

TENDÊNCIAS EM SÉRIES TEMPORAIS DE VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS

TRENDS IN HYDROLOGIC TIME SERIES

M. M. Portela

Professora auxiliar // DECivil, IST // Av. Rovisco Pais, 1094-001, Lisboa // mps@civil.ist.utl.pt

A. C. Quintela

Professor catedrático jubilado // DECivil, IST // Av. Rovisco Pais, 1094-001, Lisboa

J. F. Santos

ESTIG // Portugal // joaof.santos@estig.ipbeja.pt

C. Vaz

Mestre em Engenharia Civil, Consultora

C. Martins

Mestre em Engenharia Civil, Consultor

RESUMO: No decurso da história da Terra ocorreram numerosas mudanças climáticas, algumas com padrões bem identificados. A maior parte dessas mudanças decorreu em períodos de centenas, milhares ou mesmo milhões de anos em resultado de causas naturais. Contudo, nas últimas décadas a comunidade científica tem progressivamente aceite que as emissões para a atmosfera de gases com efeito de estufa têm sido responsáveis pelas mudanças climáticas que aparentam estar a ocorrer no decurso do último século, especialmente, nos últimos 50 anos. Se ocorrerem mudanças do clima num período de tempo recente e tão bem definido, espera-se que tais mudanças estejam patentes – através de tendências ou de quebras de homogeneidade – nas séries temporais das variáveis climáticas mais directamente relacionadas com o clima, como sejam as séries temporais de temperatura e de precipitação. No anterior entendimento, foram efectuados, nos últimos anos, numerosos estudos com o objectivo de identificar tendências em séries temporais longas, designadamente de precipitação, e de analisar tais tendências na perspectiva de que as mesmas constituiriam indícios de mudança climática. O presente artigo contém a descrição sumária dos estudos efectuados e dos modelos para o efeito aplicados, bem como de alguns dos resultados alcançados. Tais resultados indicam que a generalidade das séries temporais de variáveis hidrológicas analisadas não evidenciam alterações de comportamentos que, inequivocamente, indiquem os efeitos atribuídos à mudança climática.

Palavras-chave: mudança climática, séries hidrológicas temporais, detecção de tendências, média móvel, modelos estatísticos.

ABSTRACT: During the history of the Earth several climate changes have occurred, some of them with a well defined pattern. The majority of such changes happened in periods of hundreds, thousands or even millions of years and as results of natural causes. However, recently, it has been progressively accepted by the scientific community that the emissions of greenhouse effect gases to the atmosphere are responsible for the climate changes that seems to be occurring during the last century and especially during the last 50 years. If there were changes in such a recent and well defined period they should be presented – by means of trends or non-homogeneities – in the time series of those variable more directly related with the climate, as the rainfall or the temperature. In the previous scope several studies have been developed in the last years aiming at identifying trends in long hydrological time series and at trying to understand those trends from a climate change perspective. The models applied for that purpose, as well as some of the results achieved are briefly summarized. In general, the studies showed that for the time being most of the hydrologic time series do not exhibit the behavior that is generally pointed out as denoting the effects of the climate change.

Keywords: climate change, hydrologic time series, trend detection, moving average, statistical model.

1. ENQUADRAMENTO

Actualmente existe consenso de que um aumento da temperatura atmosfera resultará numa intensificação do ciclo hidrológico, com consequente aumento da magnitude de alguns dos fenómenos hidrológicos extremos, bem como alteração nos padrões temporais e espaciais da maior parte das variáveis hidrológicas. Espera-se, assim, que algumas regiões, com ênfase para as localizadas a latitudes mais elevadas, se tornem mais húmidas enquanto outras regiões, como as inseridas na bacia mediterrânica, se deverão tornar mais secas (IPCC, 2007, Bates *et al.*, 2008). Para algumas inserções geográficas, em que se inclui o território de Portugal Continental, é frequentemente referido que se espera um aumento da frequência e da magnitude os acontecimentos hidrológicos extremos, nomeadamente, cheias e secas. As anteriores expectativas decorrem, por regra, de modelos de circulação geral da atmosfera (GCM) tendo por base diferentes cenários de concentração na atmosfera de gases com efeitos de estufa.

Não obstante ser normalmente destacada a diminuição da precipitação anual em Portugal Continental, os diferentes cenários climáticos conduzem a resultados substancialmente distintos entre si, provavelmente em consequência da considerável incerteza relativamente às projecções dos quantitativos de precipitação (Santos e Miranda, 2006). No que respeita ao escoamento superficial, os modelos têm menor capacidade para projectar tendências embora sugiram alterações no padrão intra anual, com redução relativa das disponibilidades na Primavera, Verão e Outono (Santos e Miranda, 2006). Admite-se, ainda, que se possa acentuar a assimetria espacial das disponibilidades hídricas superficiais na medida em que se espera um decréscimo dessas disponibilidades mais demarcado ao progredir-se de Norte para Sul (Santos e Miranda, 2006). Tais estudos deixam normalmente escapar uma menor clareza ou mesmo ausência de reflexão no que respeita à diferenciação entre a redução das disponibilidades hídricas que é susceptível de ser atribuída às mudanças climáticas e a escassez de recursos hídricos que se avizinharia mesmo que tais mudanças não ocorressem, devido à crescente e incorrecta utilização daqueles recursos por parte da sociedade moderna.

Ainda no que respeita a Portugal Continental, a par com os autores que se focam na utilizam de GCM para modelar os efeitos das mudanças climáticas, existem outros que sustentam a sua análise no estudo de séries longas de variáveis hidrológicas. É este o caso

da investigação, com mais de 10 anos, subjacente ao presente artigo que, beneficiando de uma base de dados hidrológicos compreendendo algumas centenas de pontos de medição e possuindo séries particularmente longas, utilizou a detecção de tendências nessas séries e a interpretação dessas tendências à luz dos efeitos atribuídos às mudanças climáticas (Portela *et al.*, 2010).

Os primeiros estudos (Portela e Quintela, 1998, 2001) focaram-se em registos mensais, trimestrais e anuais em escassos onze postos udométricos tendo incidido sobre a detecção de tendências através da análise estatística por meio, quer da técnica das médias móveis, quer de técnicas especificamente desenvolvidas para o efeito, baseadas na comparação estatística entre médias de sub séries de uma dada série. Posteriormente, o conjunto de postos objecto de estudo do regime de precipitações foi consideravelmente alargado, tendo passado a incluir 144 postos udométricos (Santos e Portela, 2008) enquanto que, em simultâneo, se diversificavam as séries hidrológicas objecto da detecção de tendências, através da análise do desempenho de albufeiras de regularização sujeitas a diferentes constrangimentos, em termos, quer dos volumes a elas efluentes, quer dos pedidos a satisfazer a partir das mesmas (Portela *et al.*, 2006, Santos, 2008). Mais recentemente, a pesquisa passou a incluir a detecção de tendências em precipitações diárias e nos correspondentes máximos (Vaz, 2008) e a identificação de alterações no padrão intra anual da precipitação (Martins, 2010).

O artigo que se apresenta contém a menção breve aos modelos aplicados nos anteriores estudos, bem como a exemplificação de alguns dos resultados mais relevantes neles alcançados. Globalmente, tais estudos evidenciaram que, por enquanto, a generalidade das séries hidrológicas analisadas não exhibe sinais que possam ser inequivocamente atribuídos às mudanças climáticas, sugerindo que as variáveis que as compõem são muito mais resilientes do que a percepção humana dos fenómenos por elas descritos.

2. MODELOS APLICADOS

No presente item mencionam-se, de modo breve, os modelos utilizados nos diferentes estudos efectuados com o objectivo de detectar tendências em séries de variáveis hidrológicas que, de algum modo, sugerissem os efeitos da mudança climática, sendo que a identificação de tais estudos, bem como a apresentação de alguns dos resultados a que conduziram são objecto do item seguinte.

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 Abril de 2011. Este artigo é parte integrante da *Revista Recursos Hídricos*, Vol. 32, Nº 1, 43-60, Maio de 2011.
© APRH, ISSN 0870-1741

A detecção de tendências incidiu, no essencial, sobre séries longas de precipitação – anual, sazonal, mensal e diária, incluindo, máxima diária – sendo que os modelos para o efeito aplicados tiveram natureza basicamente estatística. A análise do desempenho de albufeiras requereu ainda séries longas de evapotranspirações potenciais e de escoamentos, para o que houve que dispor de registos de variáveis climáticas para além da precipitação e que recorrer à aplicação de modelos, quer de transformação da precipitação em escoamentos, quer de simulação de albufeiras.

A técnica das médias móveis aritméticas (Kenney e Keeping, 1962) foi, sem dúvida, a abordagem mais amplamente aplicada. Trata-se de uma técnica vulgarmente utilizada, tanto para atenuar as flutuações espúrias de curto período numa dada série, como para evidenciar as tendências ou os ciclos longos existentes em tal série.

Para uma série anual com dimensão N , a média móvel com dimensão n é formada pelas médias dos sucessivos $N-n+1$ subconjuntos de n anos consecutivos nos quais a série original é repartida (com $N > n$) – Figura 1.

A dimensão n tem de ser suficientemente grande para assegurar que as sucessivas médias representam estatisticamente os subconjuntos a que respeitam. Como regra prática n não deve ser inferior a 15 anos. A adopção de uma dimensão maior resulta na

diminuição do número de subconjuntos sobre os quais recai a análise de tendências. Nas utilizações objecto de menção no presente artigo a fixação da dimensão dos subconjuntos utilizou a comparação de resultados associados a diferentes valores de n .

Um outro procedimento aplicado às séries de precipitação com o objectivo de detectar quebras de homogeneidade indicativas de tendências utilizou a constituição de sucessivas duas sub séries, temporalmente contíguas a que foram atribuídas as designações de sub séries anterior e posterior e cujas médias são comparadas. A primeira sub série anterior é formada pelos primeiros n elementos da série original e a sub série posterior que lhe corresponde pelos $N-n$ elementos remanescentes. De um grupo de duas sub séries para o grupo que se lhe segue a dimensão da sub série anterior é aumentada de um ano e, conseqüentemente, a da sub série posterior reduzida de um ano, sendo o processo de constituição das sucessivas sub séries emparelhadas repetido até que se atinja a dimensão mínima de n anos para a última sub série posterior – Figura 2. Para uma amostra com dimensão N o número de grupos de duas sub séries sobre os quais recai a comparação de médias é de $(N-2n+1)$, conforme se esquematizou na Figura 2.

A pesquisa de quebras de homogeneidades utilizou a comparação, em termos estatísticos, das médias

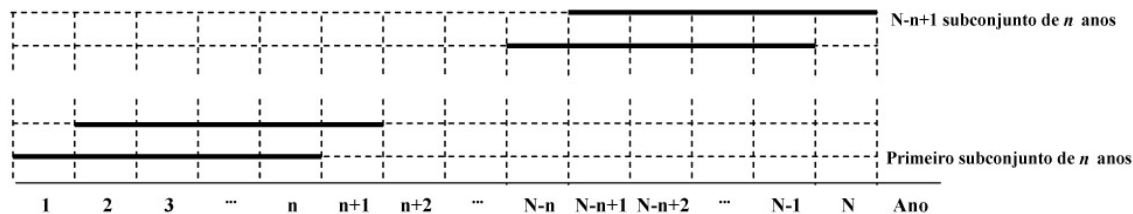


Figura 1 – Representação esquemática dos $N-n+1$ subconjuntos de n anos hidrológicos consecutivos utilizados na determinação das médias móveis com dimensão n .

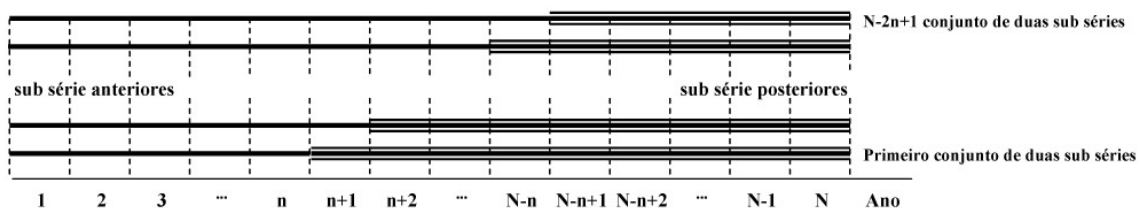


Figura 2 – $N-2n+1$ conjuntos de duas sub séries – uma anterior e outras posterior – temporalmente contíguas utilizadas para detectar quebras de homogeneidade.

de cada duas sub séries anterior e posterior por meio do teste paramétrico de Student e do teste não paramétrico de Mann-Whitney para o que foi aplicado o formalismo apresentado em Yevjevich, 1972, e em Siegel, 1975, respectivamente, também explicitado em Portela e Quintela, 1998, 2001. Considerou-se ocorrer uma quebra de homogeneidade nas médias de duas sub séries emparelhadas sempre que pelo menos um dos anteriores testes assim indicasse.

Mediante análise dos resultados obtidos concluiu-se existirem dois tipos de quebras de homogeneidades: as esporádicas, referentes a curtos períodos de tempo com precipitação anómala (períodos excepcionalmente húmidos ou excepcionalmente secos) e as quebras persistindo ao longo do tempo, referentes a sub séries anteriores e posteriores com médias consistentemente diferentes entre si e indicativas de uma tendência no sentido da diminuição ou do aumento continuados da precipitação. Somente estas últimas quebras de homogeneidade indicam tendências efectivas.

A par com os anteriores procedimentos de detecção de tendências e de quebras de homogeneidade, recorreu-se ainda à aplicação extensiva a séries de precipitações mensais e anuais do teste não paramétrico de Mann-Kendall (Mann, 1945, Kendall, 1975), com descrição incluída em ampla bibliografia e também explicitada em Santos; Portela, 2008.

Apesar de o teste de Mann-Kendall permitir detectar tendências estatisticamente significativas não fornece estimativas das magnitudes dessas tendências. Por tal motivo, a sua aplicação foi complementada por um estimador estatístico da tendência, designadamente, o estimador de declive de Sen, inicialmente proposto por Sen, 1968, e descrito, de acordo com Hirsch *et al.*, 1982, in Lettenmaier *et al.*, 1993, por:

$$D_{ij} = \left[\frac{Y_j - Y_i}{X_j - X_i} \right] \quad \text{para } i > j \text{ e } X_i \neq X_j \quad (1)$$

em que Y_i representa a variável em estudo e X_i , o ano em que ocorre a observação de ordem i . Para estimar a magnitude de uma tendência identificada pelo teste de Mann-Kendall é adoptada a mediana de todos os valores do declive D_{ij} relativo à série Y_i . Alguns autores, como Hirsch *et al.*, 1982, concluíram que a anterior estimativa da magnitude de tendências é robusta mesmo quando na série Y_i ocorrem valores discordantes ou *outliers*. O eventual efeito da sazonalidade também é eliminado desde que se esteja em presença de uma série temporal univariada, como seja a série constituída pela precipitação num dado mês do calendário.

O nível de significância adoptado na aplicação dos três testes mencionados – Student, Mann-Whitney e Mann-Kendall – foi de $\alpha=5\%$, correspondendo-lhe uma probabilidade de não excedência de $1-\alpha/2=0.975$ no pressuposto de testes bilaterias.

No que respeita à detecção de tendências em precipitações extremas, optou-se por apenas incluir no presente artigo menção aos resultados obtidos por ajustamento da lei de Gumbel (Raynali e Salas, 1986, Reiss e Thomas, 2001) separadamente a cada um dos $N-n+1$ subconjuntos com dimensão n constituídos em conformidade com a técnica das médias móveis aplicada a séries de precipitações diárias máximas anuais, Pdma, com dimensão genérica N . Tal ajustamento utilizou o método dos momentos com cálculo da probabilidade empírica de não-excedência por meio de fórmula de Weibull (Cunnane, 1978). Importa anotar que a lei de Gumbel é reconhecida como a lei estatística que melhor caracteriza o fenómeno da precipitação intensa em Portugal Continental (Pereira, 1995, p. 132).

Por fim, os resultados apresentados referentes à detecção de tendências no padrão intra anual da precipitação, bem como nos períodos de ocorrência de precipitações máximas resultaram também da aplicação da técnica das médias móveis, complementada pela comparação entre médias por aplicação dos testes de Student e de Mann-Whitney.

A par com os anteriores estudos procedeu-se ainda à análise do que se designou por desempenho de albufeiras destinadas à satisfação volumes de água para rega. Por “desempenho” de uma albufeira de um aproveitamento hidráulico entende-se a fiabilidade/garantia com que, ao longo do período de vida útil do aproveitamento, é assegurado o pedido para o qual foi estimada, na fase de projecto do aproveitamento, a capacidade útil da albufeira. Representa, portanto, a fiabilidade do fornecimento. Os modelos para o efeito aplicados foram mais amplos e complexos na medida em estava em causa a detecção de tendências, tanto nos volumes afluentes a albufeiras, como nos volumes de água para rega a satisfazer a partir das mesmas. Como as séries de escoamento disponíveis têm, por regra, dimensão francamente inferior às séries de precipitações e, especialmente, insuficiente para sustentar a detecção de tendências, houve que estender a informação hidrométrica disponível para o que foram aplicados modelos de transformação, à escala mensal, de precipitações em escoamentos, designadamente a técnica do balanço hídrico (Thorntwaite, 1948, Lencastre e Franco, 1984, Varenne, 1972-1973) e o modelo de Temez (Temez, 1977, Monreal, 1993). Para analisar as tendências eventualmente exibidas pelos volumes de água requeridos pela rega

estabeleceram-se séries longas de evapotranspirações potenciais mediante utilização das fórmulas de Thornthwaite (Lencastre e Franco, 1973, Quintela, 1967) e de Penman-Montheith (Pereira *et al.*, 2000, Pereira, 2004). O estudo considerou diferentes constrangimentos em termos de volumes de água necessários e de garantias associadas ao fornecimento desses volumes mediante modelos computacionais de simulação da exploração de albufeiras baseados na equação da continuidade (McMahon e Mein, 1978, McMahon e Adeloye, 2005, Portela e Quintela, 2000).

3. RESULTADOS

3.1. Tendências e quebras de homogeneidade em séries de precipitações anuais, mensais e trimestrais em 11 postos udométricos

Os primeiros estudos de detecção de tendências, incluindo a identificação de quebras persistentes de

homogeneidade, incidiram sobre séries de precipitações anuais, mensais e em períodos específicos do ano nos postos udométricos com números de ordem de 1 a 11 esquematicamente localizados na Figura 3 e objecto do Quadro 1. A dimensão *n* de cálculo das médias móveis e mínima das sub séries anterior e posterior foi fixada em 15 anos com base na verificação de que dimensões superiores não alteravam as conclusões passíveis de serem extraídas dos resultados então alcançados, sendo que dimensões inferiores evidenciavam por demais a ocorrência de anos com características extremas (anos muito húmidos ou muito secos) sem que, contudo, tais anos implicassem alteração das condições médias de precipitação (Portela e Quintela, 1998, 2001).

Os resultados obtidos estão exemplificados nas Figuras 4 e 5 referentes aos postos de Évora e de Torre de Moncorvo, com os números 7 e 10, respectivamente, e com 95 e 117 anos de registos de precipitação mensal.

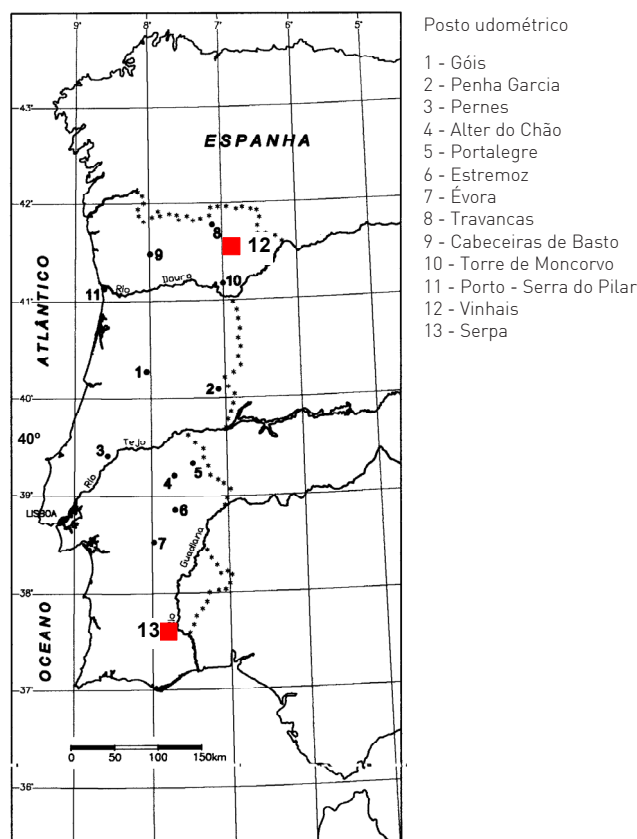


Figura 3 - Localização de alguns dos postos udométricos sobre os quais incidiu a detecção de tendências.

O primeiro gráfico – identificado por a) – de cada uma das anteriores figuras contém a representação das médias móveis das precipitações anuais, no primeiro e no segundo trimestres do ano (de Outubro a Dezembro e de Janeiro a Março, respectivamente) e no mês de Março, sendo que as médias das sucessivas sub-séries anteriores e posteriores das precipitações em cada um daqueles intervalos de tempo estão representadas nos gráficos identificados por c1) a c4). Tanto no caso dos gráficos a), como no dos gráficos c1) a c4), as médias móveis foram tornadas adimensionais por divisão pelas médias das precipitações nos correspondentes períodos globais de registos (95 e 117 anos, como antes explicitado). Cada média móvel foi atribuída ao ano de início do respectivo subconjunto de $n=15$ anos consecutivos, sendo que, nos gráficos b) e c1) a c4), as médias de cada duas sub-séries anterior e posterior foram atribuídas ao último ano da correspondente sub-série anterior. Cada um dos anos destacado nos gráficos b) é tal que, de acordo com pelo menos um dos testes de Student e de Mann-Whitney, a média da sub-série anterior que finaliza nesse ano é significativamente diferente da média da sub-série posterior que se inicia no ano imediatamente seguinte. Para simplificar a representação de resultados, optou-se por identificar os anos hidrológicos pelos anos civis em que se iniciam.

As Figuras 4 e 5 evidenciam o facto de nos dois postos udométricos aí representados a precipitação em Março exibir uma nítida tendência de decréscimo a qual explica o decréscimo também evidenciado pela precipitação no segundo trimestre do ano hidrológico. Os gráficos b) reforçam os anteriores resultados indicando que apenas no caso do mês de Março e do segundo trimestre do ano hidrológico ocorrem quebras de homogeneidade persistentes, indicativas de tendências que, de acordo com os demais gráficos, se conclui apontarem no sentido da diminuição das correspondentes precipitações.

Para cada um dos 11 postos udométricos sobre os quais recaiu o estudo de Portela e Quintela, 1998, 2001, indicam-se, no Quadro 1, as médias das precipitações nos correspondentes períodos de registos. Tal informação é complementada pelas médias daquelas precipitações nos últimos períodos de 15 anos então analisados, para o que tais médias foram expressas em termos adimensionais por divisão pelas médias nos correspondentes períodos de registos.

O quadro anterior evidencia, mais uma vez, o decréscimo acentuado da precipitação em Março e, embora menos acentuado, no trimestre de Janeiro a Março em todos os postos analisados. No que respeita à precipitação anual, verifica-se que, exceptuando o posto de Alter do Chão, nos demais postos os últimos 15 anos analisados apresentaram precipitações

ligeiramente abaixo das correspondentes médias. Contudo, os testes aplicados indicaram que tal facto não consubstancia quebras de homogeneidade sendo explicado pela variabilidade natural da precipitação anual.

3.2. Tendências em séries de precipitações mensais e anuais em 144 postos udométricos

A aplicação do teste de Mann-Kendall e do estimador de declive de Sen incidiu sobre séries anuais e mensais de precipitação no período de 94 anos hidrológicos, entre 1910/11 e 2004/05 em 144 postos udométricos tão dispersos quanto possível pelo território nacional (Santos e Portela, 2008). Algumas das séries originais de precipitação apresentavam falhas esporádicas que foram preenchidas por análise de regressão linear simples (Yevjevich, 1972), especialmente adequada quando existem registos em postos próximos da cada posto objecto de preenchimento de falhas de registo. Dado que o preenchimento de falhas que permitiu dispor de séries longas se reveste de alguma relevância quando está em causa a detecção de tendências, refere-se, seguidamente, embora de modo breve, o procedimento para o efeito adoptado, que, para tanto, foi implementado extensivamente por meio de cálculo computacional.

Seja P1 um posto que exibe uma falha no mês m_i de um dado ano, e P1.k, os k postos geograficamente mais próximos de P1 e tais que possuem os registos no mês e ano em que P1 tem falha. Para cada um destes postos são identificados os anos com registos da precipitação no mês m_i , tanto em P1.k, como em P1 – período comum com registos de precipitação no mês em causa. O preenchimento da falha de registo no posto P1 baseou-se, de entre os k postos P1.k, naquele que conduz à mais elevada correlação entre precipitações no mês m_i no período comum. Identificado o posto P1.k, segue-se o preenchimento propriamente dito, efectuado por aplicação às séries de precipitação no mês m_i nos postos P1 e P1.k do modelo de regressão linear simples sem termo aleatório.

De acordo com tal modelo, a estimativa, Y'_t , da precipitação no mês m_i em falta no posto P1 no ano t ($1 \leq t \leq N$) a partir da precipitação conhecida, para aquele ano e mês, em P1.k, W_p , obtém-se por meio de:

$$Y'_t = \bar{Y} + b (W_t - \bar{W}) + \delta \theta \sqrt{1-r^2} s_y \varepsilon_t \quad (2)$$

em que \bar{W} e \bar{Y} representam as médias de W e de Y e s_x e s_y , os respectivos desvios-padrão (com correcção do viés). As estimativas de b e de r são dadas por:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N Y_i (W_i - \bar{W})}{\sum_{i=1}^N (W_i - \bar{W})^2} \quad (3)$$

$$r = b s_x / s_y$$

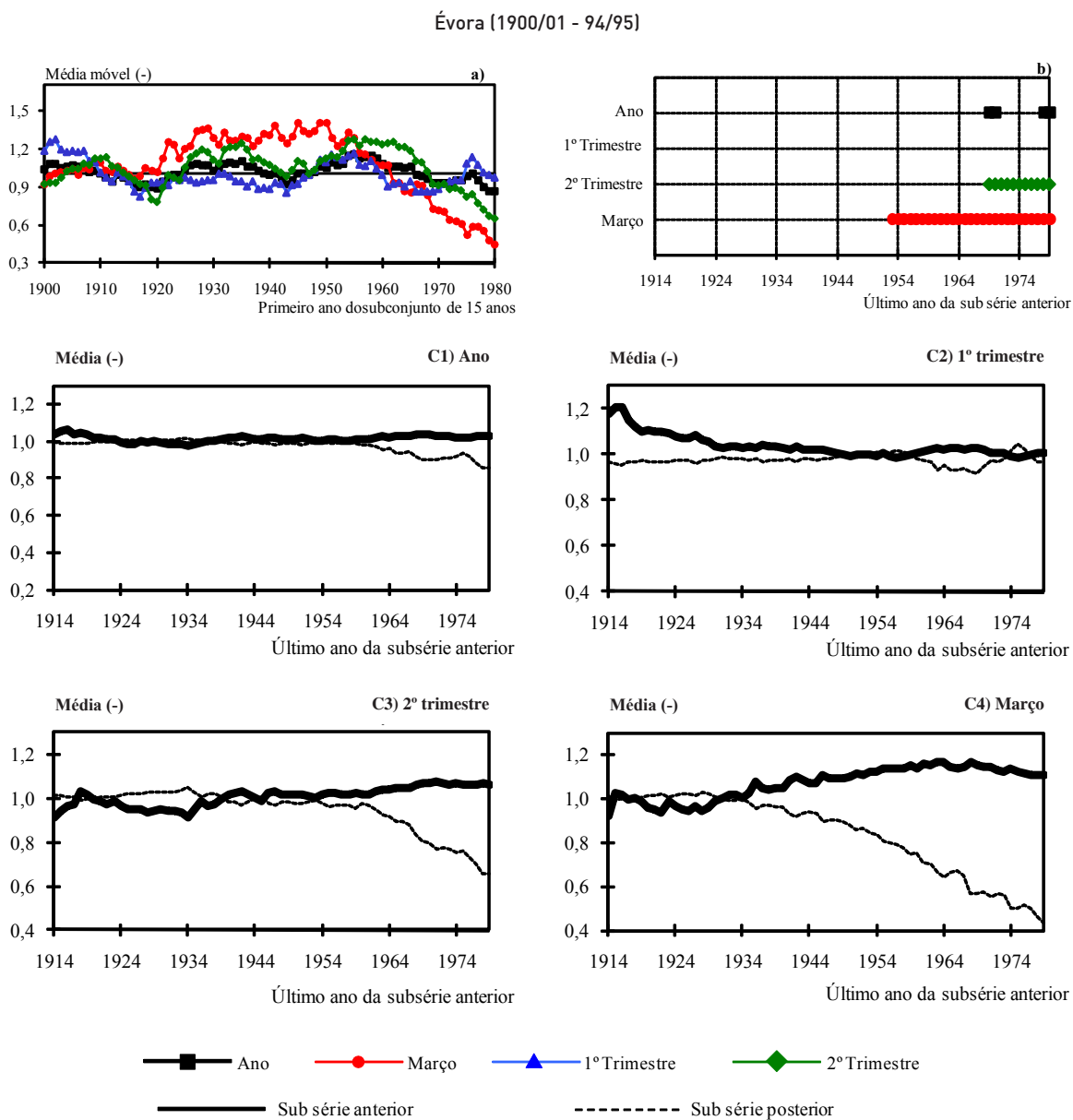


Figura 4 - Posto udométrico de Évora. Outubro de 1901 a Setembro de 1994 [N=95 anos hidrológicos]: a) médias móveis adimensionais em subconjuntos de $n=15$ anos; b) anos com ocorrência de quebras de homogeneidade; e c1) a c4) médias adimensionais dos sucessivos conjuntos de duas sub séries, uma anterior e outra posterior.

Torre de Moncorvo (1878/79 - 1994/95)

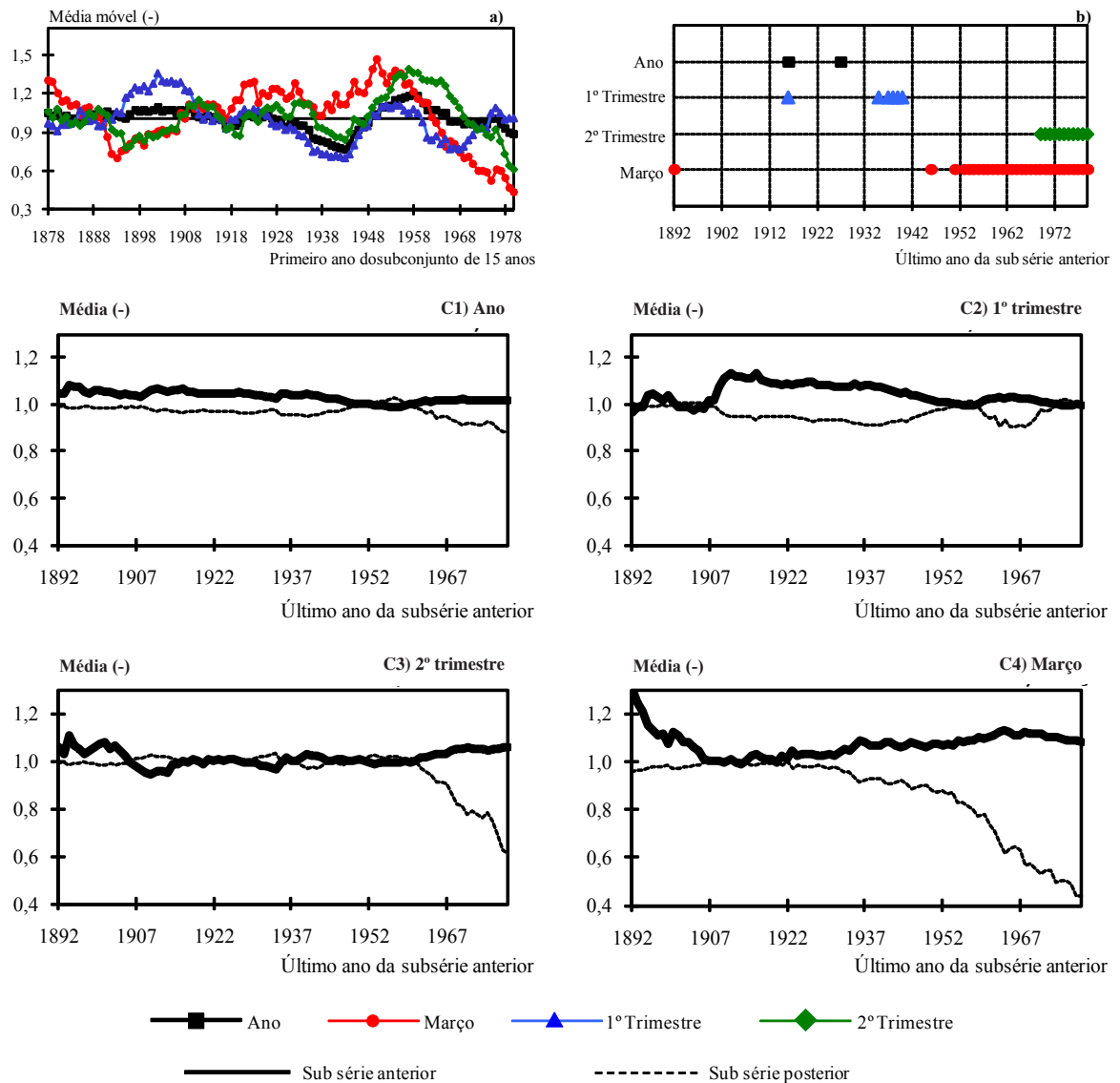


Figura 5 – Posto udométrico de Torre de Moncorvo. Outubro de 1878 a Setembro de 1995 ($N=117$ anos hidrológicos): a) médias móveis adimensionais em subconjuntos de $n=15$ anos; b) anos com ocorrência de quebras de homogeneidade; e c1) a c4) médias adimensionais dos sucessivos conjuntos de duas sub séries, uma anterior e outra posterior.

Quadro 1 – Postos udométricos 1 a 11 da Figura 3. Médias das precipitações anuais, nos primeiros e nos segundos trimestres e nos meses de Março nos períodos de registos e adimensionais, nos últimos conjuntos de 15 anos analisados.

Posto udométrico	Período de registo					Últimos 15 anos				
	Período (de Outubro a Setembro)	Precipitação média				Período (de Outubro a Setembro)	Precipitação média adimensional			
		Ano (mm)	1º trimestre (mm)	2º trimestre (mm)	Março (mm)		Ano (-)	1º trimestre (-)	2º trimestre (-)	Março (-)
Góis	1917 - 1999	1162	404	441	132	1985 - 1999	0.927	1.040	0.755	0.439
Penha Garcia	1910 - 1999	803	306	289	89	1985 - 1999	0.976	1.123	0.800	0.368
Pernes	1915 - 1995	834	310	323	100	1981 - 1995	0.784	0.922	0.589	0.376
Alter do Chão	1911 - 1999	625	224	236	72	1985 - 1999	1.028	1.212	0.820	0.436
Portalegre	1910 - 1997	854	312	325	101	1983 - 1997	0.975	1.105	0.762	0.436
Estremoz	1911 - 1995	658	243	248	82	1981 - 1995	0.878	1.022	0.651	0.434
Évora	1900 - 1996	640	239	240	76	1982 - 1996	0.924	1.049	0.724	0.418
Travancas	1913 - 1999	993	345	336	101	1985 - 1999	0.935	1.061	0.727	0.451
Cabeceiras Basto	1913 - 1999	1505	527	562	166	1985 - 1999	0.982	1.173	0.775	0.394
Torre Moncorvo	1878 - 1995	563	204	173	54	1981 - 1995	0.882	1.012	0.614	0.442
Porto-Serra Pilar	1900 - 1994	1187	440	415	127	1980 - 1994	0.985	1.075	0.796	0.651

O termo \mathbf{E} representa uma variável aleatória normal com média nula e variância unitária e o parâmetro θ traduz a possibilidade de incluir ($\theta = 1$) ou não ($\theta = 0$) tal termo aleatório. O parâmetro δ destina-se a eliminar o viés na estimativa da variância de Y , sendo dado por, Matalas e Jacobs, 1964:

$$\delta = \sqrt{\frac{N1(N-4)(N-1)}{(N1-1)(N-3)(N-2)}} \quad [4]$$

em que $(N1+N)$ representa a dimensão da sequência preenchida.

Na aplicação do anterior modelo, cada valor da precipitação em falta foi preenchido a partir dos $k=30$ postos udométricos que, sendo geograficamente mais próximos, dispõem de registos no mês m , não se tendo considerado a aplicação do termo aleatório ($\theta = 0$). Menciona-se, ainda, que o período comum com registos em cada mês objecto de preenchimento tem de ser suficientemente longo de modo a que a equação de regressão linear possa “reproduzir”, com o menor erro de amostragem possível, a variável em causa.

No que respeita aos resultados da aplicação do teste de Mann-Kendall, concluiu-se que a maior parte das tendências exibidas pelas 144 amostras analisadas de precipitações mensais e anuais não tinha significado estatístico, sendo explicada pela variabilidade natural das precipitações. Sempre que o teste de Mann-Kendall indicava uma tendência estatisticamente significativa a nível da precipitação, quer anual, quer num dado mês procedeu-se à aplicação do estimador de declive de Sen, com quantificação da magnitude dessa tendência.

Os resultados obtidos foram inseridos num sistema de informação geográfica de modo a produzir mapas com a variação espacial do estimador de declive de Sen. A interpolação espacial utilizou a técnica de Kriging. Tais resultados são apresentados na Figura 6 que inclui a representação esquemática, por meio de pontos, da localização dos 144 postos udométricos utilizados no estudo.

Um dado valor num dos mapas da Figura 6 representa a variação anual (no sentido do aumento ou da diminuição, consoante o sinal de que está afectada seja positivo ou negativo) da precipitação no intervalo de tempo em causa, expressa em percentagem da correspondente precipitação média no período analisado de 94 anos.

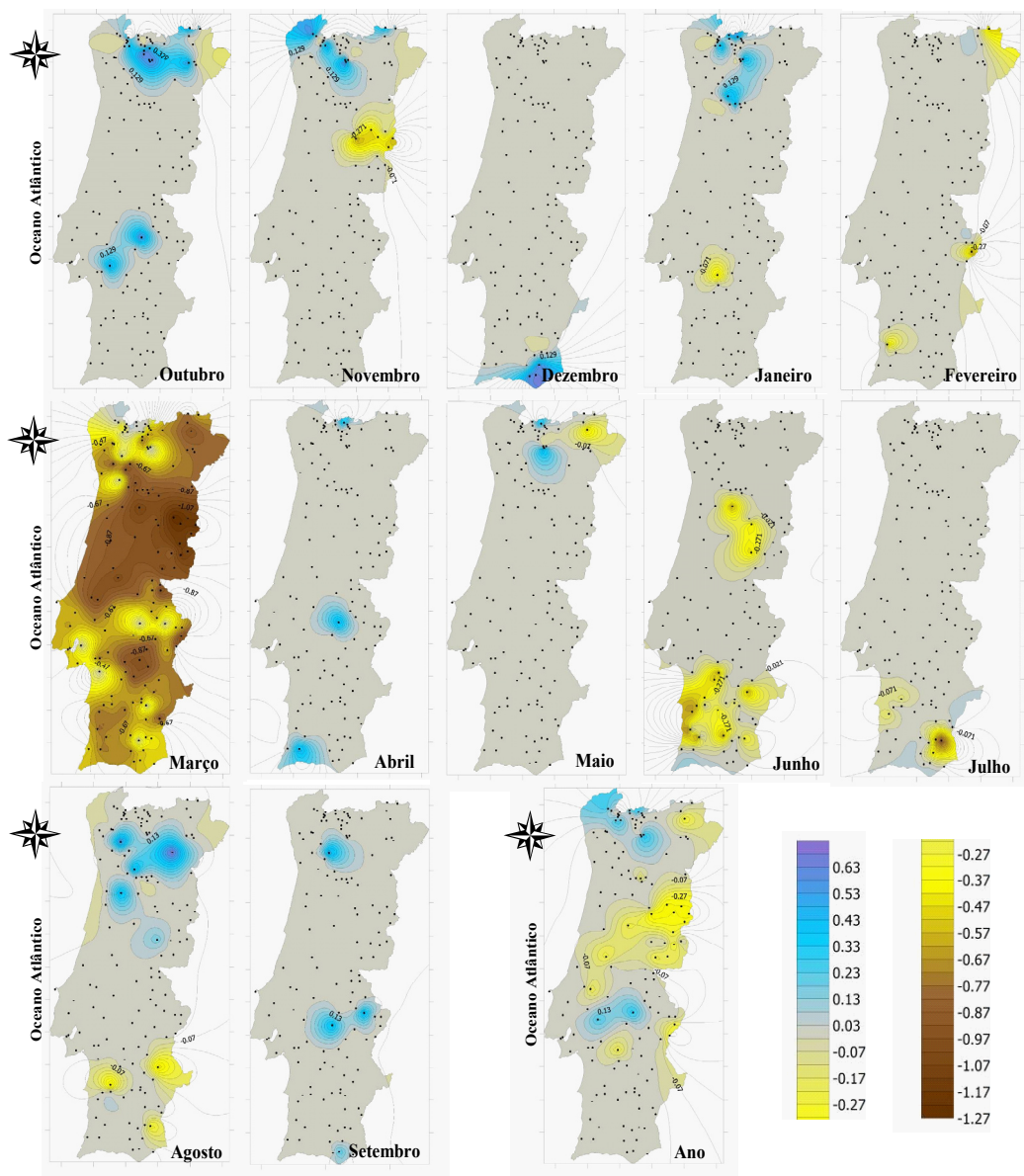


Figura 6 – Tendências em séries de precipitação mensal e anual nos 144 postos udométricos esquematicamente localizados por meio de pontos. Para cada intervalo de tempo (dado mês ou ano) a escala representa a variação anual (azul para aumento e amarelo/castanho para diminuição) da precipitação expressa em percentagem da correspondente precipitação média.

A anterior figura evidencia que as variações de precipitação são espacialmente muito circunscritas e com valores percentuais praticamente negligenciáveis. Apenas a precipitação em Março exibe uma tendência de decréscimo generalizada. Contudo, importa anotar que exceptuando uma reduzida área do Noroeste do Continental, a precipitação em Março é por regra inferior a 150 mm o que significa que um decréscimo máximo, de acordo com o estimador de Sen, de cerca de 1.3% representa um decréscimo absoluto de apenas cerca de 2 mm.

3.3. Tendências em séries de precipitações diárias máximas anuais em 24 postos udométricos

Mencionam-se seguidamente alguns dos resultados obtidos por Vaz, 2008. Importa anotar que apesar de esse estudo ter também compreendido a análise de precipitações diárias e dos números de dias com precipitação, optou-se por restringir a apresentação de resultados aos referentes a precipitações diárias máximas anuais, Pd_{ma}.

Para analisar o efeito da consideração de diferentes períodos de tempo nas estimativas das Pd_{ma} fornecidas pela lei de Gumbel procedeu-se ao estudo das amostras dessas precipitações nos 24 postos udométricos identificados no Quadro 2 que contém ainda a identificação das bacias hidrográficas em que os postos se situam e dos períodos de registos adoptados no estudo.

Em cada um dos anteriores 24 postos udométricos

constituíram-se, de acordo com a técnica das médias móveis, os sucessivos subconjuntos de n anos consecutivos, com ajuste da lei da Gumbel a cada um desses subconjuntos. Na medida em estava em causa o ajuste de uma lei estatística, considerou-se adequado aumentar, comparativamente a estudos antecedentes, a dimensão n dos sucessivos subconjuntos de 15 para 25 anos. De acordo com as dimensões mínima (70 anos) e máxima (92 anos) das séries disponíveis de Pd_{ma} resultaram, assim, entre 46 e 69 subconjuntos de 25 anos consecutivos cada.

A Figura 7 contém os resultados obtidos em três postos do Quadro 3, adoptados como exemplificativos da generalidade dos resultados do estudo, designadamente nos postos de Pernes, Vinhais e Serpa (com os números 3, 12 e 13 na Figura 3).

Na Figura 7 esquematizam-se as funções de distribuição da lei de Gumbel tendo por base os primeiros cinco subconjuntos de 25 anos consecutivos (curvas referenciadas por I) e os últimos subconjuntos de 25 anos consecutivos (curvas referenciadas por II). As curvas foram representadas sobre papel de probabilidade da lei normal. O eixo vertical de cada gráfico foi tornado adimensional por divisão das estimativas das precipitações diárias máximas anuais pela respectiva média da precipitação diária máxima anual no correspondente período de registos (Pd_{ma, média}). No eixo horizontal F representa a probabilidade de não excedência, tendo a probabilidade de $F=0.99$ sido realçada por meio de um segmento de recta vertical, representado a tracejado.

Quadro 2 – Identificação dos postos udométricos com séries de precipitações diárias máximas anuais analisadas por Vaz, 2008.

Posto udométrico	Bacia hidrográfica	Período de registos (n.º de anos)	Posto udométrico	Bacia hidrográfica	Período de registos (n.º de anos)
Viatodos	Ave	1932/33-2001/02 [70]	Pragança	Rib. Oeste	1928/29-2001/02 [74]
Alfândega da Fé	Douro	1913/14-2004/05 [92]	Alcafozes	Tejo	1911/12-1982/83 [72]
Castro D'aire		1916/17-2000/01 [85]	Alvaiázere		1931/32-2001/02 [71]
Chacim		1932/33-2001/02 [70]	Chouto		1911/12-2001/02 [91]
Gestosa		1932/33-2002/03 [71]	Gavião		1931/32-2002/03 [72]
Moimenta da Raia		1932/33-2001/02 [70]	Muge		1932/33-2002/03 [71]
Penafiel		1912/13-1996/97 [85]	Pavia		1911/12-2003/04 [93]
Travancas		1932/33-2001/02 [70]	Penha Garcia		1910/11-1995/96 [86]
Vinhais		1913/14-2000/01 [88]	Pernes		1914/15-2001/02 [88]
Fajão	Mondego	1931/32-2004/05 [74]	V.Nogueira de Azeitão		1931/32-2000/01 [70]
Góis		1917/18-1995/96 [79]	Relíquias	Mira	1932/33-2001/02 [70]
Santa Comba Dão		1932/33-2001/02 [70]	Serpa	Guadiana	1932/33-2001/02 [70]

A Figura 7 permite concluir que no posto de Vinhais, localizado no Norte de Portugal, as estimativas da precipitação diária máxima anual baseadas no ajuste da lei de Gumbel a registos de Pdma mais antigos são inferiores às obtidas a partir dos registos mais recentes, sendo que no posto udométrico de Serpa (no Sul de Portugal) a situação é inversa e no posto de Pernes (no Centro do País) as estimativas baseadas nos diferentes períodos em causa são muito próximas. Julga-se que, independentemente da grandeza relativa das diferentes estimativas da Pdma, as anteriores observações conduzem à conclusão incontornável de que a estimação de precipitações diárias máximas anuais para um dado posto udométrico deve considerar diferentes períodos de registo, sendo que os valores a adoptar como critério de projecto têm de resultar da comparação das estimativas assim obtidas. Concretamente e atendendo a que o estudo das precipitações extremas visa normalmente estudos subsequentes de análise de cheias, admite-se que se a consideração de períodos de registos mais recentes indicar estimativas mais elevadas, tais estimativas devem ser as adoptadas. Em circunstância alguma se recomenda a adopção de períodos de registos mais recentes se tais períodos conduzirem a menores estimativas das precipitações diárias máximas anuais. Nestas circunstâncias admite-se que sejam de adoptar as estimativas obtidas mediante a consideração de todos os registos disponíveis. Uma outra conclusão do estudo prende-se com a constatação de que o comportamento das precipitações extremas em Portugal Continental pode negar – caso do posto de Vinhais e, de certa forma, também de Pernes – ou confirmar – caso do posto de Serpa – a tendência de aumento de tais precipitações

que se espera ocorrer em Portugal Continental em consequência das mudanças climáticas. No conjunto das 24 séries de Pdma analisadas o estudo efectuado mostrou não ser possível identificar inequivocamente tendências ou padrões globais de variação das precipitações intensas que indicassem ou que contradissem os efeitos atribuídos à alteração climática. Em conformidade com a bibliografia consultada, tais efeitos deveriam apontar no sentido da intensificação dos fenómenos pluviosos extremos (mais dias com precipitações mais excepcionais), embora com redução dos dias com precipitação. Com efeito, as amostras analisadas exibem comportamentos individualizados, como tal, insusceptíveis de serem generalizados.

3.4. Alterações dos padrões temporais da precipitação em 31 postos udométricos

No último estudo focando precipitações objecto de menção no presente artigo (Martins, 2010) foram aplicados quatro procedimentos diferentes mediante recurso à técnica das médias móveis complementada pela aplicação dos testes de Student e de Mann-Whitney. Dois procedimentos incidiram sobre a análise de máximos de precipitação e visaram a identificar eventuais alterações: nas séries correspondentes à contribuição, para o total anual, dos três meses, em cada ano, com mais elevada precipitação (procedimento 1); e no período do ano em que mais frequentemente ocorre a precipitação máxima mensal (procedimento 2). Os restantes dois procedimentos incidiram sobre a distribuição intra-anual da precipitação, tendo sido analisados: os meses em que, em média, a precipitação

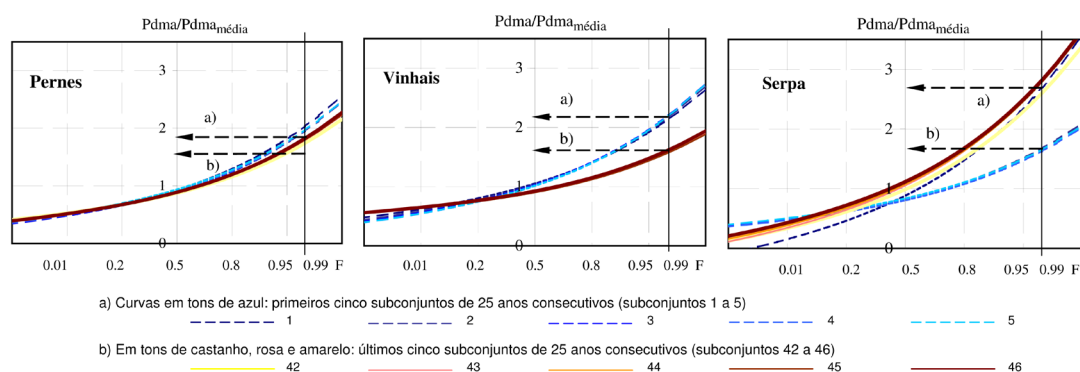


Figura 7 – Postos udométricos de Pernes, Vinhais e Serpa. Aplicação da lei de Gumbel a diferentes períodos de 25 anos consecutivos.

totaliza 20, 40, 60 e 80% da correspondente precipitação anual (procedimento 3); e ainda a contribuição, expressa em termos adimensionais por referência a um trimestre médio de um período de 25 anos, de cada um dos trimestres do ano hidrológico para a precipitação anual (procedimento 4).

Os resultados da pesquisa de alterações nas características das diferentes séries temporais consideradas foram analisados, quer graficamente (apreciação subjectiva), para o que, previamente, se estabeleceram critérios que se admitiu traduzirem os efeitos atribuíveis à mudança climática, quer por aplicação de testes de homogeneidade (apreciação objectiva) que incidiram sobre a significância da diferença entre médias, designadamente, os testes de Student e de Mann-Whitney.

Na definição dos critérios que sustentaram a apreciação subjectiva, atendeu-se a que a mudança climática a ocorrer deve resultar: (i) numa maior frequência, em especial ao longo das últimas décadas, dos fenómenos extremos, designadamente dos episódios de precipitação mais elevada, sobretudo nas latitudes médias e altas, e de secas, nas latitudes médias (Santos e Miranda, 2006); (ii) numa transferência de precipitação entre períodos do ano hidrológico ou numa alteração significativa dos valores médios característicos de um determinado período do ano hidrológico.

Assim, no que se refere à contribuição, para a precipitação em cada ano, dos três meses com maior precipitação (objecto do procedimento 1), considerou-se ocorrer uma alteração indicativa de mudança climática se tal contribuição denotasse uma maior concentração da precipitação (em média, uma maior fracção da precipitação a ocorrer nos meses mais chuvosos).

No que respeita ao período do ano em que mais frequentemente ocorre a máxima precipitação mensal (objecto do procedimento 2), considerou-se que uma mudança no padrão climático deveria corresponder a uma mudança efectiva daquele período ou, mantendo-se o período, a um aumento da frequência de ocorrência da máxima precipitação mensal no mesmo.

Relativamente ao mês em que, em média, a precipitação totaliza 20, 40, 60 e 80% da precipitação anual (procedimento 3), entendeu-se ocorrer uma alteração conforme com as expectativas associadas à mudança climática se os resultados indicassem a progressiva concentração da precipitação nos meses iniciais do ano hidrológico.

Por fim, no que respeita à contribuição adimensional da precipitação em cada um dos trimestres dos sucessivos anos hidrológicos (procedimento 4)

considerou-se que uma mudança no padrão climático corresponderia a uma alteração do trimestre mais contributivo, ou, mantendo-se esse trimestre, a uma alteração significativa da contribuição do mesmo para a precipitação anual.

O estudo utilizou registos de precipitações mensais no período de 94 anos entre 1910/11 to 2003/04 nos 31 postos udométricos de Portugal Continental identificados no Quadro 3, escolhidos de entre os 144 postos estudados por Santos e Portela, 2008, por serem representativos da gama das precipitações em Portugal Continental e por estarem geograficamente dispersos pelo território nacional.

A generalidade dos indícios detectados como sendo susceptíveis de serem associados aos efeitos esperados da mudança climática revelou não ter significado estatístico estando, portanto, compreendida na variabilidade temporal natural da precipitação.

Houve, contudo, um indício de alteração do padrão intra-anual da precipitação comum a quase todos os postos analisados, com significado estatístico, que, de algum modo, pode ser considerado indicativo do efeito da mudança climática e que respeita ao facto de o 2º trimestre do ano hidrológico (Janeiro a Março) aparentar estar a ser “substituído” pelo 1º trimestre desse ano (Outubro a Dezembro) que passou a constituir o período mais frequente de ocorrência da precipitação mensal máxima, bem como o período mais contributivo para o total anual de precipitação.

Tal circunstância é de certa forma consequência e, como tal, consistente com a acentuada redução da precipitação no mês de Março ao longo das últimas três décadas, detectada por numerosos autores, tais como Mendes e Coelho, 1993, Corte-Real *et al.*, 1998, Portela e Quintela, 1998, 2001, Santos e Portela, 2008. As Figuras 8 e 9 contêm resultados da detecção de tendências em conformidade com os procedimentos 2 e 4 e que exemplificam de modo muito claro a “substituição” do 2º trimestre pelo 1º trimestre ao progredir-se no sentido dos registos mais recente de precipitação. Importa anotar que, para a generalidade dos postos analisados, os testes de Student e de Mann-Whitney conferiram significado estatístico a tal substituição.

Quadro 3 – Identificação dos postos udométricos com séries de precipitações mensais no período de 94 anos, entre 1910/11 e 2003/04 analisadas por Martins, 2010.

Posto udométrico	Bacia hidrográfica	Posto udométrico	Bacia hidrográfica	Posto udométrico	Bacia hidrográfica
Cabana Maior	Lima	Vale de Espinho	Douro	Sobral de Monte Agraço	Rib. Oeste
Leonte	Cávado/Rib. costeiras	Porto Taveiro	Mondego	Moinhola	Sado
S. Bento da Porta Aberta		Penhas Douradas		Tejo	Caia
Moimenta da Raia	Douro	Ladoeiro	Amieira		
Firvidas		Castelo Branco	Azinheira Barros		
Lixa do Alvão		Vila Velha de Ródão	Algodôr		
Bornes		Pernes	Castro Verde		
Sobrado de Paiva		Monte Camões	Giões		
Escalhão		Alcochete	Monchique		Arade
Ariz		Caneças	Loulé		Rib. Algarve
Pega					

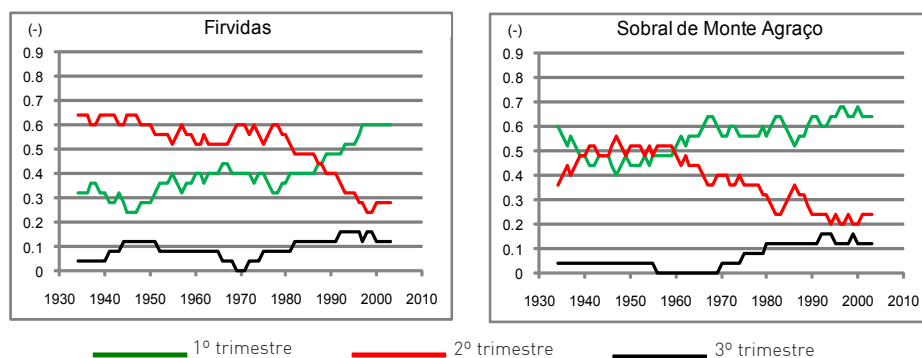


Figura 8 – Postos udométricos de Firvidas e de Sobral de Monte Agraço (bacias hidrográficas do rio Douro e das ribeiras do Oeste, respectivamente). Procedimento 2: análise da frequência relativa da ocorrência do mês com mais elevada precipitação no 1º e 2º trimestres e no 2º semestre do ano hidrológico, em sucessivos períodos de 25 anos.

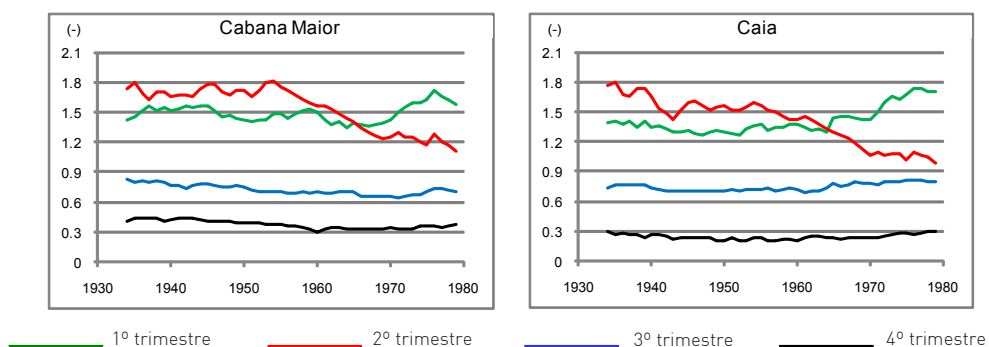


Figura 9 – Postos udométricos de Cabana Maior e de Caia (bacias hidrográficas dos rios Lima e Guadiana, respectivamente). Procedimento 4: análise por médias móveis de 25 anos da contribuição adimensional de cada trimestre para a precipitação anual.

3.5. Tendências em séries de escoamento e no desempenho de albufeiras

A par com a análise de séries longas de precipitação, desenvolveram-se estudos destinados a averiguar tendências em séries de escoamento e em indicadores de desempenho de albufeiras de regularização destinadas ao abastecimento de água para rega (Portela *et al.*, 2006, Santos, 2008).

Com efeito, a variabilidade temporal e espacial intrínseca do regime hidrológico em Portugal Continental conduz à necessidade de dispor de albufeiras para satisfazer muitos dos usos e utilizações de água, sendo que um número significativo dessas albufeiras é criado por barragens construídas há algumas dezenas de anos. Surgiu, assim, a hipótese de, em consequência dos efeitos atribuídos às mudanças climáticas, tais reservatórios já não serem capazes de assegurar os fornecimentos para os quais foram dimensionados com as garantias previstas nos respectivos projectos. A anterior hipótese afigurou-se particularmente pertinente no caso de albufeiras destinadas ao fornecimento de água para rega em que os efeitos atribuídos às mudanças climáticas interagem numa dupla vertente, pois espera-se que resultem numa redução das disponibilidades hídricas de superfície e num aumento das necessidades de água para rega.

Como especificado no item 2, por "desempenho" de uma albufeira de um aproveitamento hidráulico entendeu-se a fiabilidade/garantia com que, ao longo do período de vida do aproveitamento, é assegurado o pedido para o qual foi originalmente estimada a capacidade útil a dispor na albufeira.

A análise da anterior questão utilizou os dez hipotéticos reservatórios coincidentes com as estações hidrométricas especificadas na Figura 10. Em cada uma das anteriores estações a respectiva série de escoamentos mensais foi completada e prolongada para o período de 94 anos, entre 1910/11 e 2003/04 para o que foram ensaiados dois modelos de transformação, à escala mensal, da precipitação em escoamento, designadamente os modelos do balanço hídrico e de Temez, tendo-se optado por este último modelo.

A cada hipotética origem de água foram atribuídos diferentes pedidos de água, para o que tais pedidos foram expressos em percentagem da afluência anual média a essa origem. Apenas se consideraram pedidos sazonais, concretamente, concentrados no período de cinco meses entre Maio e Setembro tendo-lhes sido atribuído um padrão de variação inter e intra anual, que, de algum modo, mimetizasse o padrão mensal da evapotranspiração. Para tanto, adoptou-se a evapotranspiração potencial de Thornthwaite, cujos

valores foram especificados para o período adoptado nos estudos (1910/11 a 2003/04). Dado que o padrão de variação temporal do pedido assim estabelecido atende apenas a factores climáticos, procedeu-se à sua combinação com uma sequência de coeficientes culturais que traduzisse o ciclo vegetativo das culturas a regar. Resultou, assim, o padrão temporal do pedido expresso pela seguinte equação:

$$Pe_{i,j} = Pe_j \times \frac{kc_i \times EVP_{i,j}}{\sum_{i=8}^{12} (kc_i \times EVP_{i,j})} \quad [5]$$

em que $Pe_{i,j}$ (hm³) representa o volume de água a fornecer no mês i (com $i=8, \dots, 12$, em correspondência com o número de ordem, no ano hidrológico, dos cinco meses de rega, entre Maio - $i=8$ - e Setembro - $i=12$) do ano hidrológico j (com $j=1, 2, \dots, n$, sendo $n=94$) Pe_j ; (hm³) o volume de água total a fornecer nesse mesmo ano j ; $EVP_{i,j}$ (mm) a evapotranspiração potencial mensal no mês i do ano j ; e kc_i , o coeficiente cultural no mês i , (com os valores de 0.84, 1.11, 1.25, 1.25 e 1.10 respectivamente para os sucessivos meses entre Maio e Setembro).

Como mencionado, a análise do desempenho de cada uma das hipotéticas albufeiras recorreu a modelos computacionais de simulação da exploração mensal baseados na equação da continuidade, no pressuposto de fornecimento de diferentes volumes de rega com diferentes garantias. Para cada par de valores do volume a fornecer e da garantia avaliaram-se as capacidades úteis da albufeira que, ao longo do tempo, asseguram esse fornecimento com essa garantia. Para tanto, a garantia foi entendida como a percentagem do número total de períodos, de um intervalo de tempo, compreendendo numerosos anos, em que o volume de água solicitado é integralmente assegurado. Nos restantes períodos ocorrerão, portanto, restrições parciais ou totais ao fornecimento (McMahon e Mein, 1978, Grigg, 1996, Lanna, 1993).

Os resultados obtidos em termos das tendências exibidas pelos volumes afluentes e pelas capacidades úteis necessárias para assegurar diferentes pedidos estão sistematizados na Figura 10 para o que se adoptou uma representação esquemática. A figura tem subjacente pedidos de água variáveis entre 30 e 70% das respectivas afluências anuais médias combinados com garantias de fornecimento de 80 e de 90%. Dado o estudo ter sido efectuado à escala mensal, a garantia representa a percentagem do número de meses em que houve satisfação integral do pedido.

As setas vermelhas de algum modo apontam no sentido da confirmação dos efeitos mais frequentemente

Estação hidrométrica/ hipotética albufeira	Tendência exibida pelos escoamentos anuais	Tendência exibida pela capacidade útil de cada albufeira em função do pedido e da garantia do fornecimento desse pedido							
		Pedido de água para rega expresso em percentagem da afluência anual média							
		30%	50%	70%	30%	50%	70%		
		80%			90%				
Norte de Portugal	Vinhais-Qta da Ranca	↗	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
	Castro Daire	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
	Cabriz	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
	Vale Giestoso	↗	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
	Cunhas	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
Centro de Portugal	Couto de Andreiros	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
	Torrão do Alentejo	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
Sul de Portugal	Albernoa	↗	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
	Monte da Ponte	↗	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
	Vascão	↗	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘

Figura 10 – Análise do desempenho de reservatórios de regularização destinados ao abastecimento de água para rega. Tendências exibidas pelos volumes afluentes e pelas capacidade úteis.

atribuídos às mudanças climáticas, identificando as situações com agravamento nos constrangimentos associados ao fornecimento de água para rega a partir de albufeiras de regularização devido à diminuição, ao longo do tempo, dos volumes afluentes a essas albufeiras e/ou ao facto de em anos mais recentes ser necessário dispor de maiores capacidades para assegurar um mesmo pedido com uma mesma garantia (pior desempenho da origem de água).

As setas a verde contrariam, por assim dizer, os efeitos atribuídos às mudanças climáticas, identificando as situações em que se registaram aumentos nos volumes afluentes e/ou diminuições nas capacidades úteis de que é necessário dispor em albufeiras para assegurar um mesmo pedido com uma dada garantia (melhor desempenho da origem de água).

A figura mostra que na maior parte dos casos de estudos – com especial ênfase para os localizados no Centro e Sul de Portugal – houve uma perda de fiabilidade pois no presente haveria que dispor de

maior capacidade de regularização para assegurar um dado pedido com uma dada garantia. Em alguns dos casos de estudo (estações hidrométricas de Albernoa e Monte da Ponte) tal perda de fiabilidade ocorre não obstante a tendência de aumento registada nos volumes afluentes.

Importa, contudo, esclarecer que em todos os casos de estudo estão em causa variações negligenciáveis, sem qualquer significado estatístico.

4. COMENTÁRIO FINAL

O presente artigo teve por objectivo divulgar alguns estudos inseridos no âmbito da detecção de tendências em séries longas de variáveis hidrológicas que, de algum modo, pudessem constituir indícios dos efeitos mais frequentemente atribuídos às mudanças climáticas. Pretendeu-se, desse modo, lançar desafios que possam suscitar outras contribuições nessa matéria, a nível, quer dos modelos susceptíveis de serem aplicados, quer

de resultados já disponíveis para Portugal Continental. A experiência adquirida através dos mencionados estudos aponta no sentido de ser incontornável o facto de a precipitação em Março ter diminuído em anos recentes e de aparentemente ter ocorrido uma mudança no padrão intra anual da precipitação – para o que, certamente contribuiu a mencionada diminuição da precipitação – e que se traduz pela “substituição” do 2º trimestre do ano hidrológico pelo 1º trimestre desse ano que passou a constituir o período mais frequente de ocorrência da precipitação mensal máxima, bem como o período mais contributivo para o total anual de precipitação.

Não obstante as anteriores anomalias, que, contudo, carecem de confirmação mediante a incorporação dos registos mais recentes, julga-se válido concluir que os estudos efectuados indicam que as séries temporais de algumas variáveis hidrológicas são, por assim dizer, muito mais “resilientes” do que o que a percepção humana deixaria antever sendo, por enquanto, difícil identificar em tais séries sinais inequívocos de mudança climática. Tais circunstâncias sugerem a necessidade de prosseguir com os estudos e com as avaliações científicas pois, de algum modo, parece existir um hiato entre as ocorrências que, actualmente, se consideram consubstanciar os efeitos das mudanças climáticas e o comportamento efectivamente denotado por algumas das séries de variáveis hidrológicas.

Mas será que tal significa que o pressuposto de estacionaridade em que assentam muitos dos modelos hidrológicos deixa de ser válido? Será que, a muito curto prazo, o futuro se revelará estatisticamente diferente do passado e, se assim for, como pode essa “dissemelhança” ser introduzida nos modelos hidrológicos e nos critérios de projecto? Embora por enquanto tais questões ainda careçam de respostas, apontam no sentido do aparecimento de uma engenharia da mudança climática capaz de inserir nos parâmetros de projecto as condições climáticas e ambientais esperadas para o futuro. Esta revisão dos critérios de projecto e de dimensionamento, mas também de equacionamento do risco, deverá permear a academia, o meio técnico-profissional e o meio empresarial nos próximos anos, resultando numa necessária evolução da engenharia associada aos recursos hídricos em todo o mundo.

Os critérios de projecto e de dimensionamento a propor têm de ser robustos, em oposição aos critérios de projecto tradicionais que, em certa medida, eram entendidos como “os certos”. Por critério de projecto robusto entende-se um critério capaz de assegurar bons desempenhos sob um leque alargado de possíveis cenários, pelo que tem de conter em si a incerteza associada ao projecto e aos seus constrangimentos.

Regista-se, por fim, um breve comentário referente às

disponibilidades de água doce: julga-se ser fundamental distinguir a redução – em termos tanto quantitativos, como resultantes da degradação da qualidade – dessas disponibilidades efectivamente imputáveis às mudanças climáticas das que decorrem da utilização excessiva e frequentemente imprópria que a sociedade moderna faz das mesmas. Enquanto a comunidade científico-técnica desenvolve esforços no sentido de atender e de lidar com as mudanças climáticas, quer elas venham a ter ou não os efeitos por ora antevistos, a água torna-se um bem progressivamente mais escasso sem que tal aparente constituir em si mesmo um problema transversal à humanidade, como urge considerar.

BIBLIOGRAFIA

- Bates, B.C.; Z.W. Kundzewicz; S. Wu; J.P. Palutikof, Eds. (2008). *Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp.
- Corte-Real, J.; B. QIAN; H. XU (1998). “Regional climate change in Portugal. Precipitation variability associate with large-scale atmospheric circulation”, *International Journal of Climatology*, 18, p. 619-635.
- Cunnane, C. (1978). ‘Unbiased plotting positions - a review’, *Journal of Hydrology* (37), 205-222.
- Grigg, N.S. (1996). *Water resources management. Principles, regulations and cases*. McGraw Hill, New York, p. 169.
- Hirsch, R.M., J.R. Slack; R.A. Smith (1982). “Techniques of trend analysis for monthly water quality data”, *Water Resources Research*, 18, 107-121
- IPCC (2007). *Fourth Assessment Report: Climate Change 2007*, <http://www.ipcc.ch/ipccreports/assessments-reports.htm>
- Kendall, M. G. (1975). *Rank Correlation Methods*, 4th ed., Charles Griffin: London.
- Kenney, J. F. e E.S. Keeping (1962). “Moving Averages.” §14.2 in *Mathematics of Statistics*, Pt. 1, 3rd ed. Princeton, NJ: Van Nostrand, 221-223.
- Lanna, A.E. (1993). “Regularização de vazões em reservatórios”, *Hidrologia. Ciência e aplicação*. Organizador Carlos E. M. Tucci. Editora da Universidade/UFRGS, p. 703-725.
- Lencastre, A. e F.M. Franco (1984). *Lições de hidrologia*. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Lettenmaier, D.P., E.F. Wood; J.R. Wallis (1993). “Hydro-climatological trends in the Continental United States”, 1948-88. *Journal of Climate*, Volume 7. American Meteorological Society, 586 – 607.
- Matalas, N.C.; B. Jacobs, B. (1964). “A correlation procedure for augmenting hydrologic data”. *U.S. Geol. Surv., Prof. Pap.*, 434-E.

- McMahon, T. e A. Adeloze (2005). *Water resources yield*. Colorado: Water Resources Publication.
- McMahon, T. A. e R.G. Mein (1978). *Reservoir Capacity and Yield*. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company.
- Mann, H. B. (1945). "Non-parametric test against trend", *Econometrica*, 13, 245-259.
- Martins, C.M.C. (2010). *Alterações no padrão intra-anual da precipitação como indício de mudança climática*, Dissertação para obtenção do grau de mestre em Hidráulica e Recursos Hídricos. Universidade Técnica de Lisboa, IST, Portugal.
- Mendes, J.C. e M.F.E.S. Coelho (1993). Variabilidade climática em Portugal Continental. Quantidade de precipitação. Índice regional de anomalia; tendência; variabilidade por decénios e trinténios, INMG, Monografia de Meteorologia e Geofísica nº 43, Lisboa.
- Monreal, T.E. (1993). Curso internacional de hidrologia general y aplicada. Área de hidrologia superficial. Tomo I, II, III, IV, V e VI CEDEX, Madrid.
- Pereira, C.B. (1995). *Análise de precipitações intensas*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Hidráulica e Recursos Hídricos. Universidade Técnica de Lisboa, IST, Portugal.
- Pereira, L.S. (2004). *Necessidades de água e métodos de rega*. Coleção Euroagro, Publicações Europa América, Mem Martins.
- Pereira, L.S., R.G. Allen; D. Raes; M. Smith (2000). *Fao Irrigation and Drainage Paper nº 56 "Crop Evapotranspiration"*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO, Rome.
- Portela, M.M. e A. C. Quintela (1998). "Indícios de mudança climática em séries de precipitação em Portugal Continental", *Recursos Hídricos*, Vol. 19 (2 e 3), pp. 41-74, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH), ISSN 0870-1741, Lisboa.
- Portela, M.M. e A.C. Quintela (2000). "Estudo regional de volumes de água garantidos por albufeiras em rios portugueses", *Recursos Hídricos*, Vol. 21 (3), pp. 97-106, Edição comemorativa do 5º Congresso da Água, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH), ISSN 0870 1741, Lisboa.
- Portela, M. M e A.C. Quintela (2001). "A diminuição da precipitação em épocas do ano como indício de mudança climática. Casos estudados em Portugal Continental". *Ingeniería del Agua*, Vol. 8(1), pp. 79-92, ISSN 1134-2196, Espanha.
- Portela, M. M.; J. Santos; M.F.E.S. Coelho (2006). "Alterações em séries de variáveis hidrológicas: seus efeitos nos volumes de água a fornecer para rega e na fiabilidade do fornecimento desses volumes a partir de albufeiras". *8º Congresso da Água*, 19 p., Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH), Figueira da Foz.
- Portela, M.M.; J.F. Santos; A.C. Quintela; C. Vaz; C. Martins (2010). "About the trend detection in Portuguese long hydrologic time series and the climate change". *Regional Rainfall 2010, Regional Expert Meeting on Rainfall-Runoff analysis and Climate Change at the Balkans*, Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade. Serbia and Montenegro.
- Quintela, A.C. (1967). *Recursos de águas superficiais em Portugal Continental*. Dissertação para obtenção do grau de Doutor em engenharia Civil, Universidade Técnica de Lisboa, IST, Portugal.
- Raynali, J.A. e J.D. Salas (1986). "Estimation procedures for the type-1 extreme value distribution", *Journal of Hydrology* (87), 315-336.
- Reiss, R.D. e M. Thomas (2001). *Statistical analysis of extreme values*, Birkhauser Verlag
- Santos, J. F. (2008). *Alterações em séries de variáveis hidro-climatológicas: seus efeitos nos volumes de água a fornecer para rega e na fiabilidade do fornecimento desses volumes a partir de albufeiras*, Dissertação para obtenção do grau de mestre em Hidráulica e Recursos Hídricos. Universidade Técnica de Lisboa, IST, Portugal.
- Santos, F. D; P. M. Miranda (eds.) (2006). *Alterações climáticas em Portugal. Cenários, impactos e medidas de adaptação*. Projecto SIAM, Gradiva, Lisboa.
- Santos, J. F. e Portela, M. M. (2008). "Quantificação de tendências em séries de precipitação mensal e anual em Portugal Continental", *VIII Seminário Ibero-Americano sobre Sistemas de Abastecimento Urbano*, SEREA 2008, IST, Lisbon, Portugal.
- Sen, P. K. (1968). "Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau", *J. Am. Stat. Assoc.*, 63, 1379-1389.
- Siegel, S. (1975). *Estatística não-paramétrica para as Ciências do Comportamento*, McGraw-Hill, Brasil.
- Thorntwaite, C.W., 1948. "An approach toward a rational classification of climate", *Geographical Review*, n. 38, 55-94.
- Temez, J.R. (1977). *Modelo matemático de transformación precipitación-aportación*. ASINEL .
- Vaz, C. M. (2008). *Análise de tendências em séries de precipitação diária máxima anual*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Hidráulica e Recursos Hídricos. Universidade Técnica de Lisboa, IST, Portugal
- Varenne e Mendonça, P. (1972-1973). *Excerto das Lições de Hidráulica Geral e Agrícola*. Instituto Superior de Agronomia 4ª edição ciclostilada, Lisboa.
- Yejevich, V. (1972). *Probability and statistics in Hydrology*, Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, USA.