

# VANTAGENS NA APLICAÇÃO DE MODELOS DE APOIO À DECISÃO NA GESTÃO E PREVENÇÃO DE SITUAÇÕES DE SECA

## Advantages from the application of Decision Support models in Droughts' Early Warning and Management

EDUARDO VIVAS <sup>(1)</sup>, RODRIGO MAIA <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Aluno de Doutoramento, FEUP,  
Rua Dr. Roberto Frias, s/n, 4200 – 465 Porto, [evivas@fe.up.pt](mailto:evivas@fe.up.pt)

<sup>(2)</sup> Professor Associado, FEUP,  
Rua Dr. Roberto Frias, s/n, 4200 – 465 Porto, [rmaia@fe.up.pt](mailto:rmaia@fe.up.pt)

### Resumo

A gestão e prevenção de situações de seca poderão ter um apoio importante nos Modelos de Apoio à Decisão, como ferramentas de auxílio à avaliação de indicadores / índices de seca, bem como na previsão de potenciais impactos resultantes.

Pretendendo-se demonstrar as vantagens da utilização destes modelos para a gestão de secas, é feita uma aplicação conjugada dos modelos de Temez (Temez, 1977), modelo de Simulação Hidrológica, que permite avaliar as disponibilidades hídricas de uma determinada região com base nos valores de precipitação e evapotranspiração potencial ou temperatura, e o modelo Aquatool (Andreu *et al*; 1996), de Balanço Hídrico, que complementa o primeiro, conjugando os volumes de escoamento e de reservas hídricas (superficiais e subterrâneas), com as utilizações existentes. A aplicação destes dois modelos é efectuada para duas origens de água superficiais da Bacia do Guadiana. Nos resultados apresentados inclui-se ainda a comparação com a avaliação de índices meteorológicos correspondentes, enquadrando-se a utilização sistemática de modelos deste género, como base para o desenvolvimento de sistemas de previsão e gestão de situações de seca.

**Palavras-chave:** Temez, Aquatool, modelos, gestão de secas, previsão.

### Abstract

Drought prevention and management can have important inputs from Decision Support models, as tools to facilitate drought indicators / indices evaluation, as well as to forecast potential impacts resulting from droughts. Focusing on the advantages coming from the application of these models for Drought management, it is considered the complementary use of the Temez model (Temez, 1977), model for hydrologic simulation that enables the quantification of natural availabilities for a certain region, based on precipitation and potential evapotranspiration, or temperature values, and the Aquatool model (Andreu *et al*; 1996), water balance, that completes the first one, integrating the evaluation of storage volumes (surface and groundwater) and runoff, with the main existing water uses. The application of these two models is undertaken for two of the main water sources in Guadiana's river basin. Within the results presented in this work it is included a comparison with correspondent meteorological drought indices evaluation, focusing on the potential use of these models as basis for the development of drought early warning and management systems.

**Keywords:** Temez, Aquatool, models, drought management, forecast.

### 1. Enquadramento Geral

Os modelos de apoio à decisão enquanto ferramentas que permitem a obtenção directa ou indirecta de informações que apoiam, facilitam e sistematizam o processo de tomada de decisão, podem auxiliar o processo de prevenção e gestão de situações de seca, em especial se aplicados à avaliação de indicadores / índices de Seca que possibilitem uma previsão atempada de potenciais impactos sobre as diferentes utilizações da água (Loucks, 2006; Andreu *et al*; 2007). Esses mesmos modelos cuja aplicação ao nível da Gestão de Recursos Hídricos contam já com uma vasta experiência, podem ser classificados segundo o objecto da sua simulação, enquadrando-se em duas categorias principais, tal como sugerido em seguida: modelos de Simulação Hidrológica e modelos de Balanço Hídrico.

Se no primeiro caso a simulação hidrológica permite avaliar as disponibilidades hídricas de uma determinada região, em regime natural, com base nos dados de precipitação e evapotranspiração potencial, ou temperatura, da zona em questão, não contabilizando as utilizações existentes, nos modelos de balanço hídrico é integrado o efeito destas utilizações na avaliação dos volumes de escoamento e reservas hídricas existentes (superficiais e subterrâneas), permitindo, assim, efectuar um balanço global de recursos hídricos (disponibilidades versus necessidades).

Seguindo esta sugestão de classificação, são apresentadas no Quadro 1 e no Quadro 2 as principais características de alguns destes modelos mais usados a nível internacional.



Quadro 1. Resumo das principais características dos modelos de simulação hidrológica mais usados

Modelos	Tipo	Entidade	Inputs principais	Outputs principais	Passo	Análise estocástica de dados	Modelo Precipitação-Escoamento	Aplicação sistemas regulados	Cálculo Águas subterrâneas	Módulo SIG	Consideração utilizações
<b>BILAN</b> [1]	Simulação Hidrológica	Water Research Institute of Prague	P, ETP	Esc, R	Mensal	N	S	N	N	N	N
<b>DR3M</b> [2]	Simulação Hidrológica	USGS	P, T, rad solar	Esc	Diário	N	S	N	N	N	N
<b>GSFlow</b> [3]	Simulação Hidrológica	USGS	P, T, rad solar, captações	Esc, R, Níveis piezométricos	Diário	N	S	N	S	S	N
<b>IHACRES</b> [4]	Simulação Hidrológica	eWater CRC	P, ETP, Esc	Esc	Definido pelo utilizador	S	N	N	N	N	N
<b>MODBRNCH</b> [5]	Simulação Hidrológica	USGS	P, T, rad solar	Esc, R, Níveis piezométricos	Diário	N	S	N	S	N	N
<b>PRMS</b> [6]	Simulação Hidrológica	USGS	P, T, rad solar	Esc, R.	Diário	N	S	N	N	S	N
<b>RRL</b> [7]	Simulação Hidrológica	eWater CRC	P, ETP	Esc, R	Diário	N	S (vários)	N	N	N	N
<b>SIMGRO</b> [8]	Simulação Hidrológica	ALTERRA	P, ETP	Esc, R, Níveis Piezométricos	Diário	??	S	N	S	S	N
<b>SOBEK</b> [9]	Simulação Hidrológica	Deltares (WI Delft)	P, ETP	Esc, R, H (x, t)	Tempo Real	??	S	S	S	S	N
<b>TEMEZ</b>	Simulação Hidrológica	CEDEX (1993); Chiron (1998)	P, ETP	Esc, R	Mensal	N	S	N	N	N	N

Quadro 2. Resumo das principais características dos modelos de balanço hídrico mais usados

Modelos	Tipo	Entidade	Inputs principais	Outputs principais	Passo	Análise estocástica de dados	Modelo Precipitação-Escoamento	Aplicação sistemas regulados	Cálculo Águas subterrâneas	Módulo SIG	Consideração utilizações
<b>AQUATOOL</b>	Balanço Hídrico	Universidad P. de Valencia (UPV)	Esc, Demand, cargas polu.	Esc, R, usos, qual. da água	Mensal	S	N	S	S	N (apenas visualização informação)	S
<b>IRAS</b> [10]	Balanço Hídrico	Cornell University	Esc, Demand, cargas polu.	Esc, R, usos, qual. água	Mensal	??	N	S	S	N	S
<b>MIKE BASIN</b> [11]	Balanço Hídrico	DHI Software	P, ETP, Demand, cargas polu., custos	Esc, R, usos, qual. da água, análise econ.	Mensal	N	S	S	S	S	S
<b>MODSIM - DSS</b> [12]	Balanço Hídrico	Colorado State University	Esc, Demand	Esc, usos, R	Diário	N	N	S	S	S (versão mais actual)	S
<b>REALM</b> [13]	Balanço Hídrico	Victoria University	Esc, Demand, cargas polu.	Esc, usos, qual. da água	Mensal	??	N	S	??	N	S
<b>RIBASIM</b> [14]	Balanço hídrico	Deltares (WI Delft)	P, ETP, Demand, cargas polu.	Esc, R, usos, qual. e da água	Definido pelo utilizador	??	S	S	S	S	S
<b>SWAT</b> [15]	Balanço Hídrico	USDA – ARS, Texas Univ.	P, ETP, Demand	Esc, R, usos	Definido pelo utilizador	N	S	S	S	S (versão mais actual)	S
<b>WaterWare</b> [16]	Balanço Hídrico	ESS Austria	P, ETP, Demand, cargas polu., custos	Esc, usos, R, qual. da água, análise econ.	Diário	??	S	S	S	S	S
<b>WEAP</b> [17]	Balanço Hídrico	SEI -US	Esc, Demand, cargas polu.	Esc, R, Usos, qual. da água, análise econ.	Mensal	S	N (apenas módulo auxiliar para irrigação)	S	S	S	S
<b>WSM - DSS</b> [18]	Balanço Hídrico	WaterStrategyMan Project (EU - FP5)	P, ETP ou Esc, Demand, cargas polu., custos	Esc, R, usos, qual. da água, análise econ.	Mensal	N	S	S	S	S	S

Nota 1: Ver no final as fontes de informação ([1]) utilizadas para avaliação dos modelos de apoio à decisão apresentados;

Nota 2: Não foi possível avaliar devidamente algumas características pela pouca informação disponível em alguns modelos



Essas características podem servir de base à selecção dos modelos de simulação hidrológica ou de balanço hídrico mais indicados para o problema em questão, consistindo no tipo de inputs necessários e de outputs gerados, no passo de cálculo de base, no tipo de simulação hidrológica disponibilizado (como modelo de precipitação - escoamento ou como análise estocástica de dados), na possível aplicação a sistemas regulados, no cálculo mais detalhado das águas subterrâneas, na incorporação ou não de um módulo SIG e na consideração ou não das utilizações existentes. Com base nestes modelos é, assim, possível complementar o processo operacional de Gestão de Secas, usualmente baseado na avaliação de variáveis climáticas, como a precipitação e temperatura, ou níveis de água superficial e subterrânea entre outros indicadores, ou até mesmo em índices (permitem a compilação de informação de uma ou mais variáveis) como a Percentagem da normal de precipitação (% NP), ou o *Standardized Precipitation Index* (SPI), entre outros. Do conjunto de modelos apresentados, destacam-se o Modelo de Temez (Temez, 1977), de simulação hidrológica, e o modelo Aquatool (Andreu *et al*; 1996), de balanço hídrico, que foram utilizados no presente trabalho devido à extrema simplicidade de ambos e fruto de colaborações no âmbito da gestão de situações de seca, com o Instituto da Água (INAG) e com a Universidad Politecnica de Valência (UPV), respectivamente.

## 2. Modelos de apoio à decisão utilizados

No presente trabalho, tal como anteriormente referido, foi utilizado como Modelo de Simulação Hidrológica o modelo de Temez. Este modelo, originalmente desenvolvido por Temez (Temez, 1977) como uma simplificação do clássico Método de Stanford - SWM (*Stanford Watershed Model*), foi posteriormente adaptado pelo CEDEX em 1993 (Estrela, 1993), e aplicado para o caso português através do módulo XLWAT desenvolvido pela empresa CHIRON em 1998 (Oliveira, 1998). Esse módulo, sob o formato de *add-in* para *Excel*, corresponde ao modelo de precipitação-escoamento que foi usado no âmbito da

elaboração dos Planos de Bacia Hidrográfica e do Plano Nacional da Água, e que foi facultado no âmbito de uma colaboração com o Instituto da Água (INAG).

De forma simplificada, poder-se-á dizer que o modelo de Temez estima de forma contínua o escoamento gerado em regime natural numa dada bacia, a partir dos dados das variáveis climatológicas precipitação e evapotranspiração, ou temperatura (o modelo possui um módulo para estimativa da ETP). O modelo de Temez reproduz, então, os processos essenciais do transporte de água nas diferentes fases do ciclo hidrológico, estando de acordo com os princípios da continuidade, conservação da massa hídrica e das leis específicas de transferência entre as diferentes fases. Assim, segundo o esquema proposto inicialmente (Figura 1), o subsolo de uma dada bacia é dividido em duas grandes zonas (simuladas como reservatórios): uma superficial não saturada (em que a água armazenada corresponde à humidade do solo) e uma zona subterrânea saturada (em que a água armazenada corresponde aos volumes acumulados no aquífero subterrâneo).

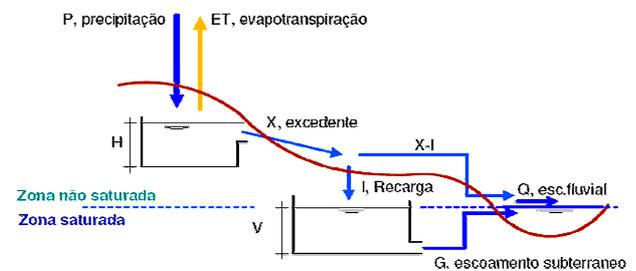


Figura 1. Esquema de simulação do modelo de Temez (INAG, 2001)

Por outro lado, o modelo Aquatool (Andreu *et al*; 1996), integra-se nos modelos de Balanço Hídrico, permitindo a simulação de sistemas regulados de exploração de recursos hídricos. Com este modelo é possível efectuar a simulação de sistemas complexos, englobando elementos de regulação e /ou armazenamento, superficiais ou subterrâneos, de captação, transporte, utilização e / ou consumo.

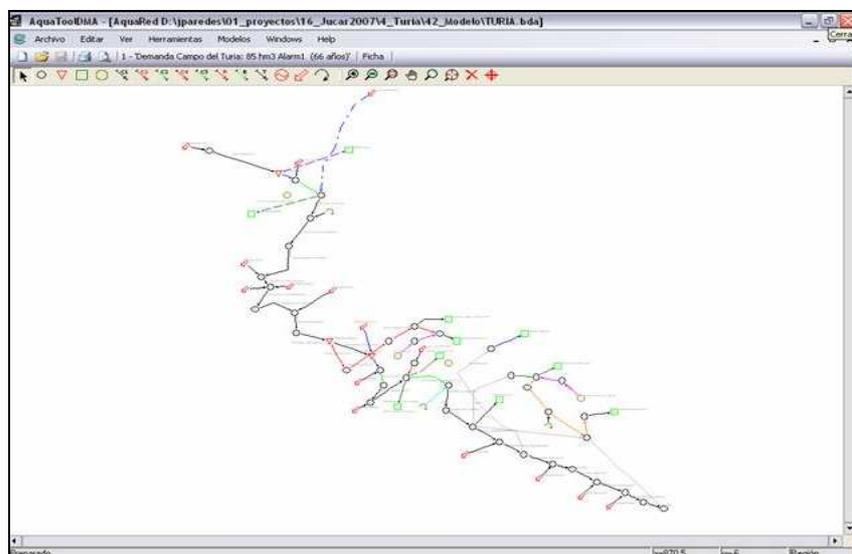


Figura 2. Esquema de simulação de um sistema complexo com o modelo Aquatool (UPV, 2008)



O fluxo de volumes é calculado por continuidade e/ou balanço, para os sistemas superficiais, e nos sistemas aquíferos, através de modelos uni ou pluricelulares, ou por modelos de fluxo linear. É possível com este modelo considerar perdas por evaporação e infiltração em albufeiras, bem como a interacção entre águas superficiais e subterrâneas. A simulação é efectuada mensalmente, sendo possível seleccionar a escala espacial pretendida, bem como a gestão dos recursos através das regras de operação dos sistemas simulados, definidas pelo utilizador. A principal mais-valia deste modelo consiste na vasta experiência de aplicação na gestão e planeamento hidrológico em várias Confederações de Bacia Hidrográfica em Espanha (como por ex. Júcar, Guadiana ou Tejo).

Correspondendo a dois modelos complementares (o modelo Aquatool não integra nenhum módulo de simulação hidrológica), o funcionamento integrado destes dois modelos pode-se resumir da seguinte forma: os dados das variáveis climatológicas (precipitação (mm) e temperatura (°C), no caso presente) são introduzidos no modelo de Temez, permitindo o cálculo das disponibilidades de uma dada bacia em regime natural (no caso presente valores de escoamento superficial).

Estes valores, por sua vez, constituem os principais dados de input do modelo Aquatool, conjuntamente com os dados referentes às utilizações alocadas à origem de água a simular, permitindo obter os resultados finais de simulação da exploração do sistema em causa (volumes armazenados e níveis de água na albufeira, volumes consumidos, etc.).

### 3. Caso de Estudo: Bacia do Rio Guadiana

A zona de estudo considerada neste trabalho foi a parte portuguesa da bacia do Guadiana, zona de natural aridez (menos de 600 mm/ano de precipitação média anual e cerca de 1200 mm/ ano de evapotranspiração potencial) e regularmente afectada por situações de seca (responsáveis por largos prejuízos, em especial na agricultura).

Além disso, devido à sua natureza transfronteiriça, é uma região dependente dos volumes gerados na parte espanhola da bacia, em especial em situações extremas, em grande parte devido também à grande capacidade de regulação do escoamento por parte de Espanha.

Segundo uma avaliação de 2001 (INAG, 2001), a agricultura assume um importante papel como principal utilizador de água na bacia (94%), em grande parte devido à irrigação, surgindo o abastecimento doméstico com uma importância relativa bastante inferior (5%) e as utilizações para a indústria praticamente inexpressivas (1%).

De referir ainda que, com a entrada em operação do Empreendimento de Fins Múltiplos do Alqueva em 2002, estes valores foram alterados, tendo sido praticamente anulada a utilização de água para a indústria (deslocalização e desmantelamento das unidades industriais mais importantes) e aumentada a representatividade dos consumos para o sector agrícola, assistindo-se a uma mudança gradual do tipo de agricultura da região, com uma maior expressão do regadio.

É nesse contexto que são analisadas duas origens de águas superficiais existentes na parte portuguesa da Bacia do Guadiana, procurando avaliar o que se passa na região a um nível mais local, por consideração de uma albufeira a montante do empreendimento de Alqueva e localizada na margem direita do rio Guadiana (Lucefecit) e outra a jusante (Enxoé), localizada na margem esquerda do rio.

Procurando caracterizar brevemente a albufeira de Lucefecit, poder-se-á referir que se trata de um aproveitamento hidroagrícola destinado a satisfazer as necessidades de rega existentes no perímetro público de regadio que lhe está agregado. As principais características do empreendimento e da respectiva bacia drenante encontram-se resumidos no Quadro 3.

No que se refere à quantificação das principais utilizações associadas a este empreendimento há, todavia, uma grande falta de informação, pelo que se optou por assumir os dados estimados no projecto base do Aproveitamento Hidroagrícola de Lucefecit (MOP, 1976), Quadro 4.

Por sua vez, o empreendimento do Enxoé é bastante mais recente e possui características algo distintas, em especial a dimensão da sua bacia drenante para um volume idêntico de capacidade total e uma precipitação média anual similar. Este aproveitamento destina-se exclusivamente para abastecimento doméstico dos concelhos de Serpa e Mértola e as suas principais características encontram-se resumidas no Quadro 5.

Quadro 3. Resumo das principais características do empreendimento de Lucefecit e respectiva bacia drenante (CNPGB, 2008)

<b>Localização</b>	Évora - Alandroal
<b>Ano conclusão projecto</b>	1982
<b>Área bacia hidrográfica</b>	257 km <sup>2</sup>
<b>Precipitação média anual</b>	665 mm
<b>Capacidade total</b>	10.225 hm <sup>3</sup>
<b>Volume mínimo</b>	1.225 hm <sup>3</sup>
<b>Utilizações associadas</b>	Rega

Quadro 4. Estimativa, em ano médio, das principais necessidades de rega associadas ao empreendimento de Lucefecit (MOP, 1976)

<b>Necessidades de rega</b>	<b>hm<sup>3</sup>/mês</b>
<i>Outubro</i>	0
<i>Novembro</i>	0
<i>Dezembro</i>	0
<i>Janeiro</i>	0
<i>Fevereiro</i>	0
<i>Março</i>	0
<i>Abril</i>	0
<i>Maió</i>	0.56
<i>Junho</i>	0.896
<i>Julho</i>	1.624
<i>Agosto</i>	1.624
<i>Setembro</i>	0.896

Quadro 5. Resumo das principais características do empreendimento de Enxoé e respectiva bacia drenante (CNPGB, 2008)

Localização	Beja – Serpa
Ano de conclusão projecto	1998
Área da bacia hidrográfica	60.8 km <sup>2</sup>
Precipitação média anual	602 mm
Capacidade total	10.4 hm <sup>3</sup>
Volume mínimo	0.95 hm <sup>3</sup>
Utilizações associadas	Abastecimento Doméstico

Tal como para o aproveitamento do Lucefecit, também para o Enxoé existiu alguma dificuldade na obtenção de dados referentes aos consumos para abastecimento doméstico daqueles concelhos, optando-se por seguir o critério adoptado para o primeiro aproveitamento e considerar as estimativas iniciais de necessidades, apresentadas nos dados de projecto (HP, 1994) (Quadro 6).

Quadro 6. Estimativa, em ano médio, das necessidades para abastecimento doméstico associadas ao empreendimento de Enxoé (HP, 1994)

Necessidades de Abastecimento Público	hm <sup>3</sup> /mês
<i>Outubro</i>	0.127
<i>Novembro</i>	0.12
<i>Dezembro</i>	0.112
<i>Janeiro</i>	0.112
<i>Fevereiro</i>	0.105
<i>Março</i>	0.105
<i>Abril</i>	0.112
<i>Maio</i>	0.127
<i>Junho</i>	0.149
<i>Julho</i>	0.164
<i>Agosto</i>	0.135
<i>Setembro</i>	0.127

#### 4. Avaliação preliminar de índices meteorológicos de seca

##### 4.1. Bacia hidrográfica do aproveitamento do Lucefecit

Tal como foi anteriormente referido, a aplicabilidade dos modelos de apoio à decisão, à gestão e prevenção de secas de um determinado sistema de exploração, deverá ser devidamente enquadrada com a avaliação de indicadores/índices de cariz meteorológico relativos à região em causa.

Desta forma, para identificação e classificação preliminar dos principais anos de seca ocorridos no passado, foram avaliadas as séries de registos de precipitação e temperatura dos últimos 45 anos (desde o ano hidrológico de 1962/63 a 2006/07) para a bacia hidrográfica drenante do aproveitamento do **Lucefecit**, tendo por base os postos de avaliação da rede meteorológica do SNIRH (SNIRH, 2008), activos, com comprimento de registo significativo e com influência sobre a área da bacia em causa.

Assim, tendo por base estes registos, foram aplicados alguns dos índices de seca mais comumente utilizados (Hayes, 2006; Cunha, 2008), tendo por base os valores de

precipitação acumulada a 12 meses no final do ano hidrológico: (i) Percentagem da normal de Precipitação (%NP), (ii) *Standardized Precipitation Index* (SPI) (Mckee *et al*, 1993) e (iii) Decis (Gibbs and Maher, 1967). Considerando a classificação base de cada um destes índices (Cunha, 2008), é possível efectuar uma identificação do tipo de anos (nas categorias Húmido, Normal, Seca moderada, Seca Severa e Seca Extrema) admitindo como critério base que, dois índices com a mesma categoria para um dado ano, definem a classificação do ano em causa.

Desta forma, obtém-se o seguinte conjunto de resultados para a bacia hidrográfica do aproveitamento do Lucefecit no período 1962/63 a 2006/07 (Quadro 7):

Quadro 7. Classificação segundo os índices de seca meteorológicos, da severidade global de seca na bacia hidrográfica do Lucefecit, no período de 1962/63 a 2006/07

Ano Hidrológico	NP_12	SPL_12	Decis 12	Severidade global
1962/63	1,65	1,86	0,98	
1963/64	1,43	1,31	0,89	
1964/65	0,71	-0,93	0,20	
1965/66	1,48	1,45	0,93	
1966/67	0,85	-0,4	0,31	
1967/68	0,96	-0,03	0,58	
1968/69	1,67	1,88	1,00	
1969/70	1,21	0,74	0,73	
1970/71	0,89	-0,26	0,42	
1971/72	0,79	-0,62	0,22	
1972/73	0,99	0,07	0,64	
1973/74	0,86	-0,38	0,36	
1974/75	0,79	-0,62	0,24	
1975/76	0,91	-0,19	0,51	
1976/77	1,33	1,07	0,82	
1977/78	1,33	1,05	0,80	
1978/79	1,35	1,11	0,84	
1979/80	0,98	0,04	0,62	
1980/81	0,62	-1,31	0,13	
1981/82	0,90	-0,22	0,49	
1982/83	0,61	-1,34	0,09	
1983/84	1,16	0,58	0,69	
1984/85	1,30	0,98	0,78	
1985/86	0,96	-0,02	0,60	
1986/87	0,91	-0,19	0,53	
1987/88	1,10	0,42	0,67	
1988/89	0,89	-0,26	0,40	
1989/90	1,35	1,12	0,87	
1990/91	0,92	-0,14	0,56	
1991/92	0,62	-1,32	0,11	
1992/93	0,80	-0,59	0,27	
1993/94	0,90	-0,23	0,47	
1994/95	0,50	-1,87	0,04	
1995/96	1,60	1,73	0,96	
1996/97	1,16	0,59	0,71	
1997/98	1,45	1,37	0,91	
1998/99	0,52	-1,76	0,07	
1999/00	0,86	-0,38	0,33	
2000/01	1,27	0,89	0,76	
2001/02	0,68	-1,06	0,16	
2002/03	0,68	-1,06	0,18	
2003/04	0,84	-0,44	0,29	
2004/05	0,47	-2,06	0,02	
2005/06	0,87	-0,34	0,38	
2006/07	0,89	-0,25	0,44	

Tipos de Anos

<span style="color: blue;">■</span>	Húmido
<span style="color: blue;">■</span>	Normal
<span style="color: yellow;">■</span>	Seca Moderada
<span style="color: orange;">■</span>	Seca Severa
<span style="color: red;">■</span>	Seca Extrema

Desta classificação conseguem-se identificar os principais anos de seca, tal como apresentado no Quadro 8:

Quadro 8 Classificação dos principais anos de seca na bacia hidrográfica do Lucefecit, no período de 1962/63 a 2006/07, segundo o tipo de severidade de seca (com base nos índices meteorológicos de seca calculados)

Tipo de Seca (Meteorológica)	Anos Hidrológicos
Seca Moderada	71/72, 74/75, 92/93, 03/04
Seca Severa	64/65, 80/81, 82/83, 91/92, 01/02, 02/03
Seca Extrema	94/95, 98/99, 04/05

#### 4.2. Bacia hidrográfica do aproveitamento do Enxoé

De igual forma, para a Albufeira do Enxoé, obteve-se a seguinte classificação global dos anos hidrológicos no período em causa (1962/63 a 2006/07), Quadro 9:

Quadro 9. Classificação segundo os índices de seca meteorológicos, da severidade global de seca na bacia hidrográfica do Enxoé, no período de 1962/63 a 2006/07

Ano Hidrológico	NP_12	SPI_12	Decis 12	Severidade global
1962/63	1,84	2,14	1,00	
1963/64	1,32	0,73	0,84	
1964/65	0,80	-0,53	0,29	
1965/66	1,30	0,93	0,82	
1966/67	0,53	-1,58	0,11	
1967/68	1,16	0,58	0,69	
1968/69	1,39	1,15	0,93	
1969/70	1,19	0,64	0,71	
1970/71	1,09	0,37	0,62	
1971/72	0,83	-0,42	0,31	
1972/73	0,85	-0,37	0,36	
1973/74	0,70	-0,88	0,18	
1974/75	0,75	-0,71	0,24	
1975/76	0,75	-0,71	0,22	
1976/77	1,25	0,81	0,78	
1977/78	1,27	0,86	0,80	
1978/79	1,24	0,79	0,76	
1979/80	0,86	-0,33	0,44	
1980/81	0,47	-1,87	0,04	
1981/82	0,99	0,09	0,49	
1982/83	0,48	-1,81	0,07	
1983/84	1,03	0,22	0,58	
1984/85	1,01	0,16	0,56	
1985/86	0,84	-0,38	0,33	
1986/87	0,99	0,08	0,47	
1987/88	1,04	0,24	0,60	
1988/89	1,01	0,14	0,53	
1989/90	1,49	1,38	0,96	
1990/91	0,78	-0,59	0,27	
1991/92	0,60	-1,28	0,13	
1992/93	0,72	-0,8	0,20	
1993/94	0,85	-0,34	0,42	
1994/95	0,51	-1,67	0,09	
1995/96	1,75	1,96	0,98	
1996/97	1,38	1,14	0,89	
1997/98	1,38	1,14	0,91	
1998/99	0,68	-0,97	0,16	
1999/00	0,85	-0,37	0,38	
2000/01	1,23	0,75	0,73	
2001/02	1,09	0,38	0,64	
2002/03	0,85	-0,35	0,40	
2003/04	1,10	0,4	0,67	
2004/05	0,39	-2,34	0,02	
2005/06	0,99	0,1	0,51	
2006/07	1,38	1,14	0,87	

Tipos de Anos

■	Húmido
■	Normal
■	Seca Moderada
■	Seca Severa
■	Seca Extrema

Com base no mesmo critério seguido para a albufeira de Lucefecit, a classificação global dos anos de seca para a bacia drenante do aproveitamento do Enxoé é apresentada de forma resumida no Quadro 10:

Quadro 10. Classificação dos principais anos de seca na bacia hidrográfica do Enxoé no período de 1962/63 a 2006/07, segundo o tipo de severidade de seca (com base nos índices meteorológicos de Seca calculados)

Tipo de Seca (Meteorológica)	Anos Hidrológicos
Seca Moderada	64/65, 71/72, 72/73, 74/75, 75/76, 85/86, 90/91, 99/00
Seca Severa	66/67, 73/74, 91/92, 92/93, 98/99
Seca Extrema	80/81, 82/83, 94/95, 04/05

### 5. Aplicação conjugada dos modelos de apoio à decisão

Tal como foi apresentado anteriormente, para ser possível a simulação de cada uma das albufeiras em análise, é necessário aplicar de forma conjugada os modelos considerados. Assim, em primeiro lugar é necessário gerar os escoamentos em regime natural, no período pretendido, com o modelo de Temez, aplicando posteriormente esses valores de aflúncias na simulação da exploração da albufeira com o modelo Aquatool.

#### 5.1 Albufeira de Lucefecit

Considerando os valores de precipitação e temperatura referentes ao período de 1962/63 a 2006/07 para a bacia hidrográfica do Lucefecit e aplicando os dois modelos de forma sequencial, considerando as características do aproveitamento anteriormente indicadas, bem como as estimativas de necessidades das utilizações alocadas à albufeira, é possível simular o volume armazenado na albufeira ao final do mês, n o período em causa, Figura 3.

De facto, esta simulação corresponde a um longo período de tempo, durante o qual a albufeira nem sempre existiu (ano de conclusão do projecto - 1982).

Ainda assim, é possível verificar que face a um cenário meteorológico e de utilizações idêntico ao dos últimos 45 anos, se verificaria o esgotamento com alguma regularidade das reservas da albufeira, em especial nos últimos 30 anos, o que, atendendo a que as utilizações se admitiram constantes durante todo o período de simulação, parece corresponder a um aumento da regularidade na ocorrência de situações de seca.

Para avaliar a validade destes dados, deve-se recorrer aos registos reais de volumes armazenados (SNIRH, 2008) e comparar com os valores obtidos pela aplicação dos modelos em igual período, tal como se pode visualizar pela Figura 4, para o período de Outubro de 1997 a Setembro de 2007 (11 anos hidrológicos).



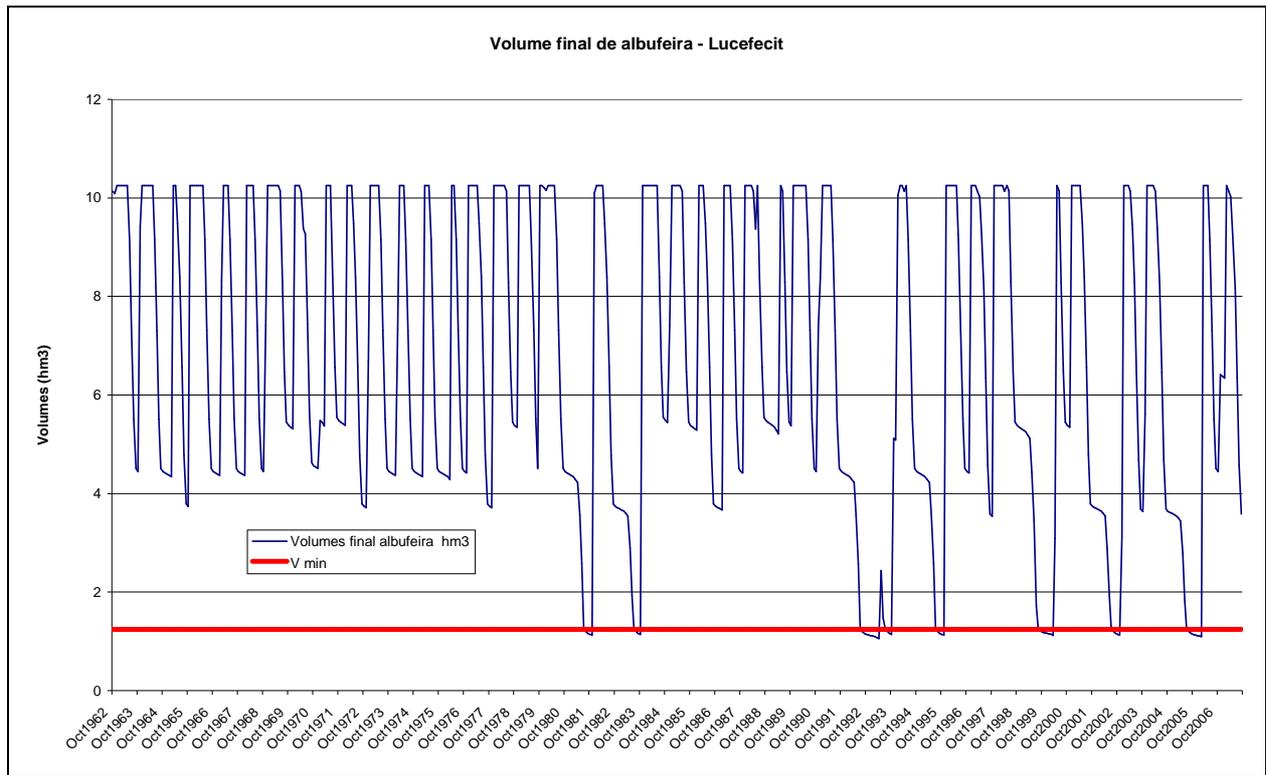


Figura 3. Resultados da simulação com o modelo Aquatool para o volume armazenado ao final do mês da albufeira de Luceficit, no período de 1962/63 a 2006/07, com representação do volume mínimo de albufeira.

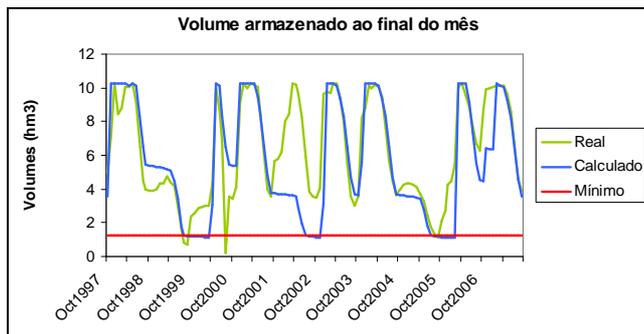


Figura 4. Comparação dos valores de volume armazenado ao final do mês para a albufeira de Luceficit, obtidos com o modelo Aquatool no período de 1997/98 a 2006/07, com os valores reais registados (SNIRH, 2008).

Conforme se pode avaliar pela Figura 4, os resultados aproximam-se bastante do real com duas exceções mais significativas. Uma situação correspondente ao ano hidrológico de 1999/2000, em que se verifica, nos valores reais, uma queda abrupta nos volumes armazenados, o que até parece indicar um esvaziamento de albufeira, mas com uma recuperação igualmente rápida, num mês de Agosto em que efectivamente não choveu. Tal deverá corresponder muito provavelmente a um erro de registo e não de simulação dos modelos. Por outro lado, em relação ao ano hidrológico de 2001/2002, verifica-se uma considerável subestimação dos volumes armazenados por parte dos modelos. De facto, analisada esta situação em maior pormenor, verifica-se que, apesar de ter ocorrido precipitação no período correspondente à fase crescente dos volumes armazenados reais, o modelo de simulação hidrológica Temez não estimou a geração de qualquer escoamento superficial nesse período, o que, na ausência de

uma evidência lógica para o efeito, se deverá considerar como um erro do modelo, que deverá ser devidamente tido em conta em análises futuras.

Porém, apesar de, em geral, a proximidade dos resultados obtidos ser bastante razoável (não esquecendo que os consumos associados à albufeira correspondem a estimativas, na ausência de dados reais mais fiáveis), impõe-se uma análise mais aprofundada das situações de seca identificadas (Quadro 8), para o período de registos reais (97/98 a 06/07) (Figura 5).

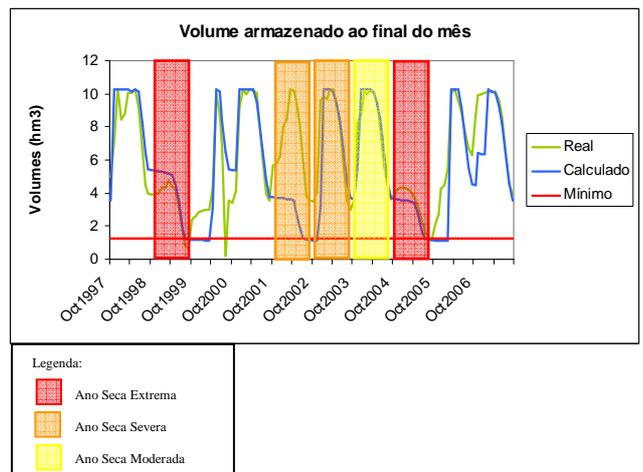


Figura 5. Comparação do volume armazenado ao final do mês para a albufeira de Luceficit, obtido com o modelo Aquatool, com os valores reais registados (SNIRH, 2008) e representação das classes de severidade de seca identificadas para cada ano hidrológico.

Partindo desta avaliação, e ignorando o ano hidrológico de 2001/02, pelas razões anteriormente apresentadas,

considerou-se a avaliação anual de cada situação de seca, inserindo no modelo, como valor de partida, o valor de volume armazenado no mês imediatamente anterior ao ano hidrológico a simular e comparando, mais uma vez, os resultados obtidos com os valores reais verificados.

Assim, como se pode verificar nas Figuras 6, 7, 8 e 9, correspondentes aos anos hidrológicos de 1998/99, 2002/03, 2003/04 e 2004/05, respectivamente, verifica-se uma aproximação bastante satisfatória da evolução anual verificada na situação real, com correspondente esgotamento das reservas, tal como efectivamente se confirmou na realidade, nos períodos secos dos anos hidrológicos de Seca Extrema (1998/99 e 2004/05).

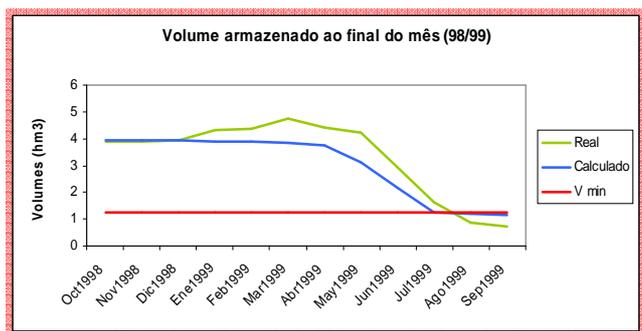


Figura 6. Comparação do volume armazenado ao final do mês (albufeira de Lucefecit), obtido com o modelo Aqatool para o ano hidrológico de 98/99, e os valores reais registados (SNIRH, 2008).

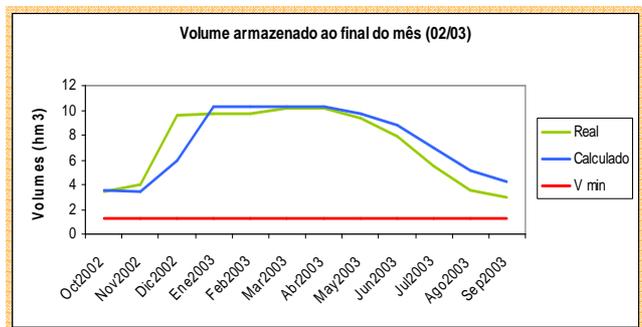


Figura 7. Comparação do volume armazenado ao final do mês (albufeira de Lucefecit), obtido com o modelo Aqatool para o ano hidrológico de 02/03, e os valores reais registados (SNIRH, 2008).

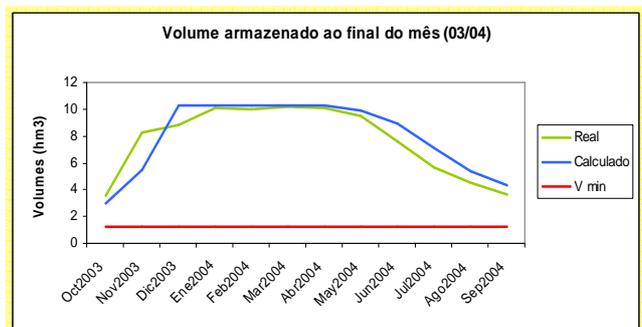


Figura 8. Comparação do volume armazenado ao final do mês (albufeira de Lucefecit), obtido com o modelo Aqatool para o ano hidrológico de 03/04, e os valores reais registados (SNIRH, 2008).

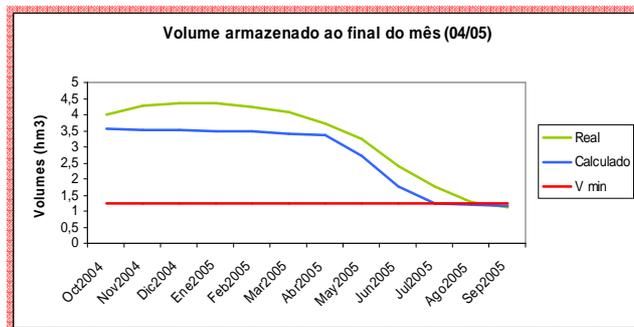


Figura 9. Comparação do volume armazenado ao final do mês (albufeira de Lucefecit), obtido com o modelo Aqatool para o ano hidrológico de 04/05, e os valores reais registados (SNIRH, 2008).

## 5.2 Albufeira do Enxoé

Procurando analisar de forma análoga e comparativa um aproveitamento inserido na Bacia Hidrográfica do Guadiana, desta feita localizado a jusante do aproveitamento de Alqueva e com uma utilização distinta associada (abastecimento doméstico), foi efectuada a simulação da Albufeira de Enxoé, considerando os valores de precipitação e de temperatura referentes ao período de 1962/63 a 2006/07, para a respectiva bacia hidrográfica drenante.

Assim, seguindo o procedimento utilizado para o Aproveitamento do Lucefecit, é possível simular o nível da albufeira do Enxoé ao final do mês (variável equivalente ao volume armazenado mas seleccionada para análise do Enxoé devido ao tipo de dados reais existentes), Figura 10.

Com base nos resultados obtidos para este empreendimento (Figura 10) é imediata uma conclusão comparativamente ao aproveitamento do Lucefecit. O Aproveitamento do Enxoé possui maior capacidade de regulação, face aos volumes afluentes e às utilizações associadas, tal como fica demonstrada pela mais lenta afectação, e também recuperação, dos níveis de albufeira perante uma situação de seca.

Considerando que as albufeiras apresentam idêntica capacidade total, embora para uma bacia drenante muito superior, no caso do Lucefecit, a simulação com estes modelos parece deixar clara uma capacidade de armazenamento deficitária e, forçosamente, um aumento da vulnerabilidade às situações de seca, no caso da primeira albufeira analisada.

Por outro lado, sendo o Enxoé uma albufeira muito mais recente que a do Lucefecit, o número de registos para comparação entre os valores simulados e os valores reais de nível da albufeira ao final do mês, são também bastante mais reduzidos. Ainda assim, tal como apresentado na Figura 11, é possível retirar algumas conclusões.

Apesar dos valores calculados pelos modelos não se aproximarem tanto dos valores reais (não esquecendo que os valores de consumos são, também neste caso, estimados), o comportamento geral é bastante semelhante. Analisando o único ano de seca (2004/05) ocorrido no período de existência da albufeira, numa simulação de forma isolada, tal como efectuada para o Lucefecit, é possível verificar uma aproximação quase perfeita da evolução do nível de armazenamento na albufeira do Enxoé, Figura 12.

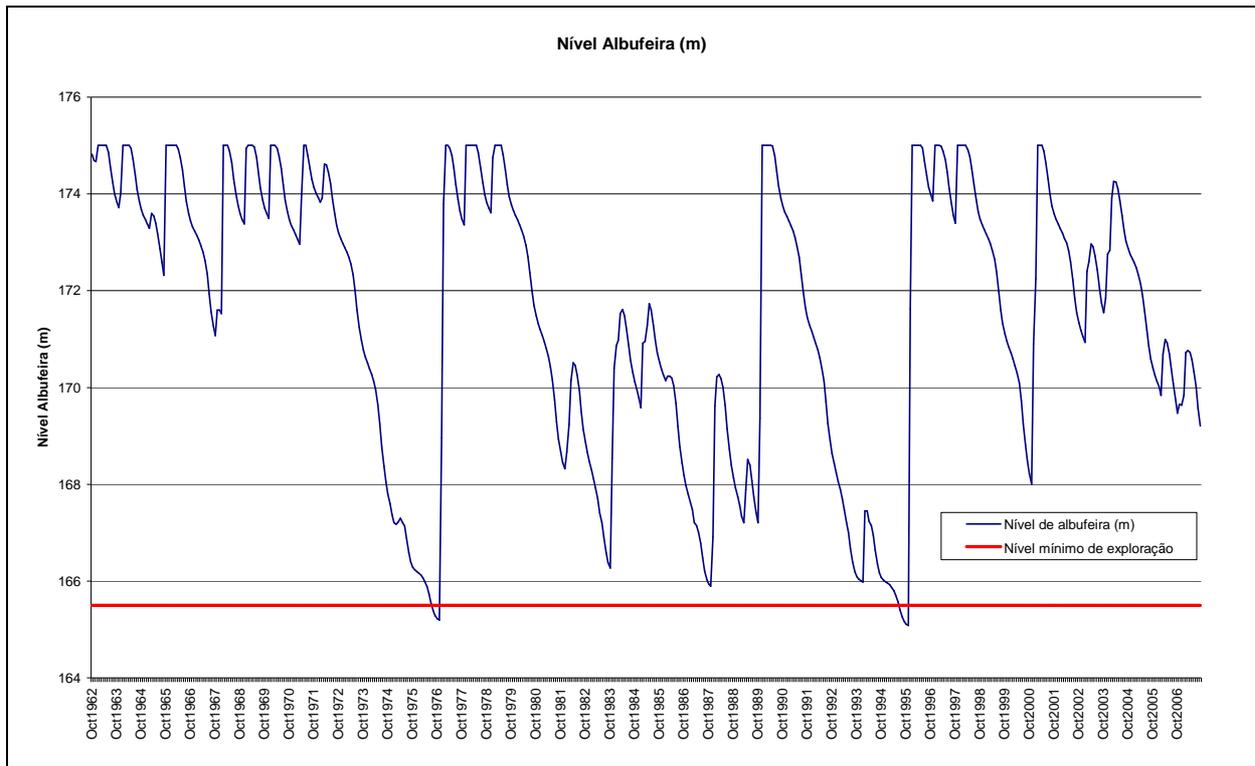


Figura 10. Resultados da simulação com o modelo Aquatool para os níveis da albufeira do Enxoé no final de cada mês, no período de 1962/63 a 2006/07, com representação do nível mínimo de exploração.

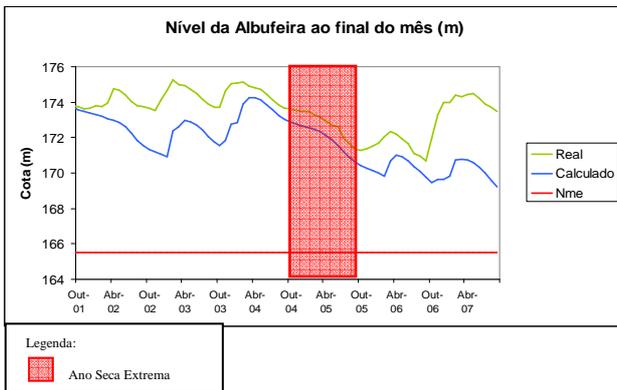


Figura 11. Comparação dos níveis da albufeira do Enxoé, no final de cada mês, obtidos com o modelo Aquatool, com os valores reais registados (SNIRH, 2008) e respectiva representação das classes de severidade de seca identificadas em cada ano hidrológico (no caso 2004/05).

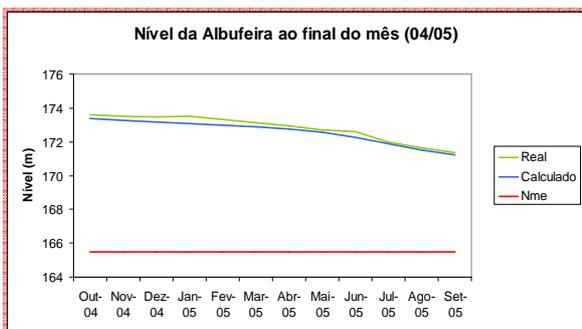


Figura 12. Comparação do volume armazenado ao final do mês (albufeira do Enxoé), obtido com o modelo Aquatool para o ano hidrológico de 04/05, e os valores reais registados (SNIRH, 2008).

## 6. Conclusões

No âmbito do presente trabalho, pretendeu-se avaliar e comprovar a utilidade, para a gestão e prevenção de situações de secas, da aplicação de modelos de apoio à decisão (no caso Temez e Aquatool), para simulação de algumas das origens de água superficiais da Bacia do Guadiana (Lucefecit e Enxoé), nomeadamente no que respeita aos efeitos sentidos em situações de seca sobre as principais utilizações daquela região e por comparação com os dados de índices meteorológicos. Assim, é possível concluir que:

- os Indicadores / Índices de cariz meteorológico devem sempre ser considerados para gestão e prevenção de situações de seca (constituem um primeiro alerta);
- com os modelos de apoio à decisão utilizados é possível obter uma simulação das reservas efectivas de uma determinada origem de água;
- com a aplicação destes modelos é também possível avaliar as limitações das origens de água simuladas (capacidade total face a um regime de aflúncias e utilizações, possível alocação de novas utilizações, imposição de restrições às utilizações existentes, etc.)

Neste contexto, pode-se, então, considerar que, com base em cenários de referência (meteorológicos e de utilizações) para situações de seca "tipo", será possível antever as possíveis consequências e potenciar a adopção de medidas preventivas, sendo a utilização permanente, integrada e sistemática deste tipo de modelos uma mais valia fundamental para o desenvolvimento de sistemas de

previsão e gestão de situações de seca, devidamente adaptados às diferentes regiões hidrográficas.

## Referências

- Andreu, J.; Capilla, J.; e Ferrer, J. (1996), *Aquatool, a generalized Decision Support System for Water Resources Planning and Operational Management*. J. Hydrology 177, pp. 269-291;
- Andreu, J.; Pérez, M.A.; Ferrer, J.; Villalobos, A. e Paredes, J. (2007), *Drought Management Decision Support Systems by means of Risk Analysis Models*, em: G. Rossi, T. Vega, B. Bonaccorso (eds.) *Methods and Tools for Drought Analysis and Management*, Springer, pp. 195-216;
- CNPGB (2008), *Listagem de Barragens em Portugal*, [http://cnpbg.inag.pt/gr\\_barragens/gbportugal/](http://cnpbg.inag.pt/gr_barragens/gbportugal/), Disponível URL [Outubro 2008];
- Cunha, R. (2008), *Definição de cenários de referência para avaliação dos impactos de Seca*, Tese de Mestrado Integrado em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto;
- Estrela, T. (1993), *Curso Internacional de Hidrologia General y Aplicada*. Área de Hidrologia Superficial. Tomo I, II, III, IV, V e VI CEDEX, Madrid;
- Gibbs, W.J., Maher, J.V. (1967), *Rainfall Deciles as Drought Indicators*. Australian Bureau of Meteorology, Bull. 48, 37 pp;
- Hayes, M. (2006), *Drought Indices*; Página Web do National Drought Mitigation Center (NDMC), <http://drought.unl.edu/whatis/indices.htm> [online], Disponível URL: [Outubro de 2008];
- HP (1994), *Aproveitamento Hidráulico do Enxóe - Revisão do Projecto*, Projecto para concurso, Volume I – Barragem, Anexo I – Estudos Hidráulicos, Direcção Geral dos Recursos Naturais, Hidrotécnica Portuguesa, Lisboa;
- INAG (2001), *Plano Nacional da Água*, Instituto da Água, Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território;
- Mckee, T.; Doesken, N. and Kleist, J. (1993), *The relationship of Drought frequency and duration of time scales*, Eight Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, 17 – 23 Janeiro, 1993, Anaheim CA, pp. 179-186;
- MOP (1976), *Aproveitamento Hidroagrícola de Luçefecit - Barragem e Órgãos Anexos*, Projecto-Base, Volume II, Ministério das Obras Públicas, Direcção Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, Lisboa;
- Loucks, D. (2006), *Decision Support Systems for Drought Management*, em J. Andreu, G. Rossi, F. Vagliasindi, A. Vela (eds), *Drought management and Planning for Water Resources*, Taylor&Francis, Boca Raton, ISBN 1-56670-672-6, pp. 119-132;
- Oliveira, R. (1998), *XLWAT: um add-in para Excel*. Modelo de Precipitação-Escoamento. Chiron, Sistemas de Informação Lda., Lisboa;
- SNIRH (2008), *Serviço Nacional de Informação de Recursos Hídricos*, Homepage do SNIRH, <http://snirh.pt/>[online], Disponível URL [Outubro 2008];
- Temez, J.R. (1977), *Modelo Matemático de transformación Precipitación-Aportación*, ASINEL;
- UPV (2008), *Universidad Politécnica de Valencia - Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente*, Homepage IIAMA-UPV - Software Aquatool, <http://www.iiama.upv.es/software.php> [online], Disponível URL [Outubro 2008].

## Fontes de informação - Avaliação de modelos

- [1] e [8] Tallaksen, L. e Van Lanen, H. (2004) (eds), *Hydrological Drought – Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater*, [CD-Rom], Developments in Water Science, 48, Elsevier, 2004;
- [2], [3], [5] e [6] USGS (2008), *Water Resources Surface Water Software*, Homepage U.S. Geological Survey - EUA, [http://water.usgs.gov/software/lists/surface\\_water/](http://water.usgs.gov/software/lists/surface_water/), Disponível URL [Outubro, 2008];
- [4] e [7] eWater CRC (2008), *Catchment Modelling Toolkit - Tools*, Homepage de eWater CRC - Australia, <http://www.toolkit.net.au/Tools/Default.aspx>, Disponível URL [Outubro 2008];
- [9] e [14] Deltares (2008), *WL Software - Delft Hydraulics Software*, Homepage da Deltares (WL Delft) - Holanda, <http://www.wldelft.nl/soft/intro/index.html>, Disponível URL [Outubro 2008];
- [10] Cornell University (2008), *Interactive River-Aquifer Simulation (IRAS)*, Homepage Cornell University -EUA, <http://www.cfe.cornell.edu/research/urbanwater/project%20description/General/IRAS.HTM>, Disponível URL [Outubro 2008];
- [11] DHI (2008), *GIS based water resources management -- Mike Basin*, Homepage de DHI Group - Dinamarca, <http://www.dhigroup.com/Software/WaterResources/MIKEBASIN.aspx>, Disponível URL [Outubro 2008];
- [12] CSU (2008), *MODSIM - DSS*, Homepage da Colorado State University - EUA, <http://modsim.engr.colostate.edu/>, Disponível URL [Outubro 2008];
- [13] Victoria University (2008), *Surface Water Modelling - REALM*, Homepage da Victoria University - Austrália, <http://www.nre.vic.gov.au/web/root/Domino/vro/vrosite.nsf/pages/watersurfacemod>, Disponível URL [Outubro 2008];
- [15] TAMU (2008), *SWAT: Soil and Water Assessment Tool*, Homepage da Texas A&M University - EUA, <http://www.brc.tamus.edu/swat/index.html>, Disponível URL [Outubro 2008];
- [16] ESS (2008), *Waterware*, Homepage da Environmental Software & Services - Áustria, <http://www.ess.co.at/WATERWARE/>, Disponível URL [Outubro 2008];
- [17] SEI-US (2008), *WEAP - Water Evaluation And Planning System*, Homepage do Stockholm Environment Institute - US Center -EUA, <http://www.weap21.org/>, Disponível URL [Outubro 2008];
- [18] WSMP (2008), *The WaterStrategyMan Project*, Homepage do Projecto Europeu WSM do 5ºPQ de ID da UE, <http://environ.chemeng.ntua.gr/wsm/>, Disponível URL [Outubro de 2008].