

RESUMO

A bacia hidrográfica portuguesa do rio Guadiana tem um clima Mediterrânico, com forte influência continental, com uma estação quente e seca bem acentuada, que coincide com o Verão. A maior parte da chuva acontece no Inverno, geralmente fresco. Os sistemas culturais e a vegetação natural são tipicamente Mediterrânicos, influenciados não só pela secura do clima, como pela pobreza da generalidade dos solos. A Azinheira (*Quercus rotundifolia*) é a espécie florestal dominante, ocorrendo pequenas manchas de Eucalipto (*Eucalyptus globulus*) e Pinheiro (*Pinus sp.*). Alguns estudos já publicados referem que esta zona é particularmente sensível aos processos de desertificação, tendo já sido aí detectados indícios de alteração climática em curso.

Empiricamente, essas alterações parecem estar a decorrer, uma vez que parecem ter-se tornado mais frequentes episódios extremos, quer de seca, quer de precipitação, que conduzem frequentemente a destruições e elevados prejuízos no património das populações afectadas. Neste trabalho pretende-se, através do estudo de nove séries cronológicas de precipitação mensal (com dados entre 1931/32 e 2005/06), avaliar a existência de alterações na quantidade e no padrão de distribuição temporal da precipitação mensal e anual, que constituam indícios de alteração climática.

ABSTRACT

The portuguese catchment basin of Guadiana river has a Mediterranean climate, with strong continental influence, with a well defined hot and dry season, coinciding with the Summer. Most of the rain falls in Winter, generally cool. The cultural systems and natural vegetation are typically Mediterranean, influenced by the climate dryness as well as by the poor quality of most of the soils. Holm-oak (*Quercus rotundifolia*) is the dominant forestry species and some small patches of Eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) and Pine-tree (*Pinus sp.*) can be found there, too. Some published studies refer that this area is particularly sensitive to desertification processes and signs of ongoing climate change were detected.

Empirically, those changes seem to be going on, once extreme episodes, drought and precipitation, seem to be more frequent now, causing destructions and high damages on properties of affected population. In this work, we studied nine monthly time series of precipitation, with data between 1931/32 and 2005/06, and we aimed to assess the existence of changes in quantity and time distribution pattern of monthly and annual precipitation, that can be identified as climate change signs.

Estudo de séries de precipitação na bacia portuguesa do Rio Guadiana

João Morais*, J. FSantos Oliveira, Benilde Mendes
Unidade de Biotecnologia Ambiental, Faculdade de Ciências
e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa
Campus da Caparica, Quinta da Torre
2829-516 Monte de Caparica, Portugal

* jm@fct.unl.pt, tel/fax: (351) 212948543

1. INTRODUÇÃO

1.1 Localização geográfica

A bacia hidrográfica do rio Guadiana está localizada entre 37° e 40° de Latitude N e 02° e 08° de Longitude W, cobrindo uma área de 66960 km² (55260 km² em Espanha - 83% e 11700 km² em Portugal - 17%), ocupando, entre os rios peninsulares, o quarto lugar em área. A bacia do Guadiana é delimitada a Norte pela bacia do Tejo, a Leste pelas bacias do Júcar (21579 km²) e Odiel (2308 km²), a Sul pela bacia do Guadalquivir (54970 km²) e a Oeste pelas bacias do Sado (7640 km²), Mira (1576 km²) e Arade (966 km²).

Nascendo em Campo Montiel (Espanha) a 1700 m de altitude, o rio Guadiana percorre 810 km até à sua foz no Oceano Atlântico situada entre V. R. de Santo António e Ayamonte, situando-se 550 km em Espanha, 150 km em Portugal e 110 km servindo de fronteira (65 km entre a foz do rio Caia e a foz da ribeira de Cuncos e 45 km entre a foz do rio Chança e o Oceano Atlântico). A altitude média da bacia hidrográfica portuguesa é de 237 m (SEARN, 1986).

1.2 Clima - Características gerais

A bacia do Guadiana caracteriza-se por um clima Mediterrânico, com forte influência continental, com uma estação seca bem acentuada, que coincide com o Verão, sendo os Invernos geralmente frescos e os Verões muito quentes. As temperaturas médias anuais variam entre 12 °C, na região de Castelo de Vide e Marvão, e 18 °C, na região fronteiriça da Aldeia Nova de S. Bento. O nevoeiro é especialmente frequente e espesso nos fundos húmidos (planícies aluviais dos vales), aparecendo sobretudo durante as noites límpidas e frias, de tipo anticiclónico, desde o Outono até à Primavera. O nevoeiro fica limitado, a maior parte das vezes, às baixas definidas pelo vale do Guadiana e principais tributários, onde se acumula o ar frio.

A precipitação média anual está compreendida entre 500 a 800 mm, num número de dias relativamente reduzido (80 a 50 dias). No semestre chuvoso (Outubro a Março), os valores estão compreendidos entre 400 e 700 mm, e no semestre seco (Abril a Setembro) entre 100 a 150 mm. A distribuição das chuvas e das temperaturas determinam os valores da evapotranspiração e condicionam a disponibilidade de água no solo e a escorrência superficial. A evaporação varia entre valores que vão desde 1400 mm em Vila Real de Stº António e 1800 mm em Campo Maior e Elvas. Os valores anuais mais elevados da evaporação verificam-se nos meses de Julho e Agosto e os menores em Dezembro e Janeiro. A evapotranspiração potencial é em média da ordem dos 850 mm, com valores superiores a 900 mm no Vale do rio Chança.

A insolação média é da ordem das 3000 horas anuais com excepção das regiões montanhosas dos limites da bacia (Serras do Caldeirão e de Marvão) com cerca de 2800 horas anuais. Em relação às geadas, a sua duração é em geral de três a quatro meses, embora na região envolvente de Évora seja de cerca de cinco meses, entre Novembro a Abril, registando-se a última geada em média na primeira quinzena de Fevereiro, nas zonas do nordeste (DRAA, 1998, SEARN, 1986, Cary, F., 1985, Daveau *et al.*, 1985).

1.3 Geologia

A bacia do Guadiana integra-se no Maciço Hespérico, cujas formações características são as rochas metamórficas de origem sedimentar e vulcano-sedimentar, genericamente xistosas e as rochas intrusivas e extrusivas do Maciço Básico de Beja. As formações de cobertura, são geralmente aluviões, terraços e depósitos de vertente quaternários, existindo também arenitos, cascalheiras, argilas, margas, calcários e conglomerados, da idade terciária. A Norte do concelho de Mértola encontram-se terrenos pertencentes ao Silúrico-Devónico. A Norte de Mértola e na zona do Chança-Pomarão, encontram-se terrenos do Devónico e Carbónico de fácies marinha. E a Sul de Mértola, encontram-se terrenos do Carbónico de fácies marinha. As mega-estruturas regionais são o Anticlinal do Pulo do Lobo e a Faixa Piritosa. A formação Anticlinal do Pulo do Lobo de idade Silúrica, é constituída por xistos, quartzitos e filonetes de quartzo, apresentando forte dobramento. O grupo do Chança, é do Devónico superior, com xistos e quartzitos na base, a que se sobrepõem xistos e grauvaques turbidíticos no topo. A Faixa Piritosa, engloba xistos e quartzitos, xistos e grauvaques, que constituem as principais elevações da região. As rochas deste conjunto têm idade do Devónico Superior. Ao conjunto anterior sobrepõe-se o Complexo Vulcano-Sedimentar, do Carbónico Inferior, constituído por rochas vulcânicas ácidas e básicas, ao qual estão associados os jazigos de pirite. Sobre o Complexo Vulcano-Sedimentar encontram-se xistos, grauvaques e algumas intercalações de conglomerados (DRAA, 1998).

1.4 Relevo

A bacia do Guadiana, é constituída por uma extensa peneplanície, quebrada pelo encaixe do rio Guadiana e pelos relevos quartzíticos das Serras de Alcaria, S. Barão e Alvares. As elevações que se destacam da peneplanície são coincidentes com algumas zonas da faixa piritosa. O relevo, ondulado e de declive pouco acentuado, desenvolve-se a partir de quatro pólos fundamentais: as Serras de Ossa (650 m) e Mendro (410 m) a norte e poente, de Ficalho (520 m) a nascente e do Caldeirão (580 m) a sul. Delas partem os principais afluentes, cujo curso

assume com frequência regime torrencial (DRAA, 1998, Cabrita e Tavares, 1988).

1.5 Solos

Na parte alentejana da bacia do Guadiana existem várias zonas diferenciadas pelos sistemas agrícolas que as caracterizam, designadas como Granitos do Nordeste, Barros do Alto Alentejo, Calcários, Planície Central, Terras Pobres do Guadiana, Terras Fortes do Baixo Alentejo ou Barros de Beja, Campo Branco e a Serra Alentejana. Além do Alentejo, a bacia também engloba duas sub-regiões do Algarve: a Zona do Barrocal e a Zona da Serra, que se diferenciam pelas suas características geomorfológicas. Numa análise mais detalhada, podem identificar-se no nordeste, na zona dos granitos, os solos litólicos não húmicos. A zona das Terras Fortes do Baixo Alentejo é constituída basicamente por solos mediterrânicos pardos de materiais não calcários, por mediterrânicos vermelhos de materiais não calcários, com diversos materiais originários (xistos e ranas) e por barros castanho-avermelhados não calcários e barros pretos calcários. No Barrocal, predominam as formações calcárias do Mesozóico-Jurássico que, perante a influência de um clima marcadamente seco, deram origem a formações pedológicas pouco evoluídas, mais ou menos espessas de acordo com o declive em que ocorrem. Na Serra, predominam as formações do Paleozóico-Carbónico que, num clima árido, deram origem a litossolos xistosos. Uma característica comum dos solos, é o seu baixo teor de matéria orgânica, situação que deriva essencialmente dos seguintes aspectos:

- permeabilidade excessiva na camada superficial da generalidade dos solos;
- reduzida incorporação de resíduos resultante dos próprios sistemas culturais, com predomínio das culturas de “colheita” (cereais) em detrimento das culturas de “pastoreio” (forragens e prados);
- pobreza da vegetação espontânea, acentuadamente degradada pelo sobrepastoreio;
- pouca expressão da produção pecuária em estabulação permanente, o que se traduz na insuficiência de estrumes disponíveis para incorporar nas folhas de cultura;
- excessiva mobilização dos solos, efectuada em períodos de elevada temperatura, e que contribui para o acréscimo substancial da taxa de mineralização da já reduzida matéria orgânica existente.

Os sistemas arbóreo-arbustivos e os sistemas florestais são tipicamente mediterrânicos, influenciados não só pela secura do clima, como pela pobreza da generalidade dos solos. A Azinheira (*Quercus rotundifolia*) é a espécie florestal dominante, ocorrendo pequenas manchas de Eucalipto (*Eucalyptus globulus*) e Pinheiro (*Pinus sp.*) (DRAA, 1998, Cary, 1985).

1.6. Recursos Hídricos/Aquíferos

A produtividade das reservas hídricas subterrâneas na região é baixa, dominando um complexo constituído por xistos e outras rochas metamórficas de propriedades hidrológicas semelhantes. As águas subterrâneas apresentam geralmente durezas baixas, existindo um teor alto em cloretos e sulfatos. Existem águas com potencialidades minero-medicinais, vulgarmente chamadas “Águas Santas” ou “Águas Sulfurosas”, tradicionalmente utilizadas no tratamento de problemas de pele, perturbações digestivas, etc.

A irregularidade do regime dos caudais do rio Guadiana e a necessidade de promover a rega dos terrenos propícios à agricultura, bem como a produção de energia e abastecimento de água às populações, conduziu à construção de barragens, tanto em território espanhol como em Portugal. Os escoamentos potenciais das bacias hidrográficas dos principais afluentes portugueses são os indicados no quadro 1.

Quadro 1-Escoamentos e Áreas das Bacias de Alguns Afluentes do Guadiana

Curso de Água	Escoamento Potencial Anual (10 ⁶ m ³)	Área da Bacia Hidrográfica (km ²)
Degebe	232	1454
Cobres	105	701
Terges	24	223
Vascão	90	403
Odeleite	80	228
Ardila	517	3743
Total	1048	7112

(Fonte: J. Leitão, Pánel Gaia 85) in (Rec. Híd. Sul de Portugal-vol II, s. D.)

No que respeita à qualidade da água, a generalidade das albufeiras existentes na bacia, e o próprio rio Guadiana, apresentam problemas de eutrofização e contaminação micro-biológica, relacionados com a existência de poluição, essencialmente de natureza orgânica. No entanto, o impacto das fontes poluidoras na qualidade da água varia consideravelmente de acordo com as condições meteorológicas

(precipitação, temperatura e evaporação) e hidrológicas (nível, caudal e tempos de escoamento e retenção). A poluição tem origem nos esgotos urbanos, na lixiviação das escórias relacionadas com a actividade de extracção mineira, ainda que inactiva, e nas indústrias ligadas ao sector primário (fábricas de concentrado de tomate, curtumes, lacticínios, lagares de azeite, pecuária e adubação dos terrenos agrícolas) (Lapa *et al.*, 2004, Fialho *et al.*, 2004, Oliveira *et al.*, 1999, DRAA, 1998, SEARN, 1986).

2. OBJECTIVOS DO ESTUDO

Um dos aspectos característicos de uma mudança climática poderá ser a alteração da quantidade e/ou padrão de distribuição temporal da precipitação. A essa alteração corresponderão alterações dos valores dos parâmetros estatísticos de séries cronológicas de precipitação (Portela e Quintela, 1999). Empiricamente, essas alterações parecem estar a decorrer, uma vez que parecem ter-se tornado mais frequentes episódios extremos, quer de seca, quer de precipitação, que conduzem frequentemente a destruições e elevados prejuízos no património das populações afectadas.

Alguns aspectos estatisticamente relevantes foram já identificados em estudo anterior, para 24 séries de precipitação entre 1931/32 e 1994/95 (Oliveira *et al.*, 2001). Neste trabalho pretende-se, através do estudo de nove séries cronológicas de precipitação mensal (com dados entre 1931/32 e 2005/06), avaliar a existência de alterações na quantidade e no padrão de distribuição temporal da precipitação mensal e anual, que constituam indícios de alteração climática, que confirmem (ou

não) resultados previamente obtidos.

3. MÉTODO

A detecção de uma mudança climática mediante a análise de séries cronológicas de precipitação requer que tais séries sejam suficientemente longas, de modo a que, tendo ocorrido, a mudança climática possa assim ser reconhecida. Seleccionaram-se nove estações (Quadro 2, Figura 1), representativas da bacia portuguesa do Guadiana, disponíveis no universo do portal do SNIRH (<http://snirh.inag.pt>) e que já tinham sido incluídas em estudo anterior (Oliveira *et al.*, 2001).

O estudo incidiu na evolução da precipitação mensal e outros períodos de agregação ao longo dos anos. Adoptou-se o ano hidrológico de Outubro a Setembro, usualmente utilizado em estudos hidrológicos. Quando necessário, considerou-se a divisão do ano hidrológico em trimestres, (1º, 2º, 3º e 4º trimestres, respectivamente, de Outubro a Dezembro, de Janeiro a Março, de Abril a Junho e de Julho a Setembro), ou em semestre húmido (Outubro a Março) e semestre seco (Abril a Setembro).

Como primeira aproximação, foi efectuado o estudo da evolução das **médias deslizantes a dez e trinta anos** da precipitação mensal para cada mês e cada uma das estações seleccionadas. Este estudo permite identificar a possível existência de tendências ou ciclos. Permite, ainda, verificar se os dados registados dão algum tipo de suporte à afirmação popular empírica “no tempo dos meus avós chovia muito mais do que agora”.

Quadro 2- Estações meteorológicas analisadas. Características gerais

Código	Nome da Estação	Data inicial	Data final	Latitude °N	Longitude °W	Altitude m
21M/02	Alandroal	Outubro 1931	Setembro 2006	38.692	7.404	302
25P/01	Barrancos	Outubro 1931	Fevereiro 2003	38.132	7.001	265
27I/01	Castro Verde	Outubro 1931	Setembro 2006	37.698	8.093	217
24J/03	Cuba	Outubro 1931	Setembro 2006	38.168	7.888	180
21N/01	Juromenha	Outubro 1931	Setembro 2006	38.739	7.242	198
26L/01	Serpa	Outubro 1931	Setembro 2006	37.943	7.604	209
25O/01	Srº. Aleixo da Restauração	Outubro 1931	Setembro 2006	38.063	7.149	271
26J/01	Trindade	Outubro 1931	Setembro 2006	37.886	7.893	172
21M/01	Vila Viçosa	Outubro 1931	Setembro 2006	38.785	7.421	417

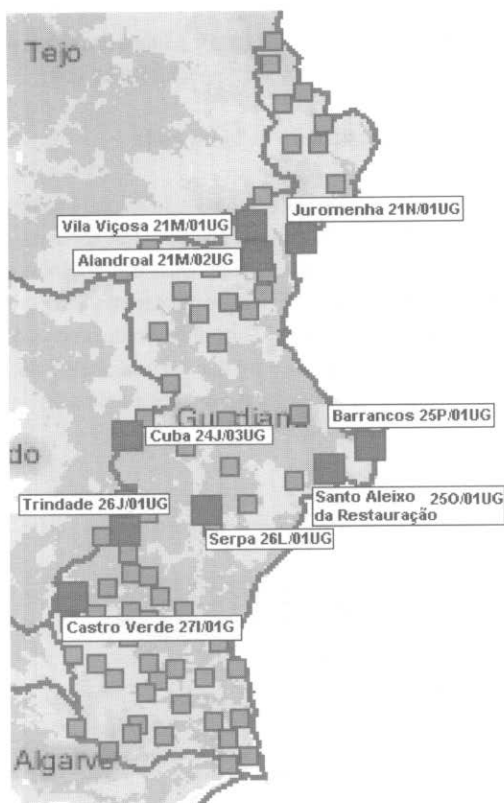


Figura 1 Localização das estações na bacia do Guadiana (Fonte: portal do SNIRH).

O **coeficiente de assimetria (a)** (*skewness*) permite avaliar o desvio de uma distribuição de valores em relação à simetria. Uma distribuição absolutamente simétrica (como a gaussiana ou “normal”) tem $a=0$. Quanto maior for o coeficiente de assimetria, mais à esquerda da média se encontra a mediana, isto é, maior será o número de observações com valor inferior à média (como a distribuição de máximos do tipo I, ou de “Gumbel”). Valores negativos do coeficiente de assimetria indicam o posicionamento da mediana à direita da média e, consequentemente, a existência de um maior número de observações com valores superiores à média. Em termos de precipitação, a obtenção de um coeficiente de assimetria elevado para um dado mês, além de significar que na maioria dos anos se observam precipitações inferiores à média, significa também que existe uma probabilidade elevada de ocorrência de episódios isolados de precipitação intensa.

$$a = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^3$$

As séries de precipitação foram truncadas entre os primeiros 45 e os últimos 30 anos e, para cada estação, foram calculados os coeficientes de assimetria para cada uma das sub-séries obtidas, correspondentes aos diversos meses e outros períodos temporais de análise. A comparação dos valores foi realizada, para cada período temporal, de uma forma agregada, através do teste t de Student bicaudal para amostras emparelhadas pelas estações, de forma a eliminar a interferência da variância entre estações.

O **quociente pluviométrico (QP)** é um índice introduzido por Von Hann (1932, citado por Mayer, 1935), que permite classificar os meses (ou outros períodos de tempo), relativamente à distribuição da precipitação registada ao longo do ano. No âmbito deste estudo, um mês (ou outro período) chuvoso terá um valor do quociente pluviométrico superior a 1.5 e um mês (ou outro período) seco terá um valor inferior a 0.5. Os períodos de transição terão valores compreendidos entre aqueles dois.

$$QP = \frac{P_{\text{período}}}{\text{dias}_{\text{período}}} \div \frac{P_{\text{anual}}}{365.25}$$

Quer o quociente pluviométrico, quer a precipitação acumulada em diversos períodos de agregação, foram estudados em termos de avaliação da existência de diferenças estatisticamente significativas entre as médias de sub-séries das séries originais, obtidas por truncagem sucessiva, entre 50/25 e 25/50 primeiros e últimos anos da série original.

Por último, foi realizada uma tentativa de ajuste de um **modelo harmónico estacionário** à série da precipitação anual média das nove estações. Admite-se que a série de precipitações P_t (P_1, P_2, \dots, P_N) pode ser representada por uma combinação linear de N harmónicas de período T, do tipo

$$X(T)_t = A(T) \sin \frac{2\pi t}{T} + B(T) \cos \frac{2\pi t}{T}$$

sendo T o período de oscilação. Do ajuste de cada uma das harmónicas $X(T)$ à série P_t resulta um erro cuja soma se pretende nula e cujo somatório dos quadrados

$$SSE = \sum_{t=1}^N \left(P_t - A(T) \sin \frac{2\pi t}{T} + B(T) \cos \frac{2\pi t}{T} \right)^2$$

se pretende seja mínimo, ou, no limite, nulo, para um ajustamento perfeito. Neste caso, cada uma das parcelas terá de ser nula, e é possível deduzir os estimadores iniciais de $A(T)$ e $B(T)$:

$$\hat{A}(T) = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^N P_t \sin \frac{2\pi t}{T}$$

$$\hat{B}(T) = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^N P_t \cos \frac{2\pi t}{T}$$

A combinação linear das harmónicas será:

$$X_t = \sum_{T=1}^N k_T X(T)_t = \sum_{T=1}^N k_T \left(\hat{A}(T) \sin \frac{2\pi t}{T} + \hat{B}(T) \cos \frac{2\pi t}{T} \right)$$

ou, então, concretizando $k = 0.5$ para $T = 1$:

$$X_t = \bar{P} + \sum_{T=2}^N k_T \left(\hat{A}(T) \sin \frac{2\pi t}{T} + \hat{B}(T) \cos \frac{2\pi t}{T} \right)$$

Assim, a obtenção de um modelo para a explicação, e eventual previsão, da evolução da precipitação anual integrada das estações seleccionadas, pode ser realizada através da optimização dos valores de k , $A(T)$ e $B(T)$, impondo limites para P_{max} e P_{min} (ano húmido e ano seco com 1000 anos de período de retorno, respectivamente). Isto é realizado de forma iterativa, tendo por base o método dos mínimos quadrados para o ajuste de X_t a P_t . Utilizando um teste estatístico adequado, será possível identificar quais os períodos T são mais significativos, se existirem.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

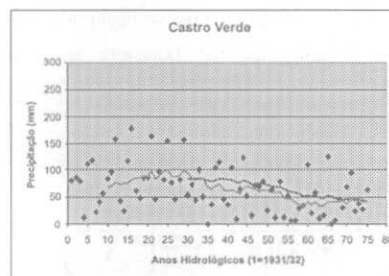
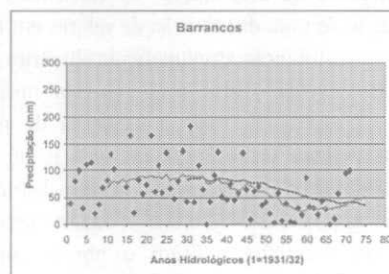
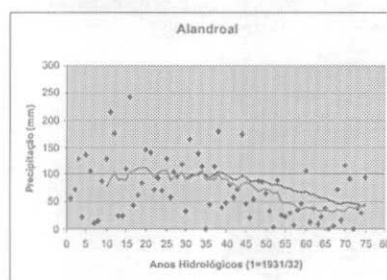
4.1 Médias deslizantes a dez e trinta anos

No que respeita à análise das médias deslizantes da precipitação mensal, a principal observação diz respeito ao mês de Março. Neste mês, a partir de meados da década de sessenta, a média deslizante calculada a trinta anos apresenta, em todas as estações, uma tendência nítida para a descida, evidenciando, desde esse momento, diminuições, para a generalidade das estações, da ordem dos 50%. A média deslizante calculada a dez anos situa-se sempre abaixo da média dos trinta anos, significando que a diminuição da precipitação mensal, neste mês, se processou de forma perceptível, quer no curto quer no longo prazo (Figura 2). Nos últimos cinco anos a situação parece estar a atenuar-se (ou inverter-se). Esta “anomalia” parece estar

a estender-se ao mês de Fevereiro (desde o início da década de oitenta) e ao mês de Abril (últimos dez anos) (Figuras 3 e 4).

4.2 Coeficiente de assimetria

Todos os períodos estudados apresentam valores positivos do coeficiente de assimetria. Desta forma, a situação corrente na área de influência das estações seleccionadas é verificarem-se precipitações acumuladas em determinado período, inferiores à média histórica do período. Com uma frequência mais reduzida, deverão acontecer anos em que, no mesmo período, a precipitação acumulada deverá ser anormalmente elevada.



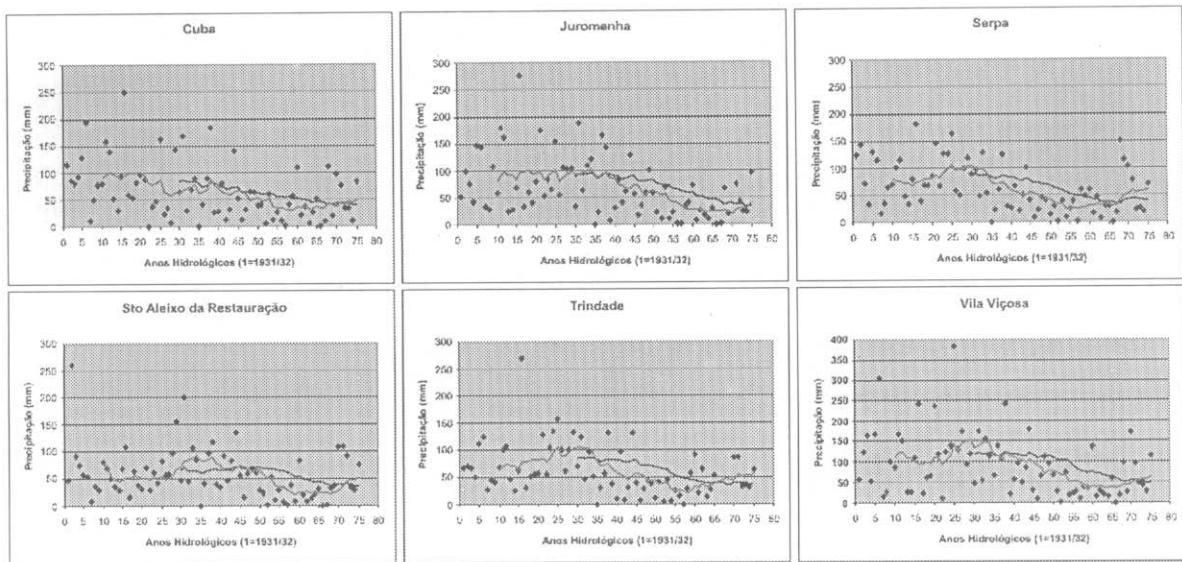


Figura 2 – Séries da precipitação mensal de Março para as nove estações seleccionadas. Médias deslizantes a 30 (negro) e a 10 (cinzento) anos

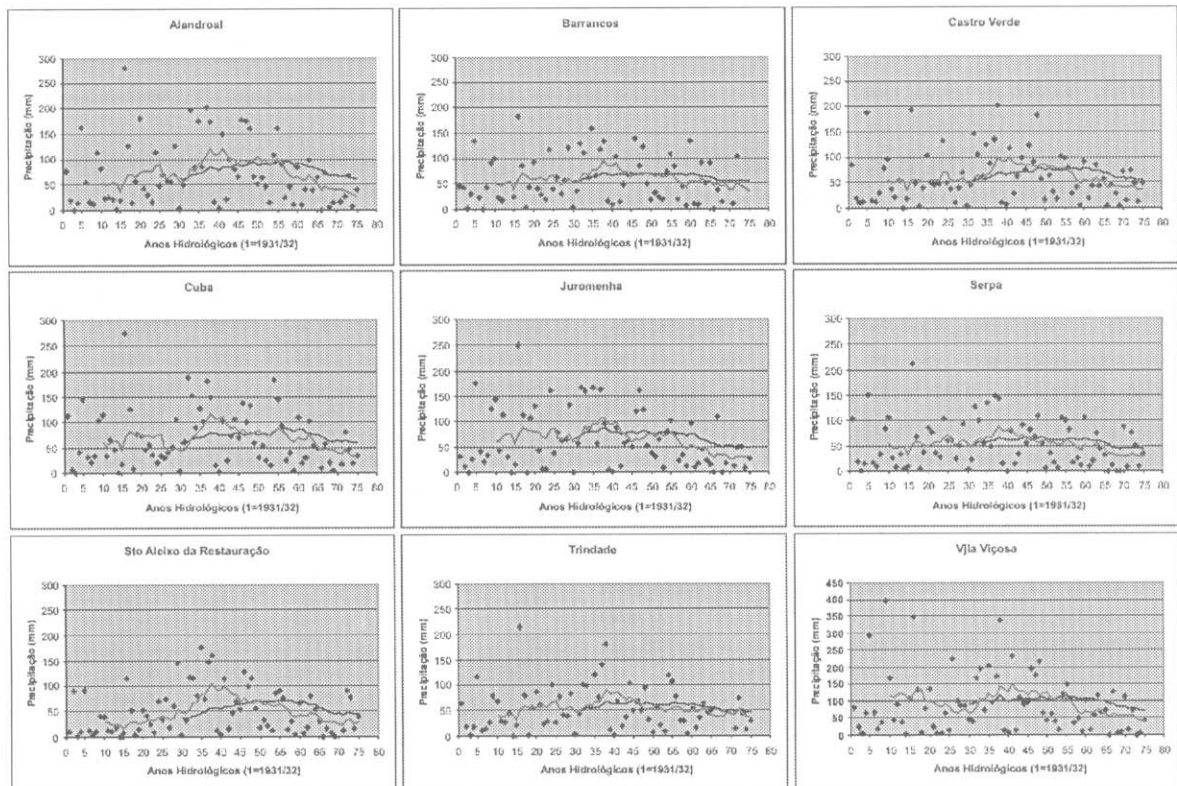


Figura 3 – Séries da precipitação mensal de Fevereiro para as nove estações seleccionadas. Médias deslizantes a 30 (negro) e a 10 (cinzento) anos

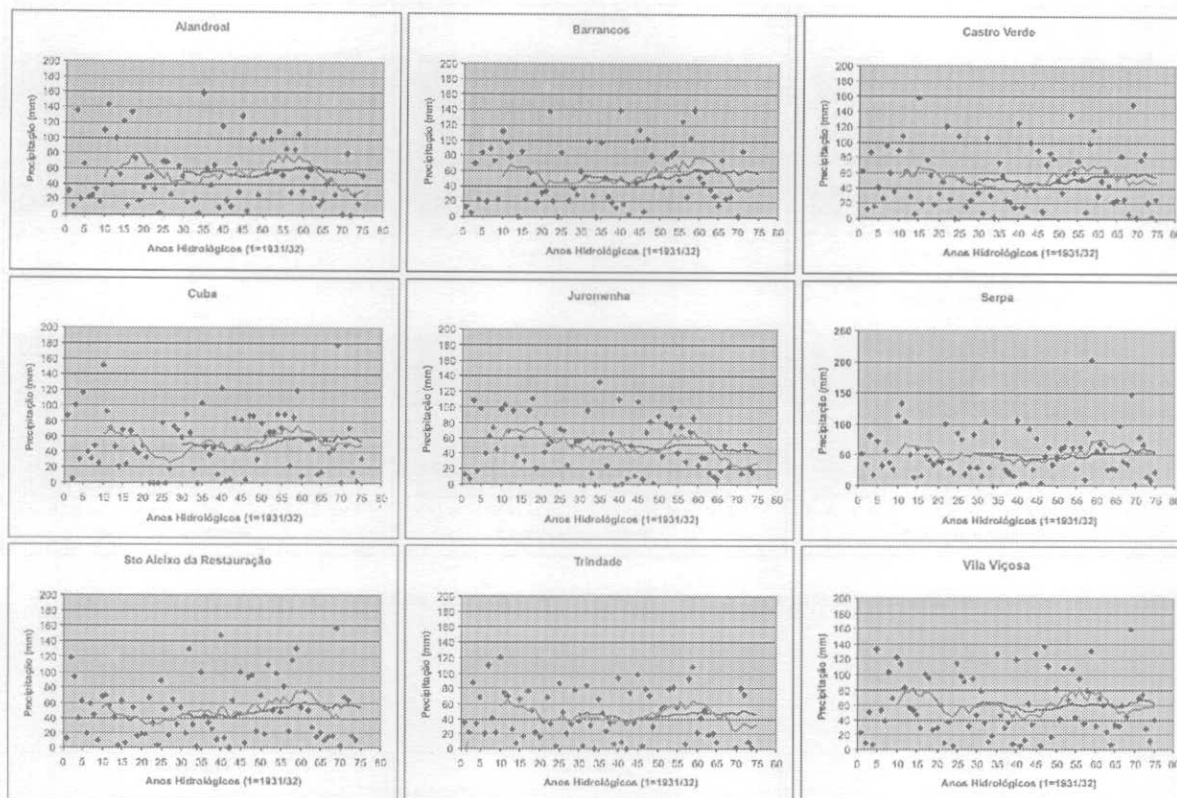


Figura 4 – Séries da precipitação mensal de Abril para as nove estações seleccionadas. Médias deslizando a 30 (negro) e a 10 (cinzento) anos

A frequência de anos secos e a violência dos episódios extraordinários são tanto maiores, quanto mais elevado for o valor do coeficiente de assimetria. Existem, nos últimos trinta anos, aumentos significativos do coeficiente de assimetria nos meses de Novembro, Janeiro e Junho e no 2º trimestre (Janeiro a Março), em relação aos primeiros 45 anos das séries estudadas. Nos meses de Outubro, Dezembro, Fevereiro, Julho e Setembro e no 4º trimestre (Julho a Setembro) houve diminuições significativas. Nos restantes períodos de tempo estudados não se registaram diferenças (quadro 3).

4.3 Quociente pluviométrico

Pelo estudo dos quocientes pluviométricos, calculados para diversas sub-séries, obtidas por truncagem das séries de precipitação mensal originais, verifica-se uma clara alteração do padrão de distribuição anual das precipitações mensais. Para todas as truncagens analisadas, em todas as estações, o quociente pluviométrico de Março foi sempre significativamente superior nas primeiras sub-séries. Inclusive, desde 1931/32 até ao início da década de sessenta, Março era frequentemente o mês mais chuvoso do ano, com valores do quociente pluviométrico superiores a 1.6. Nos últimos anos, o seu quociente pluviométrico baixou para valores frequen-

Quadro 3- Comparação entre os coeficientes de assimetria (a) calculados para os primeiros 45 (P45) e últimos 30 (U30) anos das séries de precipitação estudadas. Teste t de Student bicaudal para amostras emparelhadas pelas estações. Diferenças significativas para $\alpha < 0.1$.

Período de Tempo	a,P45	a,U30	p, teste t	OBS
Outubro	1.44	0.89	0.037	P>U
Novembro	0.90	1.47	0.028	P<U
Dezembro	1.68	1.10	0.018	P>U
Janeiro	1.25	1.74	0.004	P<U
Fevereiro	1.05	0.83	0.042	P>U
Março	0.94	0.92	0.924	NS
Abril	0.64	0.67	0.866	NS
Maio	1.40	1.19	0.320	NS
Junho	1.53	2.45	0.026	P<U
Julho	3.63	2.70	0.066	P>U
Agosto	3.22	2.67	0.255	NS
Setembro	2.29	1.28	0.002	P>U
Ano	0.51	0.34	0.499	NS
Semestre húmido	0.55	0.44	0.658	NS
Semestre seco	0.48	0.36	0.465	NS
1º trimestre	0.59	0.94	0.254	NS
2º trimestre	0.64	0.93	0.090	P<U
3º trimestre	0.56	0.63	0.672	NS
4º trimestre	1.96	0.89	0.000	P>U

NS Diferença não significativa para $\alpha < 0.1$.

temente inferiores a 1.0, o que permite considerá-lo como um mês de transição, a par de Abril e Maio. Os meses nitidamente secos continuam a ser Junho, Julho e Agosto.

De uma forma mais ténue, o carácter chuvoso de Janeiro e Fevereiro também parece estar a perder-se. Em contrapartida, os meses de Outubro e Agosto têm tido a sua quota-parte da precipitação anual aumentada, o mesmo parecendo estar a passar-se com Setembro. Nas sub-séries mais recentes, Outubro regista, de forma consistente, valores do quociente pluviométrico superiores a 1.5, enquanto que, nas sub-séries mais antigas, os valores raramente excediam 1.2. No Quadro 4 é apresentada uma síntese dos principais resultados obtidos.

Quadro 4- Comparação entre os quocientes pluviométricos calculados para os primeiros (P) e últimos (U) anos das diversas truncagens das séries de precipitação estudadas. Estão assinaladas as estações e os meses para os quais foram detectadas três ou mais truncagens consecutivas com diferenças significativas, com as restantes indicando desvios no mesmo sentido, embora não significativos. Diferenças significativas para $\alpha < 0.1$, Teste t de Student bicaudal.

Período de Tempo	21M/02	25P/01	27I/01	24J/03	21N/01
Outubro	P<U	NS	P<U	P<U	NS
Novembro	NS	NS	NS	NS	NS
Dezembro	NS	NS	NS	NS	NS
Janeiro	NS	NS	P>U	NS	NS
Fevereiro	P>U	NS	NS	NS	NS
Março	P>U	P>U	P>U	P>U	P>U
Abril	NS	P<U	NS	NS	NS
Maio	NS	NS	NS	NS	NS
Junho	NS	NS	P>U	NS	NS
Julho	P<U	NS	NS	NS	NS
Agosto	P<U	P<U	NS	P<U	P<U
Setembro	NS	P<U	NS	NS	NS

Período de Tempo	26L/01	25O/01	26J/01	21M/01	Média
Outubro	P<U	NS	NS	P<U	P<U
Novembro	NS	NS	NS	NS	NS
Dezembro	NS	NS	NS	NS	NS
Janeiro	NS	NS	P>U	NS	P>U
Fevereiro	P>U	NS	NS	P>U	NS
Março	P>U	P>U	P>U	P>U	P>U
Abril	NS	NS	NS	P<U	NS
Maio	NS	NS	NS	NS	NS
Junho	NS	NS	P>U	NS	NS
Julho	NS	NS	NS	NS	NS
Agosto	P<U	NS	NS	NS	P<U
Setembro	NS	NS	NS	NS	NS

NS Diferença não significativa para $\alpha < 0.1$.

4.4 Variação da precipitação mensal e anual

O resultado mais importante diz respeito à precipitação anual. Em quatro das nove estações estudadas existem diferenças estatisticamente significativas entre os primeiros e os últimos anos das truncagens. Nestas quatro estações, a precipitação anual média dos primeiros anos foi superior à dos últimos. Uma das estações (Stº Aleixo da Restauração) forneceu resultados mistos que, no entanto, são concordantes com a tendência de diminuição da precipitação, quando as truncagens analisadas correspondem a sub-séries recentes pequenas. Quando é considerada a precipitação anual média das nove estações, é detectada diferença estatisticamente significativa, indicando a diminuição da precipitação anual nas sub-séries mais recentes. Essa diminuição é da ordem dos 10%. Como se pode verificar no quadro 5, esta diminuição da precipitação anual resulta da diminuição significativa das precipitações mensais de Janeiro, Fevereiro e Março, ou seja, do segundo trimestre do semestre húmido. A perda de precipitação em Março é a mais significativa e foi observada em todas as estações estudadas e em todas as truncagens analisadas. Desde meados da década de 60 até ao presente, a precipitação mensal média de Março decresceu cerca de 50%. Trata-se, portanto de um processo de alteração global, afectando de uma forma geral a área abrangida pelas nove estações estudadas, sobrepondo-se às variabilidades regional e temporal de curto prazo, existentes.

Esta variabilidade (ou a eventual existência de condições microclimáticas particulares) é evidente no comportamento “estranho” da estação de Stº Aleixo da Restauração, em relação aos resultados obtidos para as precipitações mensais de Janeiro e Fevereiro e para a precipitação anual. Nas truncagens correspondentes a sub-séries antigas mais curtas (25/50 até 32/43) os resultados indicam um aumento da precipitação. Quando se tratam de truncagens com as sub-séries recentes mais curtas (48/27 a 50/25), os resultados indicam diminuição da precipitação. Em algumas estações foram detectados aumentos estatisticamente significativos da precipitação média mensal nos meses de Outubro, Agosto e Setembro. Estas alterações são relativamente pequenas, em termos de quantidade de precipitação e não se repercutem, de forma estatisticamente significativa na média das nove estações, devido à variabilidade entre estações.

Quadro 5- Comparação entre os valores de precipitação ocorrida em diversos períodos de tempo, para os primeiros (P) e últimos (U) anos das diversas truncagens das séries de precipitação estudadas. Estão assinaladas as estações e os meses para os quais foram detectadas três ou mais truncagens consecutivas com diferenças significativas, com as restantes indicando desvios no mesmo sentido, embora não significativos. Diferenças significativas para $\alpha < 0.1$, Teste t de Student bicaudal.

Período de Tempo	21M/02	25P/01	27I/01	24J/03	21N/01
Outubro	P < U	NS	NS	P < U	NS
Novembro	NS	NS	NS	NS	NS
Dezembro	NS	NS	NS	NS	NS
Janeiro	NS	NS	P > U	NS	P > U
Fevereiro	P > U	NS	P > U	P > U	P > U
Março	P > U	P > U	P > U	P > U	P > U
Abril	NS	NS	NS	NS	NS
Mai	NS	NS	NS	NS	NS
Junho	NS	NS	P > U	NS	P > U
Julho	NS	NS	NS	NS	NS
Agosto	P < U	P < U	NS	NS	NS
Setembro	NS	P < U	NS	NS	NS
Ano	NS	NS	P > U	NS	P > U
Sem. hum.	---	---	---	---	---
Sem. seco	---	---	---	---	---
1º trimestre	---	---	---	---	---
2º trimestre	---	---	---	---	---
3º trimestre	---	---	---	---	---
4º trimestre	---	---	---	---	---

Período de Tempo	26L/01	25O/01	26J/01	21M/01	Média
Outubro	NS	P < U	NS	NS	NS
Novembro	NS	NS	NS	NS	NS
Dezembro	NS	NS	NS	NS	NS
Janeiro	NS	***	P > U	P > U	P > U
Fevereiro	P > U	***	NS	P > U	P > U
Março	P > U	P > U	P > U	P > U	P > U
Abril	NS	NS	NS	NS	NS
Mai	NS	NS	NS	NS	NS
Junho	P > U	NS	P > U	NS	NS
Julho	NS	NS	NS	NS	NS
Agosto	P < U	NS	NS	NS	NS
Setembro	NS	NS	NS	NS	NS
Ano	NS	***	P > U	P > U	P > U
Sem. hum.	---	---	---	---	P > U
Sem. seco	---	---	---	---	NS
1º trimestre	---	---	---	---	NS
2º trimestre	---	---	---	---	P > U
3º trimestre	---	---	---	---	NS
4º trimestre	---	---	---	---	NS

*** A estação 25O/01 (Stº Aleixo da Restauração) apresenta resultados mistos. Quando as primeiras sub-séries são pequenas (25/50 até 32/43), os resultados são P < U. Quando as primeiras sub-séries são grandes (48/27 a 50/25), os resultados são P > U.

--- Teste não realizado.

NS Diferença não significativa para $\alpha < 0.1$.

4.6 Modelo harmónico estacionário

Na figura 5 apresenta-se graficamente o ajustamento do modelo produzido aos valores médios da precipitação anual das nove estações estudadas. A mancha rosa representa o intervalo de previsão, definido pelo valor obtido pelo modelo, mais ou menos o desvio médio entre os valores modelados e observados.

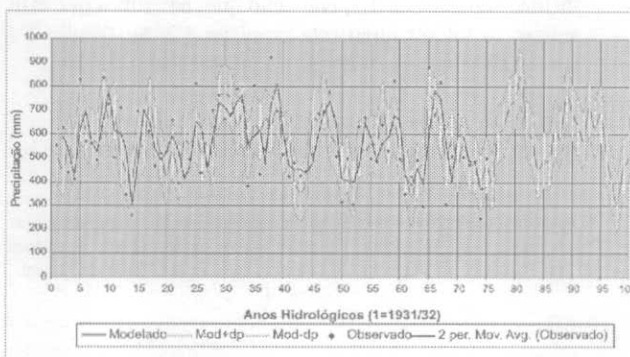


Figura 5 Representação gráfica do modelo harmónico estacionário, ajustado aos dados da precipitação anual média das nove estações estudadas. A área de previsão do modelo é representada pela mancha rosa. A linha negra representa a média de dois anos consecutivos da precipitação observada.

A linha negra representa a média da precipitação anual observada em dois anos consecutivos. O primeiro ano com dados é o ano hidrológico de 1931/32 (ano 1) e o último é o ano hidrológico de 2005/06 (ano 75). Verifica-se um ajuste razoável entre a mancha de previsão e aquela linha.

Existem alguns pontos individuais situados fora da mancha, o que reflecte alguma limitação do modelo na previsão da intensidade dos valores extremos. Estes pontos estão, de uma forma geral, localizados no mesmo sentido da tendência indicada pela mancha. Por outras palavras, o modelo dá uma indicação razoável da tendência da precipitação, “falhando”, no entanto, na representação da severidade dos fenómenos extremos.

Foi realizada uma expansão do modelo para os próximos anos, que mostra uma tendência para o aumento da precipitação anual durante o próximo período de cinco a seis anos, com a provável ocorrência de uma precipitação invulgarmente alta, perto do fim do período. Será também provável a ocorrência de um ano extremamente seco (ao nível de 2004/05) dentro dos próximos dois anos.

Na figura 6 apresenta-se a correlação entre os valores da precipitação anual média das nove estações, produzidos pelo modelo e os valores observados. O coeficiente obtido ($r^2 = 0.4463$; $r = 0.668$) é altamente significativo ($\alpha < 0.05$) para o número de pares de valores comparados (75).

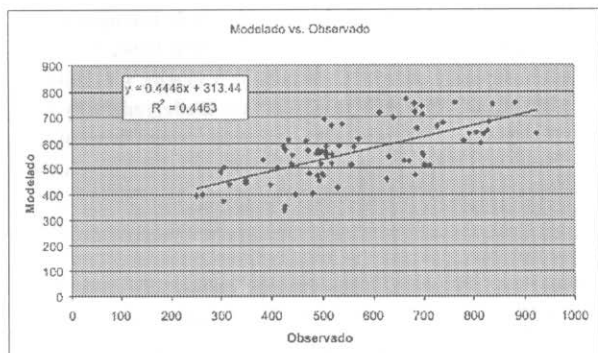


Figura 6 Correlação entre valores observados e valores produzidos pelo modelo.

No quadro 6 apresentam-se os coeficientes $k(T)$, $A(T)$ e $B(T)$, associados a cada harmónica de período T , otimizados iterativamente, por associação do método dos mínimos quadrados com programação linear, através da aplicação *Solver* do *Microsoft Excel*.

Quadro 6 Parâmetros do modelo harmónico estacionário.
Coeficientes $k(T)$, $A(T)$ e $B(T)$.

T	k	A	B
2	0.4285	0.000	-84.240
3	1.0835	-17.831	20.538
4	0.6722	23.698	-15.522
5	0.8028	13.340	24.031
6	1.7607	-19.317	11.279
7	0.7104	15.836	-73.408
8	0.6581	-11.961	65.296
9	0.4978	81.809	6.316
10	1.2062	-32.218	7.269
11	1.3448	29.363	-17.095
12	20.6205	-2.299	-2.105
13	-0.1293	37.245	-51.849
14	-0.1754	52.178	10.799
15	1.2017	16.625	-7.964
16	-0.2699	73.636	-14.835
17	-0.0414	53.074	20.513
18	1.1600	-2.284	14.506
19	0.6550	-3.543	-46.690
20	-0.0133	46.383	-81.372
21	-0.0134	98.807	-54.866
22	-0.0026	105.278	-6.543
23	-0.0195	75.536	18.686
24	0.0061	43.879	7.285
25	0.9216	40.494	-19.187
26	-0.0151	56.888	-55.856
27	0.0063	95.230	-66.444
28	0.0058	134.549	-52.656
29	0.0060	161.317	-19.967
30	0.0069	168.752	21.156
31	0.0081	156.752	60.004
32	0.0098	129.878	88.551
33	0.0126	94.868	102.535

T	k	A	B
34	0.0172	58.588	101.230
35	0.0258	26.715	86.549
36	0.0454	3.132	61.964
37	0.0923	-10.154	31.543
38	0.0638	-12.757	-0.770
39	0.7169	-5.500	-30.214
40	-0.0519	9.919	-58.424
41	-0.0324	31.491	-79.503
42	-0.0255	57.022	-93.942
43	-0.0210	84.440	-101.505
44	-0.0178	111.922	-102.481
45	-0.0152	137.964	-97.531
46	-0.0132	161.415	-87.552
47	-0.0115	181.460	-73.566
48	-0.0100	197.598	-56.628
49	-0.0088	209.593	-37.758
50	-0.0077	217.430	-17.901
51	-0.0068	221.266	2.107
52	-0.0061	221.387	21.554
53	-0.0055	218.169	39.852
54	-0.0049	212.041	56.540
55	-0.0045	203.463	71.270
56	-0.0041	192.899	83.803
57	-0.0038	180.804	93.989
58	-0.0036	167.610	101.761
59	-0.0033	153.718	107.116
60	-0.0031	139.493	110.107
61	-0.0029	125.258	110.827
62	-0.0026	111.298	109.406
63	-0.0023	97.858	105.994
64	-0.0019	85.143	100.760
65	-0.0013	73.321	93.883
66	0.0224	62.528	85.545
67	-0.1585	50.751	67.347
68	0.0073	44.421	65.217
69	0.0135	37.236	53.582
70	0.0333	31.344	41.192
71	0.0900	26.758	28.205
72	0.2580	23.474	14.767
73	0.4482	21.475	1.017
74	0.2143	20.732	-12.920
75	0.0870	21.208	-26.930

5. CONCLUSÕES

O estudo realizado confirma a existência de uma alteração climática na área representada pelas nove estações analisadas. Esta alteração climática caracteriza-se por:

– alteração da quantidade média de precipitação verificada em alguns meses do ano, de que resultam alterações da precipitação acumulada em diversos períodos de agregação estudados;

– alteração do padrão de distribuição temporal da precipitação ao longo do ano, de que resultam alterações no carácter húmido ou seco de alguns meses;

– alteração da frequência de ocorrência de episódios extremos, evidenciada pela alteração dos coeficientes de assimetria de alguns meses.

De uma forma global e absoluta, a precipitação anual média actual (últimos trinta anos) é cerca de 10% inferior àquela que se verificava em meados da década de 60. No mesmo período de tempo, a precipitação mensal de Março sofreu um decréscimo de cerca de 50%.

De uma forma relativa, os meses de Janeiro e Março tornaram-se mais secos, enquanto que os meses de Outubro e Agosto se tornaram mais húmidos. Existiram diminuições significativas nos coeficientes de assimetria nos meses de Outubro, Dezembro, Fevereiro, Julho e Setembro, enquanto que nos meses de Novembro, Janeiro e Junho existiram aumentos, a que corresponde um risco acrescido da ocorrência de fenómenos extremos, nestes últimos.

O desenvolvimento de um modelo harmónico estacionário, e o seu ajuste a 75 anos de dados de precipitação anual, permite explicar cerca de 45% da variância dos dados. Este modelo explica de forma muito satisfatória a evolução temporal da média das precipitações anuais de dois anos consecutivos. A expansão do modelo para os anos futuros mais próximos indicia a possibilidade de ocorrência de um ano muito seco nos próximos dois anos, a ocorrência de cinco a seis anos progressivamente mais húmidos e a possibilidade de ocorrência de um ano muito húmido no fim deste período.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores desejam agradecer ao SNIRH a disponibilização pública dos dados de base, sobre os quais este estudo foi produzido, através do seu portal: <http://snirh.inag.pt>.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DRAA, 1998. **Zonas de interesse ambiental do Alentejo, Doc 1, Guião**. Direcção Geral do Ambiente do Alentejo, Centro de Ecologia Aplicada. Évora.
- Fialho, J., Borges, C., Lizardo, J., Lapa, N., Morais, J. & Oliveira, J. F., 2004. **Perspectiva Integrada na Abordagem de Elaboração de um Projecto de Estação de Tratamento de Águas Residuais Urbanas**. In: Livro de Resumos e CD anexo do 11º Encontro Nacional de Saneamento Básico, ISBN 972-95302-5-4, 12-15 de Outubro, Faro, pp. 99-101.
- Francisco Caldeira Cary, 1985. **Enquadramento e perfis do investimento agrícola no continente português**. Banco de Fomento Nacional, Estudos nº 23, 1º Vol. Lisboa.
- IPAMB, (sem data). **Recursos hídricos do sul de Portugal, Vol. II**. Compilação de informação disponível no IPAMB. Lisboa.
- Lapa, N., Morais, J., Borges, C., Mendes, B. & Oliveira, J. F., 2004. **An Integrated Approach to Assess the Biodegradability of a Wastewater Containing Chromium by Using Chemical and Biological Methods**. In: Proceedings of the Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean Technology (REWAS' 2004), ISBN 84-95520-05-2, 26-29 September, Madrid, Espanha, V-II, pp. 1351-1362.
- Maria Manuela Portela & António Carvalho Quintela, 1999. **Indícios de mudança climática em séries de precipitação em Portugal continental**. Recursos Hídricos, Vol. 19, pp 41-74. Lisboa.
- Oliveira, J. F., Lapa, N. & Morais, J., 1999. **Eutrofização: A Flor da Água**. CS/04, IPQ/EPAL (ed.) ISBN 972-763-008-1, 14 p.
- Oliveira, J., Morais, J. & Cardoso, M., 2001. **Algumas reflexões sobre o impacto da desertificação nos ecossistemas terrestres em Portugal**. In: INUAF (ed) A Desertificação no Algarve, INUAF Studia, Ano 2, Supl. 2, pp. 9-57, Loulé.
- Pedro cabrita & Mário Tavares, 1991. **A bacia do Guadiana. Uma área sensível**, in *Recuperação de áreas degradadas na bacia do Guadiana*, Revista Florestal Vol. V nº 2. Lisboa.
- Ruy Mayer, 1935. **Contribuição para o estudo dos factores climáticos nas suas relações com a hidráulica agrícola**. Anais do Instituto Superior de Agronomia, Vol. VII - Fasc. 1º, pp 64-103. Universidade Técnica de Lisboa.
- SEARN, 1986. **Monografias hidrológicas dos principais cursos de água de Portugal continental**. Secretaria de Estado do Ambiente e Recursos Naturais, Direcção Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, Divisão de Hidrometria. Lisboa.
- Suzane Daveau e colaboradores, 1985. **Mapas climáticos de Portugal. Nevociro e nebulosidade. Contrastes térmicos**. Memórias do centro de Estudos Geográficos, nº 7, 84 p. Universidade de Lisboa, Instituto Nacional de Investigação Científica.