

MONITORIZAÇÃO DE SECAS NA MARGEM ESQUERDA DO GUADIANA

DROUGHTS MONITORING ON THE GUADIANA'S LEFT MARGIN

Juliana Mendes

Aluna de Doutoramento da FEUP

Rodrigo Maia

Professor Associado da FEUP /// Associado da APRH nº 753

Eduardo Vivas

Aluno de Doutoramento da FEUP /// Associado da APRH nº 1678

RESUMO: O artigo faz a apresentação de um possível sistema de monitorização de situações de seca adequado às características da região da margem esquerda da parte portuguesa da bacia do Guadiana. A criação deste sistema baseou-se na recolha, selecção e validação de informação respeitante a parâmetros mensuráveis relacionados com os fenómenos de seca, de forma a obter indicadores simples e operacionais, cuja classificação deverá ser adequadamente ajustada às características da região em estudo. Da combinação destes indicadores (que correspondem a índices normalizados de precipitação e escoamento) resultou a definição dos níveis de alerta de seca que compõem o sistema de monitorização apresentado.

Palavras-chave: secas, indicadores, monitorização, alerta.

ABSTRACT: *This paper presents a possible drought monitoring system appropriate to the Portuguese Guadiana's left margin characteristics. The conception of this system was based on the collection, selection and validation of information concerning measurable parameters related to the drought phenomenon, envisaging simple and operational indicators, with a proper and adjusted classification regarding the case study characteristics. The combination of these indicators (corresponding to normalized precipitation and runoff indices) resulted in the definition of drought alert levels that are the basis of the proposed monitoring system.*

Keywords: *droughts, indicators, monitoring, alert.*

1. INTRODUÇÃO

As situações de seca são fenómenos naturais extremos que resultam de um deficit prolongado no tempo das condições de precipitação e que, pelo seu lento desenvolvimento, se desencadeiam de forma quase imperceptível nos estádios iniciais, afectando progressivamente os ecossistemas e as actividades socio-económicas. Devido à complexidade e à dimensão espacial destes fenómenos, que podem afectar vastas áreas durante um período de tempo longo, não existe uma definição de seca única e universalmente aceite, sendo um conceito diversificado que varia consoante as diferentes regiões, necessidades e áreas disciplinares. Ainda assim, com vista a uma mais fácil identificação do início, severidade e final de uma situação de seca, distinguem-se, habitualmente, as tipologias de seca esquematizadas na Figura 1: meteorológica, agrícola, hidrológica e socioeconómica (Wilhite e Glantz 1985, NDMC 2006).

A declaração formal da ocorrência de situações de seca é uma questão tão polémica quanto importante. Na maioria das instituições públicas este assunto é abordado com bastante precaução, o que origina,

frequentemente, uma declaração de seca tardia, quando a severidade dos impactos de seca é já bastante elevada, e, em muitos casos, apenas resta a possibilidade de adopção de medidas de emergência. Essa constatação é reflectida na Comunicação da União Europeia sobre secas e escassez (CEC 2007) onde é destacada a necessidade de gestão preventiva do risco de seca, nomeadamente pelo desenvolvimento e implementação de planos de gestão de seca, bem como de sistemas de alerta precoce. Assim, de modo a possibilitar a gestão das situações de seca de forma mais eficaz, com a adopção de medidas apropriadas a cada fase de agravamento da seca, há a necessidade de definição e avaliação de indicadores que permitam fixar as condições para declarar níveis de alerta adequados à severidade dos reais impactos de seca. A monitorização operacional destas situações deverá ser efectuada de forma contínua, por análise regular de indicadores meteorológicos e hidrológicos que permitam conhecer, em cada instante, a severidade da situação de seca e associar aos correspondentes níveis de alerta, mecanismos e acções respectivas a desencadear pelas entidades responsáveis (MEDROPLAN 2007, Mendes 2008). Ressalva-se que a

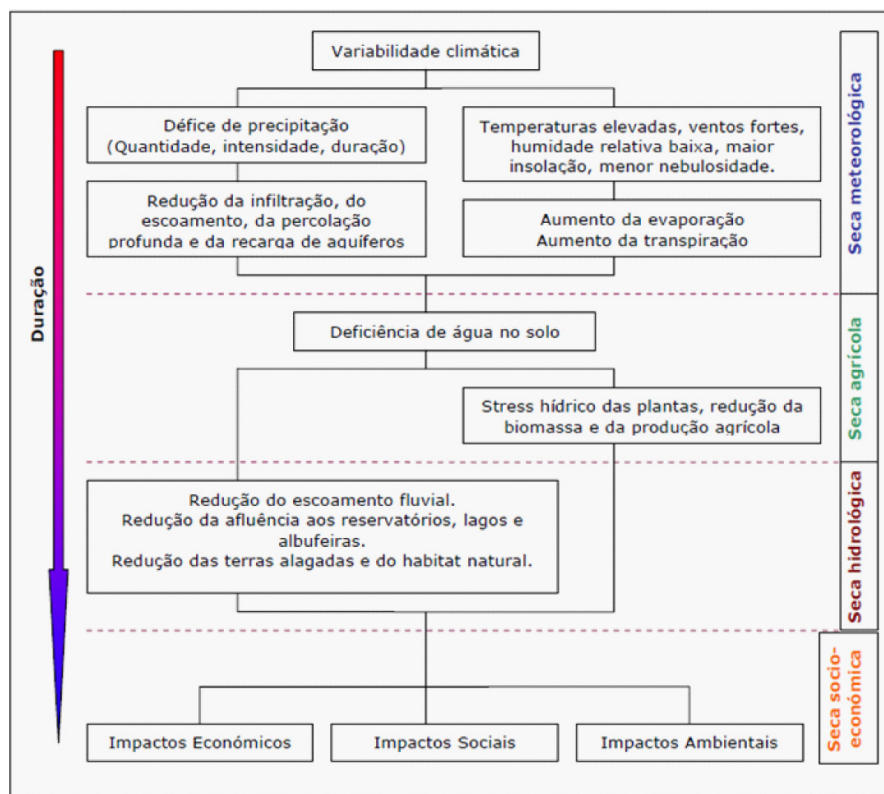


Figura 1 - Esquema da sequência temporal dos diversos tipos de seca (adaptado de NDMC 2006).

O texto deste artigo foi submetido para revisão e possível publicação em Janeiro de 2011, tendo sido aceite pela Comissão de Editores Científicos Associados em Setembro de 2011. Este artigo é parte integrante da *Revista Recursos Hídricos*, Vol. 32, Nº 2, 31-43, Novembro de 2011. © APRH, ISSN 0870-1741 | DOI 10.5894/rh32n2-3

designação atribuída à tipologia dos indicadores está associada ao tipo de variáveis que lhes deu origem e não directamente às definições de seca apresentadas na Figura 1.

O trabalho aqui apresentado corresponde à definição de um possível sistema de monitorização de situações de seca para uma região portuguesa da margem esquerda da bacia hidrográfica do Guadiana. Esta região, delimitada pelos rios Guadiana e Ardila e pela fronteira Portugal – Espanha (Figura 2), correspondeu a um dos casos de estudo do Projecto Europeu AquaStress (AquaStress 2008), que envolveu os autores deste trabalho, sendo regularmente afectada por situações de seca, que agravam a escassez natural de recursos existentes (Paulo et al. 2003, Costa et al. 2008, Mendes 2008).

hidrometeorológicas da região de estudo, com também – com base na sua devida classificação, de acordo com diferentes graus de intensidade de seca –, fazer corresponder diferentes níveis de alerta às adequadas fases de gravidade da situação de seca. Intrínseco (e em paralelo) ao processo de desenvolvimento deste sistema, foi levado a cabo um processo de calibração e validação do mesmo (Figura 3). Assim, em cada etapa de desenvolvimento do sistema foi efectuada uma análise de correlações entre as diferentes variáveis em estudo e uma análise comparativa dos resultados obtidos e das informações recolhidas sobre situações de seca passadas (impactos ocorridos). Desta forma, por “tentativa-erro”, procurou-se encontrar a melhor representatividade entre os indicadores seleccionados, os graus de severidade considerados e os níveis de alerta de seca definidos para a região.



Figura 2 - Região em estudo, na margem esquerda do Guadiana.

2. SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO DE SECAS

2.1. Metodologia geral

O desenvolvimento do sistema de monitorização ou de alerta de secas aqui apresentado baseou-se numa metodologia para a definição de indicadores específicos que permitissem não só caracterizar as condições

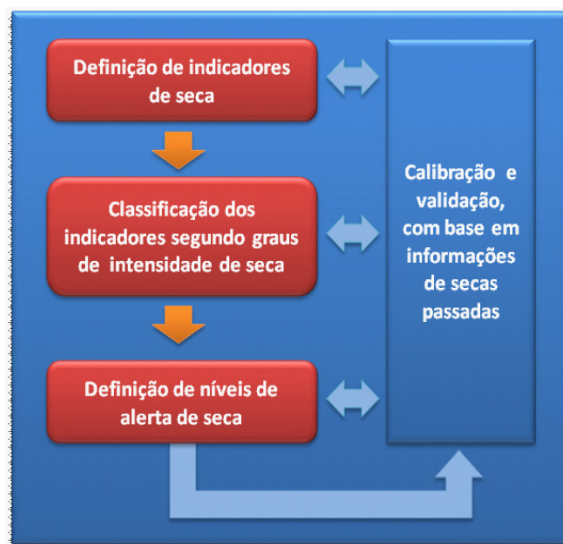


Figura 3 - Metodologia geral adoptada no desenvolvimento do sistema de monitorização de secas.

2.2. Indicadores

2.2.1. Selecção de variáveis e indicadores

Um sistema de monitorização de situações de seca deverá ser baseado num determinado número de indicadores meteorológicos, hidrológicos ou socioeconómicos que caracterizem a evolução dos episódios de seca (Steinemann *et al.* 2005, MEDROPLAN 2007). A definição desses indicadores está dependente da existência de monitorização e disponibilidade de variáveis instrumentais (precipitação, escoamento superficial, níveis piezométricos, volumes armazenados em albufeiras, etc.) que permitam quantificar a evolução da severidade de seca numa determinada região (Vivas e Maia 2009, 2010).

Para que a definição dos indicadores pudesse ser realizada através de um processo estatístico adequado, deu-se preferência à selecção de variáveis hidrometeorológicas instrumentais que possuíssem uma série de registos contínua e suficientemente longa (idealmente com, pelo menos, 30 anos de registos), e cujas estações de medição se encontrem ainda activas (SNIRH 2008).

Relativamente aos indicadores meteorológicos,

foram utilizados os registos mensais de precipitação das estações udométricas constantes no Quadro 1. Considerando os coeficientes de Thiessen presentes no mesmo quadro, foi calculada a precipitação mensal ponderada na região em estudo, a qual será a variável de base para a definição do indicador meteorológico, definido adiante. As falhas de registos verificadas foram colmatadas por recurso ao Método das Duplas Acumulações, tal como descrito em Mendes (2008).

Quadro 1 - Estações udométricas utilizadas para calcular a precipitação ponderada na região em estudo (SNIRH 2008).

Nome	Código	Área de influência (ha)	Coefficiente de Thiessen
Pereiro	29L/01UG	3759	0.02
Alcoutim	29M/01UG	11513	0.06
Algodôr	27K/01UG	17336	0.08
Serpa	26L/01UG	35194	0.17
Herdade da Valada	26M/01C	72844	0.35
Santo Aleixo da Restauração	25O/01UG	32499	0.16
Pedrógão do Alentejo	25L/01UG	21033	0.10
Amareleja (D.G.R.N.)	24N/01UG	11652	0.06
TOTAL		205830	1.00

Quadro 2 - Estações hidrométricas e piezométricas e respectivos parâmetros utilizados na análise de indicadores hidrológicos (SNIRH 2008).

Nome	Código	Parâmetro analisado	Origem	Início do registo	Final do registo
Ardila (Foz)	25M/01H	Escoamento mensal (dam ³)	Rio Ardila	01-12-1949	01-03-2004
Ardila Fronteira	24O/01H	Nível hidrométrico (médio mensal) (m)	Rio Ardila	18-07-2001	15-11-2007
Enxoé	26M/01A	Cota da albufeira (médio mensal) (m)	Ribeira do Enxoé	17-08-1998	30-10-2007
Vale Vargo	524/51	Nível piezométrico (médio mensal) (m)	Aquífero Moura-Ficalho (A10)	30-01-1996	12-07-2007
SDH3 – Monte da Lobata	532/75	Nível piezométrico (médio mensal) (m)	Aquífero Gábros de Beja (A9)	01-10-2000	12-07-2007

Quanto às variáveis hidrológicas, pretendia-se inicialmente definir um indicador por cada uma das principais origens de água da região em estudo: rio Ardila, albufeira do Enxoé e águas subterrâneas. Assim, pela necessidade de se dispor de indicadores que reflectam a quantidade de água disponível nessas origens em situações de seca, foram analisados os registos existentes relativos ao escoamento no rio Ardila, aos níveis de água da albufeira do Enxoé e aos níveis piezométricos dos dois aquíferos (Moura-Ficalho e Gabros de Beja) de produtividade elevada existentes na região (ver Quadro 2).

No que toca aos registos da cota da albufeira do Enxoé e dos níveis piezométricos considerados, os comprimentos de registo são muito curtos (e com falhas) para uma análise representativa, pelo que estes dados não puderam ser considerados como indicadores.

Por outro lado, pela análise dos registos correspondentes ao rio Ardila, pôde constatar-se que os dados relativos ao escoamento nesse rio poderão ser utilizados como bons indicadores, uma vez que existem registos históricos suficientemente longos para comparação com as principais situações de seca ocorridas no passado nessa região. No entanto, os registos mensais de escoamento existentes nesse rio são relativos à estação Ardila Foz, extinta após a construção do Açude do Pedrógão, não podendo constituir um indicador para futuro. Contudo, em 2001, entrou em funcionamento nesse rio a estação de Ardila Fronteira, com o registo de níveis hidrométricos. Deste modo, consideraram-se os registos da primeira estação para análise de situações de seca no passado, e os registos de Ardila Fronteira para a avaliação presente e futura.

Em suma, as variáveis instrumentais de base para definição dos indicadores meteorológicos e hidrológicos correspondem respectivamente à precipitação ponderada na região em estudo, e às variáveis hidrométricas monitorizadas em estações existentes no rio Ardila, isto é, o escoamento mensal em Ardila (Foz), bem como os níveis hidrométricos médios mensais em Ardila Fronteira.

2.2.2. Normalização das variáveis em estudo

De modo a ser possível uma comparação entre as diferentes variáveis em estudo (indicadores), efectuou-se a normalização das séries de registos, após um tratamento preliminar aos dados dessas variáveis. O processo de normalização consistiu na aplicação da metodologia de cálculo do índice SPI (*Standardized Precipitation Index*) às diferentes variáveis de base consideradas para definição dos indicadores.

O SPI, criado por McKee *et al.* (1993), foi concebido para quantificar os défices de precipitação para várias escalas temporais, possibilitando uma percepção do impacto que uma situação de seca pode ter nas diferentes fases do ciclo hidrológico. Este índice corresponde, genericamente, ao quociente entre (i) o desvio da precipitação em relação à média para um período de tempo específico, e (ii) o desvio padrão da precipitação no mesmo período, assumindo valores positivos quando a precipitação ocorrida na zona e período em análise é superior à média e, valores de SPI inferiores a zero quando a precipitação é inferior ao seu valor médio (McKee *et al.* 1993, Guttman 1999, Hughes e Saunders 2002, Domingos 2006, Mendes 2008).

O cálculo do SPI, para o presente trabalho foi efectuado através de um programa de cálculo automático disponibilizado no site do *Nacional Drought Mitigation Center* (NDMC, 2006). Não obstante, a determinação do mesmo consiste, resumidamente, no seguinte: recolhidos os registos de precipitação mensal para um dado período de análise – 1970/71 a 2006/07 (37 anos), neste caso – e escolhidas as escalas temporais de análise – 1, 3, 6, 9 e 12 meses –, a série de precipitação é ajustada à distribuição probabilística Gama e posteriormente transformada numa distribuição normal padrão (de média zero e desvio padrão igual a um), definindo a relação entre a probabilidade de ocorrência e os valores da precipitação (Hughes e Saunders 2002, Mendes 2008).

Shukla e Wood (2008) aplicaram o conceito de base do SPI a séries de dados de escoamento, analisando diferentes escalas temporais, através do *Standardized Runoff Index* (SRI). Mo (2008) confirma que o SRI pode ser calculado de modo idêntico ao SPI, preconizando que tal procedimento seja limitado a séries de dados mensais¹. De modo similar, no presente trabalho aplicou-se o procedimento de normalização da precipitação, ou procedimento de cálculo do SPI, às séries de registos de escoamento mensal em Ardila Foz e de nível hidrométrico médio mensal em Ardila Fronteira, obtendo-se os índices normalizados dessas variáveis: o *Standardized Runoff Index* (SRI) e o *Standardized Hydrometric Level Index* (SHLI) (Mendes 2008).

No Quadro 3 apresentam-se os índices normalizados utilizados para a monitorização das secas na região em estudo, e correspondentes períodos temporais de análise.

2.2.3. Escalas temporais utilizadas na avaliação dos indicadores

Os índices normalizados utilizados (Quadro 3) foram calculados para as escalas temporais de 1, 3, 6, 9 e 12 meses. A definição da escala temporal a considerar teve por base uma compatibilização entre a escala associada

1 - Na realidade, para tal, deveria ser verificado se as variáveis hidrométricas consideradas, seguem ou não uma função de distribuição de probabilidade gama, p.e., por recurso ao teste do Qui-quadrado.

Quadro 3 - Índices normalizados e períodos temporais utilizados na análise.

Variável	Designação do índice normalizado	Período de análise utilizado (anos)
Precipitação	SPI (<i>Standardized Precipitation Index</i>)	De 1970/71 a 2006/07
Escoamento	SRI (<i>Standardized Runoff Index</i>)	De 1970/71 a 1999/00
Nível hidrométrico	SHLI (<i>Standardized Hydrometric Level Index</i>)	De 2001/02 a 2006/07

à avaliação da precipitação e a escala associada às variáveis hidrológicas consideradas, bem como o processo de calibração e validação já referido, descrito no ponto seguinte. Foi estabelecido que a avaliação da variável meteorológica deveria reflectir a duração total do período em que se verifica uma afectação da precipitação, e conseqüente propagação de impactos, à escala temporal do ano hidrológico (12 meses). Atendendo à afectação das demais variáveis hidrológicas, pôde constatar-se que os valores do SPI.12 constituem um indicador que naturalmente reflecte o período global de duração das situações de secas históricas (ver ponto 3). Os indicadores hidrológicos considerados (SRI e SHLI), por sua vez, permitem avaliar os efeitos da seca nas fases seguintes do ciclo hidrológico, reflectindo o comportamento das reservas de água após a afectação da precipitação.

Assim, atenta a combinação de índices que melhor reflecte a real afectação das disponibilidades da região (afectação dos volumes armazenados e afectação dos níveis piezométricos, ver 2.2.4.), a escala temporal considerada foi de 12 meses, para qualquer dos índices utilizados, isto é, foram adoptados:

- o índice normalizado de precipitação 12 meses, SPI.12;
- o índice normalizado de escoamento 12 meses, SRI.12, e o índice normalizado de nível hidrométrico 12 meses, SHLI.12.

2.2.4. Validação preliminar dos indicadores hidrológicos seleccionados

Embora tendo sido constatado que não existiam dados suficientes relativos à cota do nível de armazenamento da albufeira do Enxoé e aos níveis piezométricos nos principais sistemas aquíferos da região em estudo para que os mesmos pudessem, desde já, constituir indicadores de seca, foram analisados os registos existentes relativos a estas variáveis, tentando estabelecer um paralelismo, ainda que para um período reduzido, entre o comportamento das origens a que estas variáveis dizem respeito e a variável representativa do escoamento no rio Ardila, no mesmo período.

Na Figura 4 apresenta-se a análise comparativa, para

a seca de 2005 (a única para a qual existem dados de monitorização destas origens de água), da evolução do SPI.12 e do indicador hidrológico SHLI.12, com a variação dos níveis piezométricos nas estações analisadas (524/51 e 532/75) e com o nível na albufeira do Enxoé. Pode verificar-se que, no período da seca de 2005 (período assinalado), as correspondentes variáveis apresentaram um comportamento similar, ou seja, sofreram uma redução significativa face aos valores registados fora deste período. Deste modo, a análise efectuada permitiu concluir que o SHLI.12 (face ao seu desfaseamento do SPI.12, ver figura 4) em Ardila Fronteira pode, em primeira análise, ser considerado um bom indicador da disponibilidade de água nas principais origens de água da região. Deverá, naturalmente, continuar a ser efectuada uma análise da validade da referida correlação face a futuros eventos de seca que venham a ser registados. Por outro lado, também no futuro, com base em séries mais longas de registos, deverá ser (re)ponderada a potencial inclusão no sistema de indicadores para a monitorização das secas na região em estudo das variáveis representativas das referidas (ou outras que se venham a tornar relevantes) origens de água na região em estudo.

Refira-se que, neste caso, se verificou que o processo de normalização aplicado às variáveis hidrométricas consideradas para a região em estudo não se poderia considerar estatisticamente válido. Não obstante, pode verificar-se que, aqueles índices, aplicados às escalas temporais adequadas, reflectem satisfatoriamente a afectação das disponibilidades nas principais origens de água (Figura 4). Deste modo, poderá considerar-se que, para efeitos de avaliação hidrológica, as variáveis em causa, além de representativas, são especialmente úteis para a percepção do impacto que os défices de precipitação têm nas origens de água consideradas.

2.3. Classificação da intensidade das secas

A classificação original da intensidade da seca em função de valor de SPI proposta por McKee *et al.* (1993) foi baseada na análise de várias estações pluviométricas do Estado do Colorado (EUA). As correspondentes classes de intensidade de seca, respectivos valores

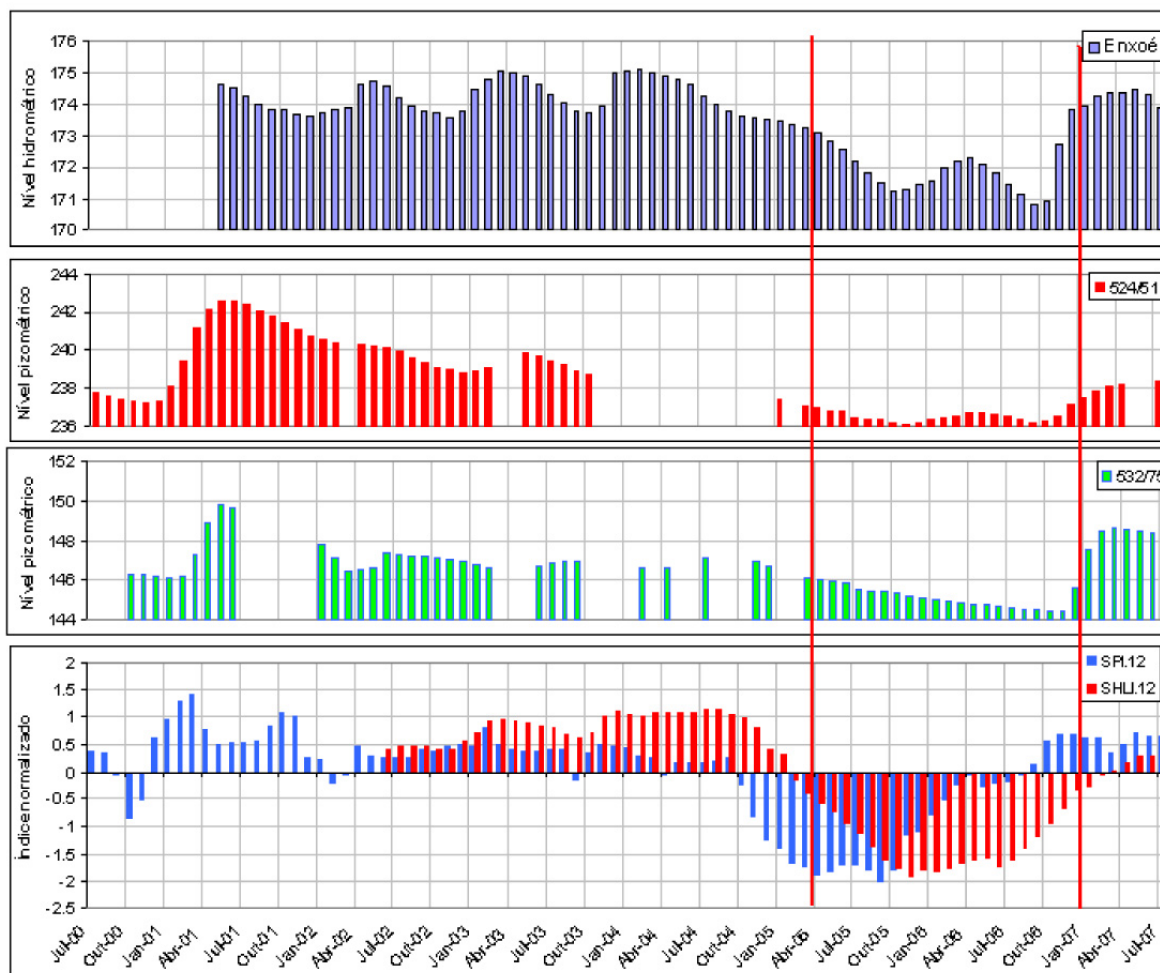


Figura 4 - Comparação do indicador hidrológico (SHLI.12 em Ardila Fronteira) com a variação dos níveis piezométricos nos piezómetros 524/51 e 532/75 e da cota da albufeira do Enxoé, para a seca de 2004/05.

Quadro 4 - Classificação da intensidade da seca segundo McKee et al (1993).

Intensidade da seca	SPI	Probabilidade de ocorrência (%)
Seca suave] 0; -1.00[24.0
Seca suave/moderada	[-1.00; -1.50[9.2
Seca severa	[-1.50; -2.00[4.4
Seca extrema	Inferior a -2.00	2.3

de SPI, e probabilidades de ocorrência, definidas de acordo com as características daquela região, são apresentadas no Quadro 4.

Neste trabalho foi definida e considerada uma classificação de severidade de seca diferente e mais conservativa do que a apresentada por McKee et al. (1993) ou a utilizada no "Plan Especial de Sequía de

la Cuenca del Guadiana" (CHG 2007), para a parte espanhola da Bacia do Guadiana, sendo similar à considerada por Agnew (2000). Na realidade, sendo a região em estudo uma zona com uma limitação natural de recursos hídricos e com origens de água com reduzida capacidade de armazenamento, o que a torna muito vulnerável aos efeitos da seca, pôde

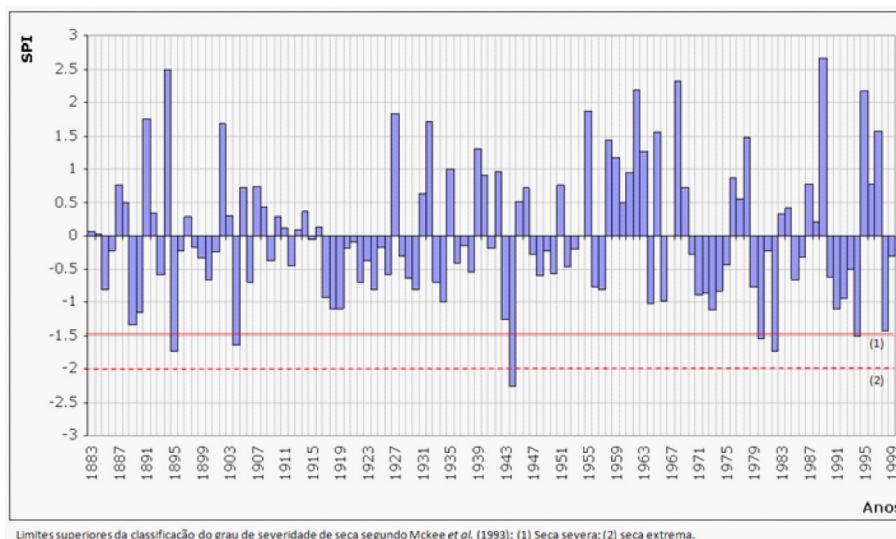


Figura 5 - Aplicação do SPI.12 aos registos históricos de precipitações anuais (de 1883/84 a 1999/00).

Quadro 5 - Classificação da severidade de seca considerada no presente estudo.

Grau de severidade	Índice normalizado	Probabilidade de ocorrência da classe (%)
Ausência de seca	Superior a -0.5	69.1
Seca moderada	[-0.50; -1.00[15.0
Seca severa	[-1.00 -1.50[9.2
Seca extrema	Inferior a -1.50	6.7

constatar-se que as referidas classificações apenas reflectem por defeito a severidade das situações de seca ocorridas na região. Tal é exemplificado, por exemplo, com os resultados do valor de SPI.12 (Figura 5) aplicados a uma série de precipitação anual extensa (124 anos), em que a consideração da classificação de severidade de seca definida por McKee *et al.* (1993) permitiriam verificar a ocorrência de uma única situação de seca extrema (1944/45) no período analisado, o que, atenta a vulnerabilidade das origens de água da região às situações de seca, não parece fazer sentido. É do conhecimento geral que situações de seca relativamente recentes como as ocorridas nos períodos de 1980-1983, 1990-1994 e 2002-2006 foram consideradas muito graves na bacia hidrográfica do Guadiana e, de uma forma geral, a nível nacional, pelos impactos que tiveram nos vários sectores económicos, tal como também registado por Feio e Henriques (1986), CPS (2005), Vivas e Maia (2008) e confirmado, no âmbito do Projecto AquaStress (2008), através do contacto

directo com habitantes da região e com as entidades responsáveis pela gestão operacional de recursos hídricos daquela área (C.M. Moura, C.M. Serpa, C.M. Mértola e Associação de Municípios do Enxóe).

Constatada a necessidade de estabelecer limiares de severidade de seca mais adequados à realidade da região em estudo, os mesmos foram definidos por análise dos correspondentes resultados dos indicadores utilizados, de modo a que as situações de seca mais significativas, como as anteriormente referidas, tivessem uma classificação considerada adequada aos impactos ocorridos e às medidas adoptadas.

A classificação definida e adoptada neste trabalho é apresentada no Quadro 5, tendo sido aplicada aos índices normalizados considerados (Quadro 4).

A adequação dos limiares definidos à severidade das secas verificadas na região em estudo será evidenciada no ponto relativo à calibração e validação do sistema de monitorização proposto, apresentado adiante (ponto 3).

2.4. Níveis de Alerta de Situações de Seca

De modo a caracterizar a situação em que se encontra a região em estudo durante uma situação de seca, foram considerados três níveis de alerta de seca – Pré-Alerta, Alerta e Emergência –, em acordo com o estabelecido e/ou indicado em INAG (2005), CHG (2007), MEDROPLAN (2007) e Mendes (2008).

O nível de **Pré-Alerta** corresponderá a um risco moderado de afectação das disponibilidades hídricas existentes para os mais diversos fins.

O nível de **Alerta** deverá ser declarado quando existe uma probabilidade significativa de ocorrência de défices hídricos para as diferentes utilizações, se não forem adoptadas medidas imediatas.

Por fim, o nível de **Emergência** deverá ser declarado quando os impactos devido aos referidos défices forem significativos e o abastecimento de água às populações não for garantido.

Quando a situação não corresponder a nenhum destes três níveis, encontrar-se-á na categoria designada **Normalidade**.

Sendo o sistema de monitorização composto por mais que um indicador, a atribuição de um dado nível de alerta de seca dependerá da combinação possível entre os indicadores meteorológicos e hidrológicos considerados. Este sistema baseia-se, então, nos resultados destes indicadores, que, em função da combinação entre a classificação dos mesmos (definida no Quadro 4), é atribuído um nível de alerta de seca de acordo com a matriz representada no Quadro 5.

Os critérios para a definição da matriz de níveis de alerta de seca (Quadro 6) foram os seguintes:

- Nas situações em que ambos os indicadores apresentam o mesmo tipo de severidade de seca, o nível de alerta é proporcionalmente crescente ao aumento da severidade da seca;
- Quando um dos indicadores aponta “Ausência de seca” e o outro indica “Seca Moderada”, a

situação é considerada de **Normalidade**;

- Quando um dos indicadores aponta “Seca Extrema” e o outro indica “Seca Severa”, a situação é considerada de **Emergência**;
- Para os níveis de **Prealerta** e **Alerta**, foi dado um maior peso aos indicadores hidrológicos, sendo os níveis de alerta progressivamente crescentes com o aumento da severidade da seca.

3. CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO GLOBAL DO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO

Tendo em vista a calibração e validação global do sistema de monitorização proposto, apresentam-se nos gráficos seguintes (Figuras 6 a 9), cada um correspondentes a um período tempo parcelar do período total considerado (1970/71 a 1979/80, 1980/81 a 1989/90, 1990/91 a 1999/00 e 2000/01 a 2006/07), a aplicação dos indicadores seleccionados (Quadro 3) aos registos históricos, bem como a definição dos níveis de alerta para cada combinação desses indicadores, de acordo com a matriz proposta (Quadro 6). Nestes gráficos pode observar-se que:

- No período de 1970/71 a 1999/00 (Figuras 6, 7 e 8), a combinação do SPI.12 com o SRI.12 em Ardila (Foz), permite identificar quatro situações de seca em que ocorreram níveis de alerta considerados de emergência, nomeadamente em 1980/81, 1982/83, 1991/92 a 1992/93 e 1998/99;
- No período de 2000/01 a 2006/07 (Figura 9), a combinação do SPI.12 com o SHLI.12 em Ardila Fronteira dá origem a apenas um estado de emergência em 2005, que persiste durante 6 meses.

Desta análise pode considerar-se que o sistema de indicadores definido é representativo para a

Quadro 6 - Matriz de definição dos níveis de alerta de seca.

		Indicadores Hidrológicos			
		Ausência de seca	Seca Moderada	Seca Severa	Seca Extrema
Indicadores Meteorológicos	Ausência de seca	Normalidade	Normalidade	Prealerta	Alerta
	Seca Moderada	Normalidade	Prealerta	Alerta	Alerta
	Seca Severa	Prealerta	Alerta	Alerta	Emergência
	Seca Extrema	Prealerta	Alerta	Emergência	Emergência

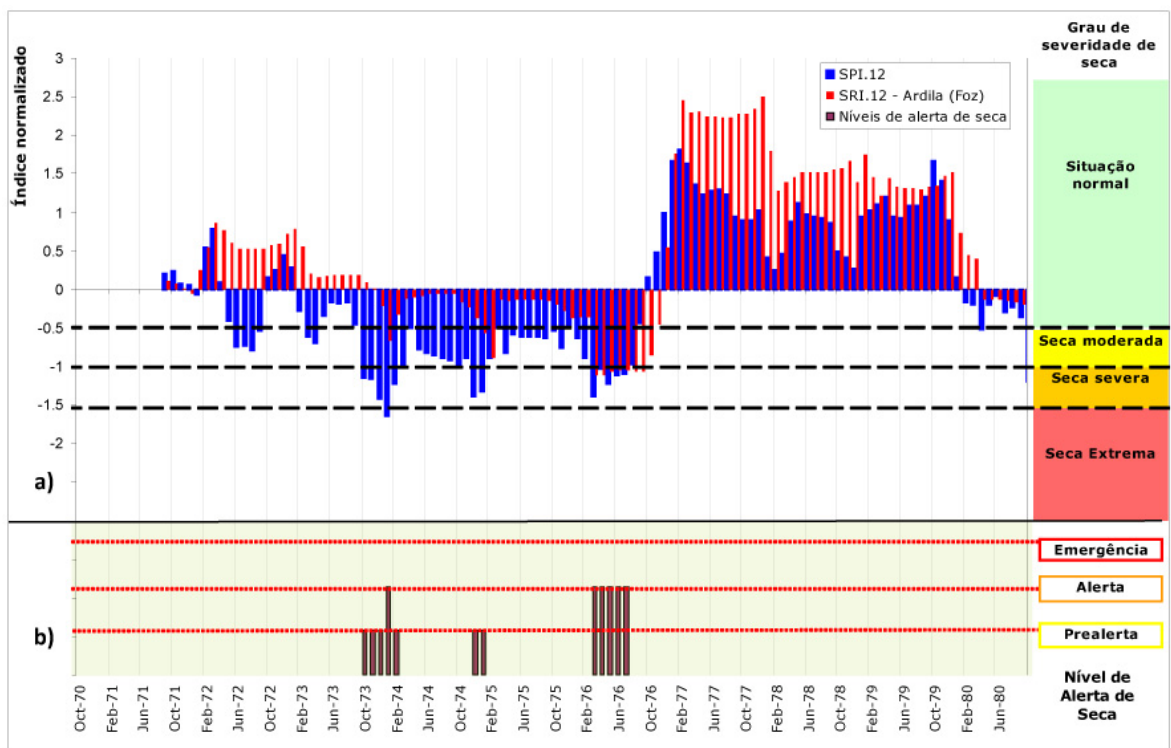


Figura 6 - a) Aplicação do SPI.12 e do SRI.12 em Ardila (Foz) aos registos históricos [de 1970/71 a 1979/80] e b) correspondentes níveis de alerta de situações de seca.

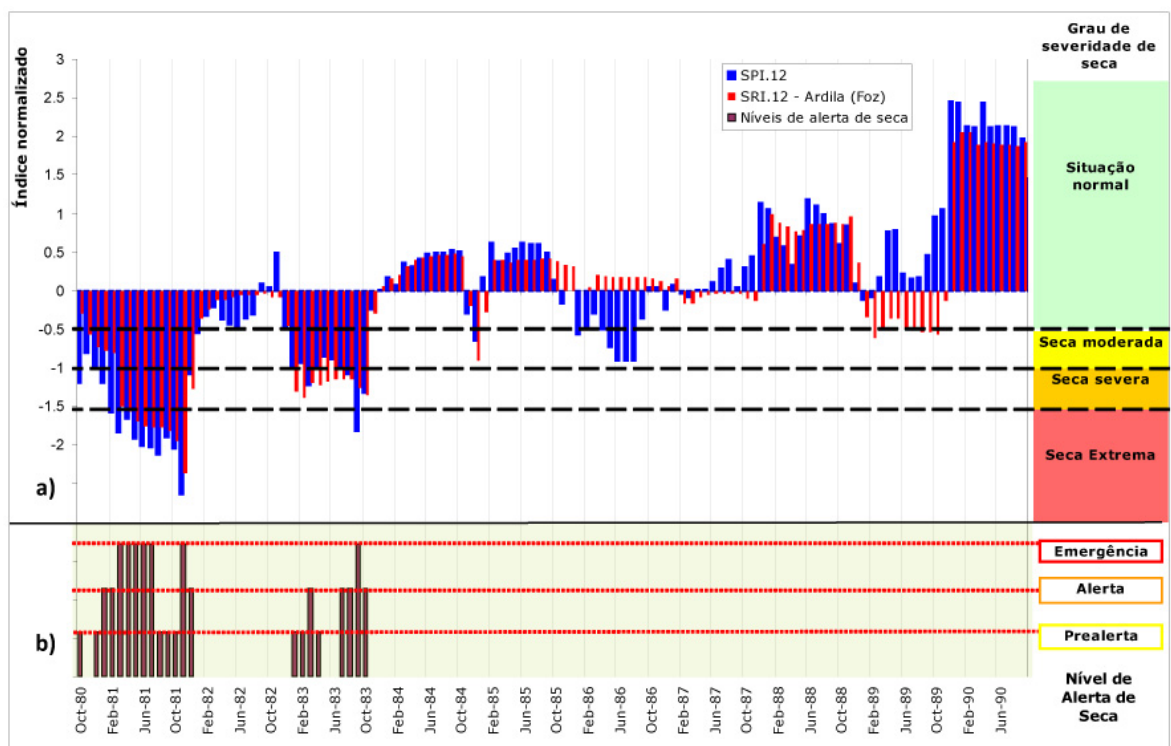


Figura 7 - a) Aplicação do SPI.12 e do SRI.12 em Ardila (Foz) aos registos históricos [de 1980/81 a 1989/90] e b) correspondentes níveis de alerta de situações de seca.

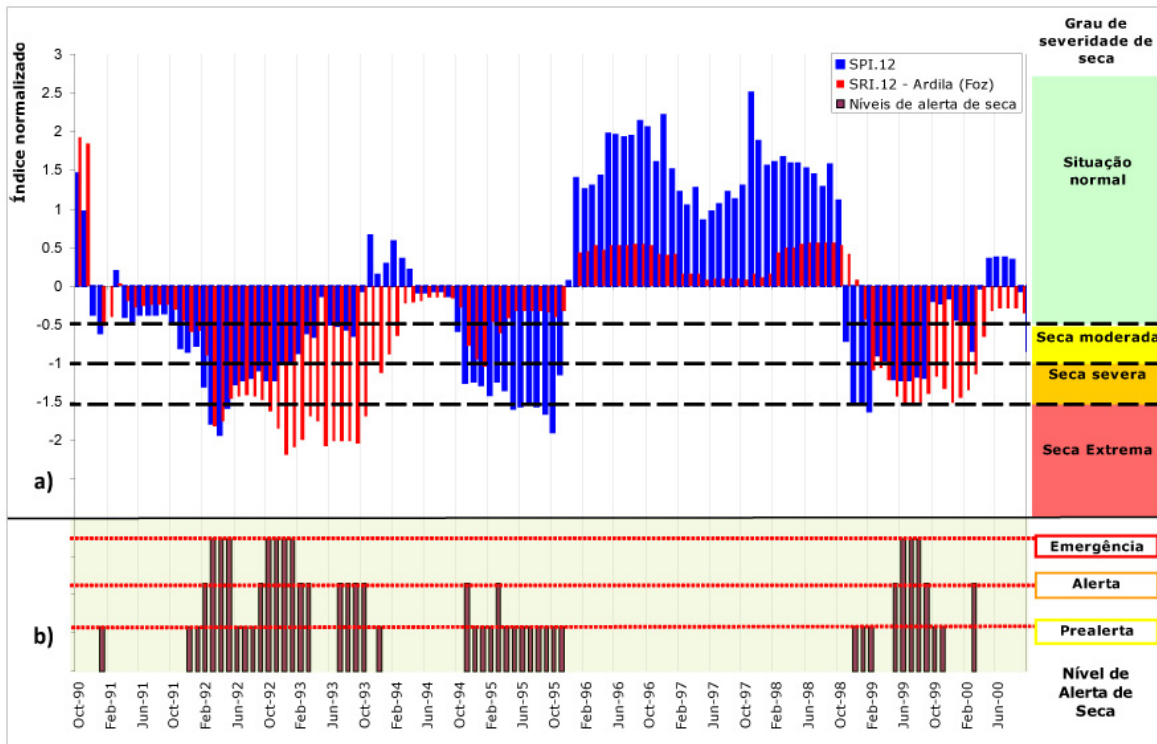


Figura 8 - a) Aplicação do SPI.12 e do SRI.12 em Ardila (Foz) aos registos históricos (de 1990/91 a 1999/00) e b) correspondentes níveis de alerta de situações de seca.

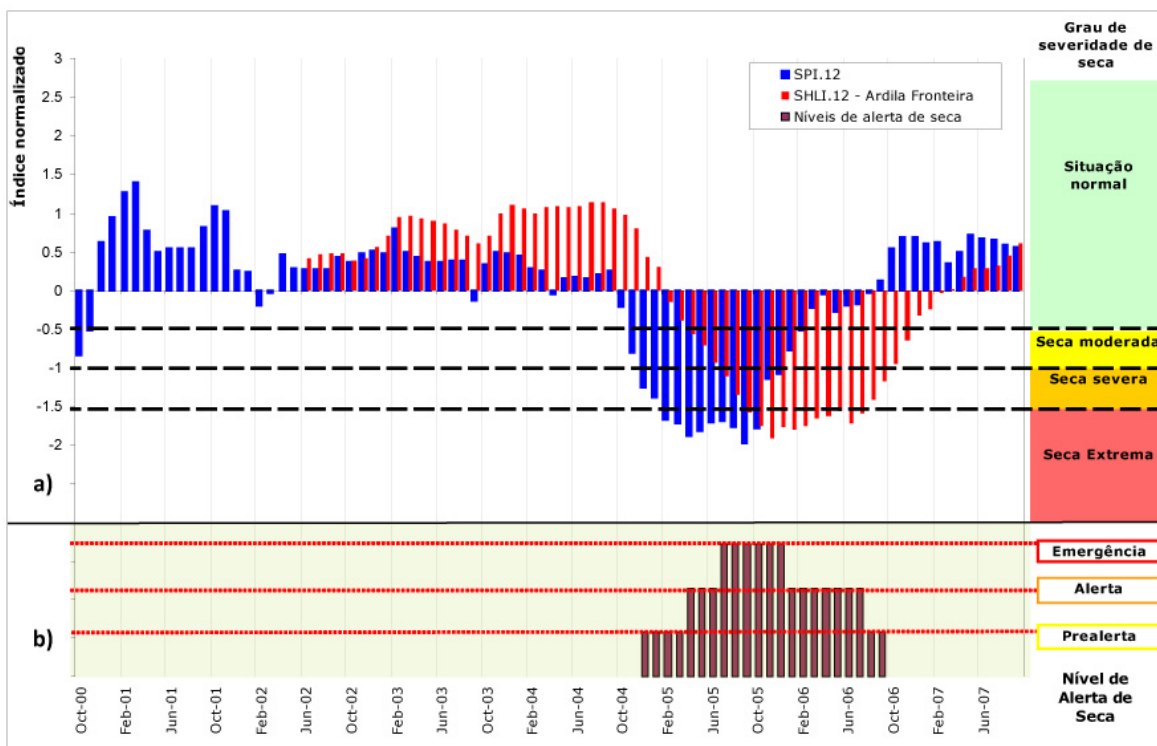


Figura 9 - a) Aplicação do SPI.12 e do SHLI.12 em Ardila Fronteira aos registos históricos (de 2000/01 a 2006/07) e b) correspondentes níveis de alerta de situações de seca.

monitorização das situações de seca ocorridas na região, já que permitiu identificar as principais situações históricas de seca, estando de acordo com os registos de impactos existentes (ainda que deficitários) e com as informações proporcionada pelas já referidas entidades responsáveis pela gestão operacional de recursos hídricos da região: C.M. Moura, C.M. Serpa, C.M. Mértola e Associação de Municípios do Enxóe. Este sistema de monitorização apresenta, como ponto forte, o facto de permitir um acompanhamento mensal, na referida região, da evolução dos estados meteorológico e hidrológico, representados pelos indicadores seleccionados, bem como a evolução das situações de seca. Em geral, verificando-se um desfazamento temporal entre a resposta a uma situação de seca dos diferentes tipos de indicadores, o primeiro alerta de seca (Prealerta) é dado pelas condições de precipitação, enquanto no final de uma situação de seca, o alívio de seca corresponde à aproximação da normalidade das condições hidrológicas perante a inexistência de anomalias de precipitação. Este sistema é, assim, um sistema conservativo que, embora estando do lado da segurança / prevenção, apenas conduz a níveis de alerta extremos (emergência) quando realmente se verificam défices significativos nas condições hidrológicas (representados pelo indicador hidrológico – SHLI.12), procurando evitar alarmismos desnecessários.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema de monitorização proposto corresponde à associação de níveis de alerta de seca a uma combinação de indicadores meteorológicos e hidrológicos, representada sob a forma de uma matriz (Quadro 6). Estes indicadores correspondem, respectivamente, a índices normalizados de precipitação e escoamento, que, com uma classificação adequadamente ajustada à realidade da região em estudo, se concluiu serem bons auxiliares para a caracterização das secas do passado e para a monitorização permanente das situações de seca nessa região. Salienta-se que a escolha das variáveis hidrológicas deve procurar reflectir a vulnerabilidade das diferentes origens de água da região, e que, por isso, deve haver um sistema de registo contínuo de variáveis deste tipo para avaliação da disponibilidade de água existente. Realça-se também que a utilização de índices normalizados permitiu uma melhor e mais facilitada avaliação e comparação da precipitação e das variáveis hidrológicas (escoamentos e níveis hidrométricos), proporcionando, também, uma melhor percepção de como a ausência de precipitação afecta o escoamento superficial e a água armazenada nas reservas existentes.

Como já foi referido, os dados de níveis piezométricos e da cota de armazenamento da albufeira do Enxóe são bastante limitados, pelo que não foram considerados no sistema de indicadores. No entanto, deverá ser assegurada a monitorização regular destas variáveis,

para uma possível integração futura das mesmas como indicadores para a monitorização das situações de seca na região. De forma a complementar e a melhor validar o sistema proposto, ressalva-se ainda a importância de se criar uma boa base de registos contínuos do maior número possível de variáveis que permitam caracterizar os sistemas hidrológicos e socio-económicos da região, bem como dos impactos que ocorram durante os períodos de seca, e respectivas medidas adoptadas.

BIBLIOGRAFIA

- Agnew (2000). *Using the SPI to identify drought*. Drought Network news, Vol.12, No.1, Winter 1999-Spring 2000.
- AquaStress (2008). *Mitigation of Water Stress through new Approaches to Integrating Management, Technical, Economic and Institutional Instruments - Water Stress Mitigation: The AquaStress Case Studies*. Editado por Dionysis Assimacopoulos, School of Chemical Engineering, National Technical University of Athens.
- CHG (2007). *Plan Especial de Sequía de la Cuenca del Guadian*. Confederación Hidrográfica del Guadiana, Badajoz.
- Costa, A.C., Durão, R., Soares, A., Pereira, M. J. (2008). *A Geoestatistical Exploratory Analysis of Precipitation Extremes in Southern Portugal*. REVSTAT – Statistical Journal 6, pp. 21-32.CEC (2007), Communication from the commission to the European Parliament and the Council - Addressing the challenge of Water Scarcity and Droughts in the European Union, Commission of the European Communities, Brussels.
- CPS (2005). *Relatório de Balanço da Seca 2005*, Secretariado técnico da Comissão para a Seca 2005, Instituto da Água, Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Dezembro 2005;
- Domingos, S.I. (2006). *Análise do Índice de seca Standardized Precipitation Index (SPI) em Portugal Continental e sua comparação com o Palmer Drought Severity Index (PDSI)*. Tese de Licenciatura em Meteorologia, Oceanografia e Geofísica Interna – variante Meteorologia, Faculdade de Ciências Universidade de Lisboa.
- Feio, M; Henriques, V. (1986). *As Secas de 1980-81 e 82-83 e as principais Secas anteriores*, Centro de Estudos Geográficos, Lisboa.
- Guttman, N.B. (1999). *Accepting the Standardized Precipitation Index: a calculation algorithm*. Journal of the American Water Resources Association, Vol. 35, 2, 311-322.
- Hughes, B., Saunders, M. (2002). *A Drought climatology for Europe*. International Journal of Climatology 22, pp. 1571-1592.
- INAG (1999). *Plano de Bacia Hidrográfica do Guadiana*.

- INAG, Ministério do Ambiente e dos Recursos Naturais, Lisboa.
- INAG (2005). *Programa de Acompanhamento e Mitigação dos Efeitos da Seca 2005*. Instituto da Água, Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território, Lisboa.
- Mckee, T. B., Doesken, N.J., Kleist, J. (1993). *The relationship of Drought frequency and duration of time scales*. Eight Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Anaheim CA, pp. 179-186.
- Mendes, J. (2008). *Linhas para a elaboração de um Plano de Minimização dos Riscos de Seca em Zonas com Escassez de Recursos Hídricos. O caso da margem esquerda do Guadiana*. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil – Especialização em Hidráulica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- MEDROPLAN (2007). *Drought Management Guidelines*. Instituto Agronomico Mediterraneo de Zaragoza, Zaragoza.
- Mo, K.C. (2008). *Model-Based Indices over the United States*. Journal of Hydrometeorology, Vol. 9, pp. 1212-1230.
- NDMC (2006). *Understanding and defining Drought*. National Drought Mitigation Centre, University of Nebraska-Lincoln (<http://drought.unl.edu/index.htm>).
- Paulo, A.A., Pereira, L.S., Matias, P.G. (2003). *Analysis of local and regional droughts in southern Portugal using the theory of runs and the Standardized Precipitation Index*. In Rossi G, Cancelliere A, Pereira LS, Oweis T, Shatanawi M, Zairi A (eds) *Tools for drought mitigation in Mediterranean Regions*. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, pp 55-78.
- Shukla, S., Wood, A.W. (2008). *Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought*. Geophysical Research Letters. Vol. 35, L02405.
- Steinmann, A., Hayes, M; Cavalcanti, L. (2005). *Drought Indicators and Triggers*. In *Drought and Water Crises: Science, Technology and Management Issues*, Wilhite, D. (ed), CRC press - Taylor & Francis group, ISBN: 0-847-2771-1, pp.71-92.
- Vivas, E., Maia, R. (2008). *Avaliação de Situações de Seca e Escassez de Água em Portugal Continental. Utilização de Indicadores*. Actas do 9º Congresso da Água com o tema - Água: desafios de hoje, exigências de amanhã, Estoril, Portugal, APRH, ISBN 978-97299991-5-4.
- Vivas, E., Maia, R. (2009). *Índice de Avaliação de Efeitos de Seca. Uma nova abordagem*. 4ªs Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, ISBN:978-989-95557-3-0.
- Vivas, E., Maia, R. (2010). *A gestão de Escassez de secas enquadrando as Alterações climáticas*. Revista Recursos Hídricos, Vol. 31, 1, 25-37.
- Wilhite, D.A., Glantz, M.H. (1985). *Understanding the drought phenomenon: The role of definitions*. Water International, 10, 111-120.
- SNIRH (2008). *Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos*, INAG, disponível online em <http://snirh.pt/>. Janeiro, 2008.