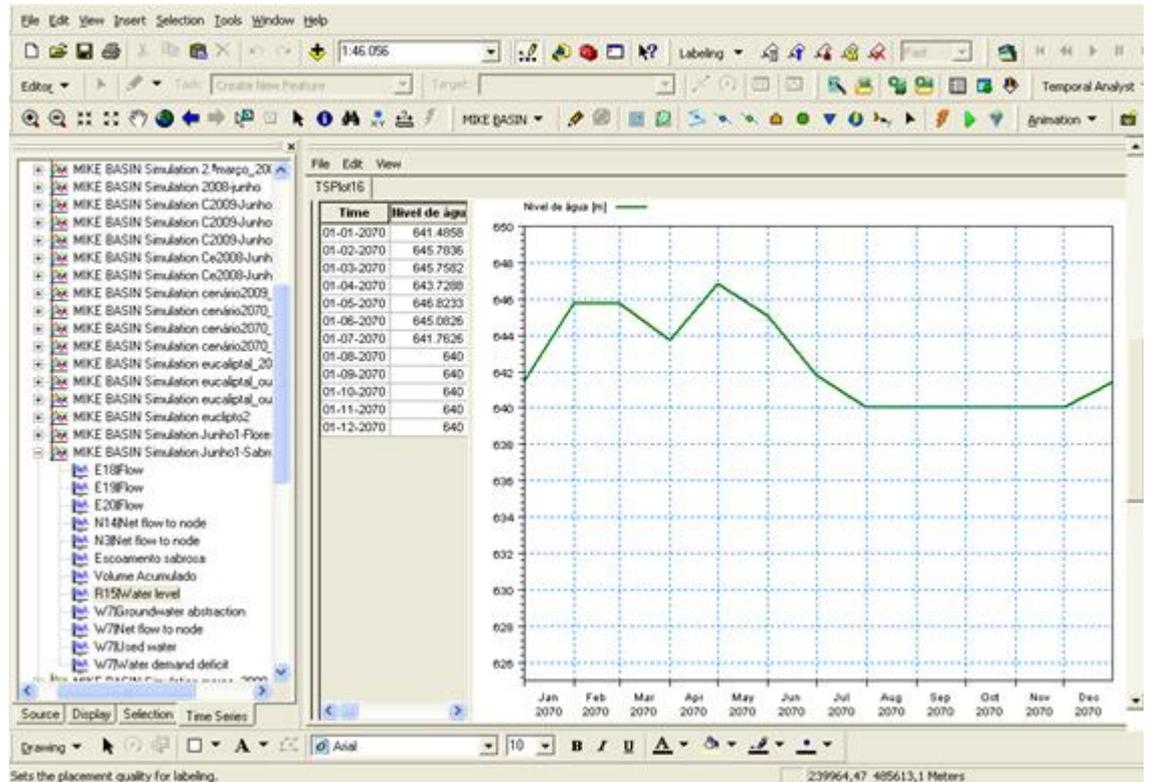


Gráfico 4.10 – Nível de água na albufeira no cenário I (m)

Verifica-se, pela análise do gráfico, que o nível de água registará os valores mais altos nos primeiros cinco meses do ano, embora se estime que no mês de Abril ocorra uma diminuição pontual do nível de água, registando o valor de 643,7 m.

Nos meses entre Agosto e Dezembro, a albufeira atingirá a cota mínima de exploração que é de 640 m, pelo que não terá capacidade para abastecer a população.

O gráfico 4.11 ilustra a comparação entre as disponibilidades e necessidades hídricas mensais no cenário I.

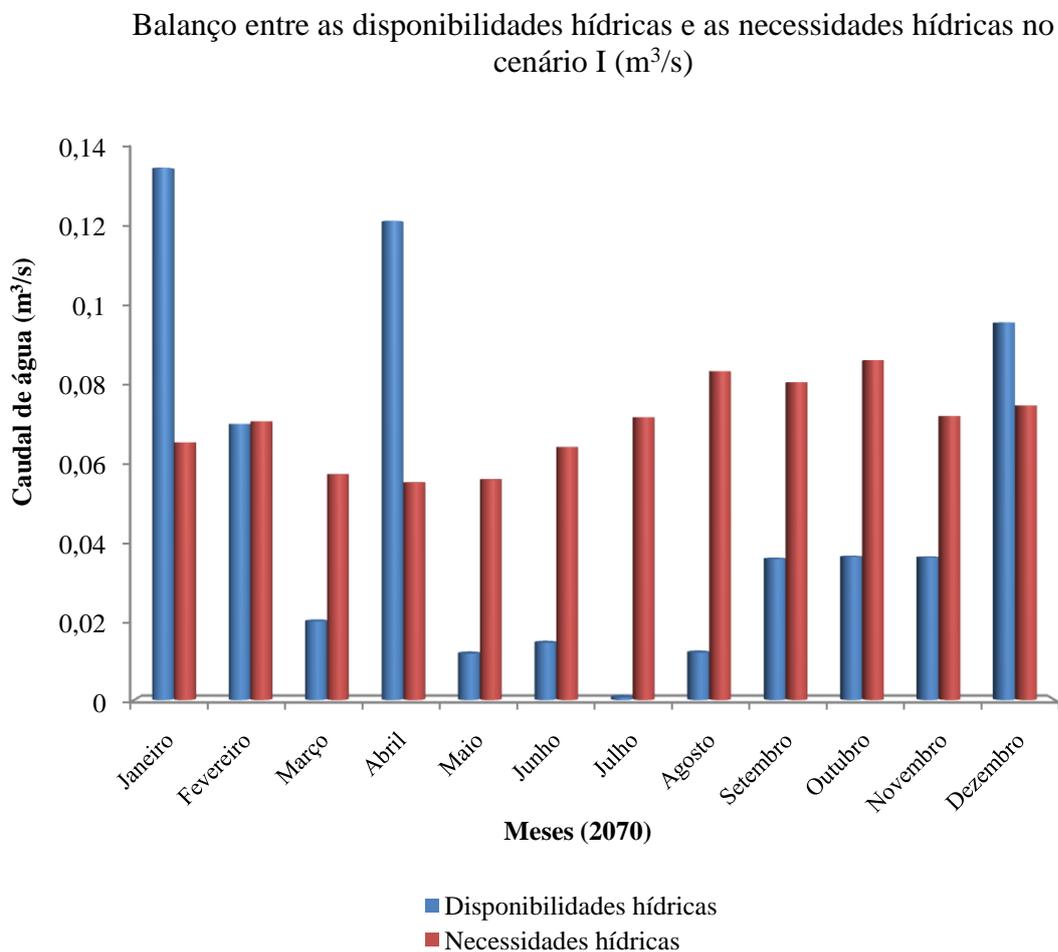


Gráfico 4.11 – Balço entre as disponibilidades hídricas e as necessidades no cenário I ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

Constata-se que nos meses de Janeiro e Abril a albufeira de Vila Chã terá maior disponibilidade hídrica para garantir o abastecimento à população dos concelhos de Alijo, Murça e Sabrosa. No mês de Outubro, regista-se o valor máximo de necessidades hídricas populacionais, que corresponderá a  $0,0863 \text{ m}^3/\text{s}$ . No mês de Julho, haverá menor disponibilidade hídrica,  $0,0007 \text{ m}^3/\text{s}$ , para abastecimento de água à população. Para o ano de 2070, caso seja servido o concelho de Sabrosa, as disponibilidades hídricas da albufeira serão, na maioria dos meses, inferiores às necessidades hídricas populacionais. O

segundo semestre do ano regista os valores mais elevados das necessidades hídricas, quando comparado com o primeiro semestre.

Das necessidades hídricas estimadas neste cenário, a albufeira apenas garantirá parte delas, como se pode observar no gráfico 4.12.

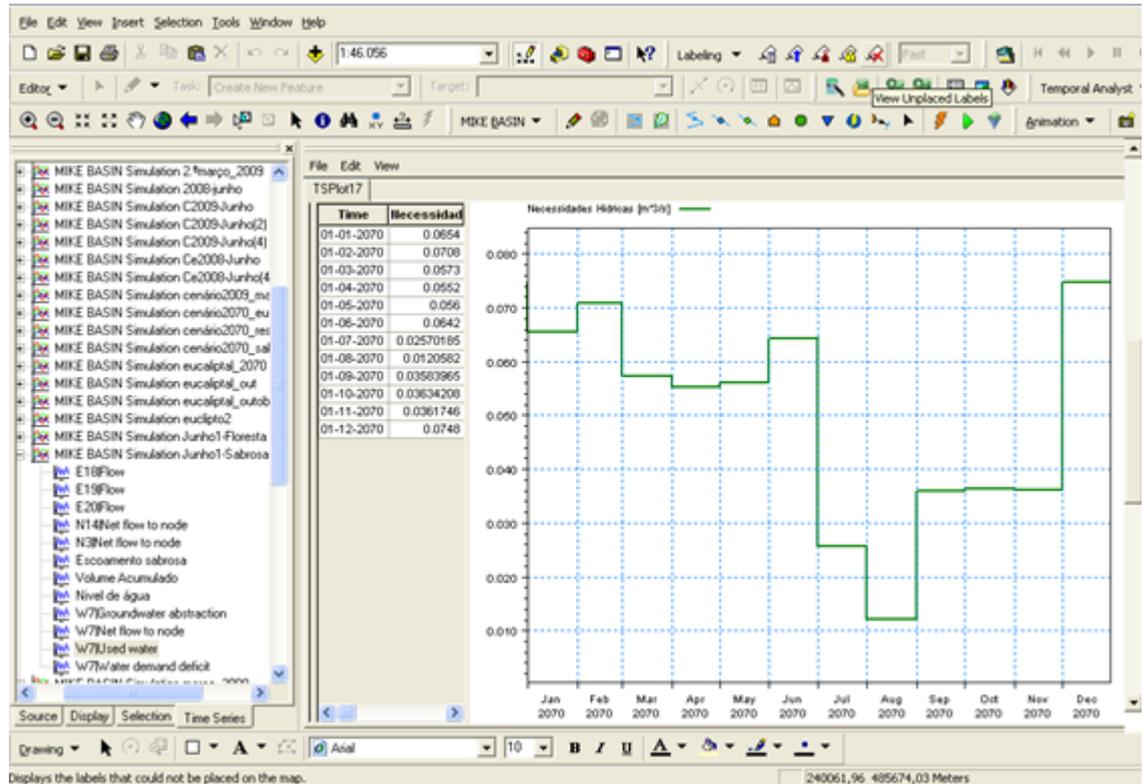


Gráfico 4.12 – Necessidades hídricas populacionais garantidas pela albufeira no cenário I

No primeiro semestre, as necessidades hídricas garantidas serão superiores, quando comparadas com as do segundo semestre. Verifica-se que no mês de Agosto, as necessidades hídricas que serão garantidas são mínimas, sendo o valor previsto de  $0,0120 \text{ m}^3/\text{s}$  e no mês de Dezembro essas necessidades registrarão o valor mais elevado de  $0,0748 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Uma vez que, a albufeira não dará resposta à totalidade das necessidades hídricas estimadas, existirá um défice, como ilustra o gráfico 4.13.

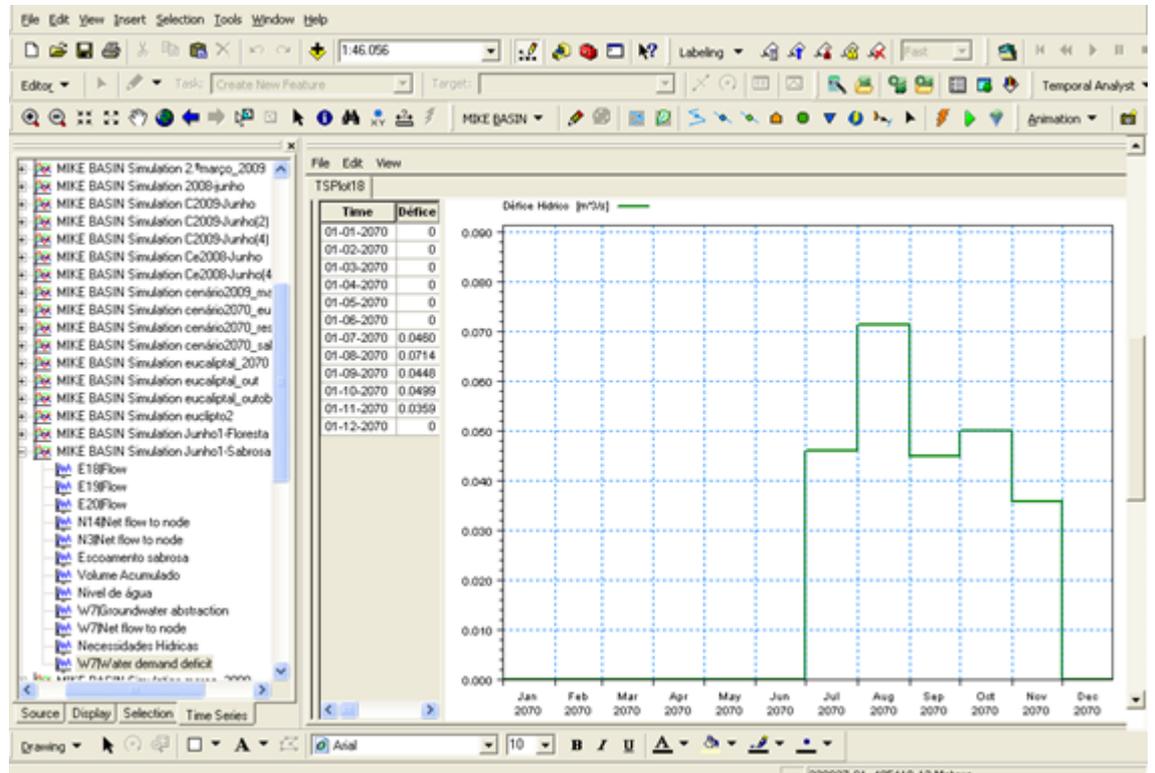


Gráfico 4.13 – Défice nas necessidades hídricas estimadas no cenário I  
(m<sup>3</sup>/s)

Da análise do gráfico, verifica-se que, entre os meses de Julho e Novembro, existirá um défice na garantia das necessidades hídricas estimadas, sendo o mês de Agosto, o que registará o valor mais elevado de necessidades hídricas com 0,0714 m<sup>3</sup>/s.

A albufeira só terá capacidade para abastecer a população no primeiro semestre do ano e no mês de Dezembro.

CENÁRIO II: Reflorestamento dos matos com pinheiros bravos no ano de 2070

As disponibilidades hídricas mensais, na albufeira, no cenário II são apresentas no gráfico 4.14.

O escoamento superficial total anual será de aproximadamente  $1,22 \times 10^9$  l.

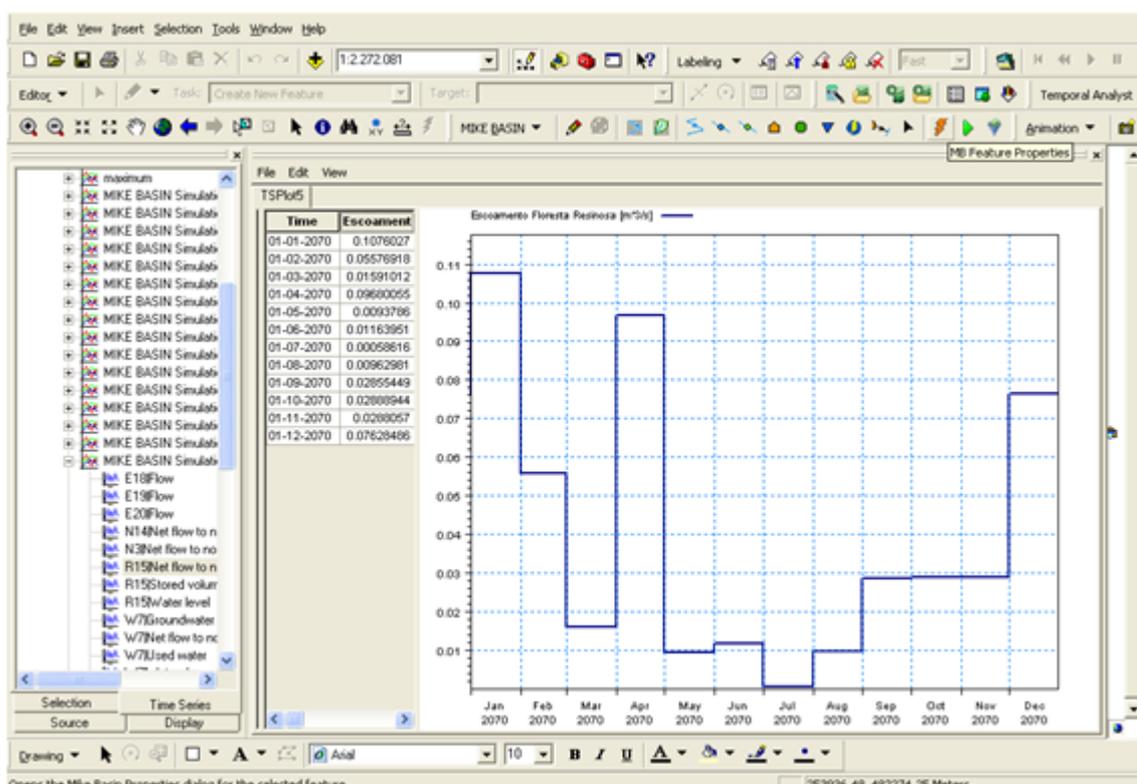


Gráfico 4.14 – Disponibilidades hídricas mensais no cenário II ( $m^3/s$ )

O valor máximo de escoamento superficial na albufeira será atingido no mês de Janeiro, correspondendo ao valor de  $0,1076 m^3/s$ . O mês de Julho registrará o valor mínimo com  $0,0006 m^3/s$ . Nos meses de Verão, serão registados os valores mais baixos de escoamento superficial, pelas razões já mencionadas anteriormente. Mantém-se a tendência de nos meses de Setembro a Novembro o escoamento superficial ser semelhante, aumentando significativamente em Dezembro.

O gráfico 4.15 mostra o volume de água na albufeira considerando as necessidades hídricas da população e o escoamento superficial na albufeira.

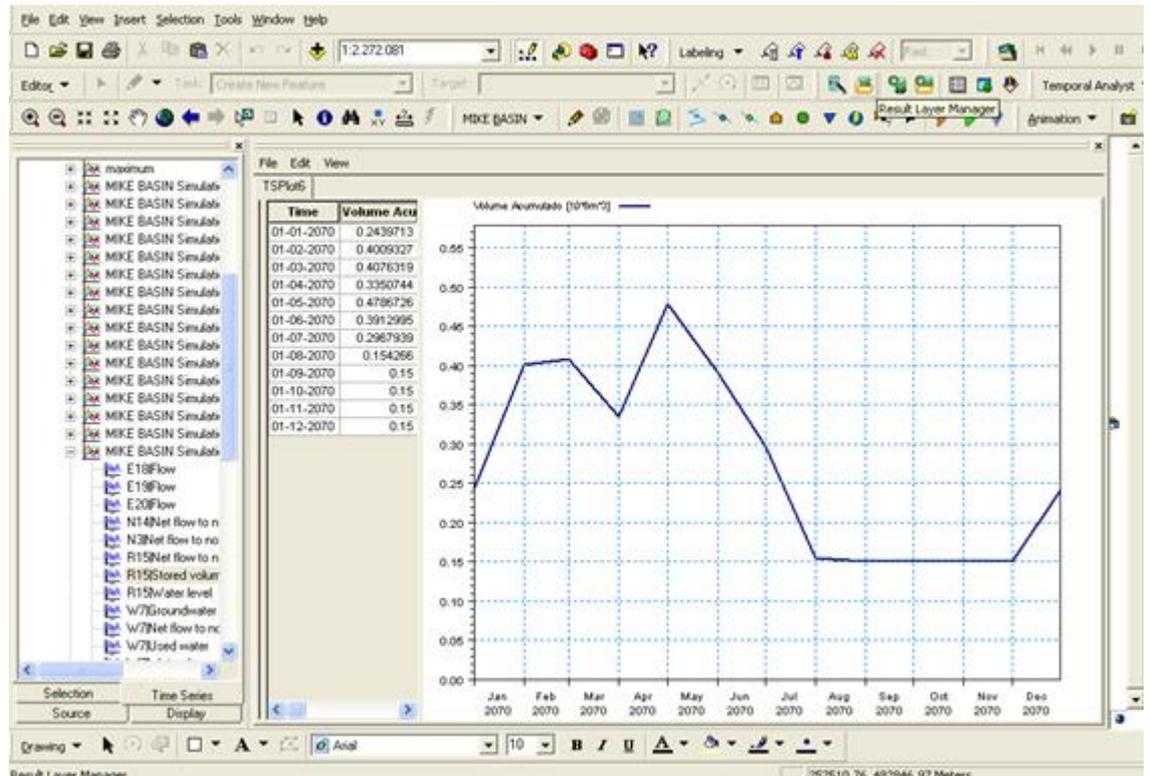


Gráfico 4.15 – Volume de água mensal na albufeira no cenário II (m<sup>3</sup>)

Da interpretação do gráfico, nos primeiros cinco meses do ano ocorrerá um aumento do volume de água na albufeira. No mês de Abril, estima-se um decréscimo pontual no volume de água. Entre os meses de Maio e Agosto, estima-se que ocorra uma redução gradual do volume de água na albufeira. Neste cenário, também a albufeira entrará em funcionamento de exploração mínimo a partir do mês Setembro até ao final do ano, permanecendo com o volume de água constante de  $0,15 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

No gráfico 4.16 fez-se a comparação do volume de água mensal na albufeira de Vila Chã para o ano de 2008 (valores reais) e para o cenário II.

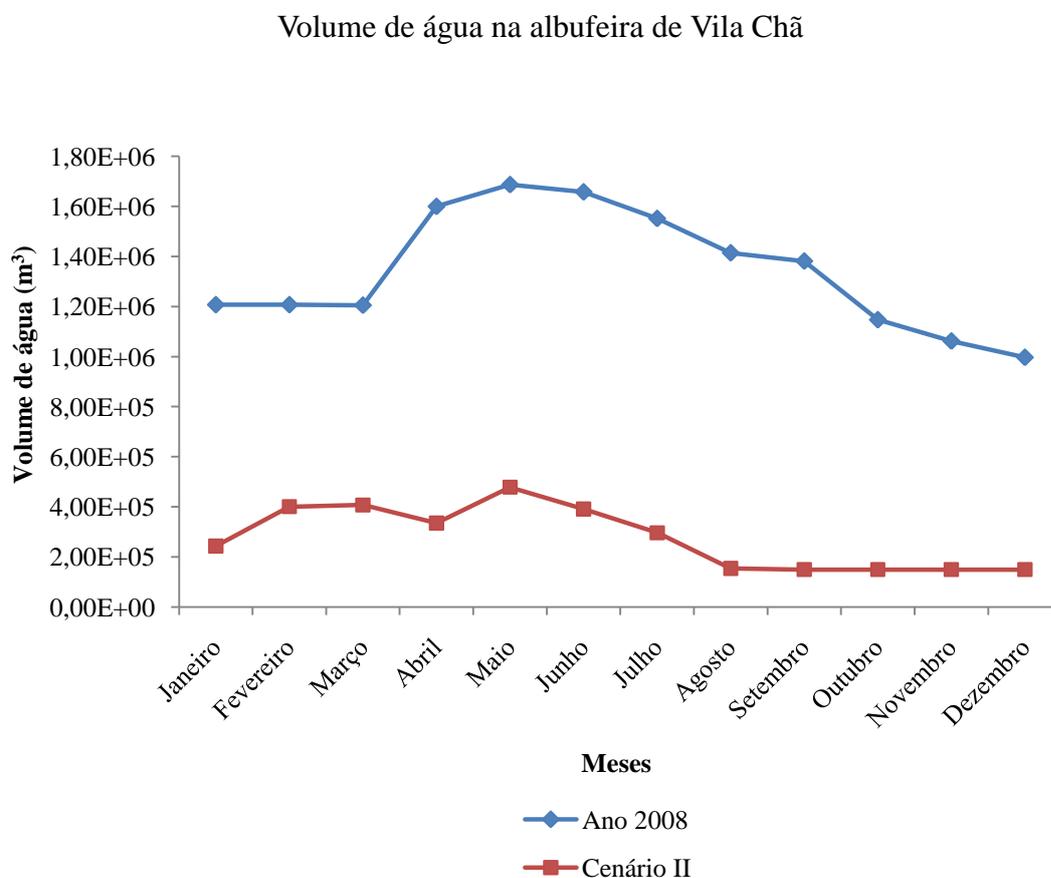


Gráfico 4.16 – Comparação do volume de água mensal entre o cenário II e o ano 2008 (m³)

No gráfico 4.16 observa-se que o volume de água mensal no ano de 2008 é significativamente superior ao do ano de 2070, cujo cenário será reflorestar os matos com pinheiro bravo. No primeiro trimestre do ano de 2008, o volume de água mantém-se constante, sendo o valor de  $1,21 \times 10^6 \text{ m}^3$ , ao contrário do ano de 2070, que terá um aumento gradual. Para ambos os anos, o mês de Maio registará o valor máximo do volume de água, com  $4,79 \times 10^5 \text{ m}^3$ . A partir do mês de Junho, o volume de água tenderá a diminuir, embora no cenário II se preveja que o volume de água se mantenha constante entre os meses de Outubro a Dezembro com o valor de  $1,50 \times 10^5 \text{ m}^3$ .

No gráfico 4.17 pode-se visualizar a variação do nível de água na albufeira no cenário II.

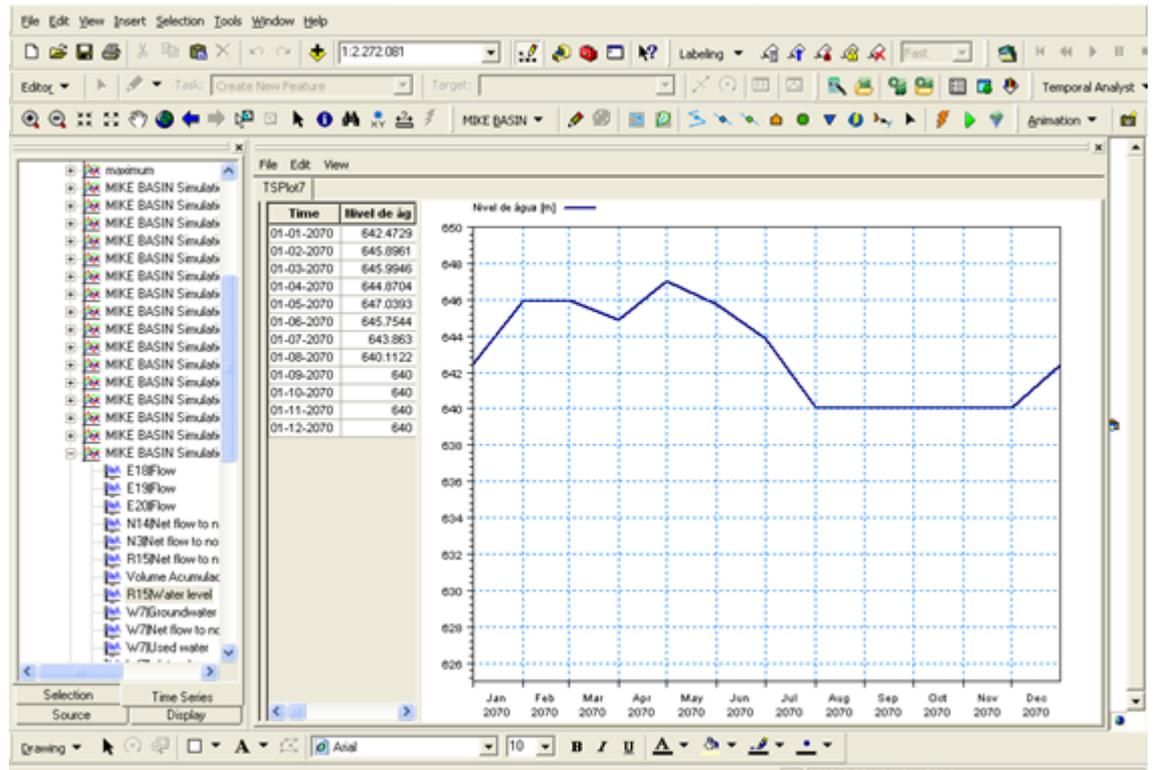


Gráfico 4.17 – Nível de água na albufeira no cenário II (m)

O nível de água na albufeira aumenta gradualmente nos meses entre Janeiro e Maio, sofrendo um decréscimo pontual no mês de Abril, registando-se o valor 644,87 m. No período entre Maio e Agosto, o nível de água diminui, atingindo no mês de Setembro a cota mínima de exploração (640 m), que permanecerá até Dezembro.

O gráfico 4.18 apresenta as disponibilidades hídricas na albufeira de Vila Chã e necessidades hídricas populacionais para o ano de 2070.

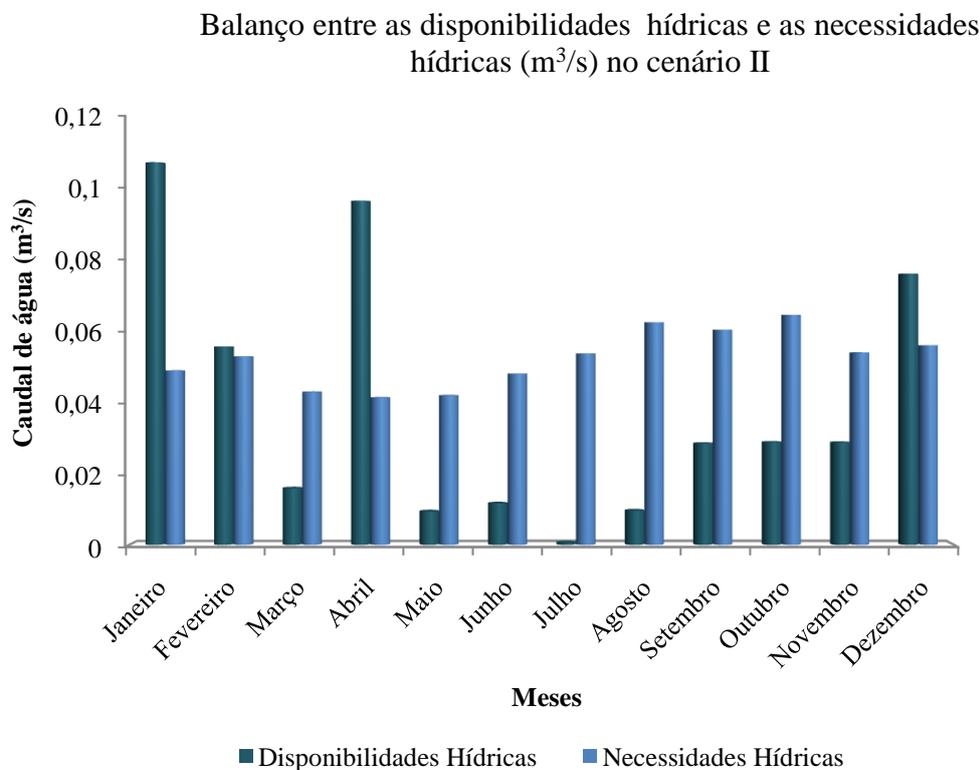


Gráfico 4.18- Balço entre as disponibilidades hídricas e as necessidades hídricas no cenário II (m<sup>3</sup>/s)

Do estudo do gráfico, constata-se que a albufeira no mês de Janeiro, registará o valor máximo, com 0,1076 m<sup>3</sup>/s, em disponibilidades hídricas para garantir o abastecimento de água à população. O mês de Julho será o mês crítico, uma vez que, a diferença entre as disponibilidades (0,0006 m<sup>3</sup>/s) e as necessidades hídricas (0,538 m<sup>3</sup>/s) será a mais acentuada

No segundo semestre do ano, haverá um elevado consumo de água, pelo que as disponibilidades hídricas mensais diminuirão. Entre os meses de Setembro a Novembro, as disponibilidades hídricas serão sensivelmente constantes, o que indica que ocorrerá um défice na garantia no abastecimento de água à população.

Tal como no cenário anterior, a albufeira não garantirá a totalidade das necessidades hídricas estimadas, o gráfico 4.19 mostra as que serão garantidas no cenário II.

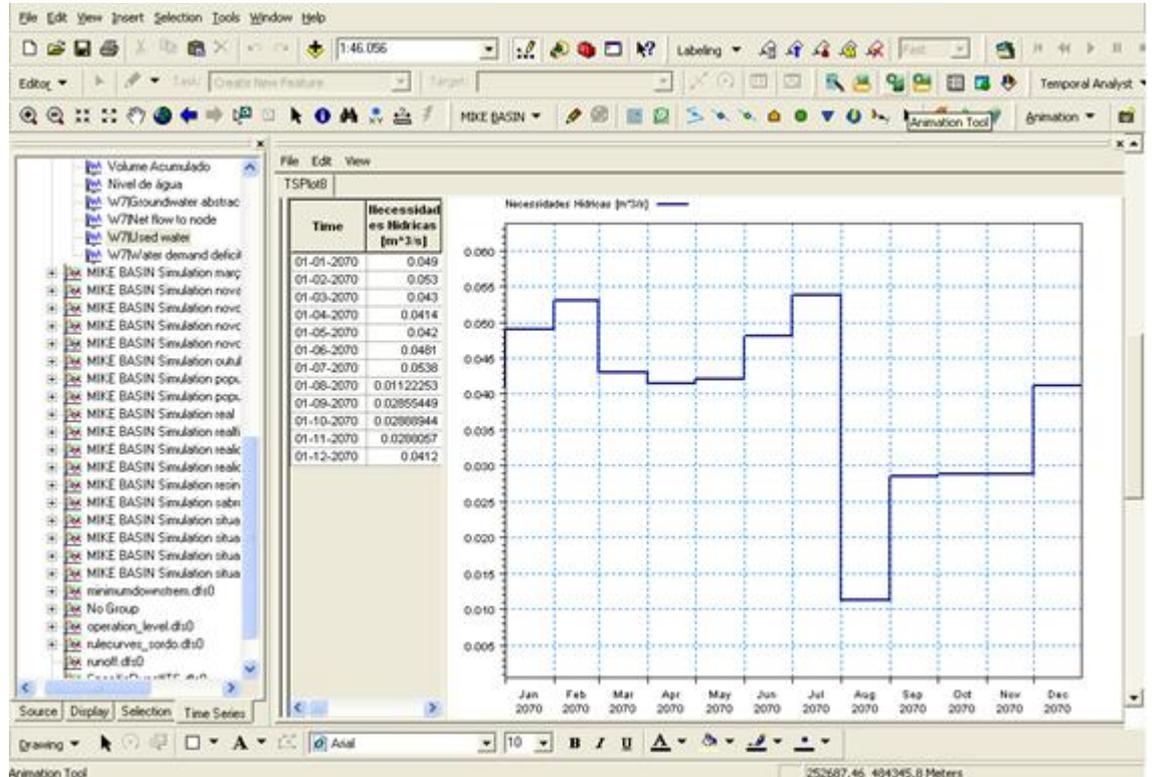


Gráfico 4.19 – Necessidades hídricas garantidas pela albufeira no cenário II (m³/s)

De acordo com o gráfico 4.19, no mês de Agosto, as necessidades hídricas garantidas serão inferiores face aos restantes meses. No primeiro semestre, incluindo o mês de Julho, as necessidades hídricas garantidas serão superiores face ao segundo semestre. Os meses entre Agosto e Novembro serão os meses críticos, uma vez que registarão os valores mais baixos das necessidades hídricas garantidas.

Para os meses de Junho e Julho, comparando as disponibilidades hídricas (gráfico 4.14) com as necessidades hídricas garantidas pela albufeira (gráfico 4.19), verifica-se que esta terá capacidade para satisfazer as suas necessidades hídricas, uma vez que, nos primeiros cinco meses, armazenará água para abastecer os dois meses mencionados em epígrafe. O mês de Agosto regista o valor mais baixo das necessidades hídricas garantidas, com 0,011 m³/s.

O gráfico 4.20 ilustra o défice que ocorrerá nas necessidades hídricas a garantir no cenário II.

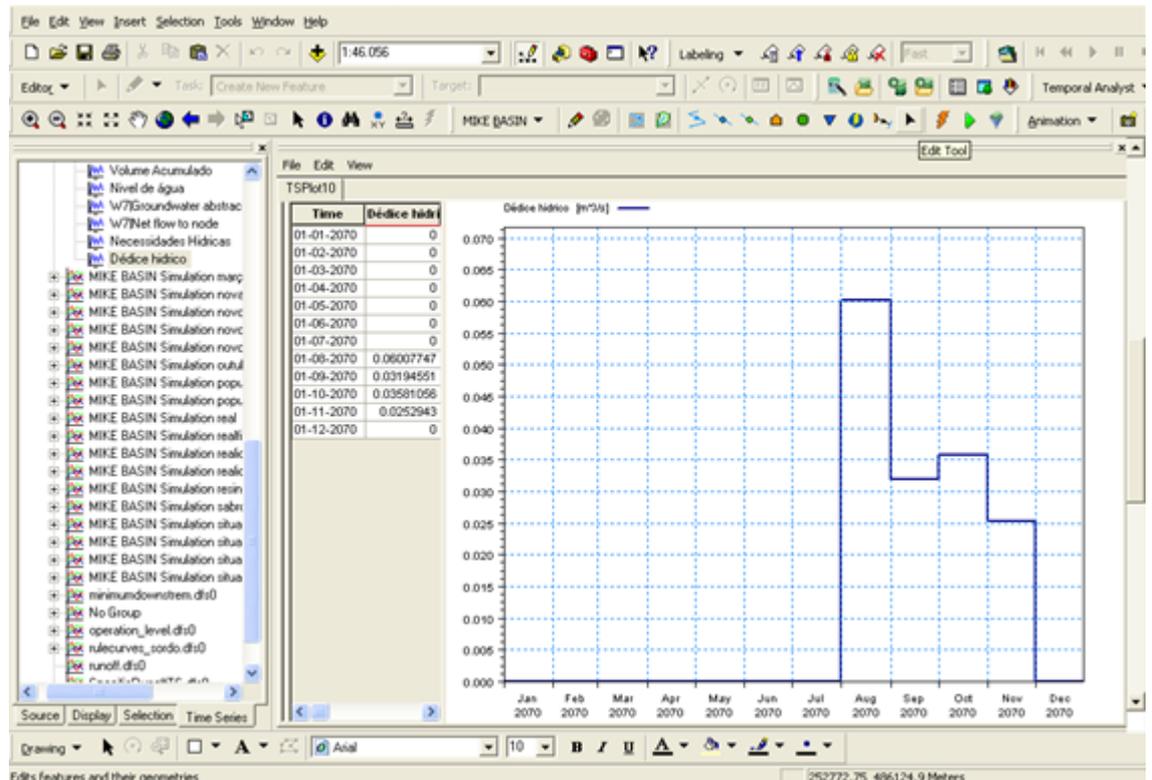


Gráfico 4.20 – Déficit de necessidades hídricas no cenário II ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

Verifica-se pela visualização do gráfico 4.20, que entre os meses de Janeiro e Julho as necessidades hídricas serão garantidas na sua totalidade, havendo um défice entre os meses de Agosto e Novembro, correspondendo respectivamente ao seu valor máximo ( $0,031 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e mínimo ( $0,025 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

CENÁRIO III: Ocorrência de incêndio, em 2070, na área ocupada por mato abrangida pela Bacia Hidrográfica de Vila Chã.

No gráfico 4.21 visualiza-se as disponibilidades hídricas mensais na albufeira no cenário III. O escoamento superficial total anual será de aproximadamente  $1,87 \times 10^9$  l.

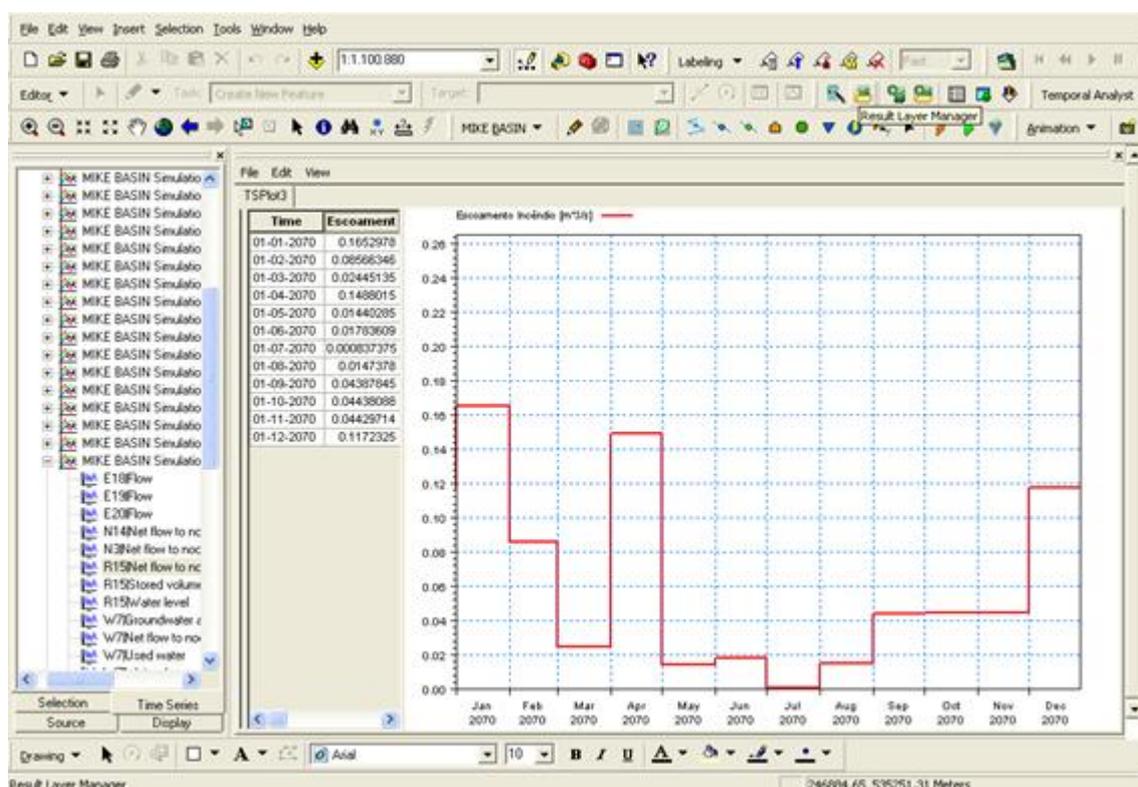


Gráfico 4.21 – Disponibilidades hídricas mensais na albufeira no cenário III ( $m^3/s$ )

Da interpretação do gráfico anterior, verifica-se que o mês de Janeiro registará o valor máximo, de  $0,1653 m^3/s$  em disponibilidades hídricas e o mês de Julho o valor mínimo com  $0,0006 m^3/s$ .

No período entre Janeiro e Abril, as disponibilidades hídricas serão superiores quando comparadas com os restantes meses do ano.

Entre os meses de Setembro e Novembro prevê-se que as disponibilidades hídricas na albufeira permaneçam sensivelmente constantes.

O gráfico 4.22 mostra o volume de água mensal na albufeira no cenário III.

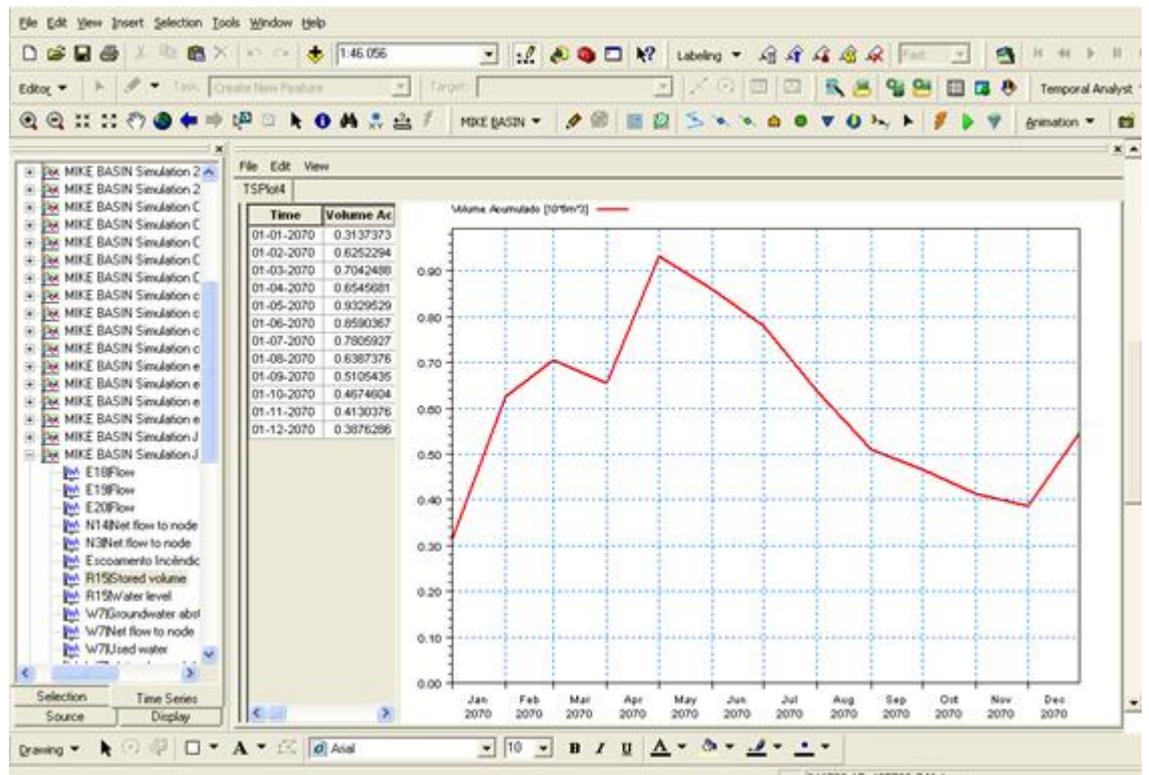


Gráfico 4.22 – Volume de água mensal na albufeira no cenário III (m<sup>3</sup>)

De acordo com o gráfico 4.22, verifica-se que no período entre Janeiro e Maio a albufeira estará a encher, embora no mês de Abril se preveja um decréscimo no volume de água.

No segundo semestre do ano, ocorrerá uma diminuição gradual do volume de água na albufeira.

O gráfico 4.23 demonstra o nível de água na albufeira.

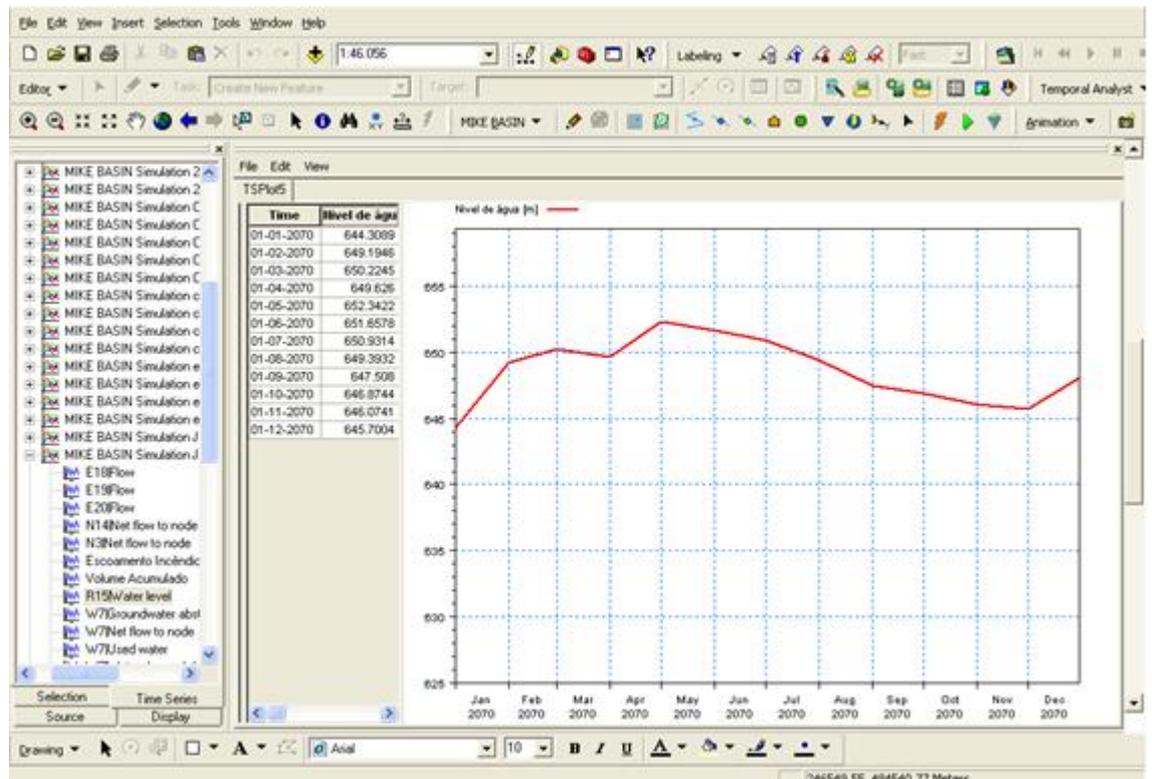


Gráfico 4.23 – Nível de água na albufeira no cenário III (m)

A albufeira estará em fase de enchimento até ao mês de Maio onde atingirá a cota de 652,3 m, embora no mês de Abril, ocorra uma diminuição pontual do nível de água registando-se o valor de 649,6 m.

O nível de água na albufeira tende a diminuir no segundo semestre do ano.

O gráfico 4.24 ilustra o balanço entre as disponibilidades hídricas na albufeira e as necessidades hídricas populacionais estimadas no cenário III.

Balanço entre a disponibilidade hídrica e as necessidades hídricas no cenário III

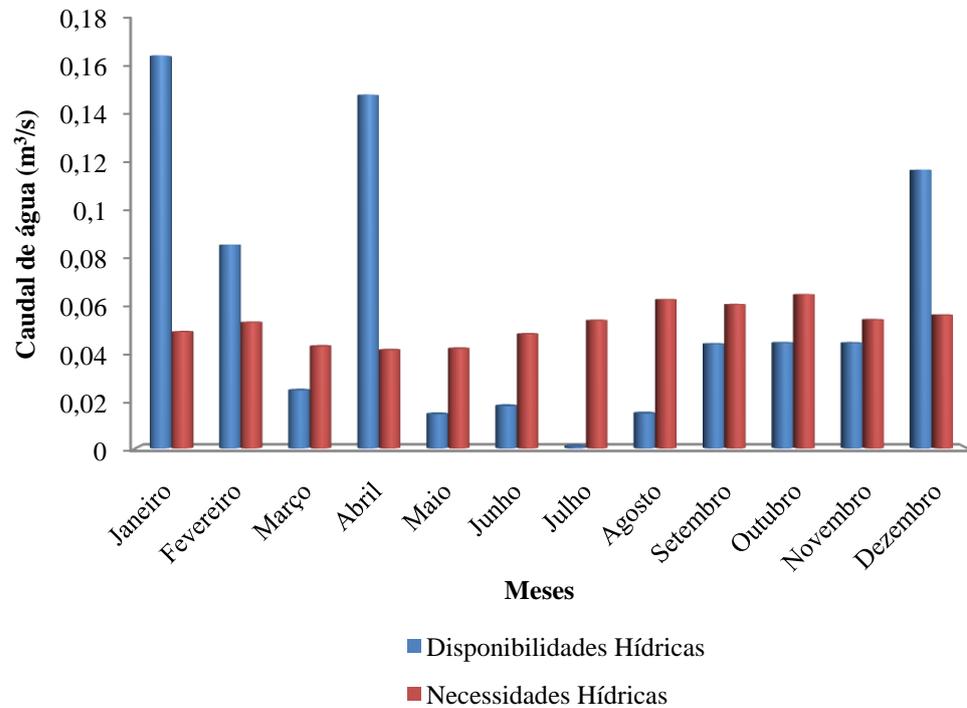


Gráfico 4.24- Balanço entre a disponibilidade hídrica e as necessidades hídricas mensais no cenário III (m³/s)

No mês de Janeiro, a albufeira registrará o valor máximo em disponibilidades hídricas para garantir as necessidades hídricas e no mês de Julho registrará o valor mínimo. Entre os meses de Setembro e Novembro mantém-se a mesma tendência dos cenários anteriores, as disponibilidades hídricas na albufeira permanecem sensivelmente constantes. A albufeira nos primeiros quatro meses do ano registrará elevado escoamento superficial, que será relevante para garantir as necessidades hídricas ao longo do ano. Neste cenário, nos meses de Setembro a Novembro, não se verificam grandes disparidades entre as necessidades hídricas e a disponibilidade hídrica da albufeira como nos cenários anteriores. Neste cenário, a albufeira terá

capacidade para garantir a totalidade das necessidades hídricas estimadas para o ano de 2070.

No gráfico 4.25 faz-se a comparação da disponibilidade hídrica média mensal da albufeira para o ano 2008 e para os três cenários propostos.

Disponibilidades hídricas médias mensais na albufeira de Vila Chã

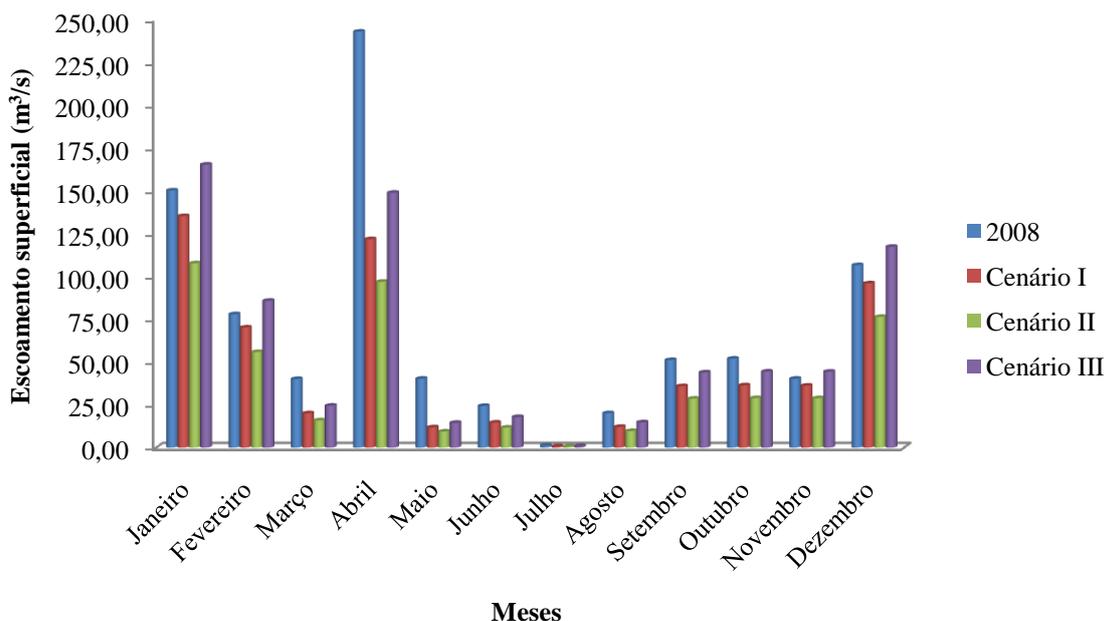


Gráfico 4.25 – Comparação das disponibilidades hídricas médias mensais nos cenários considerados (l/s)

Da análise do gráfico verifica-se que de todos os cenários propostos, o da ocorrência de um incêndio na zona de mato seria o mais vantajoso em termos de aumento das disponibilidades hídricas na albufeira, contudo não constitui um cenário sensato. O cenário de reflorestamento dos matos com pinheiros bravos também não é uma opção exequível, pois, se se pretende aumentar o escoamento superficial na albufeira, ao analisar o gráfico verifica-se que corresponde aos valores mais baixos em disponibilidades hídricas médias mensais. Constata-se também, que nos cenários propostos, o escoamento superficial na albufeira irá diminuir consideravelmente face ao ano de 2008. Apesar de no mês de Agosto se registar um aumento nos consumos de

água, o mês de Julho, para qualquer cenário, é o mês crítico em termos de disponibilidades hídricas.

No gráfico 4.26 faz-se a comparação do défice nas necessidades hídricas a garantir pela albufeira nos cenários de abastecimento de água ao concelho de Sabrosa e reflorestamento dos matos com pinheiros bravos (cenários que se estima haver défice nas necessidades hídricas).

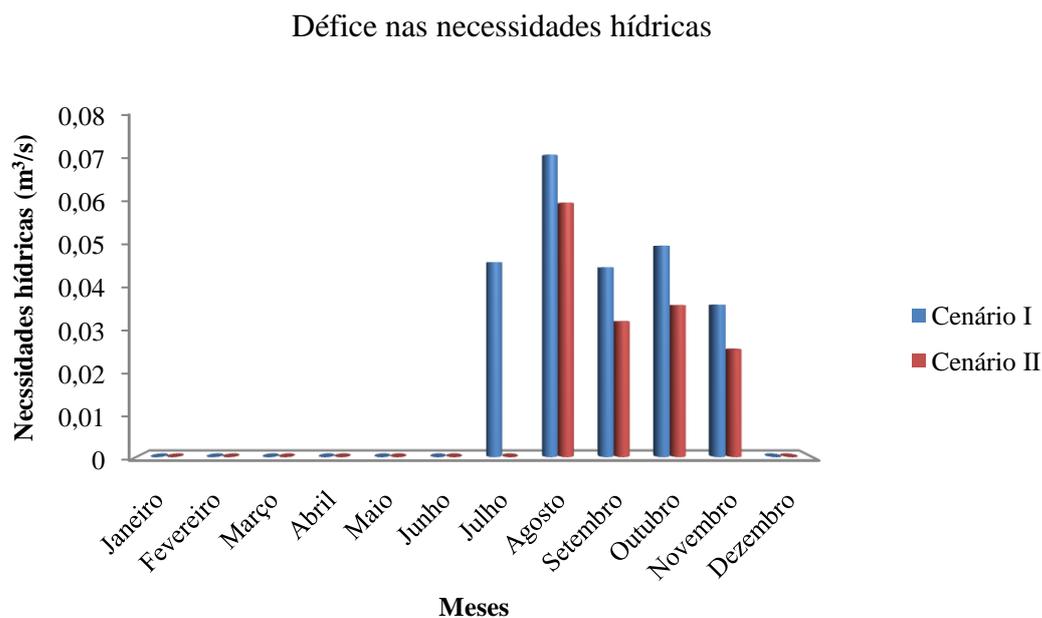


Gráfico 4.26 – Comparação do défice nas necessidades hídricas no cenário I e II (m³/s)

Apenas ocorrerá défice nas necessidades hídricas entre os meses de Julho e Novembro. Nos dois cenários, o mês de Agosto regista os valores mais elevados do défice nas necessidades hídricas a que a albufeira estará sujeita.

O défice é sempre superior no cenário I, uma vez que, a população a servir aumenta cerca de 25% face ao cenário II.

## **Capítulo 5**

Conclusões e Perspectivas Futuras

## 5- Conclusões e Perspectivas Futuras

A metodologia aplicada mostrou estar adaptada aos objectivos deste trabalho. Sendo a região (Alijó e Murça) predominantemente rural, onde a agricultura constitui a principal fonte de rendimento da população, esta recorre, na sua maioria, a furos de captação de água, assim sendo, justificam-se os baixos valores de consumo de água nos dois concelhos, uma vez, que englobam um universo de 21072 habitantes.

Para o desenvolvimento deste trabalho, muito contribuíram os SIG, que possibilitaram a monitorização da informação recolhida, simplificando o tratamento e a visualização dos dados.

Da análise dos resultados da simulação, o escoamento total no ano 2008, na albufeira é de  $2,20 \times 10^9$  l, pelo que, foi suficiente para garantir as necessidades hídricas populacionais que assumem o valor de aproximadamente  $1,16 \times 10^9$  l.

Da análise das cotas de água na albufeira, a diferença média, entre as cotas de água simuladas e as reais é de cerca de 2,0 m. Apesar desta diferença, pode-se concluir que relativamente ao primeiro objectivo proposto, que era avaliar as disponibilidades hídricas da albufeira de Vila Chã para garantir o abastecimento aos concelhos de Alijó e de Murça, o MIKE BASIN revelou-se eficaz e credível para a simulação de cenários (nomeadamente para o ano de 2070). Os cenários propostos foram pensados com base em situações que afectavam o aumento das necessidades hídricas e em contrapartida maior capacidade de resposta por parte da albufeira, em termos de disponibilidades hídricas. Foi também proposto o cenário de ocorrência de um incêndio, que trará mais escorrência pouco tempo após a precipitação que lhe dá origem.

No caso do cenário I, que refere o possível abastecimento de água ao concelho de Sabrosa, o escoamento superficial total anual estimado é aproximadamente de  $1,53 \times 10^9$  l, cerca de 69,54% do verificado em 2008, ocorre uma redução de aproximadamente 30,46%, este facto é justificado pelo aumento das necessidades hídricas da população e pela diminuição da precipitação que se estima para o ano 2070. Neste cenário, as necessidades

hídricas anuais da população correspondem a  $2,17 \times 10^9$  l, não sendo possível a sua satisfação total, ocorrendo um déficit aproximado de  $6,4 \times 10^8$  l, cerca de 29,49% não serão garantidas. A albufeira não terá disponibilidade hídrica capaz de garantir a totalidade das necessidades hídricas populacionais.

O cenário II refere-se ao reflorestamento dos matos com pinheiro bravo. Neste contexto, o escoamento total anual estimado é de  $1,22 \times 10^9$  l, tendo uma redução de cerca de 44,55% em relação ao ano de 2008. As necessidades hídricas anuais previstas correspondem a  $1,63 \times 10^9$  l. Tal como no cenário anterior, a albufeira não terá disponibilidades hídricas capazes de garantir as necessidades hídricas mencionadas, estimando-se que ocorra um déficit anual de  $4,1 \times 10^8$  l.

Em termos de volume de água na albufeira, nos meses em que ocorrerá um déficit no abastecimento de água à população, albufeira permanece com um volume de água de  $0,15 \times 10^6$  m<sup>3</sup>. Conclui-se que esta espécie de árvore, não é adequada para reflorestar os matos, o que está de acordo com o Decreto-Regulamentar 4/2007 de 22 de Janeiro, que confirma não estar previsto este tipo de árvore para a zona geográfica em estudo.

Em relação ao segundo objectivo do trabalho, que era analisar o impacto causado no reflorestamento da zona de matos, o MIKE BASIN revelou-se um importante instrumento de apoio à decisão, não apenas em matéria de ordenamento do território, mas também na análise das disponibilidades hídricas da albufeira.

O cenário III refere-se à ocorrência de um incêndio na área dos matos. Neste contexto, o escoamento superficial total anual estimado aumentará em relação aos dois cenários anteriores, sendo de  $1,87 \times 10^9$  l. Estima-se uma redução de cerca de 15% em relação ao ano de 2008. As necessidades hídricas anuais previstas correspondem a  $1,63 \times 10^9$  l, como tal são garantidas na sua totalidade. Neste cenário, embora não considerado razoável, quer em termos paisagísticos quer ecológicos, a albufeira permanece com cerca de  $2,4 \times 10^8$  l de disponibilidades hídricas.

Como trabalhos posteriores, na óptica da utilização do MIKE BASIN seria de grande interesse e importância o estudo do escoamento subterrâneo subjacente à área abrangida pela albufeira de Vila Chã, uma vez que no estudo

realizado apenas foi considerado o escoamento superficial da bacia hidrográfica de Vila Chã.

Conclui-se que a albufeira de Vila Chã, para cenários desfavoráveis, tais como o abastecimento a mais concelhos e o reflorestamento com pinheiros bravos, não terá capacidade em termos de disponibilidades hídricas para garantir as necessidades hídricas da população, em especial, para o ano de 2070. O que facilmente se compreende, uma vez que, a albufeira tem apenas uma área de 9 Km<sup>2</sup> e grande parte do seu escoamento é garantido pela ribeira de Vila Chã, que tem um comprimento de 5,8 km.

## Referências Bibliográficas

ALBERTIN, L., MAUD, F., “*Utilização de Simulação Computacional no Gerenciamento Integrado da Água na Bacia do Sapucaí-Grande no Estado de São Paulo*”, *Minerva*, 3 (2): 215-222, 2008.

ATKINS – Engenharia e Projecto – Águas e Saneamento Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água e de Saneamento de Trás-os-Montes e Alto Douro, 2005.

AZEVEDO A., PINHEIRO, J., MATOS, L., MADRUGA, J., “*Estudo das condições técnica de utilização das águas da ETAR da Praia da Vitória*”.

AZEVEDO B., DUARTE, P., BORDALO, A., “*Análise e Verificação de um modelo ecológico para a albufeira de Crestuma-Lever*”, 2005.

BANCO MUNDIAL, “*Oportunidades para empresas portuguesas - Sector de Gestão de Recursos Hídricos*”, revista n.º 2, 2006.

CABRAL, P., “*Sistemas Espaciais se Apoio à Decisão: O Sistema de Apoio ao Licenciamento da Direcção Regional do Ambiente do Alentejo*”, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2001, Tese de Mestrado.

CASTRO, P., “*Apoio à decisão em recursos hídricos com sistemas de informação geográfica e algoritmos genéticos*”, FEUP, Porto, 2000.

CAVACO, C. E SIMÕES, J., “*Água: desenvolvimento e bem-estar*”, Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas. Gabinete de Planeamento e Política Agro-Alimentar, Lisboa, 1998.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DAS COOPERATIVAS AGRÍCOLAS E DO CRÉDITO AGRÍCOLA DE PORTUGAL, CCRL, 2009, disponível em <http://www.confagri.pt/Ambiente>.

COSTA, A., BASTO, J., FERNANDES, L., “*Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos: A Situação Portuguesa e os Desafios da União Europeia*”, 2007.

CUNHA, L., OLIVEIRA, R., NUNES, V., “*Impactos das Alterações Climáticas sobre os Recursos Hídricos em Portugal.*”

CURI, W., “*Análise sobre Intervenções Hidráulicas na Bacia do Rio Gramame-PB para Ampliação da Disponibilidade Hídrica Superficial no Contexto de Aspectos Qualitativos e Qualificativos de Múltiplos Usos e Objectivos*”, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 2006.

DAVEAU, S., “*Portugal Geográfico*”, Edições João Sá da Costa, Lisboa, 1995.

DHI Water & Environment, “*A Versatile Decision Support Tool For Integrated Water Resources Management Planning*”, 2003.

DHI, 2009, disponível em <http://www.mikebydhi.com/Products/WaterResources/MIKEBASIN.aspx>

DOROTA, P., SYSZEWSKI, T., JANUSZ, K., “*River Basin Management Planning with Application of the MIKE BASIN System*”, 2003.

EVANS, J., “Ciclo da água”, USGS, 2009, disponível em <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycleportuguesehi.html>

FERREIRA, A., “*Caracterização de Portugal Continental*”, 2009. – INEG-Instituto Nacional de Estudos Gnósticos.

FREITAS, M., RANGEL, D., DUTRA, L., “*Gestão de recursos hídricos no Brasil: a experiência da Agência Nacional de Águas*”, 2008.

HALA, R., “*MIKE BASIN- An Effective tool for WFD implementation in Czech Republic*”. International MIKE by DHI Conference, Copenhagen, 2010.

HOLDSTOCK, R, AMBAT, S., KJELDS, J., “*The Cape Fear River Basin Model: A Study in Water Resource Management and Planning.*”, 2009.

INSTITUTO GEOLÓGICO E MINEIRO, “*Água Subterrânea: Conhecer para Preservar o Futuro*”, 2001, disponível no site do INETI:

[http://eGeo.ineti.pt/geociencias/edicoes\\_online/diversos/agua\\_subterranea/indice.htm](http://eGeo.ineti.pt/geociencias/edicoes_online/diversos/agua_subterranea/indice.htm)

JHA, M. e GUPTA, A., “*Application of Mike Basin for Water Management Strategies in Watershed*”, 2003.

KING S., “*Report on the East Fork Salmon River MIKE Basin Model*”, 2004.

KJELDS, J., “*Texas A & M University and U.S. Bureau of Reclamation Hydrologic Modeling Form*”, DHI Inc., 1999.

LENCASTRE, A.; FRANCO, F.; “*Lições de Hidrologia*”, Universidade Nova de Lisboa, 2003.

LIMA, G.; MAUAD, F.; PEIXOTO, L., “*Análise dos Conflitos entre os Usos Múltiplos da Água na Bacia do Rio Atibaia no Estado de São Paulo*”, Departamento de Hidráulica e Saneamento, EESC/USP, 2008.

LIMA, M.; MONTEIRO, E.; CORREIA, F., “*Plano Intersectorial: Ambiente e Gestão Integrada e Sustentável dos Recursos Hídricos*”, 2003.

MAIA, R. e RIBEIRO, A., “*As Cheias e a Gestão de Bacias Hidrográficas*”, Porto, 2009.

MELLO, J., “*Política de gestão da água para o séc. XXI*”, GEOTA, 2007.

MENDES, P., “*Integrada da Água*, Príncipe Editora, Lda, Parede, 1ª Edição, 2009.

MIDÕES C. e FERNANDES J., “*Água Subterrânea, Conhecer para Proteger e Preservar*”, Publicação sob o projecto, Nº IV- 1052 do Programa Ciência Viva”.

MIKE BASIN - “*User’s guide*”, DHI 2008.

NIXON, S.C., LACK, T.J., HUNT, D. T. E., “*Recursos Hídricos na Europa: uma utilização sustentável? Situação, perspectivas e questões*, Agencia Europea do Ambiente”, Copenhaga, 2000.

PBH do Douro (Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Douro), Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Instituto da Água, Relatório Final, 2001.

PEREIRA, A., HAIE, N., FERNANDES, L., “*Pressões antropogénicas nas Bacias Hidrográficas dos rios Sôrdo, Pinhão e Ribeira de Vila Chã: causas, consequências e respostas*”, 2008.

PIQUERAS, J, “*Gestão da seca 2004/05 em Espanha*”, Gestão de Situações de Seca na Península Ibérica no Contexto Transfronteiriço, Fundação Afonso Henriques, Zamora.

PLANO NACIONAL DA ÁGUA, disponível em:

[www.inag.pt/inag2004/port/a\\_intervencao/planeamento/pna/pna.html](http://www.inag.pt/inag2004/port/a_intervencao/planeamento/pna/pna.html)

PRZYBYSZ, L., “*A Gestão dos recursos hídricos sob a óptica do usuário de saneamento: estudo de caso da Bacia do Alto Iguaçu*”, Curitiba, 2007, Tese de Mestrado.

QUINTELA E PORTELA, A., “Modelação Hidrológica em Portugal nos Últimos 25 anos do Século XX, nas Perspectivas Determinística, Probabilística e Estocástica”, 2009.

RAHAMAN M. E VARIS, O., “*Integrated water resources management: evolution, prospects and future challenges*”, Volume 1, 1ª Edição, Finlândia, 2005.

RODRIGUES, L., LOURENÇO, N., MACHADO C., JORGE, M<sup>a</sup>., “*A Integração do SIG num Sistema de Apoio à Decisão*”, Centro de Investigação da Universidade Atlântica, Barcarena, 2003.

RODRIGUES, M<sup>a</sup>., “*Gestão Integrada da Água*”, Príncípia Editora, Lda, Parede, 1ª Edição, 2009.

RUHOFF, A. E PEREIRAa, R., “*Gestão de Recursos Hídricos em Bacias Hidrográficas: Representações Computacionais do Ciclo Hidrológico em Sistemas de Informações Geográficas*”, (Capítulo da Dissertação de Mestrado, desenvolvida por Ruhoff, 2004).

SABROSA MUNICÍPIO - Terras de Fernão Magalhães, disponível no site: <http://www.sabrosa.pt/concelho/freguesias/index.php>

SANTANA, I., SANTOS, I., ZEILHOFER, P., “*Aplicação do modelo de simulação hidrológica NGFlow à bacia hidrográfica do Alto-Araguaia*”, Brasil, 2009.

SANTOS, F.D. e MIRANDA, P., “*Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação - Projecto SIAM II*”, Gradiva, Lisboa, 2006.

SANTOS, S., MONTEIRO, A., MOURATO, S., FERNANDEZ, P., “*Os Sistemas de Informação Geográfica na Modelação Hidrológica*”, Leiria, 2009.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

disponível em: <http://snirh.pt/>

SOUZA, R., SANTOS, I. KOBAYAMA, M., “*O modelo SWAT como ferramenta para a gestão de recursos hídricos: avaliação de vazões de outorga na bacia hidrográfica do Altíssimo Rio Negro.*”, “XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos”, Brasil, 2009.

TEIXEIRA, J., “*Noticias do Douro*” 2005, citado no site <http://concelhos.dodouro.com/jornal/alijo.asp>

VALE, M.<sup>a</sup> E PAINHO, M., “*Planeamento e Gestao de Recursos Hídricos, Ordenamento do Território e Partilha de Sistemas de Informação – Exemplo de aplicação à área abrangida pelo Plano de Ordenamento da Albufeira de Castelo de Bode e área Envolvente - POACBE*”, Lisboa, 2009.

VIEIRA, J. “*Sistemas de Apoio à Decisão na Gestão de Recursos Hídricos*”, Guimarães, 2000.

VIEIRA, J., *Gestão da Água em Portugal. Desafios do Plano Nacional da Água*, Braga, 2003.

WALLICK, R. e BORDEN, C., “*Extension of the Lemhi River MIKE BASIN Model (LRMBM) to include the tributaries of the lower Lemhi River Basin and the upper Lemhi River Basin*”, DHI, Inc., 2006.

WILSON, L., “*Avaliação da Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas no Sector dos Recursos Hídricos*”, 2007.

## Anexos

Anexo 1 – Precipitação útil, efectiva e escoamento superficial para o cenário I

Anexo 2 - Precipitação útil, efectiva e escoamento superficial para o cenário II

Anexo 3 - Precipitação útil, efectiva e escoamento superficial para o cenário III

Anexo 4 - Mapas que representam geograficamente a redução da precipitação associada a cada ponto e para cada estação do ano.

Anexo 1 – Precipitação útil, efectiva e escoamento superficial para o cenário I

Data	Precipitação efectiva (mm)	Precipitação útil (mm)	Escoamento (m3/s)	Escoamento (l/s/Km2)
01-01-2070	82,1	43,23	0,135	16,142
01-02-2010	38,4	20,24	0,07	8,367
01-03-2070	12,2	6,4	0,02	2,389
01-04-2070	71,5	37,66	0,1216	14,53
01-05-2010	12,2	6,42	0,0201	2,399
01-06-2070	8,6	4,51	0,0146	1,744
01-07-2070	0,4	0,22	0,0007	0,083
01-08-2010	7,3	3,85	0,012	1,44
01-09-2010	21,1	11,09	0,0358	4,282
01-10-2010	22,1	11,61	0,0363	4,336
01-11-2070	21,2	11,18	0,0361	4,316
01-12-2070	58,2	30,67	0,0958	11,451

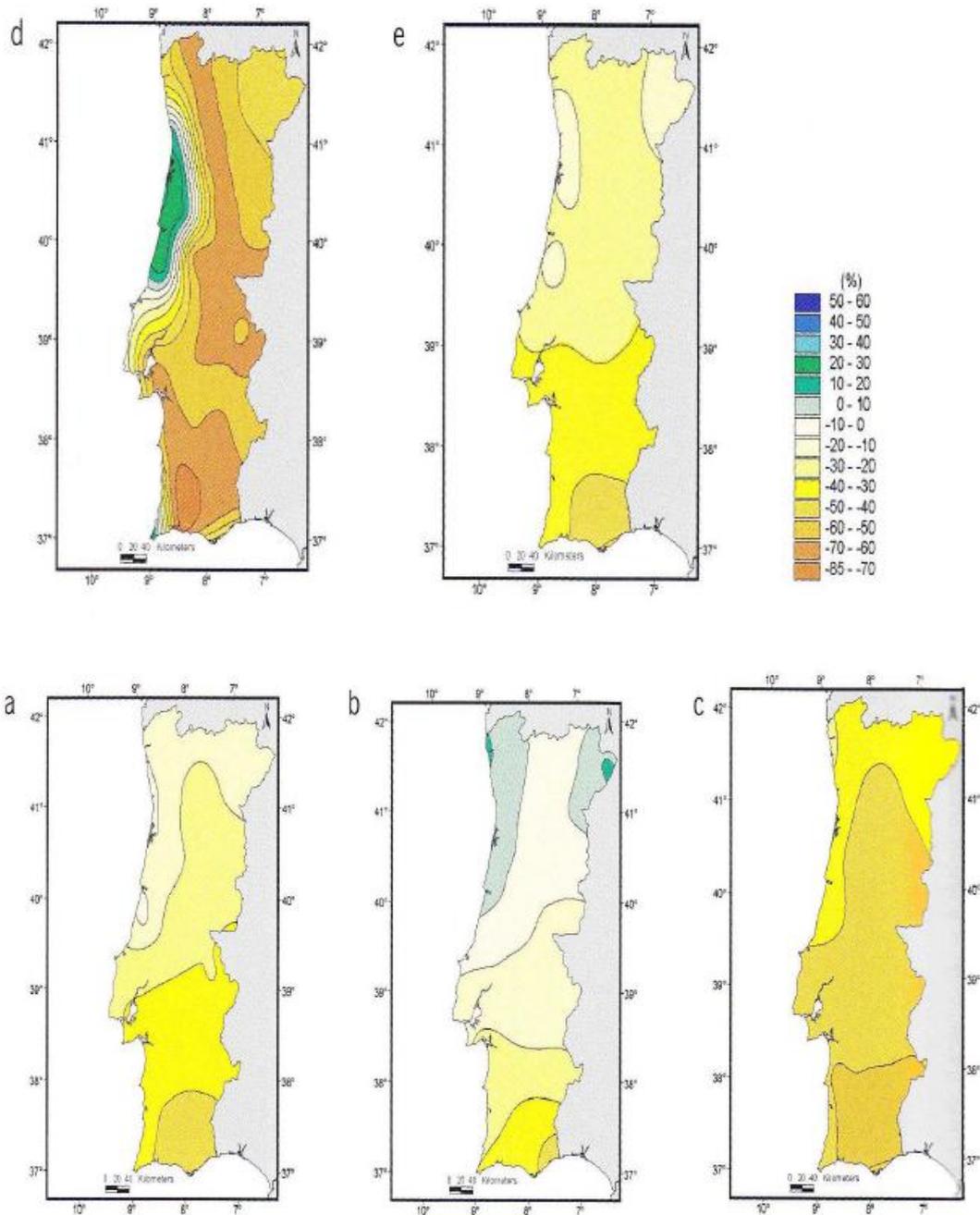
Anexo 2 - Precipitação útil, efectiva e escoamento superficial para o cenário II

Data	Precipitação efectiva (mm)	Precipitação útil (mm)	Escoamento (m3/s)	Escoamento (l/s/Km2)
01-01-2070	82,1	34,406	0,1075	12,846
01-02-2010	38,4	16,109	0,0557	6,659
01-03-2070	12,2	5,093	0,0159	1,902
01-04-2070	71,5	29,971	0,0967	11,563
01-05-2010	12,2	5,114	0,016	1,909
01-06-2070	8,6	3,597	0,0116	1,388
01-07-2070	0,4	0,176	0,0005	0,066
01-08-2010	7,3	3,068	0,0096	1,146
01-09-2010	21,1	8,832	0,0285	3,407
01-10-2010	22,1	9,243	0,0289	3,451
01-11-2070	21,2	8,903	0,0287	3,435
01-12-2070	58,2	24,409	0,0762	9,113

Anexo 3 - Precipitação útil, efectiva e escoamento superficial para o cenário III

Data	Precipitação efectiva (mm)	Precipitação útil (mm)	Escoamento (m3/s)	Escoamento (l/s/Km2)
01-01-2070	82,1	52,871	0,1652	19,74
01-02-2010	38,4	24,754	0,0856	10,232
01-03-2070	12,2	7,826	0,0244	2,922
01-04-2070	71,5	46,056	0,1487	17,769
01-05-2010	12,2	7,859	0,0245	2,934
01-06-2070	8,6	5,527	0,0178	2,132
01-07-2070	0,4	0,271	0,0008	0,101
01-08-2010	7,3	4,715	0,0147	1,76
01-09-2010	21,1	13,572	0,0438	5,236
01-10-2010	22,1	14,203	0,0444	5,303
01-11-2070	21,2	13,682	0,0442	5,278
01-12-2070	58,2	13,508	0,1172	14,004

Anexo 4- Mapas que representam geograficamente a redução da precipitação associada a cada ponto e para cada estação do ano



a) Anual; b) Inverno; c) Primavera; d) Verão; e) Outono (Santos e Miranda, 2006)