



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO  
Universidade Técnica de Lisboa

## **Análise de tendências em séries de precipitação diária máxima anual**

**Cristiana Maciel Vaz**

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia Civil**

### **Júri:**

Presidente: Prof. António Alberto do Nascimento Pinheiro

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Maria Manuela Portela Correia dos Santos Ramos da Silva

Vogal: Prof. João Alexandre Medina Corte-Real

**Novembro de 2008**

## **Agradecimentos**

À Professora Manuela Portela, pela disponibilidade, sabedoria, ajuda, compreensão, e paciência no decurso desta dissertação.

Ao INAG, por ter os dados disponíveis através do SNIRH.

Ao IST, e em particular aos docentes do Departamento de Hidráulica, pela minha formação superior.

Ao Ed, por ser o meu exemplo e por tudo o que fui, sou e serei.

Ao Simão, pela imensa alegria e amor.

À minha Família, pelo imenso apoio, ajuda e amor.

Aos amigos que sempre me apoiaram e ajudaram.

Obrigada

Fim.

## Resumo

A investigação desenvolvida visou, no essencial, a detecção de tendências em séries hidrológicas de valores extremos, nomeadamente, em séries de precipitação diária máxima anual, de modo a permitir inferir se tais tendências, a existirem, apontam no sentido das que são frequentemente atribuídas às alterações climáticas.

A análise das séries de precipitação diária máxima anual recorreu a duas abordagens básicas. A primeira incidiu sobre 23 postos e utilizou a análise de médias móveis e a aplicação da lei de Gumbel à apreciação da evolução de precipitação extrema com interesse no projecto. A segunda incidiu sobre 6 postos, mediante a análise das frequências empíricas das precipitações diárias máximas anuais e da caracterização das precipitações diárias excepcionais, neste caso, pelo cálculo e tratamento, com recurso a médias móveis, do número de dias por ano com precipitações excepcionais e da respectiva média anual dessas precipitações. Aplicaram-se ainda médias móveis ao número de dias por ano com chuva e às precipitações médias nesses dias

A investigação não confirmou as expectativas, mencionadas por alguns autores, quanto aos efeitos das alterações climáticas nas precipitações excepcionais em Portugal. No entanto, tornou-se clara a necessidade de adoptar critérios de dimensionamento adicionais. Com efeito, provou-se que podem ser muitos os postos em que a consideração de períodos distintos dos períodos totais de registos conduz a precipitações excepcionais mais elevadas, em especial para os períodos de retorno mais frequentemente adoptados no projecto (superiores a 100 anos).

**Palavras-chave:** alteração climática, tendência, precipitação diária máxima anual, média móvel, lei de Gumbel

## **Abstract**

The research carried out aimed at clarifying if the series of annual maximum daily rainfall (Pdma) in Portuguese rain gages exhibit the trends that are generally pointed out as resulting from the climate change phenomenon.

The analysis of the annual maximum daily rainfall series was based on two different approaches. The first one was applied to 23 rain gages, and utilized moving average techniques and the characterization, based on different samples, of the estimates provided by the Gumbel's law for the extreme precipitations. The second approach considered 6 rain gages, through the analysis of the empiric frequencies of the annual maximum daily rainfalls. For these rain gages, the analysis of the intensive daily rainfalls was also carried out in terms of the moving averages of the yearly number of days with extremely high rainfall and of the averages of the respective rainfalls. The moving average technique was also applied to the number of wet days per year and to the average rainfall in those days.

The research carried out did not confirm the expectations, in terms of the behavior of the extreme rainfall series, mentioned by some authors as resulting from the climate change phenomenon. However, it became clear that additional design criteria need to be introduced. As a matter of fact, the research proved that, for many rain gages, the estimates of design rainfalls based on recording periods other than the total one may be higher, specially for the return periods more relevant in terms of design, often equal or greater than 100 years.

**Key words:** climate change, trend, annual maximum daily rainfall, moving average, Gumbel's law

## Índice do texto

1	Objectivo e desenvolvimento do estudo. Organização do documento .....	1.1
2	Enquadramento teórico do tema .....	2.1
3	Dados de base .....	3.1
4	Análise de médias móveis. Função de distribuição .....	4.1
4.1	Introdução .....	4.1
4.2	Descrição dos modelos .....	4.1
4.2.1	Médias móveis.....	4.1
4.2.2	Função de distribuição da lei de Gumbel.....	4.3
4.3	Resultados e conclusões.....	4.6
5	Procedimentos de análise adicionais .....	5.1
5.1	Introdução.....	5.1
5.2	Descrição dos procedimentos .....	5.1
5.2.1	Frequências empíricas .....	5.1
5.2.2	Caracterização adicional das precipitações diárias excepcionais .....	5.3
5.3	Postos de Travancas, Vinhais, Góis, Pernes, Vila Nogueira de Azeitão e Serpa. Resultados e conclusões .....	5.6
6	Conclusões gerais e recomendações .....	6.1
7	Bibliografia.....	7.1

## Índice de Figuras

Figura 2.1:	Séries de precipitação mensal e anual em 144 postos udométricos (1910/11 a 2003/04). Distribuição espacial da magnitude das tendências estatisticamente significativas ao longo dos meses e no ano (magnitudes expressas em percentagem por ano da precipitação média no correspondente intervalo de tempo) (adaptada de [19]).....	2.6
Figura 3.1:	Localização esquemática dos postos analisados (fonte: <a href="http://www.snirh.pt">www.snirh.pt</a> , mapa da rede meteorológica).....	3.3
Figura 3.2:	Diagramas cronológicos das precipitações diárias máximas anuais (Pdma) e das precipitações anuais (Panual). Indicação da precipitação diária máxima anual média (Pdma média) e da precipitação anual média (Panual média).....	3.5

Figura 4.1: Análise de médias móveis em grupos de 25 anos hidrológicos consecutivos. Exemplo referente ao posto udométrico de Alfândega da Fé. ....	4.3
Figura 4.2: Funções de distribuição da lei de Gumbel aplicada às precipitações diárias máximas anuais (Pdma) tendo por base o período total de registos e as cinco primeiras e as cinco últimas séries de 25 anos utilizadas na análise de médias móveis. Exemplo referente ao posto udométrico de Góis. ....	4.5
Figura 4.3: Funções adimensionalizadas de distribuição da lei de Gumbel aplicada às precipitações diárias máximas anuais (Pdma) tendo por base o período total de registos e a primeira e a última série de 25 anos utilizadas na análise de médias móveis. Exemplo referente ao posto udométrico de Góis. ....	4.5
Figura 4.4: Análise de médias móveis em grupos de 25 anos hidrológicos consecutivos. ....	4.8
Figura 4.5: Funções de distribuição da lei de Gumbel das precipitações diárias máximas anuais (Pdma). Para cada posto udométrico, gráfico superior: série total, primeiras e últimas cinco séries de 25 anos; gráfico inferior: representação adimensional da série total e da primeira e última séries de 25 anos. ....	4.11
Figura 4.6: Médias móveis adimensionais das precipitações diária máxima anual (Pdma) e anual (Panual). ....	4.30
Figura 5.1: Frequências empíricas avaliadas com base no período total e no primeiro e último grupos de 25 anos sucessivos (cada grupo é identificado pelos números de ordem, na série total, do primeiro e do último anos). Exemplo para o posto udométrico de Góis. ....	5.2
Figura 5.2: Média e duração das precipitações excepcionais. Para o posto udométrico de Góis: precipitações diárias com probabilidade de não excedência de 50%. O espaçamento da grelha vertical representa cinco dias. ....	5.5
Figura 5.3: Para o posto udométrico de Góis, médias móveis: do lado esquerdo, do número de dias por ano com precipitação (#dias com chuva no ano) e da média anual da precipitação diária nesses dias (Pmédia); do lado direito, do número de dias por ano com precipitações excepcionais (#dias $P^*_{50}$ e #dias $P^*_{70}$ ) e das médias anuais das precipitações diárias nesses dias ( $P^*_{50}$ e $P^*_{70}$ ). ....	5.6
Figura 5.4: Frequências empíricas avaliadas com base no período total e no primeiro e último grupos de 25 anos sucessivos (cada grupo é identificado pelos números de ordem, na série total, do primeiro e do último anos). ....	5.8

Figura 5.5: Média e duração das precipitações excepcionais. Para cada posto udométrico: precipitações diárias com probabilidade de não excedência de 50% (gráfico superior) e de 70% (gráfico inferior). Em Travancas, Góis e Pernes, o espaçamento da grelha vertical representa cinco dias e em Vinhais, Vila Nogueira de Azeitão e Serpa, quatro dias. ....5.9

Figura 5.6: Para cada posto udométrico, médias móveis: do lado esquerdo, do número de dias por ano com precipitação (#dias com chuva no ano) e da média anual da precipitação diária nesses dias ( $P_{média}$ ); do lado direito, do número de dias por ano com precipitações excepcionais (#dias  $P^*_{50}$  e #dias  $P^*_{70}$ ) e das médias anuais das precipitações diárias nesses dias ( $P^*_{50}$  e  $P^*_{70}$ ). .....5.12

Figura 6.1: Resultados em dois postos udométricos infirmando – caso do posto de Vinhais – e confirmando – caso do posto de Serpa – as tendências frequentemente atribuídas às alterações climáticas. ....6.2

## Índice de Quadros

Quadro 3.1: Postos udométricos analisados. Localização e períodos de registos de precipitação diária máxima anual. .... 3.4

Quadro 3.2: Características estatísticas das séries de precipitação diária máxima anual nos correspondentes períodos de registos. .... 3.4

Quadro 4.1: Postos do Quadro 3.1. Tendências sugeridas pela análise de médias móveis (Figura 4.4) e critérios de projecto decorrentes da aplicação da função de distribuição de lei de Gumbel (Figura 4.5)..... 4.28

Quadro 5.1: Síntese da Figura 5.5. Evolução das precipitações excepcionais ao longo dos períodos de registos. .... 5.16

## Lista de Anexos

Anexo 1 – Séries cronológicas das precipitações diária máxima anual ( $P_{dma}$ ) e anual ( $P_{anual}$ )

Anexo 2 – Efeito do período de  $n$  anos – “janela temporal” – nas médias móveis das precipitações diárias máximas anuais

Anexo 3 – Número de dias por ano com precipitação (#dias com chuva), média da precipitação diária nesses dias ( $P_{média}$ ), número de dias com precipitações excepcionais (#dias) e média das precipitações diárias nesses dias ( $P^*$ )

## Lista de Símbolos e Abreviaturas

#:	número
$\overline{P}_i$ :	Precipitação média do grupo de ordem i
$\overline{x}$ :	Média da amostra
c. a.	Coefficiente de assimetria da amostra (-)
c. var.:	Coefficiente de variação da amostra (-)
F(x):	Probabilidade de não excedência de x
GCM:	<i>General Circulation Models</i>
GEE:	Gases com efeito de estufa
i:	Número de ordem
INAG:	Instituto Nacional da Água
IPCC:	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
k:	Dias com precipitações diárias superiores a $P_{50}$
K:	Factor de probabilidade
l:	Distância do espaçamento da grelha vertical dos gráficos das precipitações excepcionais
N:	Dimensão do período de registos (dimensão da amostra)
n:	Número de anos dos sucessivos grupos adoptados na análise de médias móveis
NACS:	<i>National Academy of Science</i>
$P_i^{(j)}$ :	Precipitação diária no período i em causa no posto (j) (mm)
$P^{(Tr)}$ :	Precipitação diária no período considerado no posto de Travancas (mm)
$P^*_{50}$ :	Média da amostra de precipitações diárias superiores a $P_{50}$ (mm)
$P^*_{70}$ :	Média da amostra de precipitações diárias superiores a $P_{70}$ (mm)
$P_{50}$ :	Precipitação diária máxima anual a que corresponde a probabilidade empírica de não excedência de 50% (mm)



$P_{70}$ :	Precipitação diária máxima anual a que corresponde a probabilidade empírica de não excedência de 70% (mm)
P <sub>anual</sub> média:	Precipitação anual média (mm)
P <sub>anual</sub> :	Precipitação anual (mm)
P <sub>dma</sub> média:	Precipitação diária máxima anual média (mm)
P <sub>dma</sub> :	Precipitação diária máxima anual (mm)
$P_i$ :	Precipitação diária em falha no dia $i$ (mm)
$p_i$ :	Precipitação observada no ano $i$ (mm)
RCM:	<i>Regional Circulation Models</i>
$s$ :	Desvio-padrão da amostra (mm)
SNIRH:	Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos
$T$ :	Período de retorno
$x$ :	Valor da variável aleatória $X$
$X$ :	Variável aleatória
$x_i$ :	Valor de ordem $i$ de uma amostra de uma variável aleatória $X$
$x_n$ :	Valor mais elevado da amostra ordenada
$z$ :	Inverso da distribuição cumulativa normal padrão, com média nula e desvio-padrão unitário
$\mu$ :	Média da distribuição teórica considerada
$\sigma$ :	Desvio-padrão da distribuição teórica considerada

## 1 Objectivo e desenvolvimento do estudo. Organização do documento

O conhecimento e a compressão da alteração climática e dos seus efeitos é relevante para a engenharia civil. Com efeito, a confirmarem-se alterações nos sistemas hidrológicos e nas variáveis com eles relacionados, tal circunstância implica uma revisão dos procedimentos e critérios de projecto, pois deixa de ser aplicável o pressuposto de estacionaridade de séries hidrológicas em que os mesmos frequentemente se baseiam. Admite-se que assim se possa prevenir o sub ou o sobre dimensionamento de infra-estruturas hidráulicas.

Com vista a formular cenários referentes ao comportamento futuro de variáveis relacionadas com o clima, designadamente de variáveis climatológicas, podem ser adoptadas duas abordagens baseadas ou na análise de séries de registos e na consequente extrapolação das tendências exibidas por essas séries, ou em modelos climáticos. A investigação que se apresenta utilizou a primeira abordagem e partiu do pressuposto de que, a ocorrer uma alteração climática, a mesma deveria ter consequências no comportamento de amostras longas de registos de variáveis climatológicas, designadamente de amostras de precipitação. Admitia-se que o estudo desse comportamento comprovasse algumas das consequências que, em resultado da aplicação de modelos climáticos, são actualmente atribuídas à alteração climática.

Concretamente, a investigação desenvolvida visou a detecção de tendências em séries hidrológicas de valores extremos, nomeadamente, em séries de precipitações diárias máximas anuais (Pdma), de modo a permitir inferir se tais tendências, a existirem, apontam no mesmo sentido das que são frequentemente atribuídas às alterações climáticas. No domínio dos fenómenos meteorológicos extremos são normalmente mencionadas como consequências das alterações climáticas o aumento da frequência daqueles fenómenos, bem como a intensificação dos respectivos “sinais” (cheias e secas mais frequentes e mais intensas).

Menciona-se que as amostras de precipitações diárias máximas anuais utilizadas no estudo são constituídas por um valor por ano, referente à mais elevada precipitação registada nesse ano num período de 24 h, com início às 9 h da manhã. A caracterização das amostras de precipitações diárias máximas anuais é fundamental para a análise de cheias que, por sua vez, constituem os desastres naturais mais relatados, afectando cerca de 100 milhões de pessoas todos os anos, [8].

O presente trabalho de dissertação dá seguimento, de algum modo, a estudos antecedentes sobre o comportamento de séries de precipitação nos quais foram desenvolvidos alguns procedimentos destinados a detectar tendências eventualmente relacionáveis com o fenómeno das alterações climáticas, [15] e [18]. À semelhança desses outros estudos, a análise agora apresentada incidiu sobre a precipitação – embora restringida à Pdma – por se tratar de uma variável hidro-climatológica, não só amplamente caracterizada através de redes de monitorização, mas também mais directamente relacionada com o clima, [18].

A confirmar-se a alteração climática, esta deve traduzir-se na alteração dos parâmetros estatísticos das séries temporais de variáveis hidrológicas, com ênfase para as respectivas médias e desvios-padrão e, conseqüentemente, coeficientes de variação mas, eventualmente, também dos coeficientes de assimetria.

A apresentação da investigação levada a cabo foi organizada no documento que se apresenta, estruturado em seis capítulos, em que se inclui esta breve apresentação.

O capítulo 2 contém um enquadramento teórico sintético do tema, sendo que a apresentação dos dados de base utilizados consta do capítulo 3.

A análise das amostras de precipitação diária máxima anual em postos da rede udométrica nacional utilizou diferentes modelos e ferramentas cuja descrição e resultados foram organizados em dois capítulos fundamentais – capítulos 4 e 5. O primeiro destes capítulos incidiu sobre a análise de médias móveis dos registos de precipitação diária máxima anual e sobre a evolução de precipitação estimada para projecto com base na lei de Gumbel, para o que foram considerados 23 postos udométricos. O capítulo 5 trata de procedimentos de análise adicionais, envolvendo a caracterização das frequências empíricas das precipitações diárias máximas anuais e das precipitações diárias excepcionais, em 6 daqueles 23 postos. Neste último caso, recorreu-se ao cálculo dos números de dias por ano com precipitações excepcionais e das médias anuais dessas precipitações excepcionais, parâmetros aos quais se aplicou a análise de médias móveis. Procedeu-se ainda à caracterização (incluindo também a análise por médias móveis) do número de dias por ano com chuva e da precipitação média anual nesses dias. Menciona-se que cada um dos capítulos 4 e 5 se inicia por uma breve introdução, seguida da descrição e da exemplificação dos procedimentos nele contidos e, por fim, da apresentação e análise crítica dos resultados alcançados. Tal análise é efectuada primeiramente posto a posto, e, posteriormente, de um modo global.

A finalizar o texto, inclui-se o capítulo 6 contendo as conclusões gerais da investigação levada a cabo, bem como as recomendações para consideração futura em análises de índole afim.

## 2 Enquadramento teórico do tema

Desde sempre que há registo da ocorrência de alterações climáticas na Terra tratando-se, portanto, de um fenómeno natural. Não obstante, as características especiais da evolução do clima da Terra nas últimas décadas colocaram, com grande premência, o problema da alteração climática na agenda internacional. A tendência de aquecimento global, embora moderada, tornou-se clara especialmente a partir da última década do século XX. Na verdade, os cinco anos mais quentes dos últimos 150 anos foram registados na última década (1998, 2003, 2002, 2001 e 1997, por ordem decrescente de anomalia), sendo que o Verão de 2003 foi, na Europa, o mais quente dos últimos 500 anos. A sucessiva quebra de máximos históricos para a temperatura máxima em diferentes regiões e a ocorrência de situações extremas de calor levou parte da sociedade a encarar o aquecimento global como um problema importante que requer estudo, monitorização e planeamento futuro, [17].

A alteração climática, segundo a definição do IPCC (do inglês, *Intergovernmental Panel on Climate Change*), consiste numa variação estatisticamente significativa da média e/ou variabilidade das variáveis que definem o clima e que persiste durante um longo período, na ordem de décadas ou maior, sem uma identificação específica da causa dessa variação. Com esta definição, a alteração climática poderá ter causas naturais, antropogénicas ou ser resultado de ambos, [17].

Para perceber o comportamento futuro de várias variáveis climatológicas existem duas abordagens. Uma delas baseia-se na análise de séries de registos, que, aliás, foi a utilizada na investigação que se apresenta, e a outra, mais frequentemente abordada na bibliografia da especialidade, recorre a modelos climáticos. A abordagem que utiliza a análise das séries de registos de variáveis climatológicas é mais discutível, visto estar limitada aos registos existentes que muitas vezes podem não ser em número suficiente para extrair conclusões devidamente comprovadas. Além do mais, só permite projectar para o futuro as tendências de algum modo já denotadas pelas séries históricas. A última destas duas abordagens, o recurso a modelos climáticos, permite inferir sobre o clima num futuro mais longínquo e, conseqüentemente, identificar a longo prazo as conseqüências das alterações climáticas. Espera-se, à partida, que algumas das expectativas existentes quanto aos efeitos das alterações climáticas, designadamente, decorrentes da aplicação de modelos climáticos, estejam também patentes em séries longas de registos, nomeadamente, de precipitações diárias máximas anuais.

Nos parágrafos seguintes apresenta-se uma breve descrição dos modelos climáticos e das projecções para o futuro fornecidas pelos mesmos.

Os modelos climáticos são instrumentos de elevada importância no estudo das alterações climáticas porque permitem, através de simulações do sistema climático, interpretar o comportamento recente do clima e obter cenários do clima futuro. Os modelos mais realistas e fiáveis são muito complexos dado que incluem os subsistemas atmosfera e oceano, as suas interações e a descrição dos vários processos físicos, químicos e biológicos que determinam o clima. Idealmente, um modelo climático deveria descrever todos os processos relevantes para o clima, assim como todos os fenómenos, até às mais pequenas escalas temporal e espacial. Obviamente tal não é possível e, portanto, os modelos

climáticos são necessariamente incompletos, envolvendo vários tipos de aproximações. As limitações computacionais são uma das razões para a necessidade de aproximações, [17].

Os actuais modelos climáticos - modelos de circulação geral, os GCM (do inglês, *General Circulation Models*) - permitem simular, através de uma malha tridimensional, o sistema climático terrestre, incluindo a atmosfera e os oceanos. Estes modelos baseiam-se nas equações do movimento de Newton, nas leis da termodinâmica e na lei dos gases perfeitos, [5].

Para que um modelo climático seja capaz de fornecer uma simulação do clima futuro da Terra é necessário fornecer-lhe um cenário de evolução das concentrações de gases com efeito de estufa, GEE. Existem quatro cenários possíveis, baseados em quatro famílias de possíveis narrativas do desenvolvimento socioeconómico futuro que incluem, de uma forma coerente, factores demográficos, sociais, económicos e tecnológicos. São eles os cenários A1, A2, B1 e B2, [17].

O cenário A1 projecta um mundo com um desenvolvimento económico e tecnológico rápido e uma população global que atinge um máximo em meados deste século. O cenário A2 descreve um mundo profundamente heterogéneo, com um desenvolvimento socioeconómico e tecnológico fragmentado em que a população mundial cresce ao longo de todo o século XXI. A descrição introduzida pelo cenário B1 é a de um mundo convergente que privilegia o desenvolvimento sustentável e as soluções globais para os problemas sociais e económicos. O cenário B2 corresponde a um mundo centrado na procura de soluções locais para os problemas sociais, económicos e ambientais e no qual a população também cresce até ao final do século XXI, mas a um ritmo mais lento que o do cenário A2, [17].

Os GCM exigem um grande esforço computacional, razão pela qual, actualmente, apenas os países mais industrializados podem suportar “correr” estes modelos, e mesmo assim para um número limitado de casos. Estimar a distribuição espacial de precipitação num cenário de futuro clima, através dos GCM, é um desafio maior que calcular a temperatura à superfície visto que a precipitação tem uma variação espacial muito maior. Como consequência, há certas regiões para as quais todos os modelos apresentam respostas diferentes, enquanto que há outras regiões em que a maioria desses modelos conduz às mesmas respostas, [5].

A actual resolução espacial dos GCM - geralmente da ordem dos 300 km - gera grandes dificuldades na utilização dos respectivos cenários climáticos futuros no estudo dos impactos da alteração climática em áreas relativamente pequenas, como é o caso de Portugal. Uma das possíveis soluções para este problema é a utilização de modelos de elevada resolução espacial (tipicamente 30 a 50 km) numa determinada área limitada - os designados modelos regionais, os RCM (do inglês, *Regional Circulation Models*) - que são forçados pelas condições de fronteira geradas por um GCM, [17].

O aumento de temperatura observado ao longo de várias décadas está intimamente ligado a mudanças no ciclo hidrológico, tais como o aumento da capacidade de retenção de vapor de água, alterações nos padrões, intensidades e valores extremos de precipitação, entre outros, [2]. Com o aumento da evaporação e da transpiração, aumenta também a humidade presente da atmosfera, o que altera os padrões regionais de precipitação. Apesar de haver uma expectativa de aumento da

precipitação anual sobre os oceanos e continentes, existirão zonas com forte decréscimo da precipitação e da queda de neve, [1].

As mudanças observadas na precipitação mostram um aumento substancial da variabilidade espacial e inter-décadas. Ao longo do século XX e até 2005, a precipitação tem vindo a aumentar em zonas continentais localizadas a altas latitudes - entre 30°N e 85°N -, enquanto nas zonas entre 10°S e 30°N se têm verificado decréscimos de precipitação desde os anos 70, [2], [9]. Algumas zonas registaram maiores precipitações, como são o caso do Este da América do Norte e do Sul, o Norte da Europa e o centro-Norte da Ásia, enquanto outras ficaram significativamente mais secas, como a região do Mediterrâneo, do Sul de África e parte do Sul asiático, [9].

Na Europa os principais tipos de clima existentes são o marítimo, o continental, o polar e o mediterrânico. A sensibilidade da Europa à alteração climática, assim como as tendências de precipitação, quer anuais quer sazonais, varia do Norte para o Sul. Ao longo do século XX, a precipitação anual média aumentou no Norte europeu e diminuiu no Sul, [8].

Vários estudos indicam que o Sul da Europa será mais afectado pela alteração climática. Aí, espera-se que o clima, de si já quente e semi-árido, se torne mais quente e seco, ameaçando diversos sectores económicos e sociais, [2].

Em termos de alterações previstas, a maioria dos cenários projecta um aumento da precipitação anual média no Norte da Europa e um decréscimo nas regiões mais a Sul. Não obstante, as alterações na precipitação variam substancialmente com as estações do ano e com as diversas regiões, em resposta a alterações da circulação em larga escala e na capacidade de retenção de vapor de água. Prevê-se um forte decréscimo, em algumas zonas de cerca de 70%, da precipitação estival no Sul e centro da Europa e talvez até ao centro da Escandinávia, aqui num ritmo muito mais lento, [2].

Os cenários regionais de precipitação demonstram um contraste marcado entre as futuras precipitações de Inverno e de Verão na Europa. Prevêem-se Invernos mais chuvosos e Verões também mais chuvosos no Norte da Europa e menos chuvosos a Sul.

De acordo com o relatório do IPCC (2007), [5], o clima projectado para a Europa, para o período 2080 a 2099, com base num cenário intermédio (A1b) é o seguinte: o Sul ficará mais seco em todas as estações, em consequência da deslocação para Norte da zona de alta pressão sub-tropical; a Europa Central, apesar do balanço anual ser o mesmo, ficará mais seca no Verão e mais chuvosa no Inverno; o Norte da Europa ficará, no geral, mais chuvoso, [5]. Existe alguma dificuldade para reconhecer a influência da alteração climática nas disponibilidades hídricas superficiais até aos anos de 2020 porque tais disponibilidades têm uma forte variabilidade anual devido à actual variabilidade climática, [1].

Até 2020, as disponibilidades hídricas superficiais nas regiões da Europa localizadas a latitudes inferiores a 47°N, podem diminuir até 23%, e até 2070, entre 6% a 36%. Nessas zonas, haverá menos água disponível para consumo humano e industrial, bem como para os ecossistemas aquáticos e outros.

Em suma, apesar de, no cômputo global, se poder verificar um aumento da precipitação, a sua distribuição espacial será diferente. Prevê-se, assim, um aumento das regiões secas devido ao alargamento dos sistemas de altas pressões sub-tropicais; o regime de precipitação das médias latitudes deslocar-se-á em direcção aos pólos; na Europa central o ciclo sazonal apresentará mais precipitação no Inverno e menos no Verão; nos trópicos aumentará a precipitação. Haverá uma tendência no sentido de maiores precipitações intensas, assim como de períodos de seca mais intensos, [5].

Diversos modelos climáticos e teóricos sugerem que, num clima que está em aquecimento devido aos gases com efeito de estufa, é expectável um aumento mais acentuado nas precipitações associadas a acontecimentos extremos (ou precipitações extremas), em comparação às precipitações médias, por exemplo, mensais e anuais. Tal aumento deve-se ao facto de as precipitações associadas a acontecimentos extremos serem controladas pela disponibilidade de vapor de água na atmosfera, enquanto que aquelas outras são controladas pela capacidade da atmosfera irradiar energia com elevados comprimentos de onda para o espaço, e essa capacidade é restringida pelo aumento dos gases de efeito com estufa. Assim, torna-se mais fácil detectar influências antropogénicas mediante a análise de precipitações associadas a acontecimentos extremos, [2], [8].

Prevêm-se alterações nas precipitações extremas em várias partes do mundo. De acordo com os resultados de alguns modelos climáticos, o comportamento, na maior parte do território Europeu, da precipitação extrema é nitidamente diferente do da precipitação média, quer mensal, quer anual. Para várias regiões, antevê-se o aumento dos quartis mais elevados das precipitações diárias e das precipitações diárias máximas anuais, mesmo onde se prevê a diminuição da precipitação média, mensal e/ou anual, [8].

As projecções climáticas multi-modais para o século XXI mostram aumentos nas intensidades de precipitação, particularmente nas médias e altas latitudes, onde a precipitação anual média também aumentará, [8].

Portugal Continental está localizado no Sudoeste da Europa, aproximadamente, entre as latitudes 37°N e 42°N e entre as longitudes de 9.5°W e 6.5°W, portanto, estendendo-se mais em latitude do que em longitude, sendo que as regiões mais interiores distam apenas cerca de 220 km do oceano Atlântico, cuja proximidade influencia fortemente o clima.

Para se tentar avaliar as manifestações das alterações climáticas em Portugal, são utilizados como indicadores a evolução dos valores da temperatura média do ar e da precipitação e as variações do nível das águas do mar, [6]. Não obstante se esperarem reduzidas variações nos factores climáticos, estas são suficientes para criar variações significativas na temperatura e, principalmente, na precipitação observadas em Portugal Continental, [17].

A precipitação anual média em Portugal Continental é de, aproximadamente, 900 mm, sendo caracterizada por uma acentuada variabilidade espacial. Os valores mais elevados registam-se no Minho, com precipitações anuais, em alguns locais, superiores a 3000 mm, e os mais baixos, numa

região restrita da Beira Interior, com menos de 400 mm por ano, e, mais extensivamente, no interior do Alentejo, com valores inferiores a 600 mm na média dos anos. A bacia hidrográfica do rio Tejo marca a transição entre o Norte húmido e o Sul seco. O Inverno é a estação mais chuvosa, com cerca de 42% da precipitação anual, e o Verão a menos chuvosa, com apenas 6%. A Primavera e Outono contribuem com os restantes 52% da precipitação anual, com uma distribuição interanual muito variável. Em termos relativos, a variabilidade intra anual, mas também a interanual, aumenta de Norte para Sul, [17].

Os diversos cenários de alteração climática projectam modificações importantes do clima em Portugal. No que concerne à precipitação, sugerem uma redução da ordem de 20 a 40% da precipitação actual, devida à redução da duração da estação chuvosa. Não obstante os diversos modelos preverem, em termos globais, a redução de precipitação anual, sugerem um ligeiro aumento daquela precipitação na região Norte de Portugal e um decréscimo para as regiões do Centro e Sul. Os modelos prevêem ainda um aumento da assimetria sazonal da precipitação, com decréscimo relevante para o período de Verão, [17].

A concentração da precipitação nos meses de Inverno e o previsível aumento generalizado da frequência de chuvadas intensas deverá aumentar a magnitude e a frequência dos episódios de cheia, particularmente no Norte do país, [17].

Em trabalhos anteriores envolvendo também a análise de tendências em séries de precipitação, nomeadamente em [15] e [19], é destacada a tendência mais frequente para a diminuição da precipitação (a nível mensal e anual) e, com grande ênfase, para a diminuição muito acentuada e generalizada da precipitação no mês de Março. O primeiro dos anteriores trabalhos utilizou as séries de precipitação anual, trimestral e no mês de Março em 11 postos udométricos e recorreu à análise de médias móveis, à aplicação de testes estatísticos (paramétricos e não paramétricos) e à aplicação de um procedimento de detecção de quebras de homogeneidade especificamente desenvolvido no âmbito da investigação então efectuada. O segundo dos mencionados trabalhos completa [18] mediante aplicação do teste de Man-Kendall aos registos de precipitação mensal em 144 postos (em vez dos 98 postos inicialmente considerados em [18]) tendo as tendências estatisticamente significativas então detectadas sido quantificadas através do estimador de declive de Sen.

Em [15], concluiu-se ser evidente que as precipitações no segundo trimestre do ano hidrológico (de Janeiro a Março) e, mais acentuadamente, em Março, exibiam tendência nítida de redução: nos últimos 15 anos e em relação às médias nos períodos então analisados, a precipitação ocorrida no referido semestre representava entre 59% e 82% e a precipitação no mês de Março, entre 37% e 65%, [15], [19].

A quantificação e a caracterização espacial da magnitude das tendências, realizada em [19] conduziu aos mapas apresentados na **Figura 2.1**.



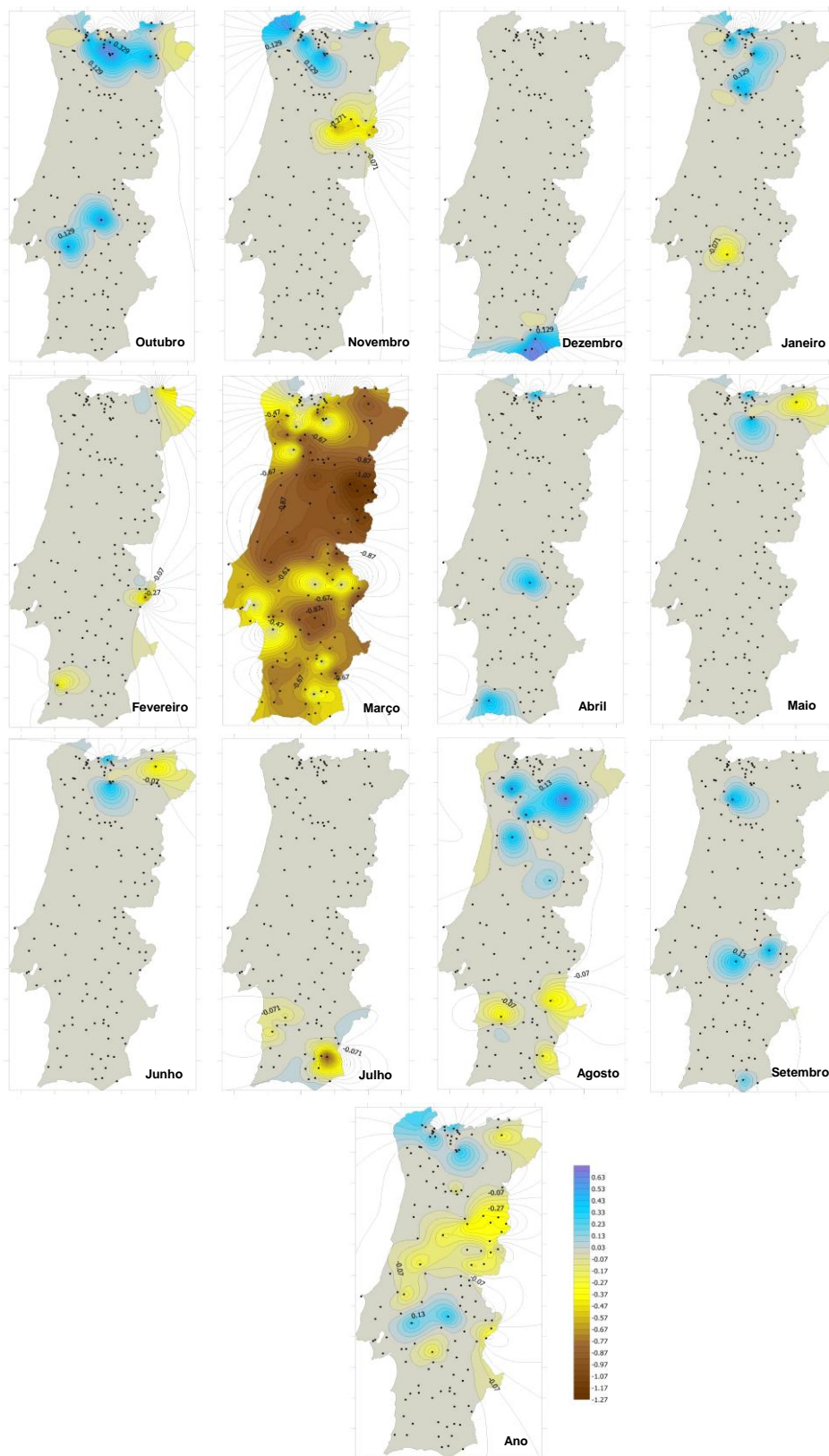


Figura 2.1: Séries de precipitação mensal e anual em 144 postos udométricos (1910/11 a 2003/04). Distribuição espacial da magnitude das tendências estatisticamente significativas ao longo dos meses e no ano (magnitudes expressas em percentagem por ano da precipitação média no correspondente intervalo de tempo) (adaptada de [19]).

A anterior figura evidencia que, exceptuando o mês de Março, se está em presença de variações da precipitação sempre geograficamente muito circunscritas. Nos meses de Abril, Setembro, Outubro e Dezembro as variações detectadas apontam no sentido do aumento local da precipitação e nos meses de Fevereiro, Março e Julho, no da diminuição. Nos meses de Janeiro, Maio, Junho, Agosto e Novembro, ocorre tanto o aumento, como a diminuição da precipitação mensal, sendo também esta a situação a nível anual, [18], [19].

Até à data, os registos disponíveis não permitiram obter uma prova conclusiva e geral relativamente ao modo como as alterações climáticas afectam os fenómenos hidrológicos mais intensos, nomeadamente os fenómenos de cheias, mas também de secas. As tendências registadas para fortes chuvadas mostram uma intensificação do ciclo hidrológico em algumas regiões, mesmo que não seja evidente um agravamento das zonas de inundação, [8].

Ao longo da história do clima da Terra são frequentes as variações climáticas. Pode dar-se o caso de as variações actualmente registadas fazerem parte dessa variabilidade natural da clima terrestre. No entanto, como é confirmado por vários estudos e organizações (IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*, NASC – *National Academy of Sciences* dos Estados Unidos da América e outros), não há dúvida que existe uma relação causal entre as emissões de origem antropogénicas dos gases com efeito de estufa e as alterações climáticas, [17].

“(…) No entanto, apesar deste acordo quanto à natureza do problema, há ainda muito desconhecimento e incerteza sobre o funcionamento detalhado do sistema climático e sobre as consequências futuras da interferência humana sobre esse sistema”, [17].

A detecção de alterações em séries longas de variáveis hidrológicas é um importante tema científico, pelo conhecimento que confere acerca dos fenómenos envolvidos, mas também por contribuir para a percepção e compreensão das alterações climáticas e dos seus efeitos. A par com modelos mais sofisticados, pode, assim, contribuir para o planeamento dos recursos hídricos e para a prevenção de desastres relacionados com cenários de alteração. Se os sistemas hidrológicos e as variáveis com eles relacionadas estão, de facto, a sofrer alterações então os procedimentos de projecto, frequentemente baseados no pressuposto de estacionaridade das séries hidrológicas, terão de ser revistos, pois o futuro poderá não ser estatisticamente igual ao passado. Caso assim não se proceda, corre-se o risco de as infra-estruturas hidráulicas de que depende a sociedade actual se tornarem, tanto sub, como sobredimensionadas, ocasionando deficiências de desempenho ou correspondendo a soluções excessivamente onerosas, [8].

### 3 Dados de base

Com vista a poder obter informação estatisticamente significativa e, assim, contribuir para o estudo das alterações de comportamento de séries de variáveis hidrológicas, quer tais alterações se devam ou não à mudança climática, é necessário dispor de séries suficientemente longas. Tendo em conta o anterior aspecto, os postos analisados no âmbito da tese que se apresenta foram seleccionados por disporem de 70 ou mais anos de registos de precipitação diária máxima anual (Pdma), assegurando, simultaneamente e em termos espaciais, uma razoável cobertura do território continental nacional, sem redundância de informação.

Assim, de entre os postos udométricos existentes no território nacional, foram seleccionados os 24 postos esquematicamente representados a vermelho, na **Figura 3.1**, incluída na página 3.3, que se repartem por sete bacias hidrográficas. Nos **Quadros 3.1** e **3.2** da página 3.4 apresentam-se algumas das características desses postos. O primeiro dos referidos quadros identifica os postos em análise, as bacias hidrográficas em que se inserem, as coordenadas geográficas, os períodos com registos de precipitação diária máxima utilizados e correspondentes dimensões, N. No segundo destes quadros, além dos postos e respectivas bacias hidrográficas, são apresentadas as características estatísticas das respectivas séries de Pdma. Menciona-se que os postos udométricos foram agrupados por bacia hidrográfica e, em cada bacia, ordenados por ordem alfabética do seu nome. Por sua vez, as bacias hidrográficas são apresentadas de Norte para Sul.

As coordenadas geográficas dos postos, no sistema Hayford-Gauss Militar, assim como os registos de precipitação subjacentes às características estatísticas especificadas no **Quadro 3.2** foram obtidos através do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, SNIRH, da responsabilidade do Instituto da Água, INAG.

As características estatísticas da série Pdma especificadas no **Quadro 3.2** para cada posto, referem-se à média (Pdma média), ao desvio-padrão com correcção de viés (s), ao coeficiente de variação (c.var.) e ao coeficiente de assimetria, também com correcção do viés (c.a.), tendo sido obtidas pelas equações que se seguem, em que  $p_i$  designa a precipitação registada (neste caso, a precipitação diária máxima anual) no ano  $i$  e  $N$  é a dimensão da amostra de valores (número de anos com registos):

$$Pdma \text{ média} = \frac{\sum_{i=1}^N p_i}{N} \quad (3.1)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (p_i - Pdma \text{ média})^2}{N-1}} \quad (3.2)$$

$$c.var. = \frac{s}{Pdma \text{ média}} \quad (3.3)$$

$$c.a. = \frac{N}{(N-1)(N-2)} \sum_{i=1}^n \left( \frac{p_i - Pdma\ média}{s} \right)^3 \quad (3.4)$$

A média, neste caso aritmética, é o mais vulgar dos parâmetros de tendência central (média, mediana e moda), e corresponde ao valor central duma amostra de valores numa distribuição estatística. É calculada de acordo com a equação (3.1), ou seja, somando os valores da amostra e dividindo essa soma pelo número daqueles valores.

O desvio-padrão e o coeficiente de variação são dois parâmetros de dispersão, ou seja, dão a conhecer como é que os dados numéricos tendem a distribuir-se em torno de um valor de tendência central.

O desvio-padrão só pode assumir valores não negativos e é tanto maior quanto maior for a variabilidade dos dados. Atendendo a que o desvio-padrão tem a mesma dimensão da variável em estudo, ele é o parâmetro de dispersão mais utilizado, quer em hidrologia, quer noutros domínios.

O coeficiente de variação é um parâmetro adimensional e define-se com sendo a razão entre o desvio-padrão e a média. É muito utilizado em hidrologia, particularmente como parâmetro adimensional de regionalização de variáveis, em conjunto com a média, [10]

O coeficiente de assimetria relaciona-se directamente com a forma gráfica da função densidade de probabilidade. Assimetria é o grau de desvio, ou de afastamento daquela forma relativamente a uma “campânula” perfeitamente simétrica. Se a curva representativa da função densidade de probabilidade tem um ramo maior para a direita da ordenada máxima diz-se que é desviada para a direita ou que tem assimetria positiva, resultando num coeficiente de assimetria positivo. Se o ramo foi maior para a esquerda da referida ordenada, diz-se que a curva é desviada para a esquerda, ou que tem assimetria negativa, sendo aquele coeficiente negativo. Caso a distribuição seja simétrica o coeficiente de assimetria é nulo, coincidindo os valores dos três parâmetros de tendência central (média, mediana e moda), [10].

Na **Figura 3.2** apresentam-se os diagramas cronológicos das séries das precipitações diárias máximas anuais e das séries das precipitações anuais (Panual) para os postos identificados no **Quadro 3.1**. Para tanto, da esquerda para a direita e de cima para baixo, adoptou-se a ordem subjacente a este quadro (postos agrupados por bacia hidrográfica e, em cada bacia, por ordem alfabética e bacias hidrográficas ordenadas de Norte para Sul).

Em cada um dos gráficos da **Figura 3.2**, referente ao posto udométrico nele identificado, o eixo das ordenadas do lado esquerdo (eixo vertical principal) representa a Pdma e o eixo das ordenadas do lado direito (eixo vertical secundário), a Panual. Cada gráfico contém ainda dois segmentos de recta horizontais representativos das médias das duas variáveis nele representadas. O segmento de recta correspondente à Pdma média está imputado ao eixo vertical principal e o segmento que representa a média da precipitação anual (Panual média) retira o seu valor do eixo vertical secundário, como se julga óbvio. Os anteriores gráficos utilizaram os registos de precipitação apresentados no **Anexo 1**.

Os anos referidos ao longo deste texto referem-se a anos hidrológicos, portanto com início a 1 de Outubro de um determinado ano e fim a 30 de Setembro do ano seguinte. Na **Figura 3.2**, mas também em qualquer outra figura envolvendo resultados relativos a vários anos hidrológicos, estes anos foram representados nos eixos horizontais pelos anos civis em que se iniciam.

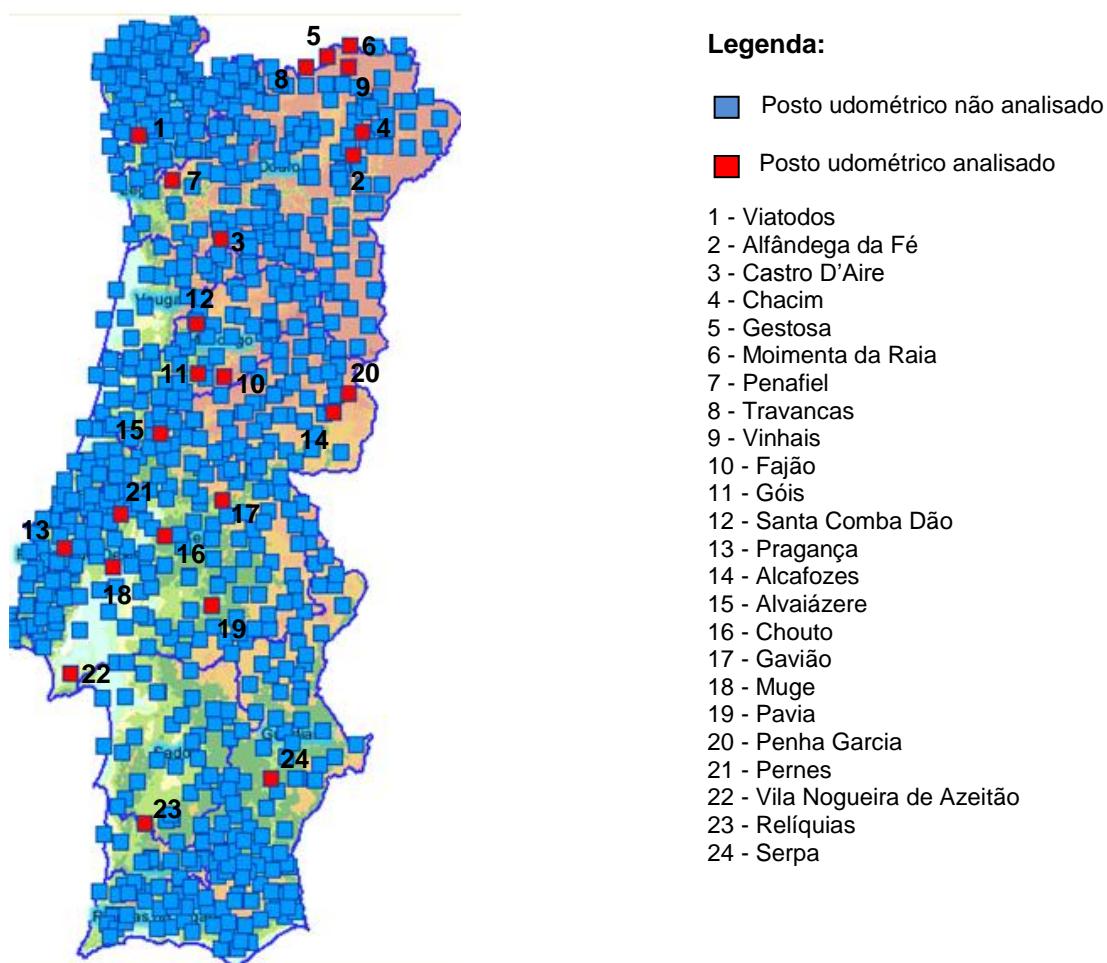


Figura 3.1: Localização esquemática dos postos analisados (fonte: [www.snirh.pt](http://www.snirh.pt), mapa da rede meteorológica).

Quadro 3.1: Postos udométricos analisados. Localização e períodos de registos de precipitação diária máxima anual.<sup>1</sup>

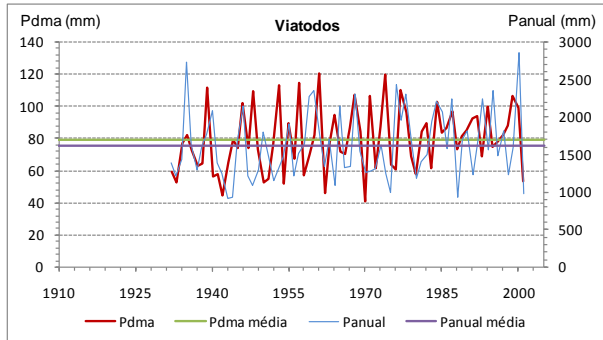
Posto		Bacia hidrográfica	Coordenadas de localização			Período de registos	Número de anos do período de registos, N
Nome	Código		X (m)	Y (m)	Altitude (m)		
Viatodos	05F/01UG	Ave	165049.13	498607.49	86	1932/33-2001/02	70
Alfândega da Fé	05P/04UG	Douro	297727.06	486316.90	558	1913/14-1982/83	92
Castro D'Aire	08J/04G		216484.12	435731.34	584	1916/17-2000/01	85
Chacim	05P/01UG		302848.07	500705.97	551	1932/33-2001/02	70
Gestosa	02O/01UG		281524.00	546423.00	706	1932/33-2002/03	71
Moimenta da Raia	02P/01C		295868.58	553749.35	837	1932/33-2001/02	70
Penafiel	06H/01UG		186148.00	471437.00	175	1912/13-1996/97	85
Travancas	03N/01G		268747.55	540166.49	884	1932/33-2001/02	70
Vinhais	02O/02UG	294648.00	540463.00	636	1913/14-2000/01	88	
Fajão	13J/01UG	Mondego	218160.15	352788.68	700	1931/32-2004/05	74
Góis	13I/01G		201684.57	354247.52	190	1917/18-1995/96	79
Santa Comba Dão	11I/01G		201300.29	384938.42	289	1932/33-2001/02	70
Pragança	18C/01G	Ribeiras do Oeste	119572.95	248285.96	183	1928/29-2001/02	74
Alcafozes	14O/02U	Tejo	285322.32	331623.16	342	1911/12-1982/83	72
Alvaiázere	15G/01UG		178815.91	317665.13	335	1931/32-2001/02	71
Chouto	18G/01G		181204.00	256219.00	126	1911/12-2001/02	91
Gavião	17J/01UG		216891.00	277275.00	273	1931/32-2002/03	72
Muge	19E/01UG		149977.00	237501.00	14	1932/33-2002/03	71
Pavia	20I/01G		210363.00	214322.00	189	1911/12-2003/01	93
Penha Garcia	13O/01UG		295136.05	342135.66	495	1910/11-1995/96	86
Pernes	17F/01UG		154325.79	269299.22	81	1914/15-2001/02	88
Vila Nogueira de Azeitão	22C/02UG		123280.21	172472.15	126	1931/32-2000/01	70
Relíquias	27G/01G		Mira	169185.00	81891.00	244	1932/33-2001/02
Serpa	26L/01UG	Guadiana	246521.75	108565.59	209	1932/33-2001/02	70

Quadro 3.2: Características estatísticas das séries de precipitação diária máxima anual nos correspondentes períodos de registos.

Posto		Bacia hidrográfica	Pdma média (mm)	Desvio-padrão (mm)	Coeficiente variação (-)	Coeficiente assimetria (-)
Nome	Código					
Viatodos	05F/01UG	Ave	79.38	19.89	0.25	0.22
Alfândega da Fé	05P/04UG	Douro	36.64	21.60	0.59	2.35
Castro D'Aire	08J/04G		90.86	27.88	0.31	1.87
Chacim	05P/01UG		51.93	15.50	0.30	0.03
Gestosa	02O/01UG		50.88	13.07	0.26	1.54
Moimenta da Raia	02P/01C		57.21	20.53	0.36	0.87
Penafiel	06H/01UG		83.04	25.47	0.31	1.09
Travancas	03N/01G		47.49	15.34	0.32	1.02
Vinhais	02O/02UG	60.51	18.63	0.31	0.70	
Fajão	13J/01UG	Mondego	74.16	23.24	0.31	0.48
Góis	13I/01G		62.35	18.58	0.30	0.73
Santa Comba Dão	11I/01G		61.44	16.75	0.27	0.88
Pragança	18C/01G	Ribeiras do Oeste	57.44	21.43	0.37	2.24
Alcafozes	14O/02U	Tejo	53.17	17.26	0.32	0.90
Alvaiázere	15G/01UG		61.35	14.95	0.24	0.62
Chouto	18G/01G		43.84	16.45	0.38	1.28
Gavião	17J/01UG		51.54	17.61	0.34	0.77
Muge	19E/01UG		39.55	14.95	0.38	1.88
Pavia	20I/01G		39.60	17.22	0.43	1.15
Penha Garcia	13O/01UG		52.06	19.26	0.37	2.10
Pernes	17F/01UG		52.53	16.24	0.31	1.04
Vila Nogueira de Azeitão	22C/02UG		50.99	19.07	0.37	0.90
Relíquias	27G/01G		Mira	51.15	27.48	0.54
Serpa	26L/01UG	Guadiana	44.72	19.07	0.43	1.29

<sup>1</sup> No posto de Serpa não foi considerado o primeiro registo por ter uma ordem de grandeza muito diferente dos outros valores sugerindo claramente um erro de anotação de valor. Deste modo, a dimensão da amostra de precipitações diárias máximas anuais em Serpa considerada é de 69 anos, apesar dos registos do SNIRH indicarem uma dimensão de amostra de 70 anos.

-Bacia do rio Ave.



-Bacia do rio Douro.

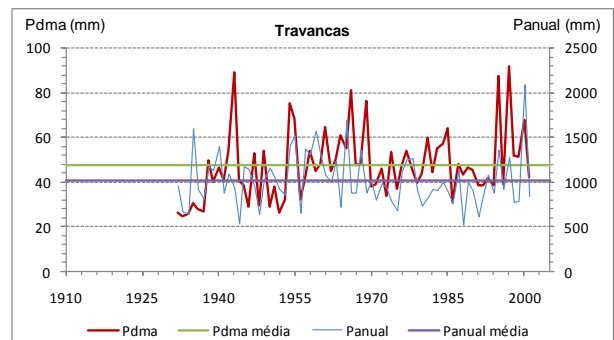
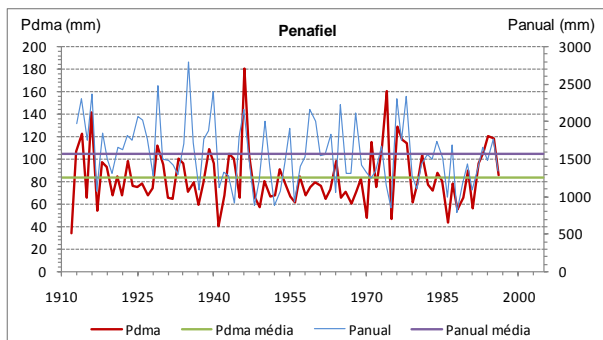
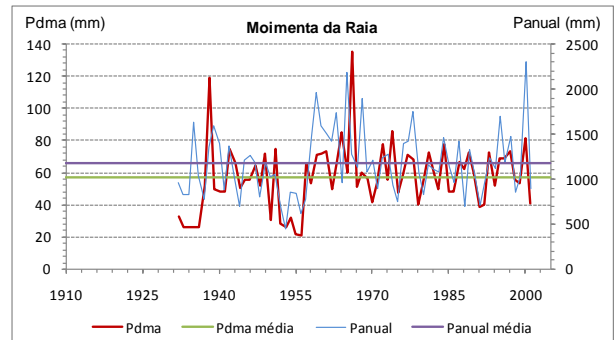
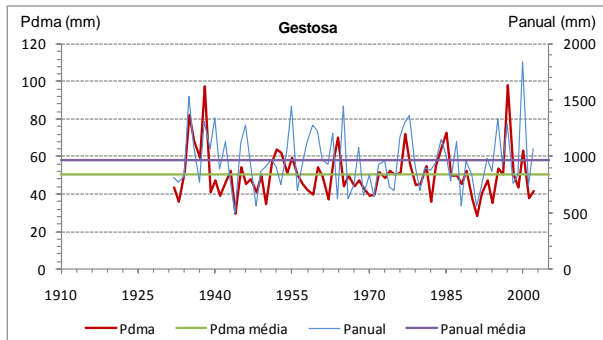
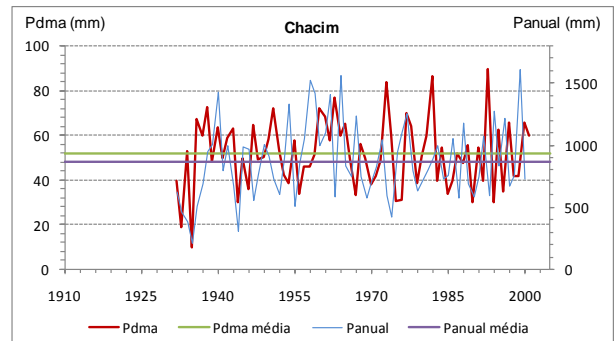
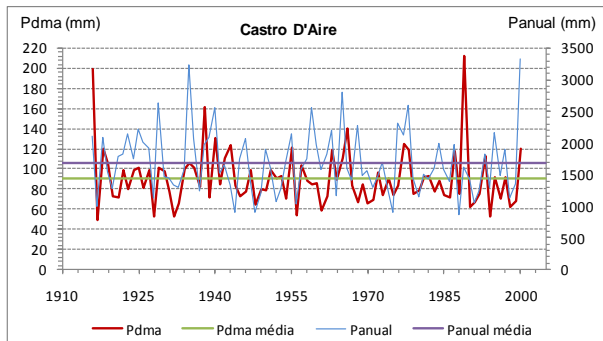
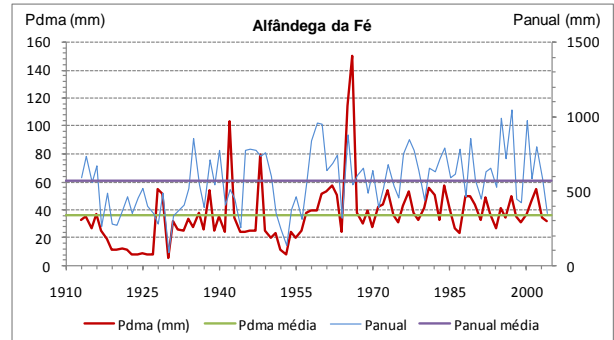
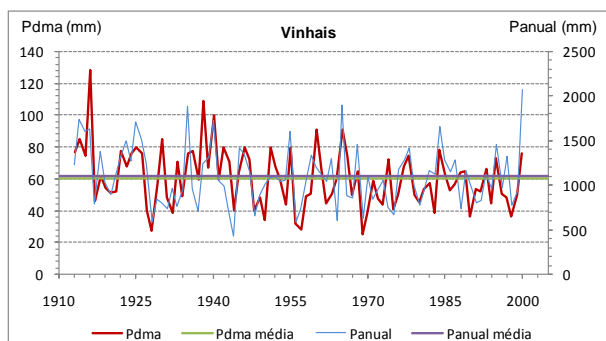
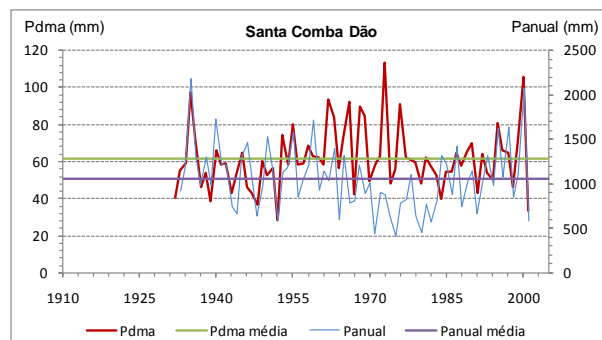
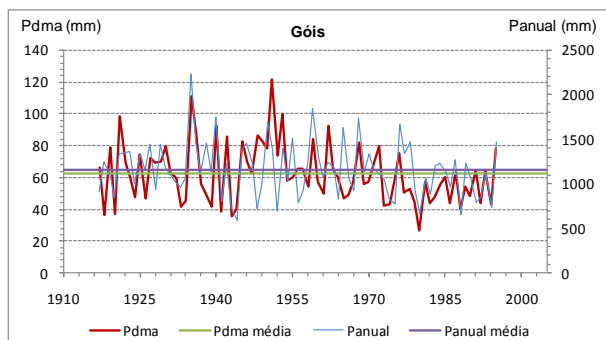
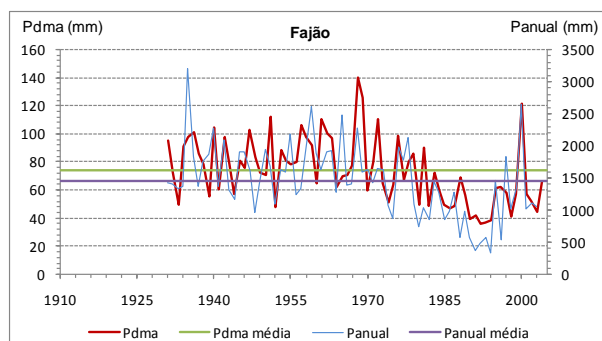


Figura 3.2: Diagramas cronológicos das precipitações diárias máximas anuais (Pdma) e das precipitações anuais (Panual). Indicação da precipitação diária máxima anual média (Pdma média) e da precipitação anual média (Panual média).

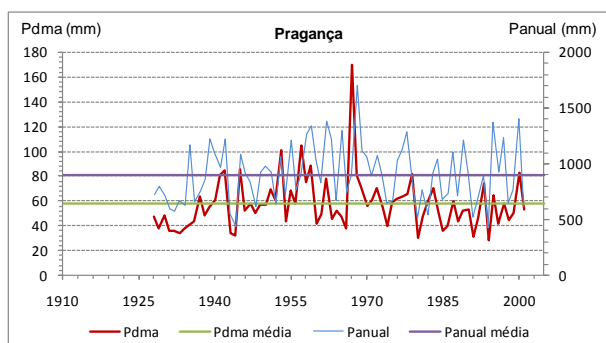
-Bacia do rio Douro (continuação).



-Bacia do rio Mondego.



-Bacia Ribeiras do Oeste.



-Bacia do rio Tejo.

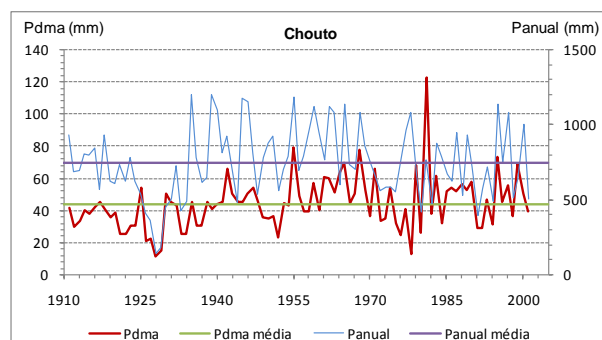
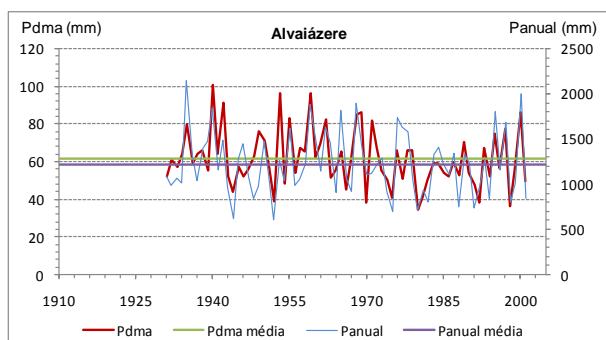
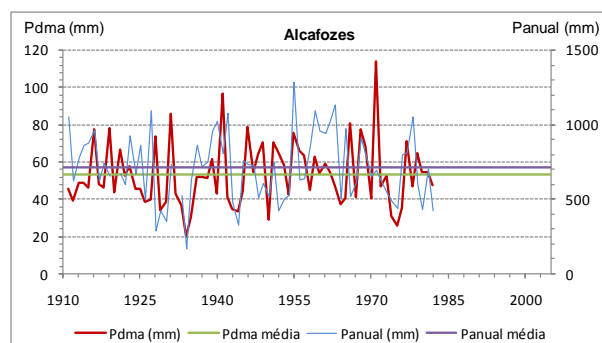
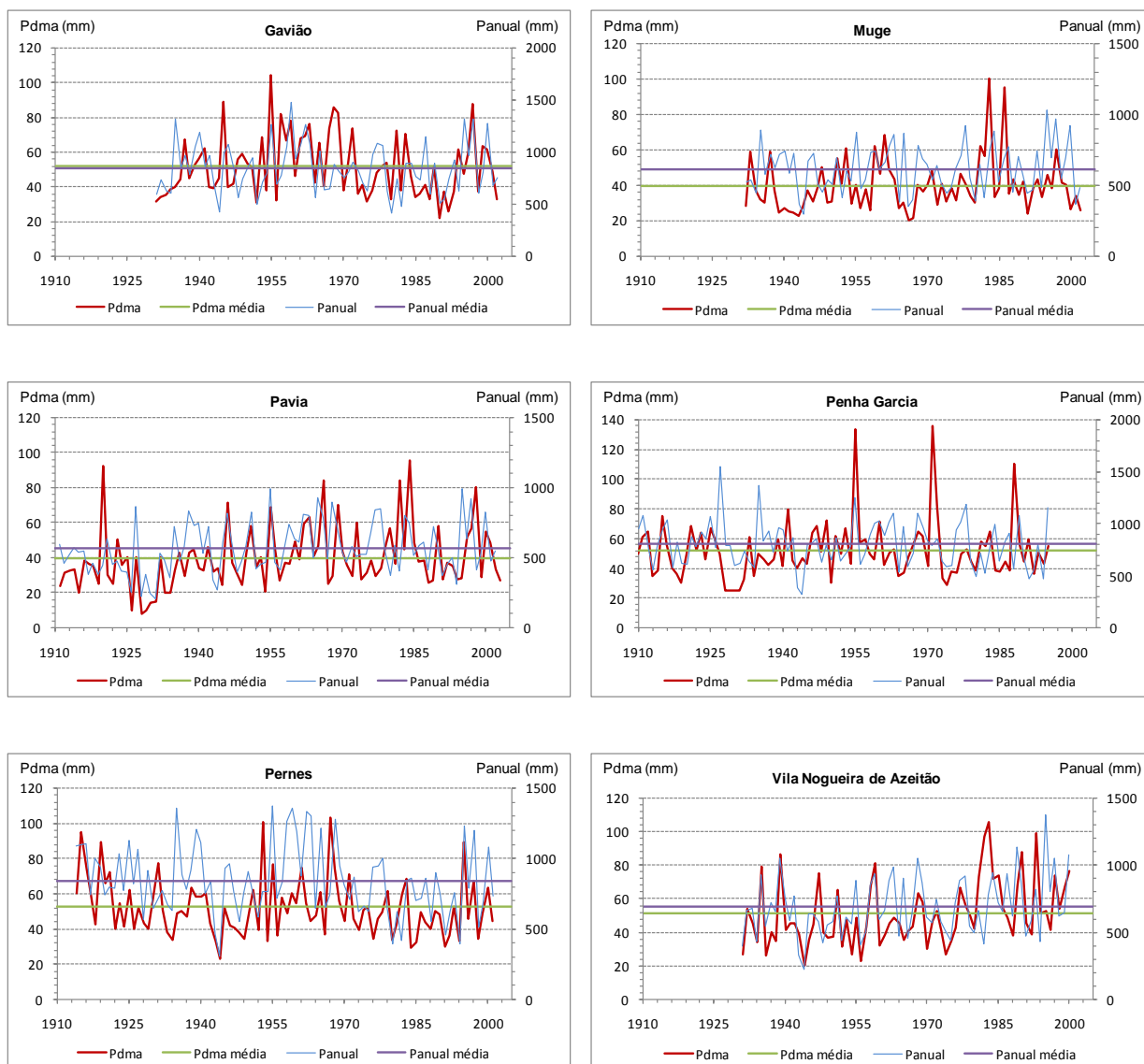


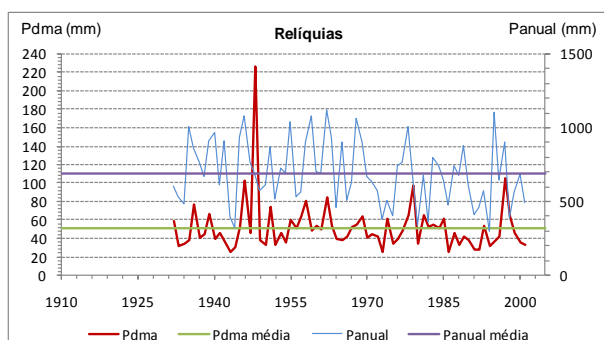
Figura 3.2 (continuação): Diagramas cronológicos das precipitações diárias máximas anuais (Pdma) e das precipitações anuais (Panual). Indicação da precipitação diária máxima anual média (Pdma média) e da precipitação anual média (Panual média).



-Bacia do rio Tejo (continuação).



-Bacia do rio Mira.



-Bacia do rio Guadiana.

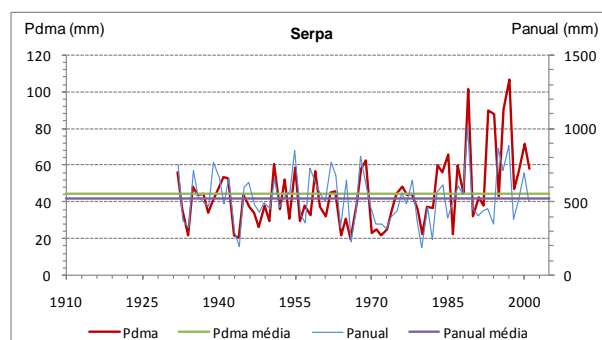


Figura 3.2 (continuação): Diagramas cronológicos das precipitações diárias máximas anuais (Pdma) e das precipitações anuais (Panual). Indicação da precipitação diária máxima anual média (Pdma média) e da precipitação anual média (Panual média).

## 4 **Análise de médias móveis. Função de distribuição**

### 4.1 **Introdução**

As séries de precipitações foram sujeitas a tipos distintos de procedimentos ou de modelos que são objecto de dois capítulos autónomos. Assim, o presente capítulo trata da análise de médias móveis e da forma das funções de distribuição de probabilidade tendo por base a totalidade dos postos do **Quadro 3.1**. A análise objecto do capítulo posterior utilizou também informação a nível diário tendo incidido apenas sobre alguns daqueles postos.

### 4.2 **Descrição dos modelos**

#### 4.2.1 **Médias móveis**

O problema da detecção de tendências numa série de registos é actual e pertinente. Por tendência entende-se, neste estudo, a existência de uma variação monótona na série, num determinado sentido, que se verifica de uma forma genérica e persistente no tempo. Para detectar tendências são frequentemente usados testes paramétricos.

A média móvel é um conceito matemático largamente aplicado em variados ramos da ciência. Em estatística, a média móvel é uma das técnicas utilizadas na análise de séries temporais. Os métodos que utilizam as médias móveis são métodos não causais, não se definindo variáveis explicativas, assumindo, antes, que as componentes são funções “alisadas do tempo”, com um comportamento estocástico. Estes métodos têm sido os mais frequentemente utilizados na correcção sazonal de séries de diferente natureza (fluxos económicos, dados demográficos, dados hidrológicos, etc.) e facilitam a detecção de tendências, [7].

A utilização desta técnica em procedimentos automáticos de correcção sazonal iniciou-se na década de 1950 nos Estados Unidos da América com os primeiros censos. Os detractores da utilização de métodos baseados em médias móveis na correcção sazonal apontam-lhes como principais defeitos a inexistência de um modelo estatístico explicativo do comportamento da série, o relativo atraso introduzido pelos sucessivos alisamentos e ainda a diferença de tratamentos a que estão sujeitas as observações centrais da série e as dos extremos. Apesar destas críticas, a qualidade dos resultados obtidos e a inexistência de uma alternativa satisfatória conduziram à ampla utilização do método das médias móveis, [7].

A análise de médias móveis em grupos de  $n$  anos hidrológicos, [12] *in* [15], consiste na determinação das médias dos valores de uma dada grandeza - como sejam registos de precipitação - em sucessivos grupos de  $n$  anos consecutivos, [15].

Seja  $n$  o número de anos dos sucessivos grupos adoptados na análise de médias móveis dos valores de uma série com dimensão  $N$ . Nestas condições, o primeiro grupo objecto de cálculo da média inicia-se no ano 1 e termina no ano  $1+(n-1)$ , o segundo grupo decorre entre os anos 2 e  $2+(n-1)$ , e o grupo de

ordem  $i$  inicia-se no ano  $i$  e termina no ano  $i+(n-1)$ . O número total de grupos com médias a calcular é dado por  $N-n+1$ .

No caso da aplicação da análise de médias móveis a precipitações, a precipitação média do grupo de ordem  $i$ ,  $\overline{P}_i$ , é calculada de acordo com:

$$\overline{P}_i = \frac{\sum_{k=i}^{i+(n-1)} p_k}{n} \quad (4.1)$$

O número de anos,  $n$ , de cada um dos sucessivos grupos considerados no cálculo das médias móveis deve ser suficientemente grande de modo a ser representativo de condições hidrológicas aproximadamente médias. No entanto, se a dimensão  $n$  for demasiado longa reduz-se o número de grupos objecto de cálculo de médias.

Para fixar o número de anos de cada grupo, analisou-se o efeito da consideração de diferentes valores de  $n$  tendo por base as séries de precipitações diárias máximas anuais (Pdma) em dois postos, um com um longo período de registos e outro com um período de registos bastante menor. Para o efeito foram seleccionados os postos de Penha Garcia e de Travancas com períodos de registo da Pdma de, respectivamente, 86 e 70 anos. A análise foi efectuada para valores de  $n$  de 5, 15, 25 e 30 anos.

Os resultados obtidos são apresentados no **Anexo 2**, sob a forma de diagramas cronológicos das sucessivas médias móveis, cada diagrama correspondente a um daqueles dois postos e a um dado valor de  $n$ . As sucessivas médias móveis foram imputadas aos primeiros anos dos correspondentes grupos de  $n$  anos consecutivos. Para os sucessivos grupos de  $n$  anos de Pdma, cada diagrama contém a representação, para além das médias móveis, dos desvios-padrão,  $s$ , dos coeficientes de variação,  $c.var.$ , e ainda das médias adimensionais obtidas por divisão das médias móveis pela média da série total de  $N$  anos de Pdma ( $\overline{P}_i / P_{dma \text{ média}}$ ). O cálculo das médias, desvios-padrão e coeficientes de variação utilizou as equações (3.1) a (3.3) aplicadas a cada grupo de  $n$  anos de Pdma. Os valores das médias móveis e dos desvios-padrão foram imputados ao eixo vertical principal (eixo do lado esquerdo). Já as médias adimensionais e os coeficientes de variação foram atribuídos ao eixo vertical secundário (eixo do lado direito). Este eixo foi graduado de modo a fazer coincidir os diagramas representativos das médias móveis com e sem unidades.

Em face dos resultados obtidos optou-se por fixar a duração  $n$  em 25 anos. Com efeito, para essa dimensão são eliminadas as acentuadas irregularidades exibidas pelas médias móveis para valores inferiores de  $n$ , obtendo-se resultados muito próximos dos referentes a  $n$  de 30 anos, embora sustentados por um maior número de grupos sucessivos de  $n$  anos.

Definida a dimensão dos grupos,  $n=25$  anos, procedeu-se à aplicação da análise de médias móveis aos restantes postos do **Quadro 3.1**.

A **Figura 4.1**, referente ao posto udométrico de Alfândega da Fé, exemplifica os resultados obtidos, cuja apresentação e apreciação para a generalidade dos postos constam do ponto 4.3 do presente texto (**Figura 4.4**). Tanto na anterior figura, como nas demais figuras envolvendo representação de

resultados em sub períodos do período global de registos imputaram-se tais resultados aos anos iniciais de cada sub grupo.

A análise da **Figura 4.1** evidencia uma descontinuidade abrupta para os grupos de 25 anos consecutivos com início em meados da década de 1960 em resultado do valor exorbitante da precipitação diária máxima anual no ano de 1959 (ver **Figura 3.2**). Julgando-se que esta precipitação advém de erro de anotação, optou-se por excluir o posto de Alfândega da Fé. Assim, todas as análises posteriores incidirão apenas em 23 postos dos 24 apresentados no **Quadro 3.1**.

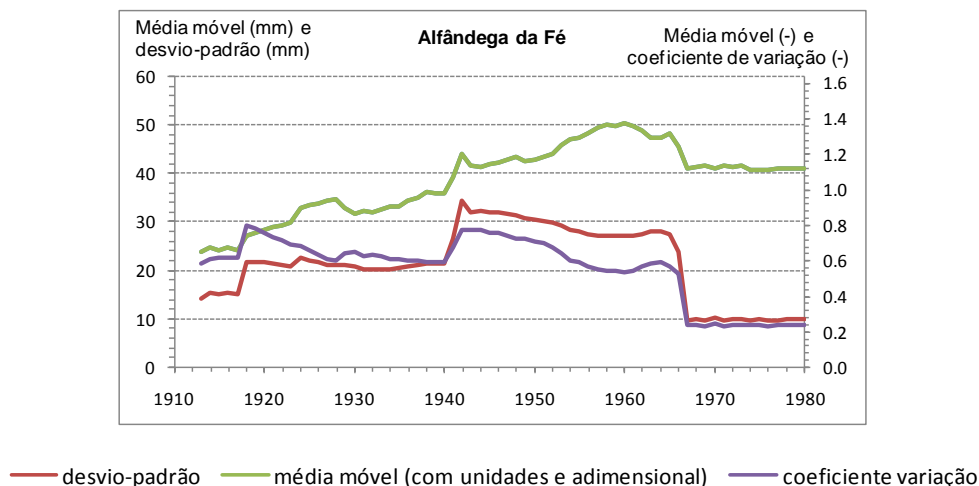


Figura 4.1: Análise de médias móveis em grupos de 25 anos hidrológicos consecutivos. Exemplo referente ao posto udométrico de Alfândega da Fé.

#### 4.2.2 Função de distribuição da lei de Gumbel

A precipitação máxima anual com determinada duração, neste caso 24 h, num dado posto udométrico é uma variável aleatória pois os valores que assume são independentes entre si e exprimem o resultado da contribuição de um número extremamente grande de factores.

A cada valor  $x$  de uma variável aleatória  $X$  pode associar-se a probabilidade  $F(x)$  de a variável assumir valores inferiores ou iguais a  $x$  (probabilidade de não excedência), em que  $F$  é a função distribuição de probabilidade, ou seja:

$$F(x) = \text{Probabilidade de } X \leq x = P(X \leq x) \quad (4.2)$$

Para representar a distribuição de valores de grandezas hidrológicas utilizam-se vários tipos de funções distribuição de probabilidade, como são o caso da distribuição de Gauss ou normal, da distribuição de Galton ou logarítmico-normal, da distribuição de Gumbel, de Pearson tipo III, entre outras. Algumas das anteriores funcionam-se à análise estatística de fenómenos extremos (em que se inserem as precipitações diárias máximas anuais) e outras não.

Na investigação que se apresenta foi utilizada a função de distribuição de Gumbel. Esta distribuição tem sido considerada como adequada a um grande número de situações práticas, sendo utilizada frequentemente na análise estatística de fenómenos hidrológicos extremos, como é o caso em estudo da distribuição dos valores máximos anuais de precipitações intensas com determinada duração, [10] in [14], [4].

Se os parâmetros da distribuição forem estimados pelo método dos momentos, o valor da variável aleatória pode exprimir-se por:

$$x = \mu + K \cdot \sigma \quad (4.3)$$

em que  $\mu$  e  $\sigma$  são, respectivamente, a média e o desvio-padrão da distribuição teórica considerada, estimados pela média e pelo desvio-padrão da amostra, respectivamente,  $\bar{x}$  e  $s$ .  $K$  é o factor de probabilidade que, no caso da lei de Gumbel, depende apenas de  $F(x)$ , sendo dado por:

$$K = \frac{\sqrt{6}}{\pi} [-\ln(\ln \frac{1}{F(x)}) - 0.577216] \quad (4.4)$$

Quando se está perante uma amostra de valores anuais é usual, por ser mais intuitivo, associar ao valor da variável aleatória o período de retorno,  $T$ , em vez da probabilidade  $F(x)$ .

O período de retorno é o número de anos que separaria em média as ocorrências de valores anuais da variável superiores a  $x$ , [16]. Há que ter bem presente que o conceito de período de retorno não está associado a qualquer ideia de repetição cíclica, dado que podem ocorrer em anos consecutivos valores da variável que ultrapassem os relativos a um dado período de retorno elevado, por exemplo, de 100 anos. A relação entre o período de retorno,  $T$ , e a probabilidade de não excedência,  $F(x)$ , é dada pela seguinte equação:

$$T = \frac{1}{1 - F(x)} \quad (4.5)$$

em que o denominador representa a probabilidade de o valor  $x$  ser excedido.

Para averiguar se o comportamento estatístico da Pdma ao longo do período de registos se manteve ou não inalterado, compararam-se as estimativas daquela precipitação fornecidas pela lei de Gumbel para dados períodos de retorno utilizando no cálculo dessas estimativas diferentes períodos de anos. Para o efeito, seleccionaram-se as cinco primeiras e as cinco últimas séries de 25 anos consecutivos adoptadas na análise de médias móveis, bem como o período total com registos, num total de onze períodos de tempo diferentes. Para cada um destes períodos, o cálculo utilizou a equação (4.3) com a média e o desvio-padrão aproximados pela média e pelo desvio-padrão da correspondente amostra de Pdma.

As estimativas assim alcançadas são apresentadas no ponto 4.3 deste texto, sendo exemplificadas na **Figura 4.2**, relativa ao posto udométrico de Góis. Neste gráfico, como nos demais gráficos incluídos

naquele ponto, o eixo das abcissas foi graduado, não como habitualmente, em probabilidades de não excedência, mas antes em valores da normal reduzida,  $z$ , correspondentes a essas probabilidades ( $z$  representa, portanto, o inverso da distribuição cumulativa normal padrão, com média nula e desvio-padrão unitário).

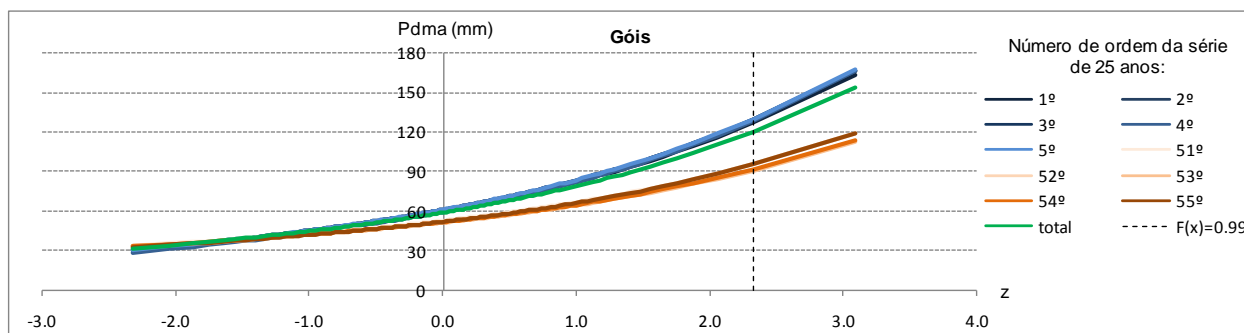


Figura 4.2: Funções de distribuição da lei de Gumbel aplicada às precipitações diárias máximas anuais (Pdma) tendo por base o período total de registos e as cinco primeiras e as cinco últimas séries de 25 anos utilizadas na análise de médias móveis. Exemplo referente ao posto udométrico de Góis.

De forma a percebermos mais facilmente as posições relativas das curvas representativas das funções de distribuição de probabilidade, procedeu-se à adimensionalização dessas curvas. Para o efeito, cada ordenada relativa a um dado valor de  $z$  foi dividida pela ordenada avaliada para esse mesmo valor de  $z$  tendo por base o período total de registos. Observa-se que a função de distribuição da lei de Gumbel para o período total expressa em termos adimensionais passa a ser representada por um segmento de recta horizontal (ordenada unitária). A **Figura 4.3** exemplifica o procedimento de adimensionalização, sendo que o grosso dos resultados assim obtidos é também apresentado no ponto 4.3 do presente texto.

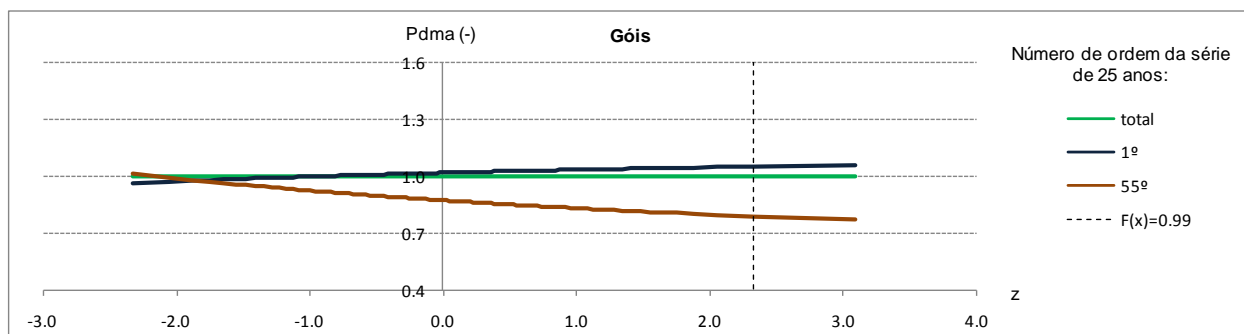


Figura 4.3: Funções adimensionalizadas de distribuição da lei de Gumbel aplicada às precipitações diárias máximas anuais (Pdma) tendo por base o período total de registos e a primeira e a última série de 25 anos utilizadas na análise de médias móveis. Exemplo referente ao posto udométrico de Góis.

Em qualquer uma das **Figuras 4.2 e 4.3** (assim como na **Figura 4.5** apresentada no ponto 4.3), inclui-se um segmento de recta vertical, a tracejado, com abcissa,  $z$ , igual a 2.326, correspondente à probabilidade de não excedência,  $F(x)$ , de 0.99, ou seja, ao período de retorno de 100 anos.

Demarcou-se, assim, a menor abcissa que define os períodos de retorno mais importantes em termos de projecto, por regra, superiores ou iguais a 100 anos.

Após a apresentação de resultados e da posterior análise, incluí-se um quadro, em modo de síntese, dos mesmos e por último, na **Figura 4.6**, as médias móveis adimensionais das séries de precipitação diária máxima anual – Pdma – juntamente com as médias móveis, também adimensionais, das séries de precipitação anual – Panual. Optou-se por também analisar as séries de Panual de modo a perceber se existe uma relação entre o comportamento dos dois tipos de séries em menção. As médias móveis da Panual foram também calculadas pela equação (4.1) aplicada a grupos sucessivos de 25 anos hidrológicos. Para cada posto, a adimensionalização das médias móveis assim obtidas foi efectuada por divisão pela média no período total de registos da Panual.

### 4.3 Resultados e conclusões

Neste capítulo apresentam-se e analisam-se os resultados obtidos através dos procedimentos antes descritos realçando-se as conclusões que deles decorrem.

O posto de Alfândega da Fé não foi incluído na análise, conforme justificado anteriormente (ponto 4.2.1), que assim ficou restringida a 23 postos. Os gráficos contendo os resultados estão organizados por ordem alfabética dos postos a que respeitam. Tais postos, apresentados da esquerda para a direita e de cima para baixo, foram agrupados por bacias hidrográficas, que, por sua vez, são mencionadas por ordem geográfica de Norte para Sul, aliás, como surgem no **Quadro 3.1**.

Os resultados obtidos mediante a aplicação da técnica de médias móveis constam da **Figura 4.4**, incluída nas páginas 4.8 a 4.10, à qual se segue a **Figura 4.5**, nas páginas 4.11 a 4.21, referente à aplicação da função de distribuição da lei de Gumbel.

Em cada gráfico da **Figura 4.4**, relativo ao posto nele identificado, são apresentadas quatro curvas. Dessas curvas, e tal como explicado a propósito da **Figura 4.1**, as referentes às médias móveis e aos desvios-padrão, têm unidades e estão atribuídas ao eixo principal, localizado do lado esquerdo. As restantes duas curvas, referentes às médias móveis adimensionais e aos coeficientes de variação, foram atribuídas ao eixo secundário adimensional, localizado do lado direito. A graduação dos eixos verticais foi efectuada de modo a que as curvas referentes às médias móveis, com unidades e adimensionais, coincidisse.

A **Figura 4.5** contém, para cada posto, dois gráficos. O gráfico superior exemplifica a aplicação da função de distribuição da lei de Gumbel para as onze séries de períodos de tempo diferentes seleccionadas referentes, designadamente, às cinco primeiras e as cinco últimas séries de 25 anos consecutivos adoptadas na análise de médias móveis e à série total de registos da precipitação diária máxima anual. Ainda em relação ao gráfico superior e tal como na **Figura 4.2**, o eixo das abcissas foi graduado em valores da normal reduzida,  $z$ , correspondentes a probabilidades de não excedência ( $z$  representa, portanto, o inverso da distribuição cumulativa normal padrão, com média nula e desvio-padrão unitário). O gráfico de baixo representa, de forma adimensional, três das séries do gráfico

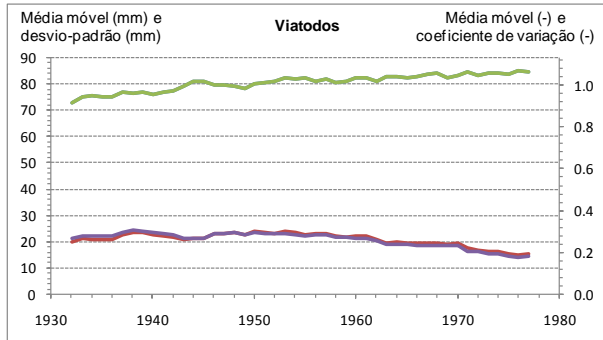
superior, nomeadamente a primeira e última série de 25 anos consecutivos e a série relativa ao período total de registos. A adimensionalização destas três séries foi efectuada dividindo cada ordenada relativa a um dado valor de  $z$  pela ordenada avaliada para esse mesmo valor de  $z$  tendo por base o período total de registos de precipitações diárias máximas anuais. Observa-se que a função distribuição da lei de Gumbel para o período total expressa em termos adimensionais é representada por um segmento de recta horizontal com ordenada unitária.

Após a apresentação das **Figuras 4.4 e 4.5**, procede-se à apreciação das mesmas, primeiramente posto a posto e, posteriormente, em termos gerais. À semelhança da apresentação de resultados, a análise dos mesmos, nomeadamente no que respeita à análise posto a posto, adoptou a ordem dos postos definida no **Quadro 3.1**.

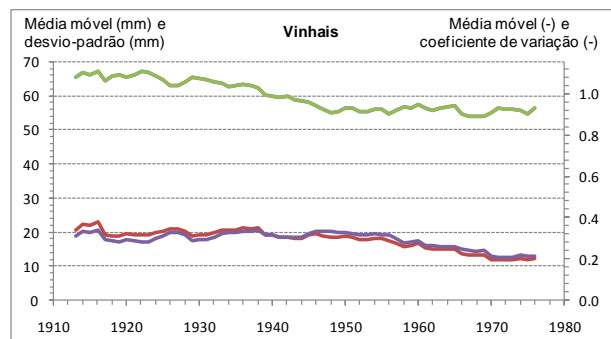
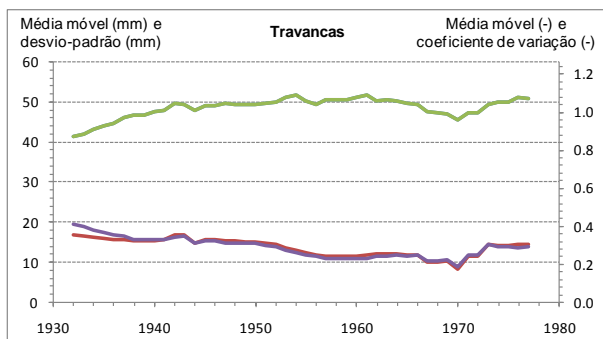
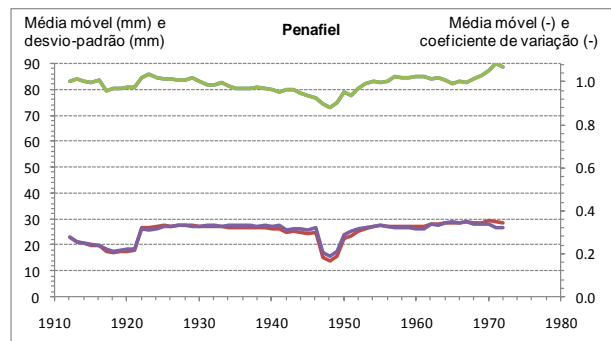
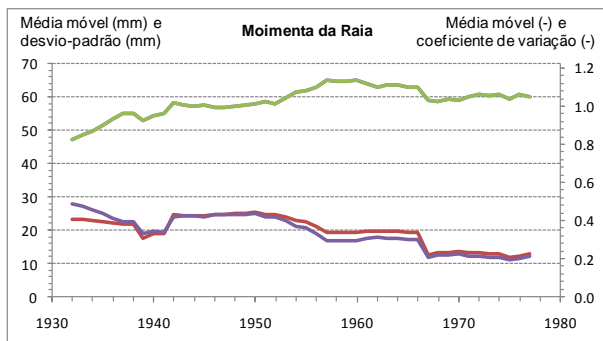
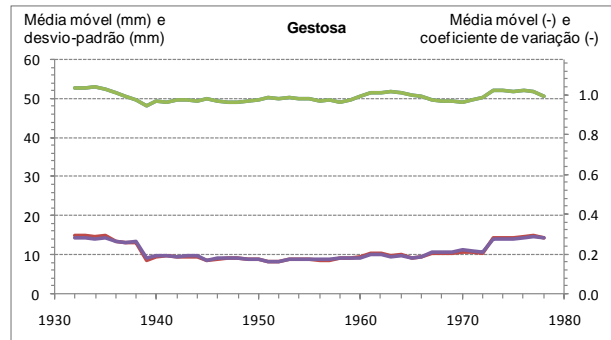
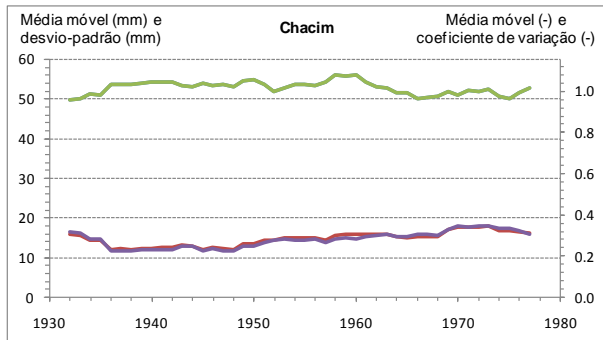
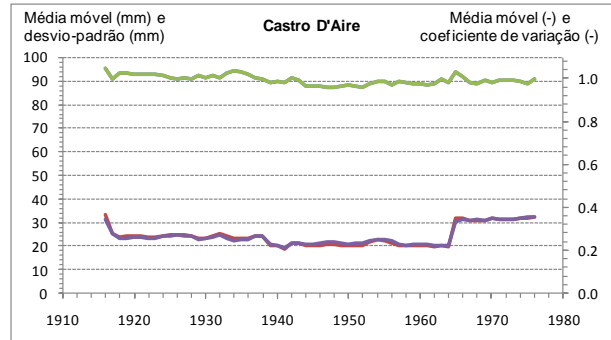
A análise de resultados é, de algum modo, sintetizada no **Quadro 4.1**, incluído na página 4.29, a que se segue a **Figura 4.6**, nas páginas 4.31 a 4.33, com a representação gráfica adimensional das médias móveis das séries Pdma juntamente com a representação, também adimensional, das médias móveis das séries Panual. Ambas as séries estão imputadas ao eixo vertical principal e cada gráfico identifica o posto a que respeita (postos apresentados, da esquerda para a direita e de cima para baixo, em conformidade com a ordem do **Quadro 3.1**). O capítulo termina com a apreciação da **Figura 4.6**.



-Bacia do rio Ave.



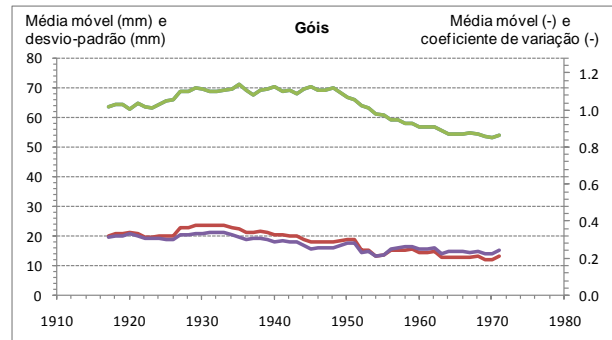
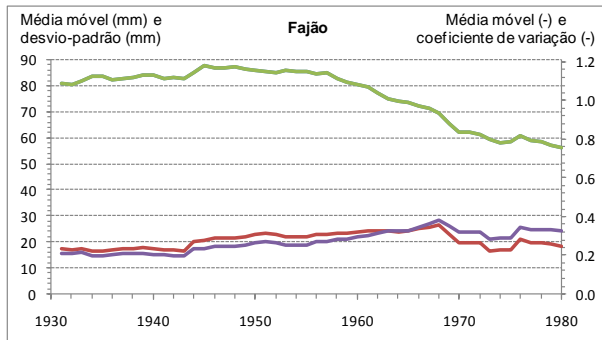
-Bacia do rio Douro.



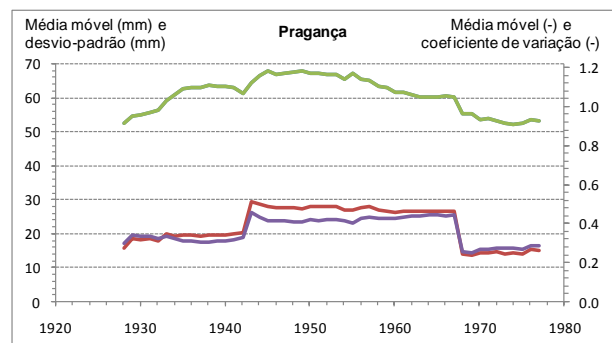
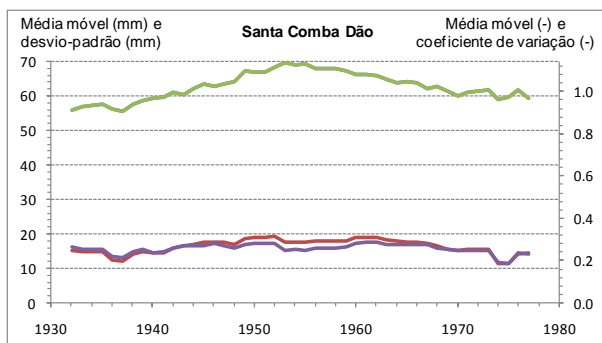
— desvio-padrão — média móvel (com unidades e adimensional) — coeficiente variação

Figura 4.4: Análise de médias móveis em grupos de 25 anos hidrológicos consecutivos.

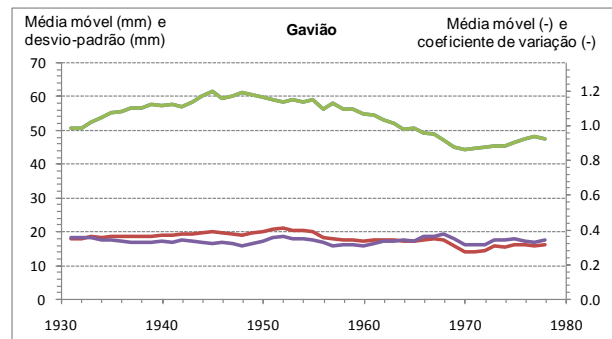
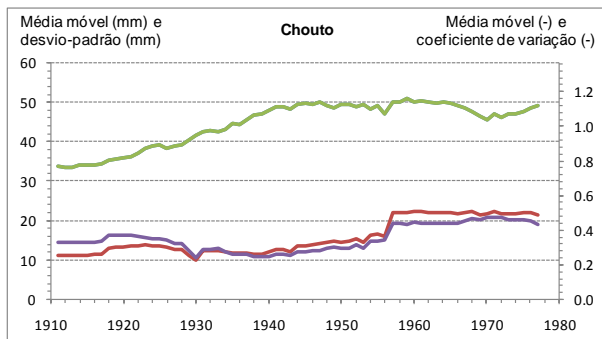
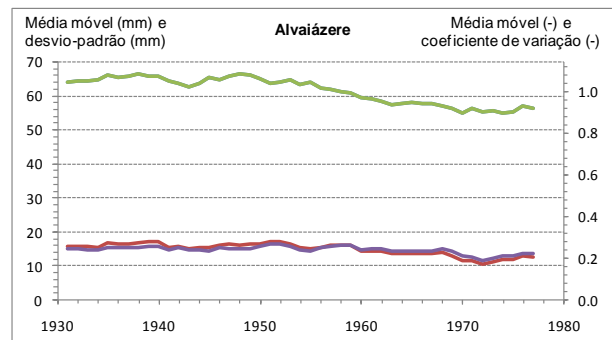
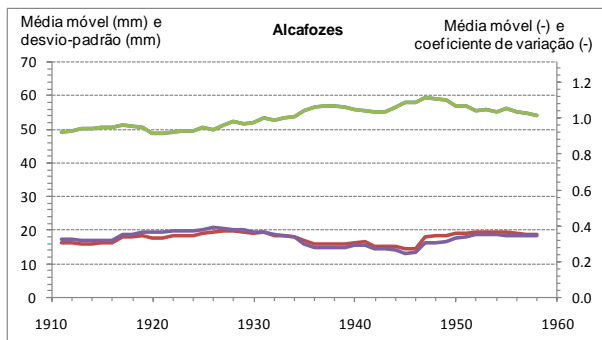
-Bacia do rio Mondego.



-Bacia Ribeiras do Oeste.



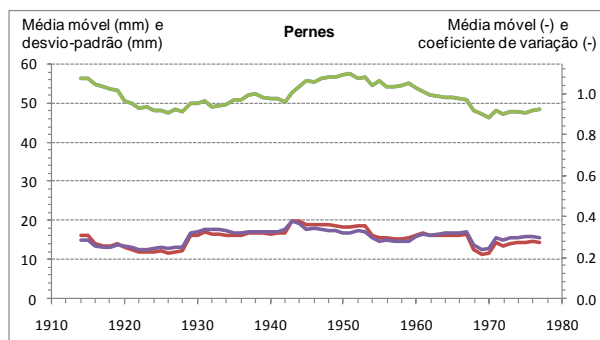
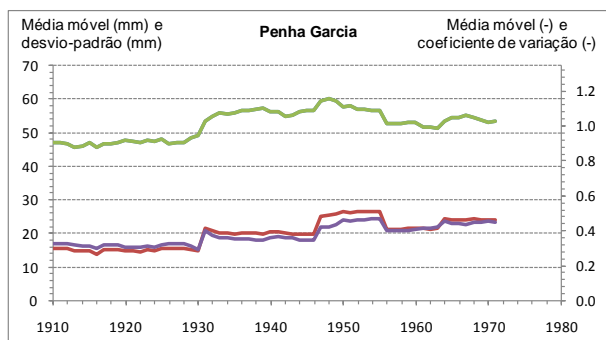
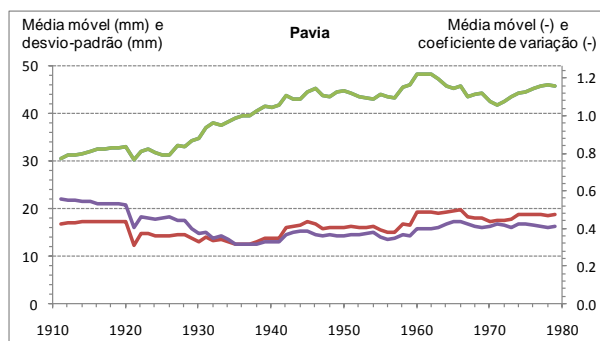
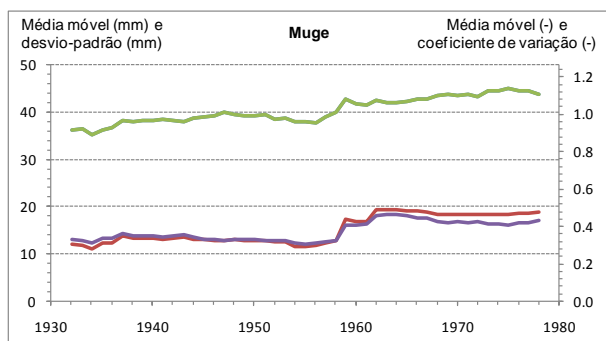
-Bacia do rio Tejo.



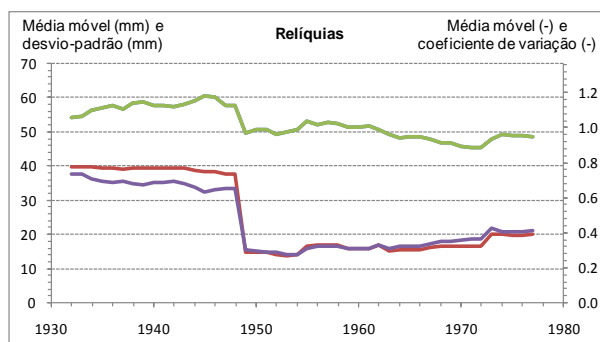
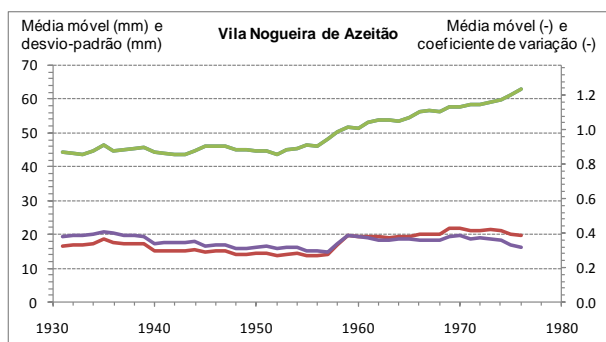
— desvio-padrão — média móvel (com unidades e adimensional) — coeficiente variação

Figura 4.4 (continuação): Análise de médias móveis em grupos de 25 anos hidrológicos consecutivos.

-Bacia do rio Tejo (continuação).



-Bacia do rio Mira.



-Bacia do rio Guadiana.

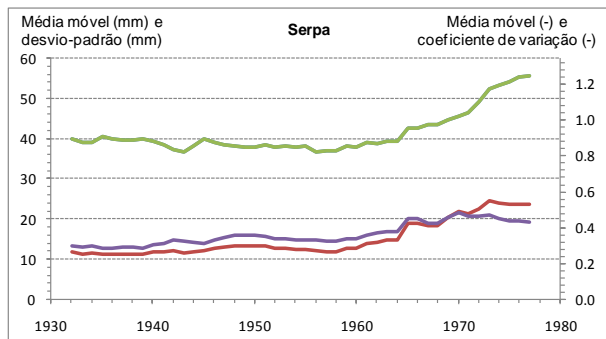
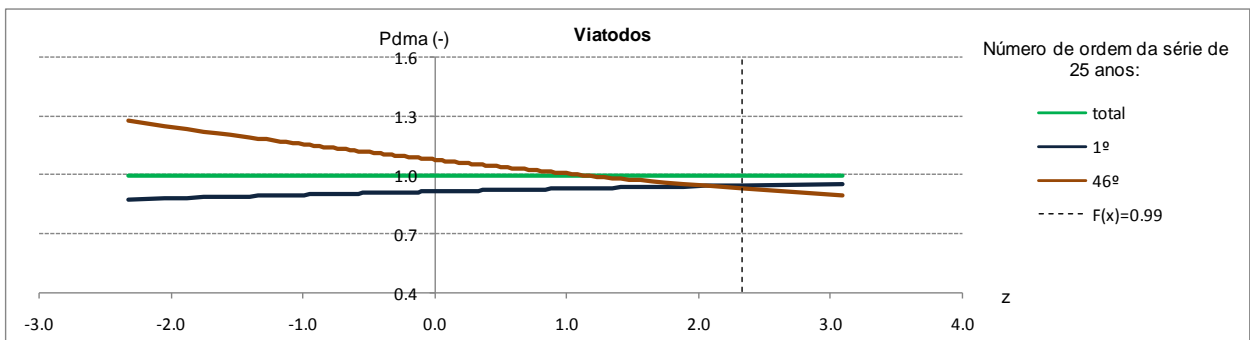
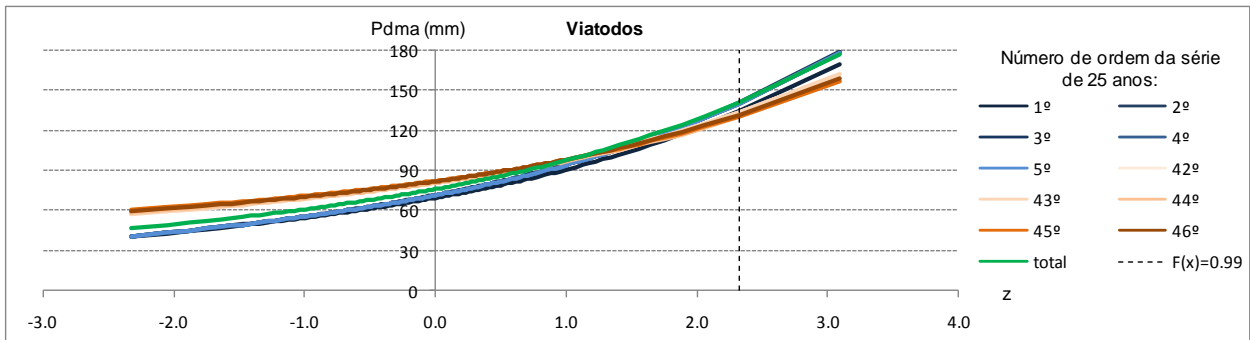


Figura 4.4 (continuação): Análise de médias móveis em grupos de 25 anos hidrológicos consecutivos.

— desvio-padrão — média móvel (com unidades e adimensional) — coeficiente variação

-Bacia do rio Ave.



-Bacia do rio Douro.

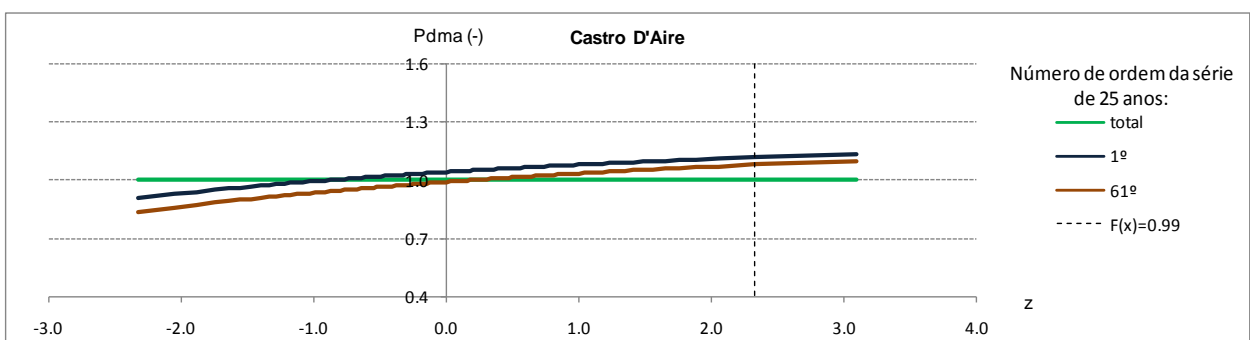
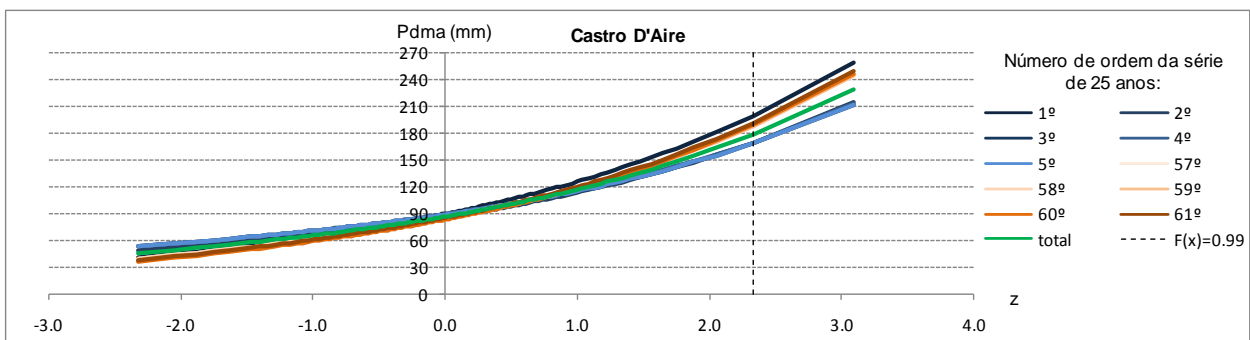


Figura 4.5: Funções de distribuição da lei de Gumbel das precipitações diárias máximas anuais (Pdma). Para cada posto udométrico, gráfico superior: série total, primeiras e últimas cinco séries de 25 anos; gráfico inferior: representação adimensional da série total e da primeira e última séries de 25 anos.

-Bacia do rio Douro (continuação).

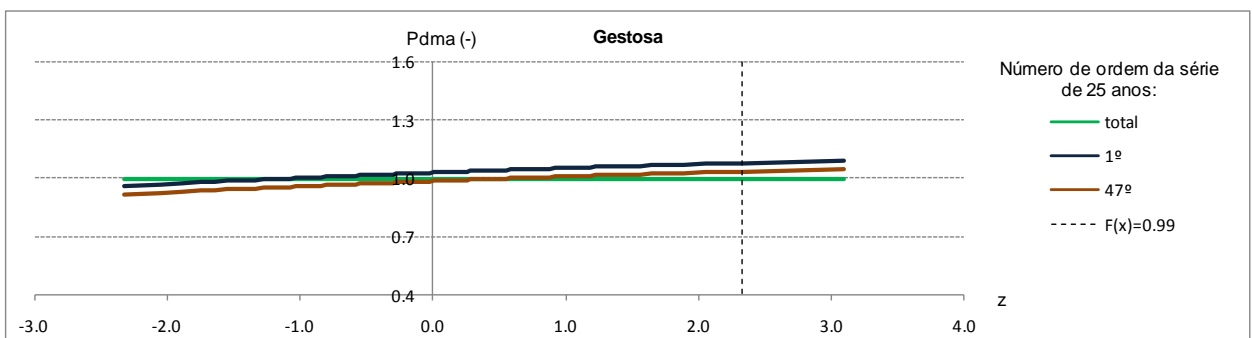
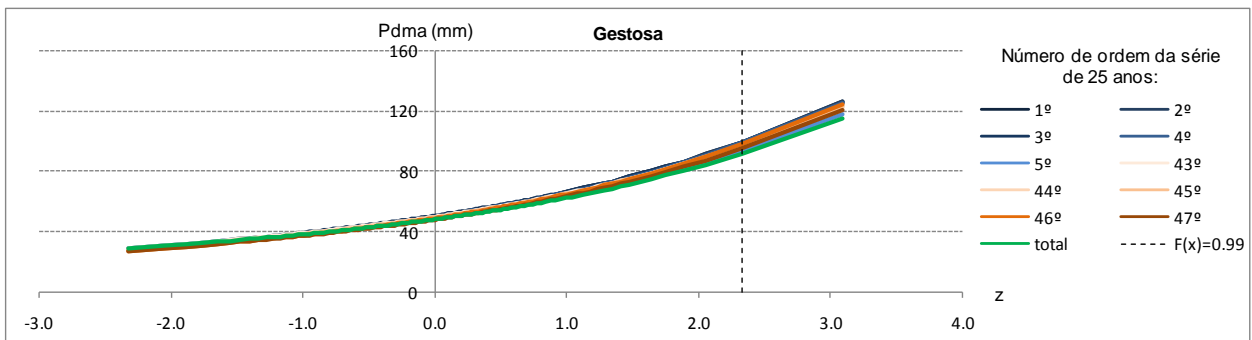
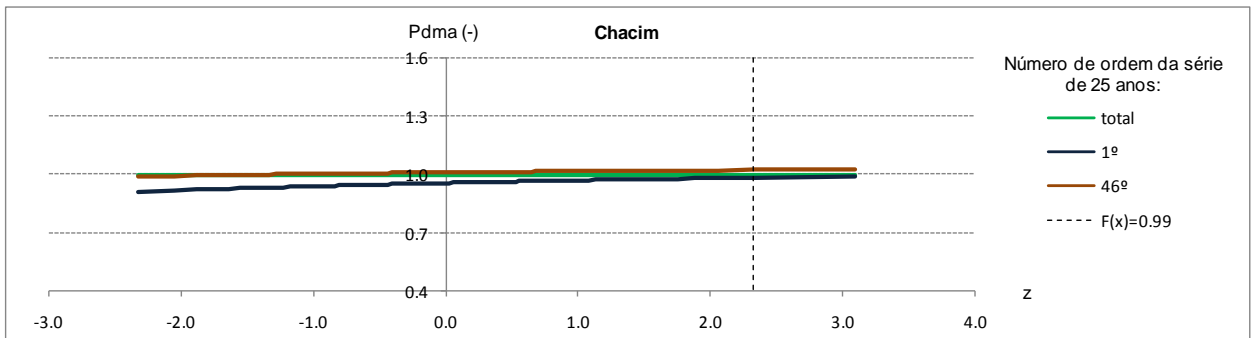
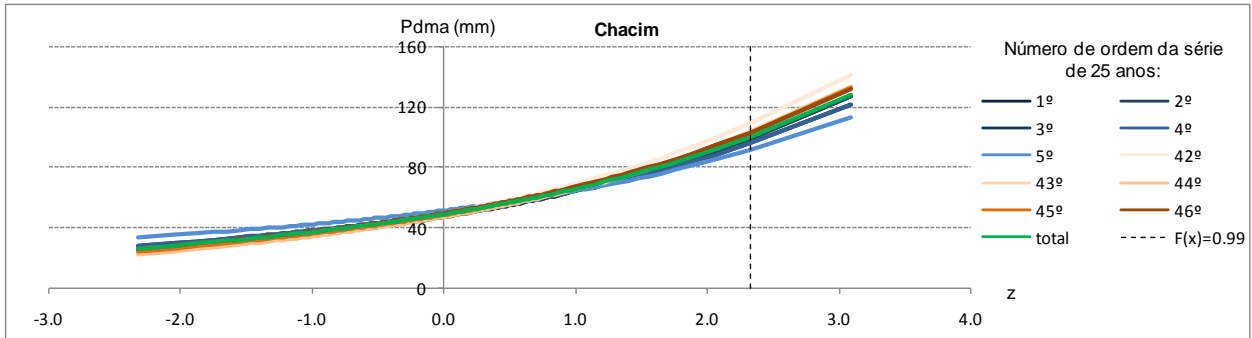


Figura 4.5 (continuação): Funções de distribuição da lei de Gumbel das precipitações diárias máximas anuais (Pdma). Para cada posto udométrico, gráfico superior: série total, primeiras e últimas cinco séries de 25 anos; gráfico inferior: representação adimensional da série total e da primeira e última séries de 25 anos.

-Bacia do rio Douro (continuação).

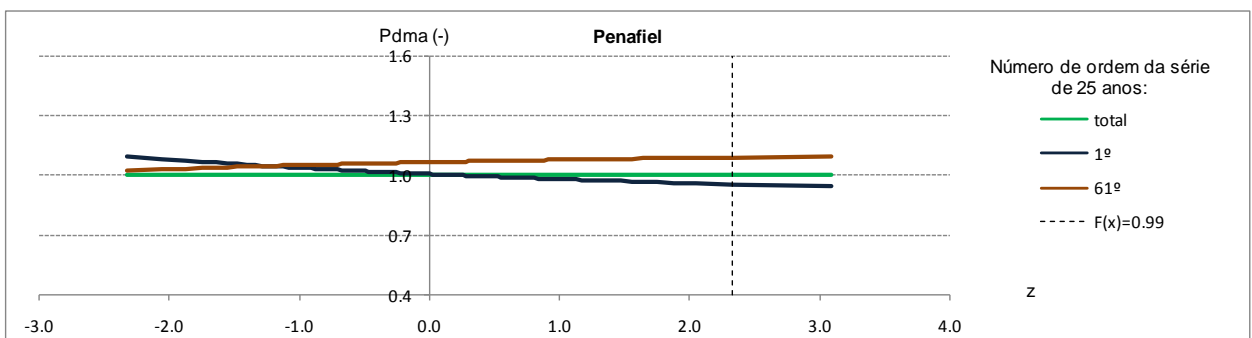
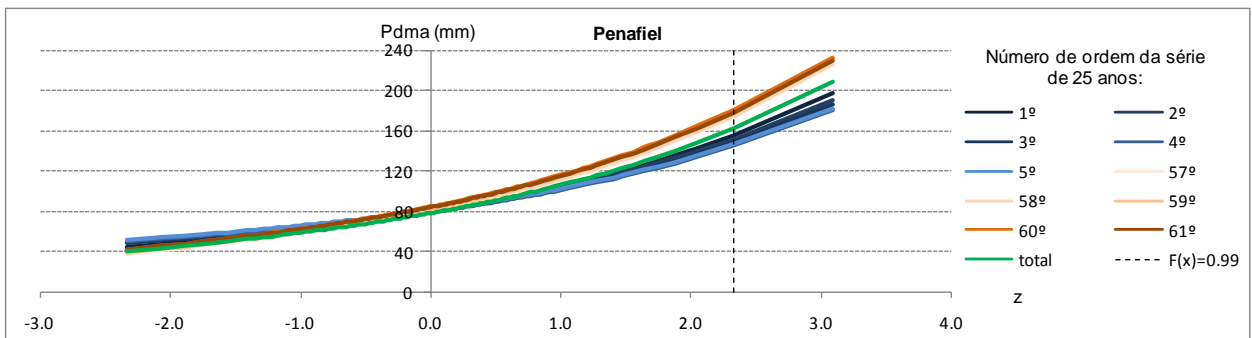
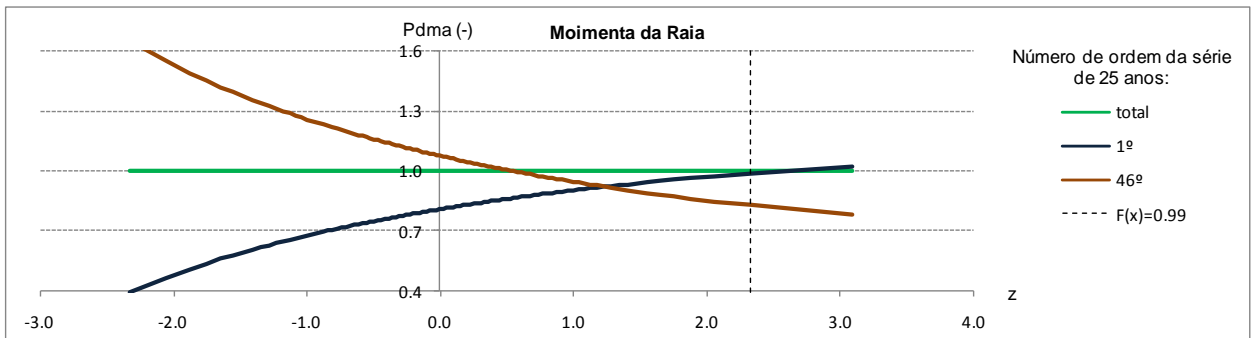
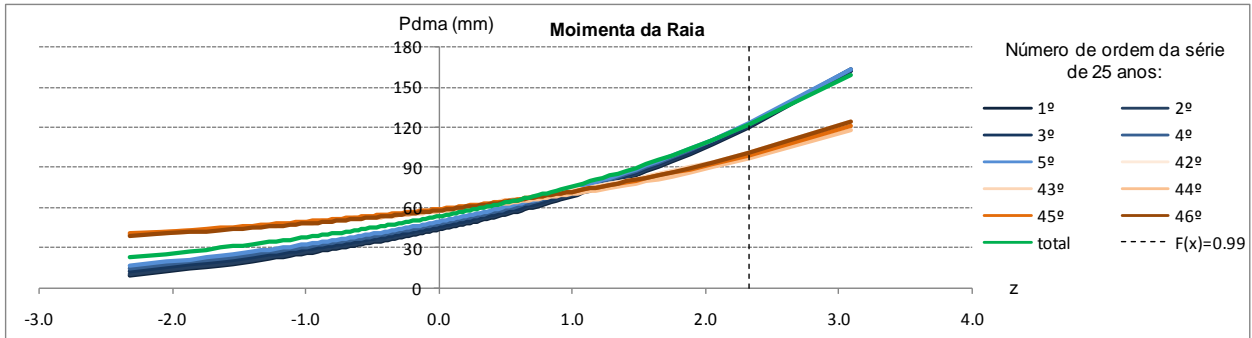


Figura 4.5 (continuação): Funções de distribuição da lei de Gumbel das precipitações diárias máximas anuais (Pdma). Para cada posto udométrico, gráfico superior: série total, primeiras e últimas cinco séries de 25 anos; gráfico inferior: representação adimensional da série total e da primeira e última séries de 25 anos.

-Bacia do rio Douro (continuação).

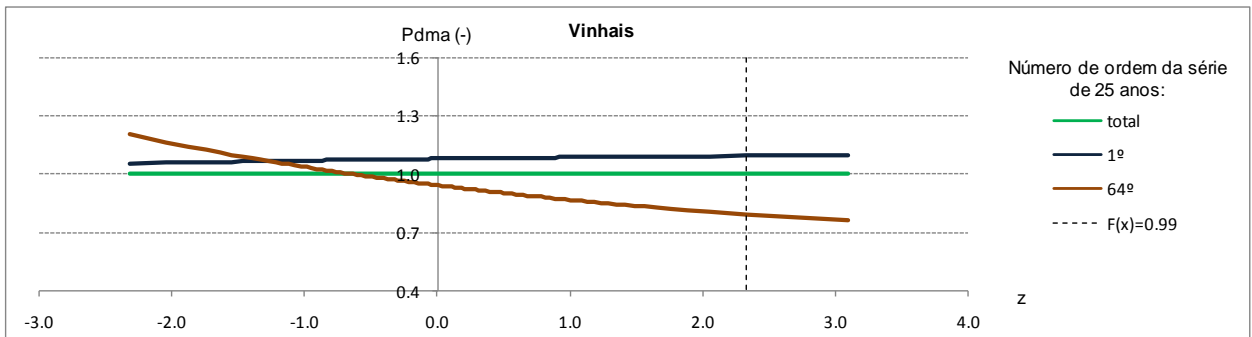
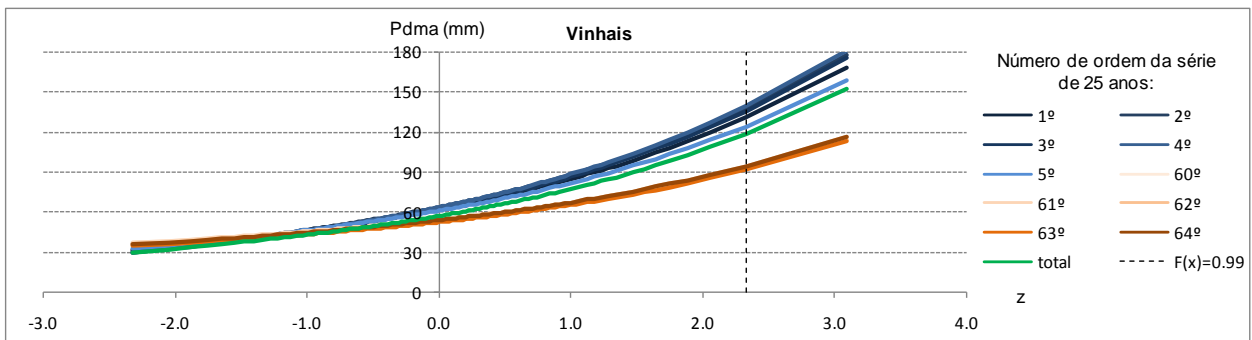
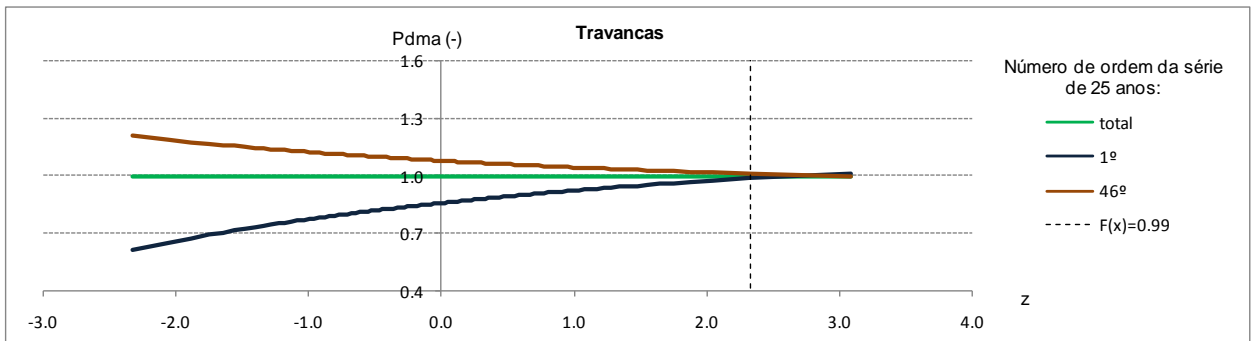
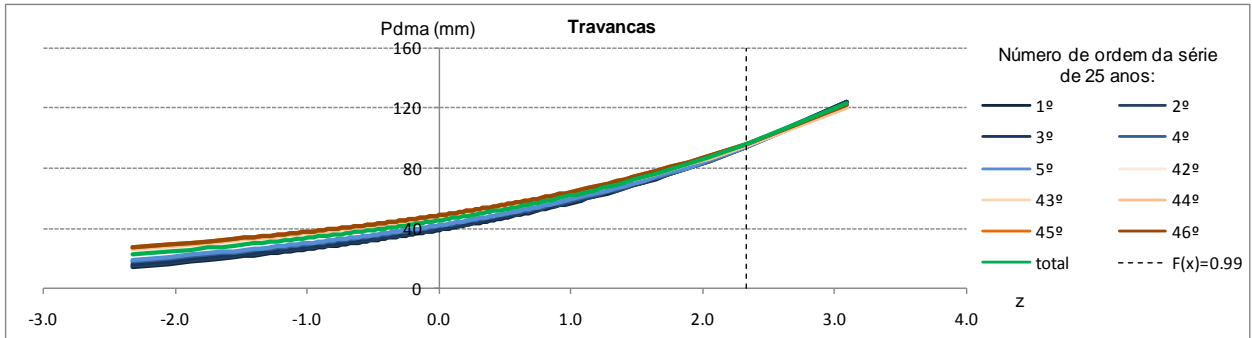


Figura 4.5 (continuação): Funções de distribuição da lei de Gumbel das precipitações diárias máximas anuais (Pdma). Para cada posto udométrico, gráfico superior: série total, primeiras e últimas cinco séries de 25 anos; gráfico inferior: representação adimensional da série total e da primeira e última séries de 25 anos.

-Bacia do rio Mondego.

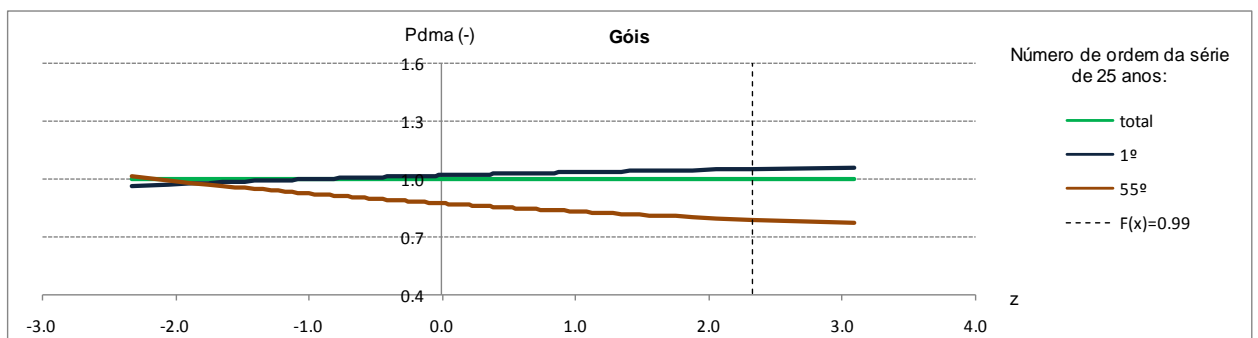
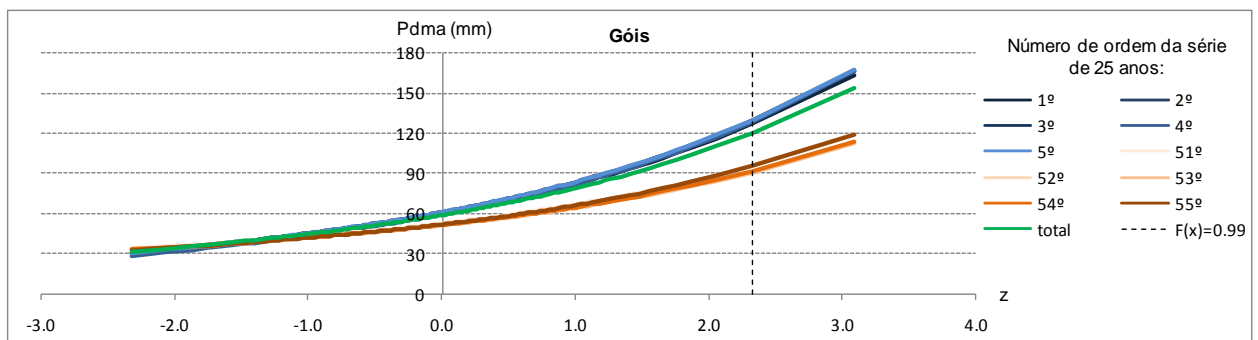
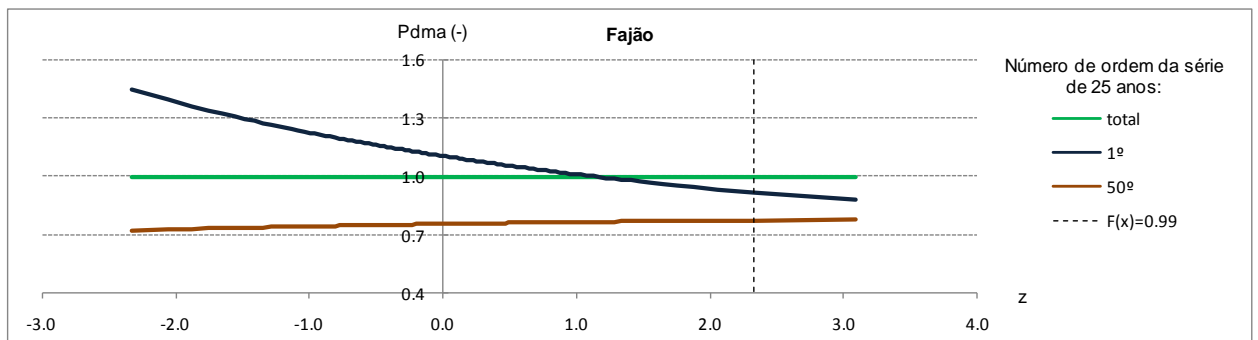
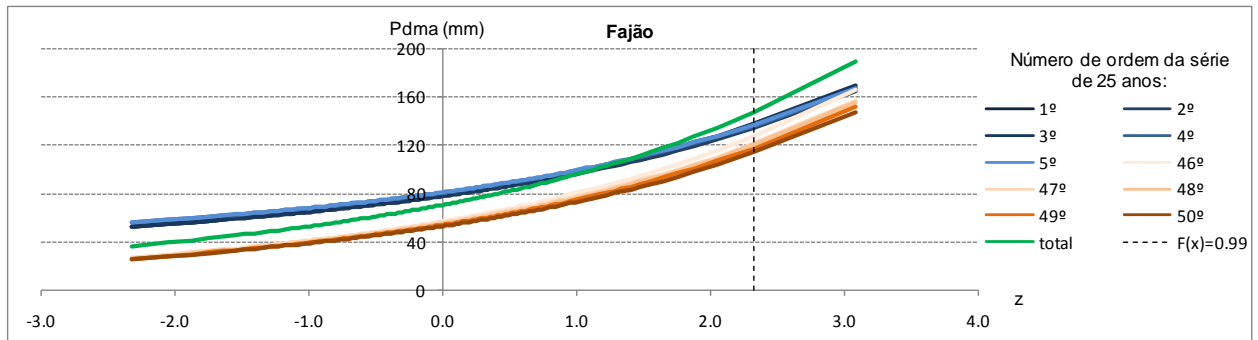
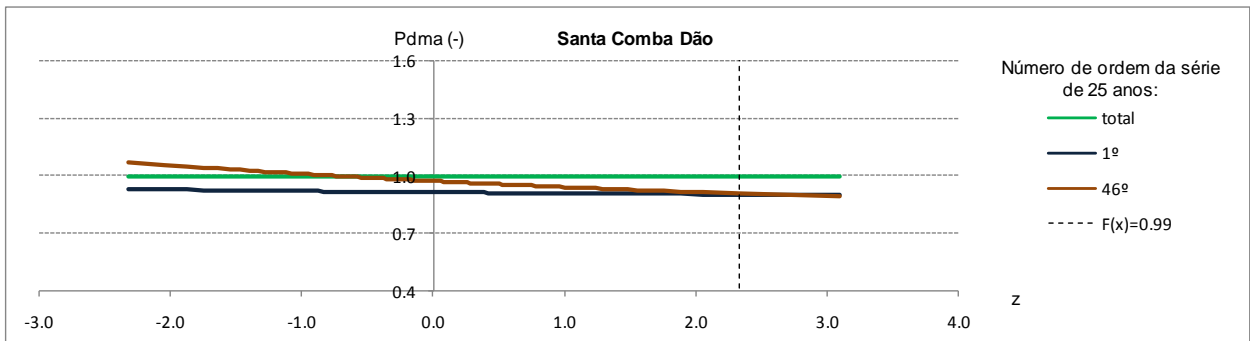
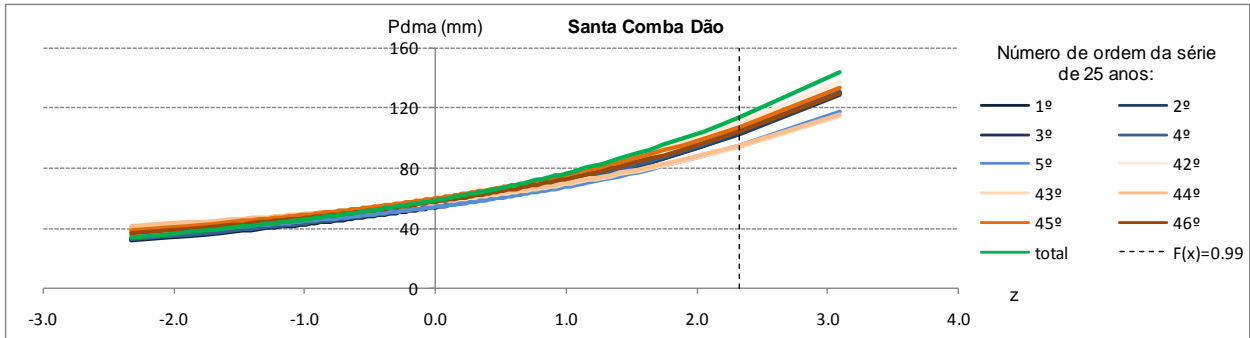


Figura 4.5 (continuação): Funções de distribuição da lei de Gumbel das precipitações diárias máximas anuais (Pdma). Para cada posto udométrico, gráfico superior: série total, primeiras e últimas cinco séries de 25 anos; gráfico inferior: representação adimensional da série total e da primeira e última séries de 25 anos.



-Bacia do rio Mondego (continuação).



-Bacia Ribeiras do Oeste.

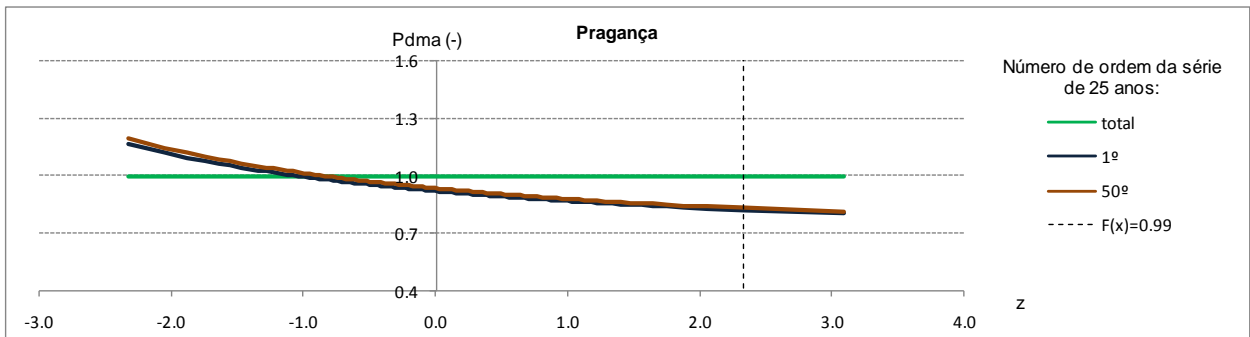
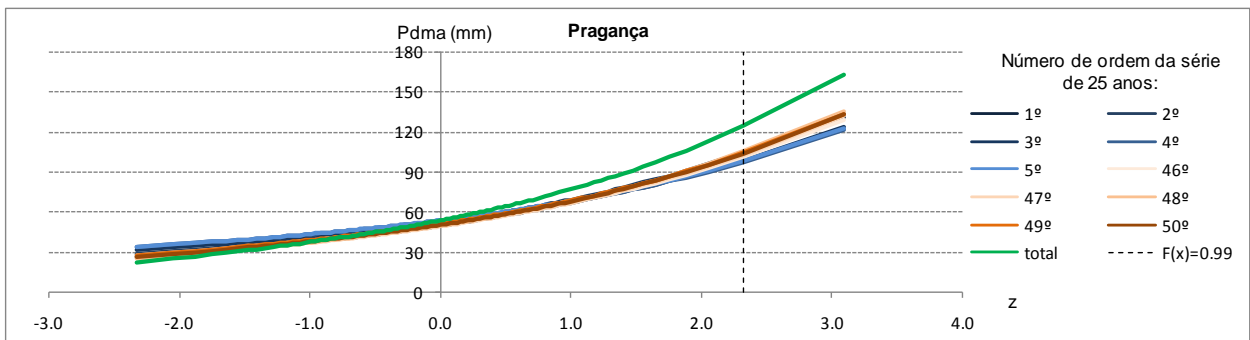


Figura 4.5 (continuação): Funções de distribuição da lei de Gumbel das precipitações diárias máximas anuais (Pdma). Para cada posto udométrico, gráfico superior: série total, primeiras e últimas cinco séries de 25 anos; gráfico inferior: representação adimensional da série total e da primeira e última séries de 25 anos.

-Bacia do rio Tejo.

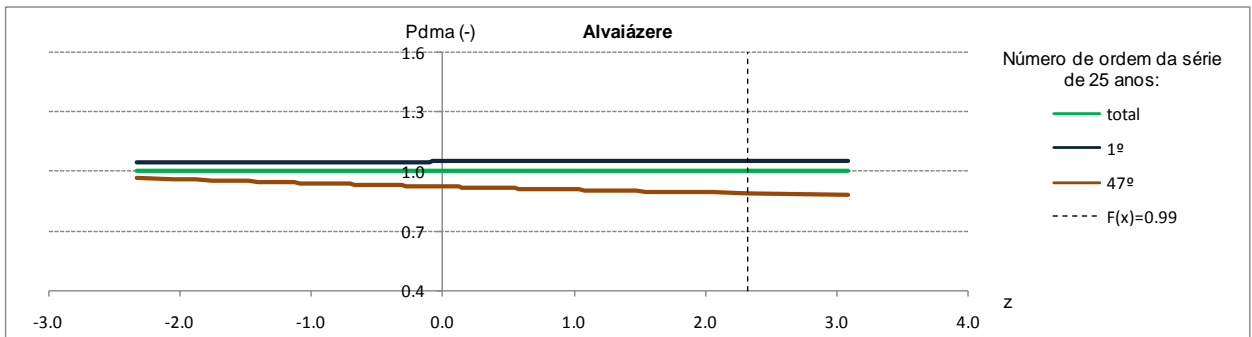
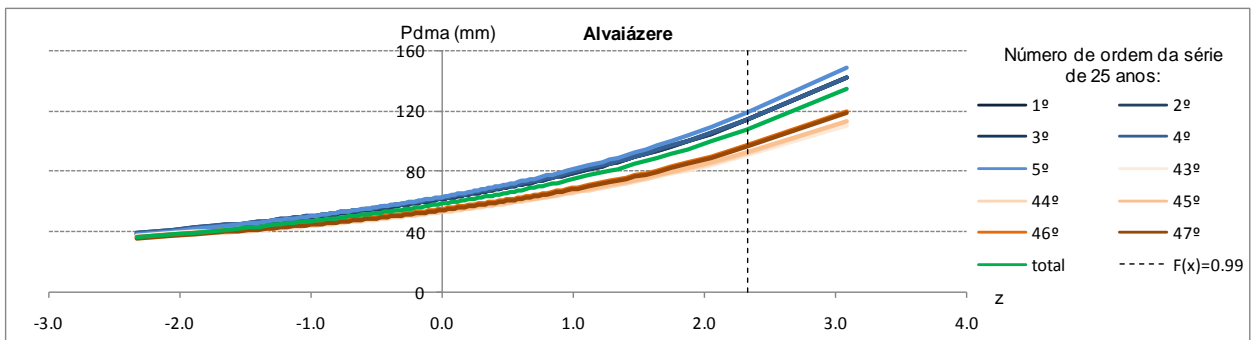
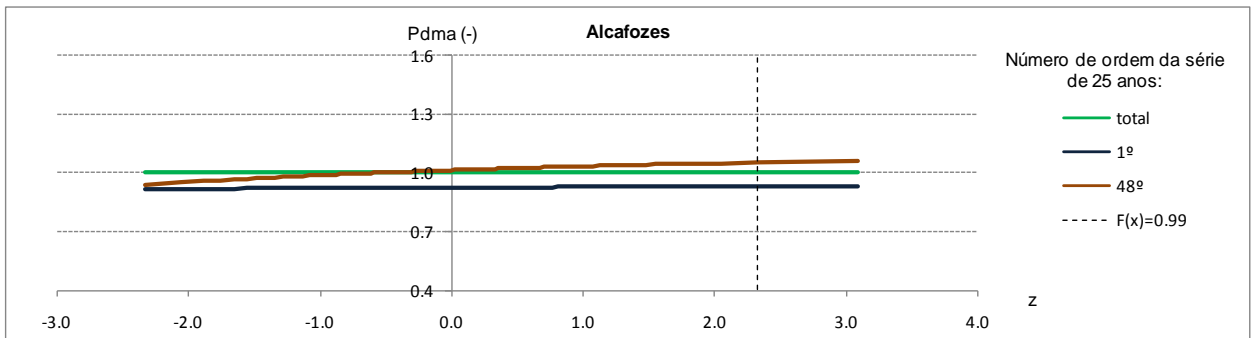
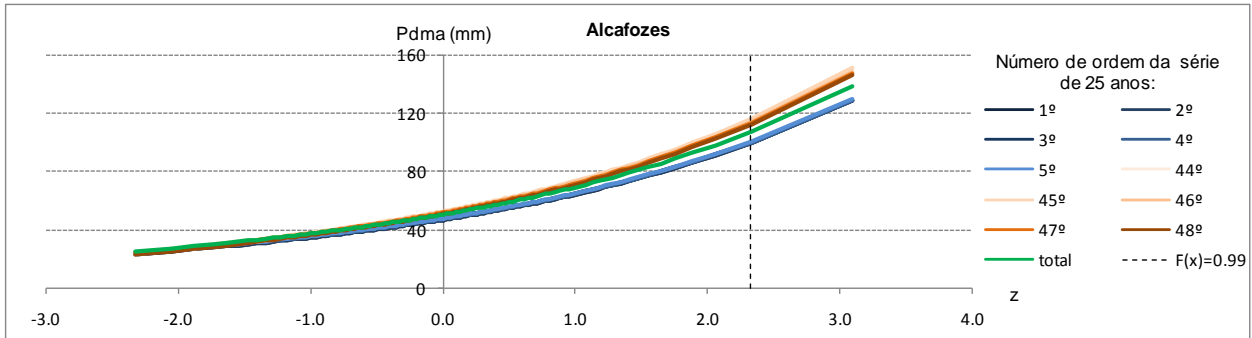


Figura 4.5 (continuação): Funções de distribuição da lei de Gumbel das precipitações diárias máximas anuais (Pdma). Para cada posto udométrico, gráfico superior: série total, primeiras e últimas cinco séries de 25 anos; gráfico inferior: representação adimensional da série total e da primeira e última séries de 25 anos.

-Bacia do rio Tejo (continuação).

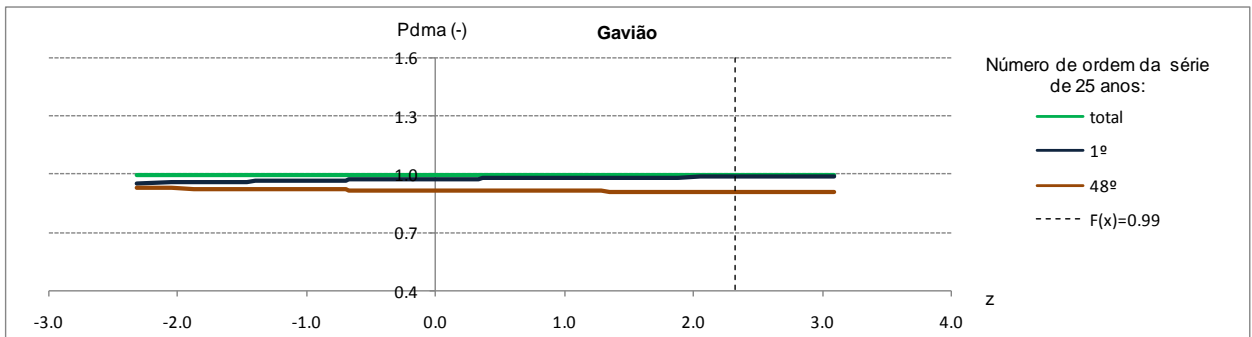
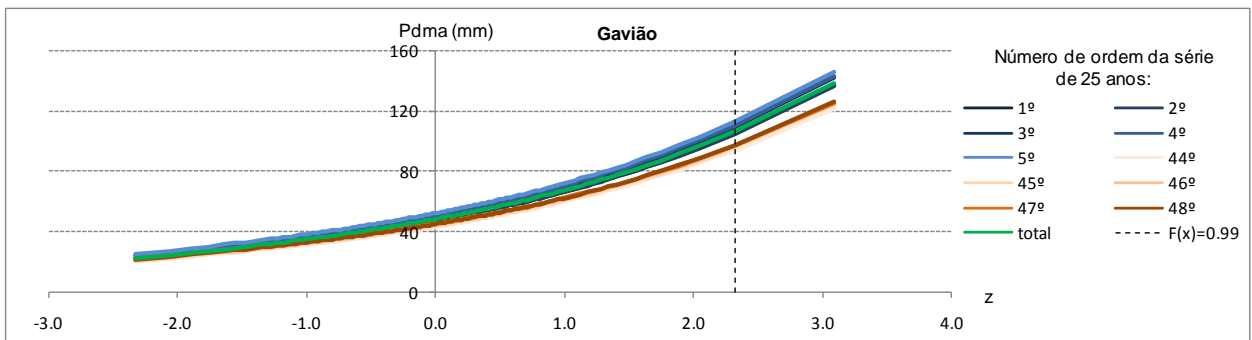
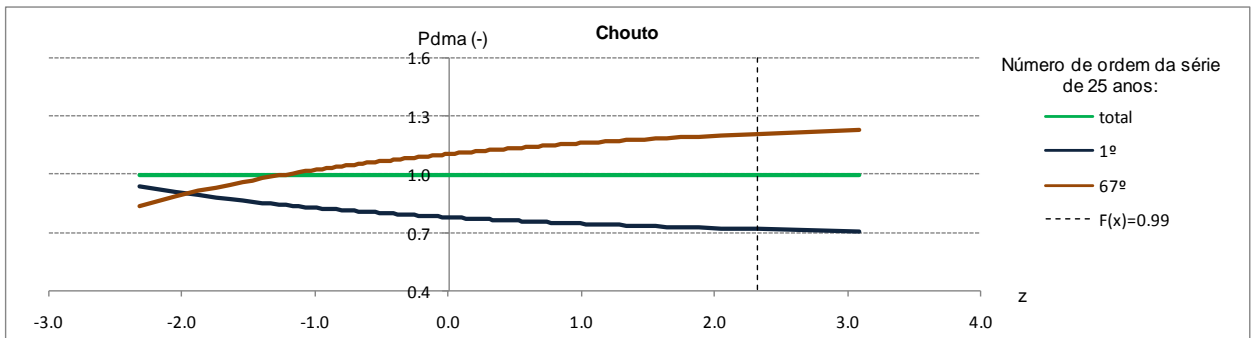
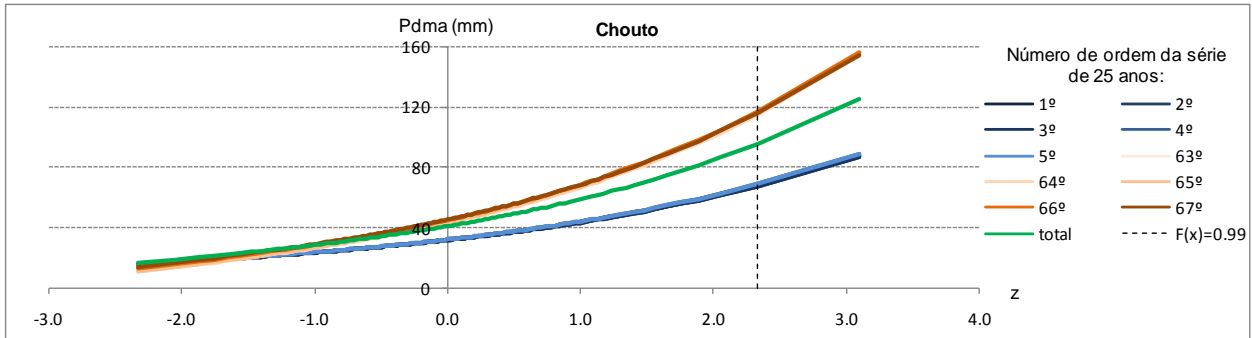


Figura 4.5 (continuação): Funções de distribuição da lei de Gumbel das precipitações diárias máximas anuais (Pdma). Para cada posto udométrico, gráfico superior: série total, primeiras e últimas cinco séries de 25 anos; gráfico inferior: representação adimensional da série total e da primeira e última séries de 25 anos.

-Bacia do rio Tejo (continuação).

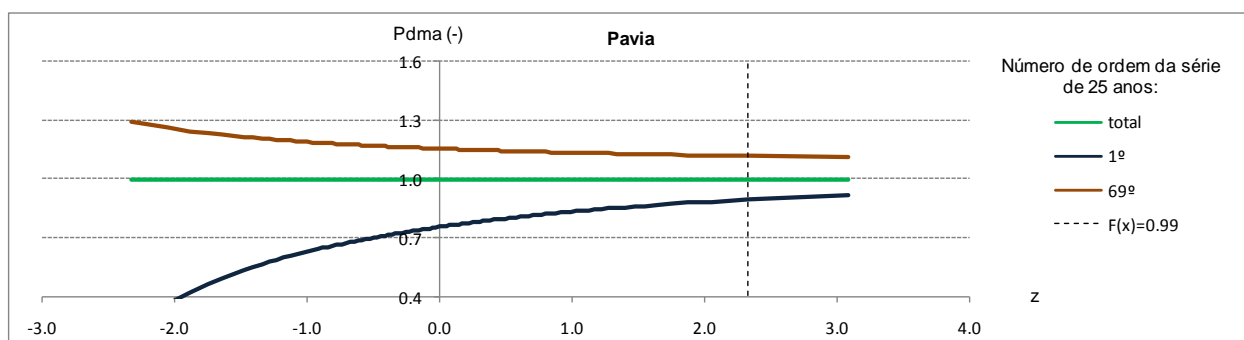
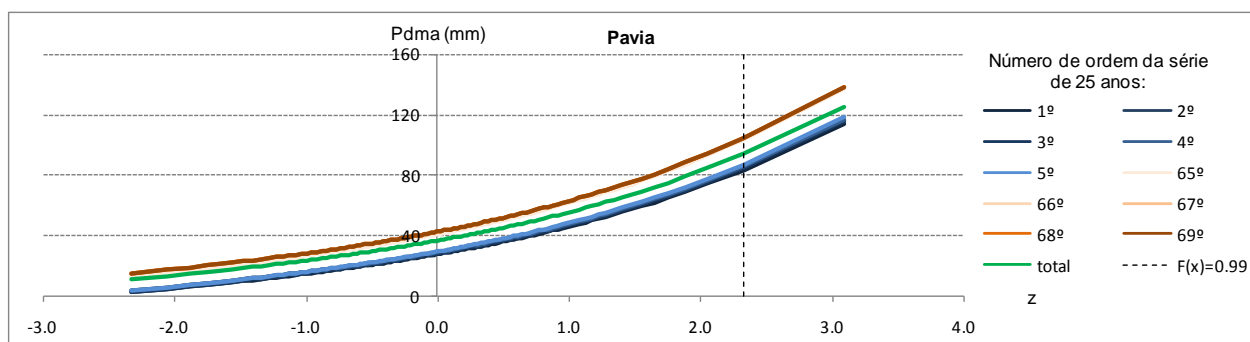
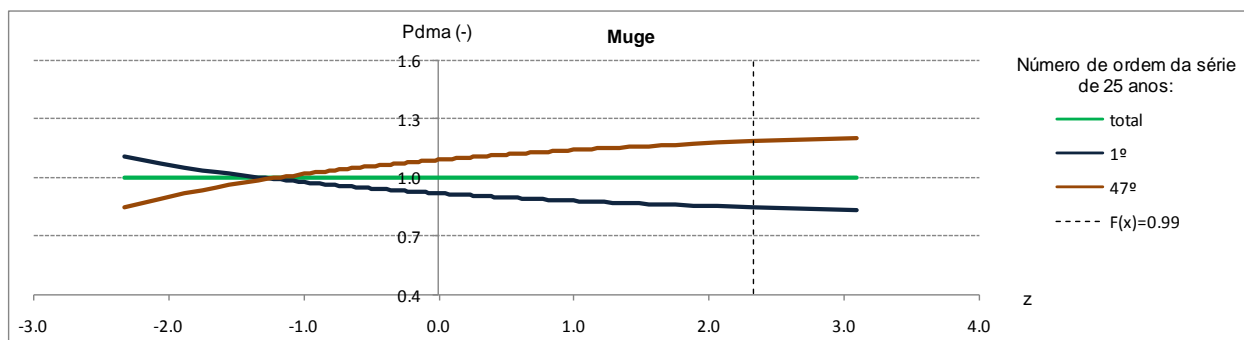
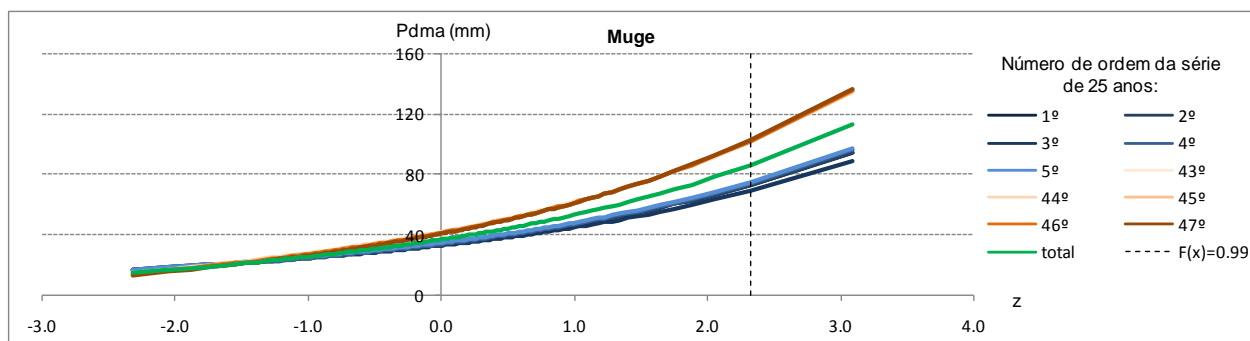


Figura 4.5 (continuação): Funções de distribuição da lei de Gumbel das precipitações diárias máximas anuais (Pdma). Para cada posto udométrico, gráfico superior: série total, primeiras e últimas cinco séries de 25 anos; gráfico inferior: representação adimensional da série total e da primeira e última séries de 25 anos.

-Bacia do rio Tejo (continuação).

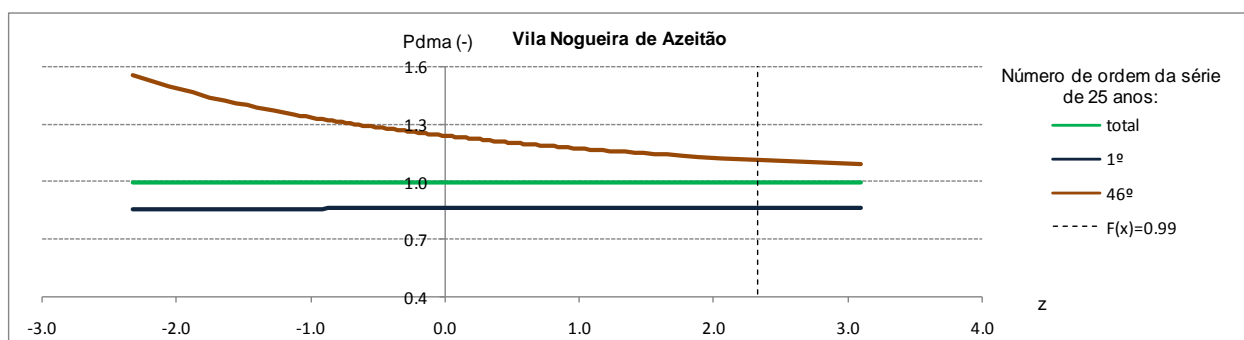
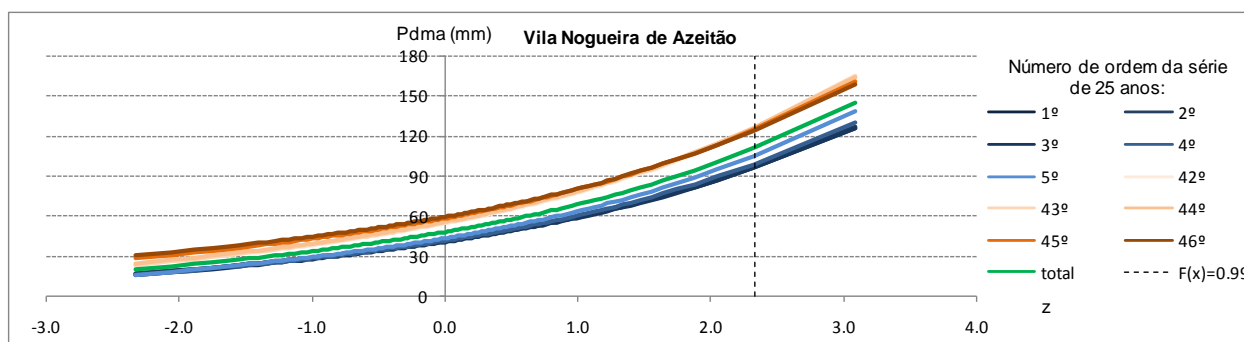
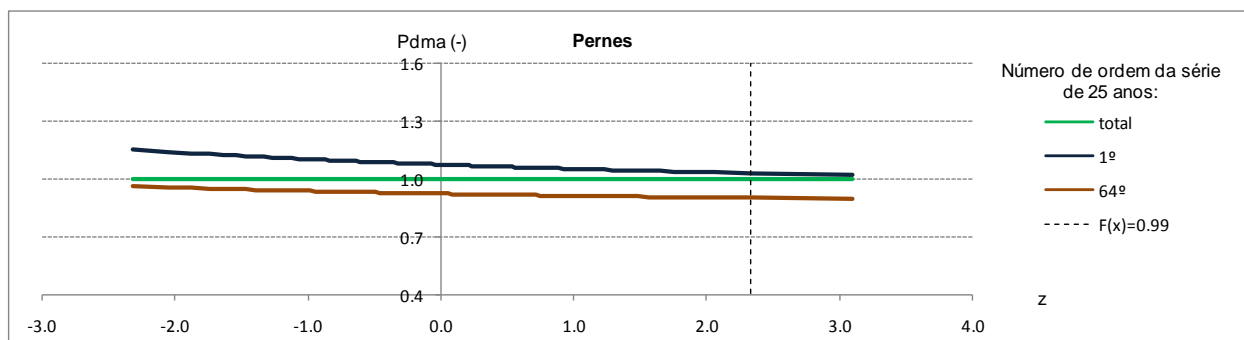
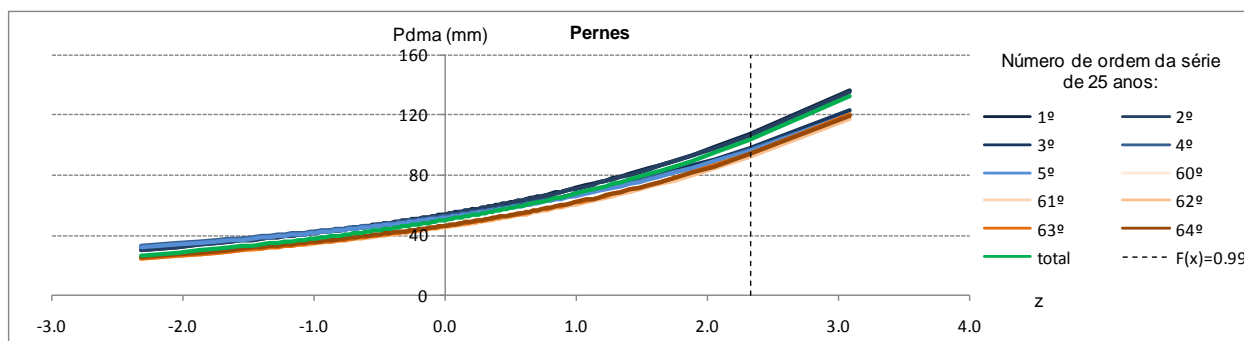
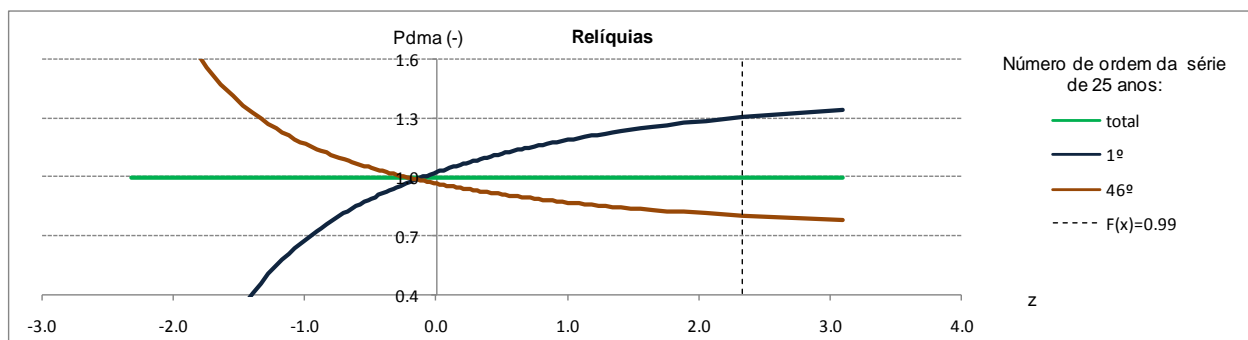
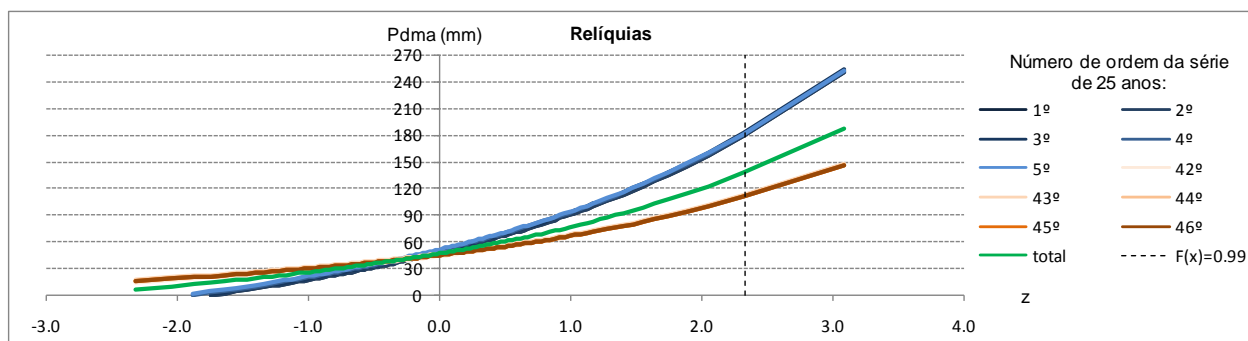


Figura 4.5 (continuação): Funções de distribuição da lei de Gumbel das precipitações diárias máximas anuais (Pdma). Para cada posto udométrico, gráfico superior: série total, primeiras e últimas cinco séries de 25 anos; gráfico inferior: representação adimensional da série total e da primeira e última séries de 25 anos.

-Bacia do rio Mira.



-Bacia do rio Guadiana.

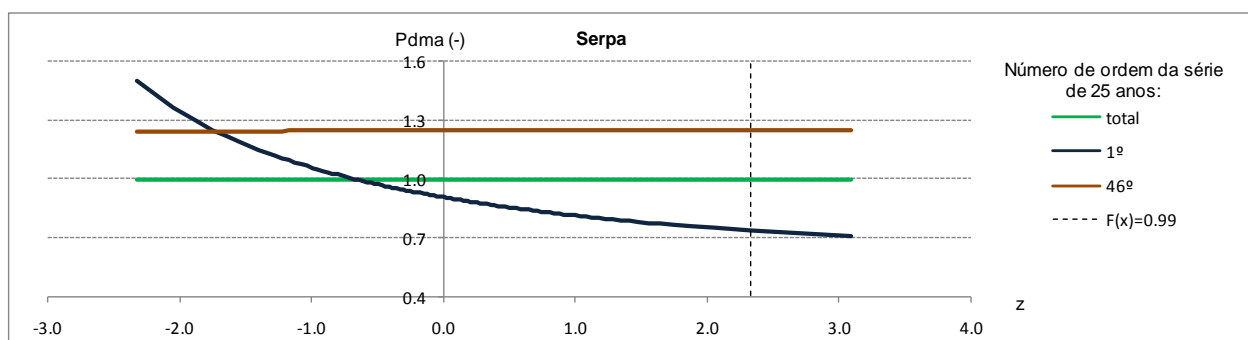
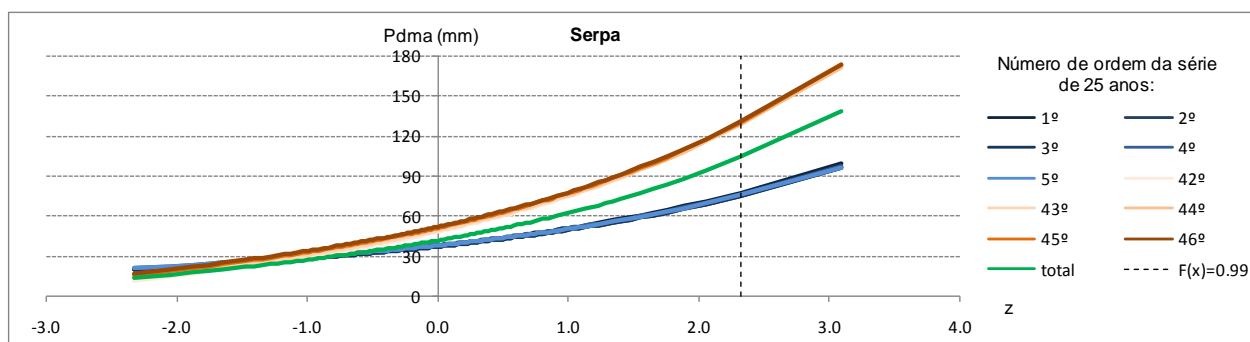


Figura 4.5 (continuação): Funções de distribuição da lei de Gumbel das precipitações diárias máximas anuais (Pdma). Para cada posto udométrico, gráfico superior: série total, primeiras e últimas cinco séries de 25 anos; gráfico inferior: representação adimensional da série total e da primeira e última séries de 25 anos.

Segue-se a análise de resultados das anteriores figuras, primeiro posto a posto e, posteriormente, de uma forma mais geral.

#### **-Bacia Ave**

- Viatodos

Em relação à análise das médias móveis da precipitação diária máxima anual em períodos consecutivos de 25 anos, nota-se um ligeiro aumento daquelas médias e uma diminuição do desvio-padrão. Esta diminuição, apesar de pouco demarcada, pode explicar o facto de as estimativas apoiadas em registos mais recentes serem inferiores às alcançadas a partir dos registos iniciais.

No que respeita a estimativas das precipitações diárias máximas anuais, os registos mais recentes conduzem a valores maiores, excepto para os períodos de retorno mais elevados, ou seja, para os períodos de retorno determinantes em termos de projecto. Para estes períodos, os registos correspondentes à última série de 25 anos conduzem a estimativas inferiores em cerca de 5% e 10% comparativamente à utilização dos primeiros 25 anos e do período total, respectivamente.

#### **-Bacia Douro**

- Castro D'Aire

Em consequência do elevado valor do primeiro registo de precipitação diária máxima anual (de que resulta, para o primeiro grupo de 25 anos consecutivos, uma média ligeiramente superior às demais médias móveis, mas especialmente, um desvio-padrão elevado), a curva representativa da função distribuição de probabilidade para o primeiro grupo de 25 anos consecutivos conduz a estimativas superiores às fornecidas pelas demais curvas.

Assim, para os períodos de retorno mais elevados, as estimativas apoiadas nos últimos 25 anos de registos são cerca de 5% inferiores às obtidas a partir daquele primeiro grupo mas, 10% superiores às calculadas com base no período total.

- Chacim

A análise de médias móveis não evidencia nenhuma tendência relativamente à evolução da média. No entanto, a variabilidade das sucessivas séries de 25 anos consecutivos, analisada através do andamento das curvas representativas dos desvios-padrão e dos coeficientes de variação, exhibe uma tendência de aumento. A observação da série cronológica de precipitações diárias máximas anuais (**Figura 3.2**) confirma esta tendência de aumento da variabilidade já que se existe uma alternância, relativamente à média, cada vez maior, de picos de precipitação.

No que respeita a estimativas das precipitações diárias máximas anuais, são os registos mais recentes que conduzem a valores mais elevados. No entanto, as estimativas calculadas a partir dos últimos 25 anos de registos não revelam uma diferença acentuada quando comparadas com as estimativas calculadas com base no período total ou nos primeiros 25 anos.

- Gestosa

O tratamento dos registos no posto de Gestosa não revela nenhuma tendência em especial. Com efeito, a análise de médias móveis não evidencia nenhuma tendência nas médias e na variabilidade das sucessivas séries de 25 anos consecutivos.

Para os períodos de retorno superiores a 100 anos existe, de certo modo, uma indiferença no período de registos conducente a estimativas mais elevadas: com efeito, os diferentes períodos conduzem a estimativas relativamente próximas. Por tal motivo, na apreciação global de resultados que sintetiza a análise objecto do presente capítulo (**Quadro 4.1**) considerou-se o período total como o conducente às mais elevadas estimativas para os períodos de retorno superiores a 100 anos. Este pressuposto foi adoptado noutros postos em que também ocorre indiferença entre estimativas.

Importa, contudo, observar que a série cronológica das precipitações diárias máximas anuais (**Figura 3.2**) exhibe dois picos acentuados no início do período de registos e um pico acentuado no final deste período. Estritamente em consequência desses picos, as curvas de distribuição de probabilidade adimensionais sugerem estimativas apoiadas no primeiro e no último grupo de 25 anos superiores às decorrentes do período total. Dado que tal posição relativa entre curvas adimensionais decorre de precipitações muito individualizadas, não foi considerada como indiciando uma tendência.

- Moimenta da Raia

Em relação à análise das médias móveis da precipitação diária máxima anual em períodos consecutivos de 25 anos, nota-se um ligeiro aumento daquelas médias e uma diminuição do desvio-padrão. Esta diminuição é consequência de uma redução da variabilidade, bem visível na série cronológica de precipitações diárias máximas anuais (**Figura 3.2**) e pode explicar o facto de as estimativas apoiadas em registos mais recentes serem inferiores às alcançadas a partir dos registos iniciais.

No que respeita a estimativas das precipitações diárias máximas anuais, os registos mais recentes conduzem a valores menores para os períodos de retorno mais elevados, ou seja, para os períodos de retorno determinantes em termos de projecto. Obtêm-se, assim, estimativas inferiores em cerca de 10%, comparativamente à utilização, tanto dos primeiros 25 anos de registos, como do período total.

Dado que, para períodos de retorno superiores a 100 anos, existe uma grande proximidade entre estimativas baseadas nos registos mais antigos e no período total (situação de indiferença entre estimativas), na comparação objecto do **Quadro 4.1** é destacado o período total como o conducente a estimativas mais elevadas.

- Penafiel

Relativamente à análise das médias móveis, nota-se um ligeiro aumento daquelas médias a partir de meados do século XX, não se evidenciando nenhuma tendência no que respeita aos desvios-padrão.

Como consequência do aumento das médias móveis, as estimativas das precipitações diárias máximas anuais calculadas com base nos registos mais recentes revelam-se mais elevadas do que as restantes. Efectivamente, são cerca de 10% e 15% mais elevadas que as estimativas com base nos registos mais antigos ou no período total, respectivamente.



- Travancas

A análise das médias móveis da precipitação diária máxima anual em períodos consecutivos de 25 anos não revela qualquer tendência evidente, apesar de haver um ligeiro aumento.

Em especial para os períodos de retorno mais elevados, as estimativas das precipitações diárias máximas anuais são praticamente coincidentes entre diferentes períodos de registo.

- Vinhais

No posto de Vinhais, a análise de médias móveis evidencia uma diminuição daquelas médias assim como dos desvios-padrão e dos coeficientes de variação.

Em concordância com os resultados anteriores, as estimativas da precipitação diária máxima anual com base em registos mais recentes são menores do que as estimativas a partir dos registos mais antigos, sendo que a diferença aumenta com o período de retorno. Para os períodos de retorno mais elevados, ou seja, para os períodos de retorno determinantes em termos de projecto, os registos mais recentes conduzem a estimativas, cerca de 30% e 20%, inferiores relativamente às obtidas a partir de registos iniciais e do período total, respectivamente.

#### **-Bacia Mondego**

- Fajão

Tanto a série cronológica (**Figura 3.2**), como a análise de médias móveis evidenciam uma tendência de diminuição de precipitação. A tendência de diminuição é particularmente evidente a partir da segunda metade do século XX. Os desvios-padrão das sucessivas séries de 25 anos aumentam ligeiramente ao longo do tempo, aumentando também os coeficientes de variação, embora mais ligeiramente, em resultado da diminuição das médias.

Em consequência da tendência para diminuição exibida pelas médias móveis, a utilização de registos mais recentes conduz a estimativas de precipitações diárias máximas anuais sempre inferiores às que decorrem dos registos iniciais. Para os períodos de retorno mais relevantes essa redução é de 10% ou de 20%, em relação à utilização dos primeiros 25 anos com registos ou dos registos no período total, respectivamente.

- Góis

As médias móveis da precipitação anual em períodos consecutivos de 25 anos revelam uma diminuição a partir de meados do século XX. Verifica-se, também, uma diminuição dos desvios-padrão e dos coeficientes de variação.

As estimativas da precipitação diária máxima anual com base em registos mais recentes são as menores, para todos os períodos de retorno, mas em especial para os mais elevados. Com efeito, a utilização dos registos recentes conduz a estimativas cerca de 25% e de 20% inferiores às baseadas em registos mais antigos e no período total, respectivamente.

- Santa Comba Dão

A análise de médias móveis revela uma ligeira diminuição daquelas médias, a partir de meados do século XX, mas não evidencia nenhuma tendência relativamente aos desvios-padrão ou aos coeficientes de variação.

Para a generalidade dos períodos de retorno, especialmente para os mais elevados, as estimativas das precipitações diárias máximas anuais com base em registos mais antigos ou mais recentes são semelhantes, sendo ambas cerca de 10% inferiores às estimativas decorrentes do período total.

#### **-Bacia Ribeiras do Oeste**

- Pragança

A análise de médias móveis evidencia, a partir de meados do século XX, uma diminuição daquelas médias, mas não revela nenhuma tendência relativamente aos desvios-padrão ou aos coeficientes de variação.

Para os períodos de retorno mais elevados, ou seja, para os períodos de retorno determinantes em termos de projecto, as estimativas das precipitações diárias máximas anuais baseadas nos registos, quer mais antigos, quer mais recentes são semelhantes, sendo cerca de 20% inferiores às estimativas que utilizam o período total.

#### **-Bacia Tejo**

- Alcafozes

No posto de Alcafozes, a análise de médias móveis não permitiu evidenciar nenhuma tendência. Existe um aumento daquelas médias, desde a década de 1920, que é, de certo modo, anulado através da diminuição observada nos últimos anos, não sendo possível identificar uma tendência.

As estimativas das precipitações diárias máximas anuais são mais elevadas quando se baseiam em registos mais recentes. Para os períodos de retorno superiores a 100 anos, as estimativas apoiadas nos últimos 25 anos são cerca de 7% e 15% superiores às calculadas a partir do período total e dos primeiros 25 anos de registos, respectivamente.

- Alvaiázere

A análise de médias móveis revela uma diminuição daquelas médias, a partir de meados do século XX, mas não evidencia nenhuma tendência relativamente aos desvios-padrão ou aos coeficientes de variação.

As estimativas da precipitação diária máxima anual com base em registos mais recentes são mais reduzidas, para todos os períodos de retorno, em especial para os mais elevados. Assim, as estimativas a partir dos últimos 25 anos de registos são cerca de 12% e 17% inferiores às estimativas baseadas no período total e nos primeiros 25 anos de registos, respectivamente.

- Chouto

As médias móveis revelam um aumento até aproximadamente à década de 1940 e uma manutenção dos seus valores depois disso, pelo que não se considera a existência de uma tendência. O andamento das curvas representativas dos desvios-padrão e dos coeficientes de variação também não evidencia

uma tendência, apesar da existência de um aumento súbito destes, consequência do pico de precipitação diária máxima anual registado em 1981 (ver **Figura 3.2**).

As estimativas da precipitação diária máxima anual apoiadas na última série de 25 anos de registos são, para os períodos de retorno mais elevados, cerca de 25% e 55% superiores às obtidas a partir do período total e da primeira série de 25 anos de registos, respectivamente.

- Gavião

A análise de médias móveis revela uma diminuição daquelas médias, a partir de meados do século XX, mas não evidencia uma tendência relativamente aos desvios-padrão ou aos coeficientes de variação.

Para os períodos de retorno mais elevados, obtêm-se estimativas da precipitação diária máxima anual com base em registos mais recentes mais reduzidas. Assim, as estimativas apoiadas na última série de 25 anos são cerca de 25% e 20% inferiores às estimativas baseadas na série dos primeiros 25 anos de registos e no período total, respectivamente.

- Muge

No que concerne à análise das médias móveis, evidencia-se um aumento daquelas médias, especialmente a partir de meados do século XX. O andamento das curvas representativas dos desvios-padrão e dos coeficientes de variação não evidencia tendência.

Como consequência do aumento das médias móveis, as estimativas das precipitações diárias máximas calculadas com base nos registos mais recentes revelam-se mais elevadas que as restantes. Efectivamente, as estimativas apoiadas na última série de 25 anos são cerca de 20% e 35% mais elevadas que as estimativas com base no período total e na primeira série de 25 anos de registos, respectivamente.

- Pavia

Em relação à análise das médias móveis da precipitação diária máxima anual em períodos consecutivos de 25 anos, observa-se um aumento daquelas médias e uma manutenção dos desvios-padrão, assim como dos coeficientes de variação.

Deste modo, para os períodos de retornos mais elevados, as estimativas apoiadas na última série de 25 anos de registos são superiores em cerca de 10%, em relação às baseadas no período total, e 20%, relativamente às determinadas a partir da primeira série de 25 anos de registos.

- Penha Garcia

A análise de médias móveis não evidencia tendências relativamente à evolução da média. No entanto, a variabilidade das sucessivas séries de 25 anos consecutivos, expressa pelo andamento das curvas representativas dos desvios-padrão e dos coeficientes de variação, exhibe uma tendência de aumento.

No que respeita a estimativas das precipitações diárias máximas anuais, são os registos mais recentes que conduzem a valores mais elevados. Com efeito, as estimativas baseadas na série dos últimos 25 anos são 15% e 30% superiores às estimativas apoiadas no período total e na série dos primeiros 25 anos, respectivamente.

- Pernes

O tratamento dos registos no posto de Pernes não revela uma tendência em especial. A análise de médias móveis não evidencia qualquer tendência, quer nas médias, quer na variabilidade das sucessivas séries de 25 anos consecutivos.

Não obstante a ausência de tendências, as estimativas das precipitações diárias máximas anuais calculadas a partir dos registos mais recentes são menores, em cerca de 10%, comparativamente às calculadas com base em registos anteriores e no período total. Existe alguma indefinição no período conducente a estimativas mais elevadas, visto que estas podem ser obtidas com base no período total de registos ou a partir dos primeiros 25 anos com registos. Por tal motivo, e como antes arbitrado para situações equivalentes de indefinição, na análise geral apresentada no **Quadro 4.1** destacou-se o período total como sendo aquele que conduz a estimativas mais elevadas.

- Vila Nogueira de Azeitão

No que concerne à análise das médias móveis, evidencia-se um aumento demarcado daquelas médias, especialmente a partir de meados do século XX. O andamento das curvas representativas dos desvios-padrão e dos coeficientes de variação não evidencia qualquer tendência.

Como consequência do aumento das médias móveis, as estimativas das precipitações diárias máximas anuais calculadas com base nos registos mais recentes revelam-se mais elevadas do que as restantes. Efectivamente, as estimativas apoiadas na última série de 25 anos são cerca de 10% e 25% mais elevadas do que as estimativas baseadas no período total e na primeira série de 25 anos de registos, respectivamente.

#### **-Bacia Mira**

- Relíquias

Este posto tem um pico de precipitação excepcional em 1948 (de 226 mm, ver **Figura 3.2**) que vai influenciar principalmente o andamento da curva representativa dos desvios-padrão, que denota, assim, uma variação abrupta. As médias móveis apresentam uma notória tendência decrescente a partir dos meados do século XX, enquanto que o desvio-padrão e, conseqüentemente, o coeficiente de variação, denotam um ligeiro aumento.

O decréscimo observado nas médias móveis conduz a que as estimativas das precipitações diárias máximas anuais, calculadas a partir dos registos mais recentes, sejam inferiores às calculadas com base nos registos mais antigos. Esse decréscimo acentua-se com o aumento do período de retorno, conduzindo a reduções das estimativas de 50%, em relação à utilização dos primeiros anos, e de 25%, quando apoiadas no período total.

#### **-Bacia Guadiana**

- Serpa

A análise de médias móveis evidencia uma tendência crescente daquelas médias, nomeadamente após meados do século XX, assim como da variabilidade das sucessivas séries de 25 anos consecutivos, expressa pelo andamento das curvas representativas dos desvios-padrão e dos coeficientes de variação

No que respeita a estimativas das precipitações diárias máximas anuais, são os registos mais recentes que conduzem a valores mais elevados. Com efeito, as estimativas apoiadas na última série de 25 anos são cerca de 25% e 55% superiores às estimativas baseadas no período total e na primeira série de 25 anos de registos, respectivamente.

As observações anteriores encontram-se resumidas no **Quadro 4.1**, mediante a esquematização das tendências sugeridas pela análise dos parâmetros estatísticos estudados e dos períodos conducentes a estimativas mais elevadas para períodos de retorno superiores a 100 anos. Recorda-se que nas situações de indefinição (em número de quatro) entre períodos conducentes às mais elevadas estimativas da precipitação diária máxima anual para os períodos de retorno superiores ou iguais a 100 anos, se optou por destacar o período total.

Quadro 4.1: Postos do **Quadro 3.1**. Tendências sugeridas pela análise de médias móveis (**Figura 4.4**) e critérios de projecto decorrentes da aplicação da função de distribuição de lei de Gumbel (**Figura 4.5**).

Bacia hidrográfica	Posto udométrico	Tendências observadas			Período conducente a estimativas mais elevadas (para períodos de retorno superiores a 100 anos)		
		Média	Desvio-padrão	Coeficiente variação	Séries de 25 anos		Período total
					Mais recentes	Mais antigas	
Ave	Viatodos	+	-	-			●
Douro	Castro D'Aire	=	=	=	●		
	Chacim	=	+	+	●		
	Gestosa	=	=	=			●
	Moimenta da Raia	+	-	-			●
	Penafiel	+	=	=	●		
	Travancas	+	=	=			●
Mondego	Vinhais	-	-	-		●	
	Fajão	-	+	+			●
	Góis	-	-	-		●	
Santa Comba Dão	Santa Comba Dão	-	=	=			●
	Ribeiras do Oeste	Pragança	-	=	=		
Tejo	Alcafozes	=	=	=	●		
	Alvaiázere	-	=	=		●	
	Chouto	=	=	=	●		
	Gavião	-	=	=		●	
	Muge	+	=	=	●		
	Pavia	+	=	=	●		
	Penha Garcia	=	+	+	●		
	Pernes	=	=	=			●
Vila Nogueira de Azeitão	+	=	=	●			
Mira	Relíquias	-	+	+		●	
Guadiana	Serpa	+	+	+	●		

Legenda: = sem tendência de variação    + tendência para aumento    - tendência para diminuição

● ● ● : Período conducente a estimativas mais elevadas.

Em termos gerais e conforme sustentado no quadro precedente, conclui-se, assim, que para as séries analisadas, a utilização dos períodos totais para estimar valores de Pdma constitui critério de dimensionamento do lado da segurança (estimativas mais elevadas para os períodos de retorno relevantes em termos de projecto, superiores ou iguais a 100 anos) em oito casos, na sua maioria localizados no Norte do País. Dos restantes casos, dez, maioritariamente inseridos no Centro/Sul do País, têm como mais condicionantes as estimativas baseadas em registos mais recentes. Deste modo,

em apenas cinco casos, os registos mais antigos se revelaram mais condicionantes, ou seja, conducentes a estimativas mais elevadas da Pdma.

No que concerne à análise de médias móveis das séries daquela precipitação, aparentemente, ocorre uma diversidade de comportamentos, não sendo possível inferir uma tendência. Por outras palavras, a análise de registos não permitiu reconhecer um padrão (quer regional, quer global) que evidencie o aumento ou a diminuição da precipitação intensa ou da correspondente variabilidade temporal.

Merecem destaque os resultados relativos ao ajuste da lei de Gumbel tendo em vista a estimativa de precipitações diárias máximas anuais com dados períodos de retorno. Efectivamente, para as elevadas probabilidades de não excedência normalmente intervenientes na análise de cheias, verifica-se que a consideração da totalidade dos registos disponíveis pode não constituir critério de projecto, já que para muitos casos são os registos mais recentes que conduzem a estimativas mais elevadas, logo mais condicionantes. A anterior situação ocorre mais frequentemente no Centro e Sul do País, com especial incidência na bacia hidrográfica do rio Tejo.

A conclusão anterior é, aliás, uma das contribuições mais relevantes da investigação efectuada, pois aponta no sentido da necessidade de recorrer a novos critérios de projecto quando estão em causa estimativas da precipitação diária máxima anual.

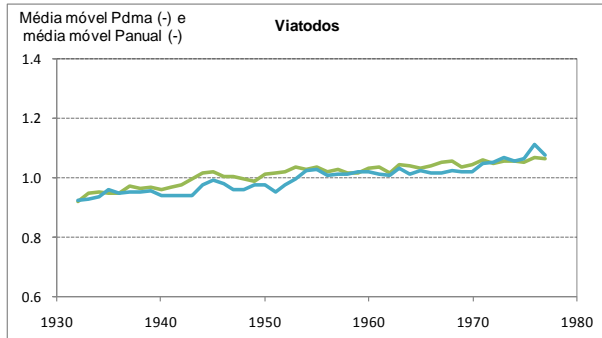
Admite-se que a inferência estatística se possa tornar menos correcta pois pressupõe a estacionaridade das séries (o futuro será estatisticamente igual ao passado) o que eventualmente poderá deixar de ser verdade.

É ainda importante referir que os diferentes procedimentos aplicados à análise das amostras de precipitações intensas apontam no mesmo sentido, ou seja, conduzem a resultados coerentes.

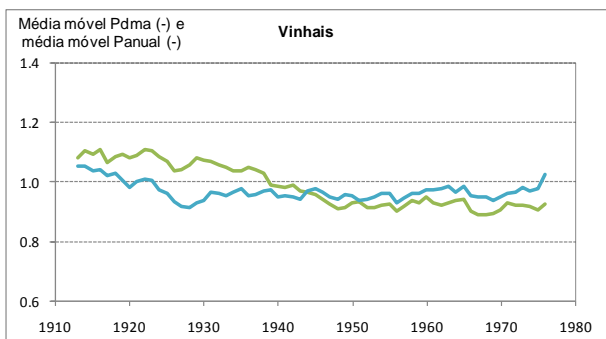
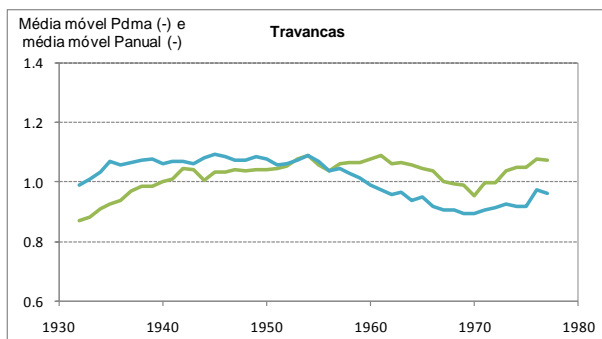
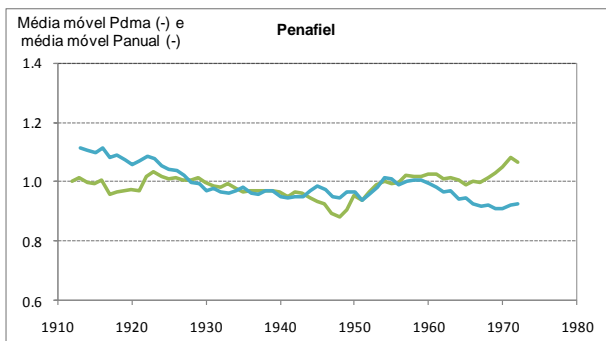
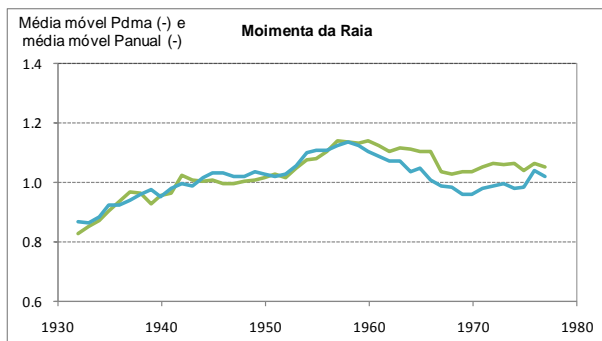
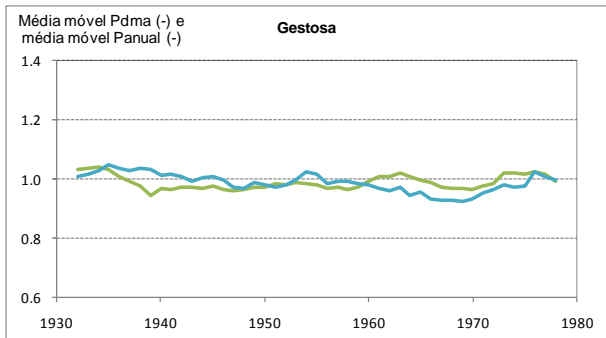
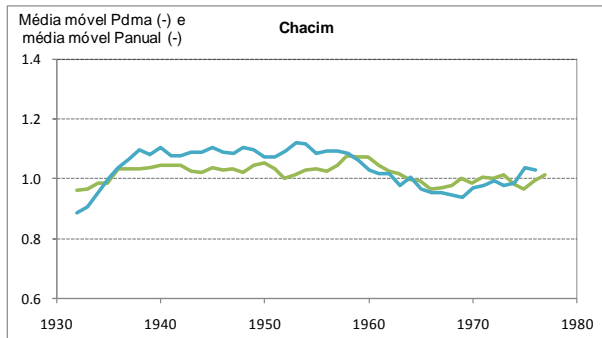
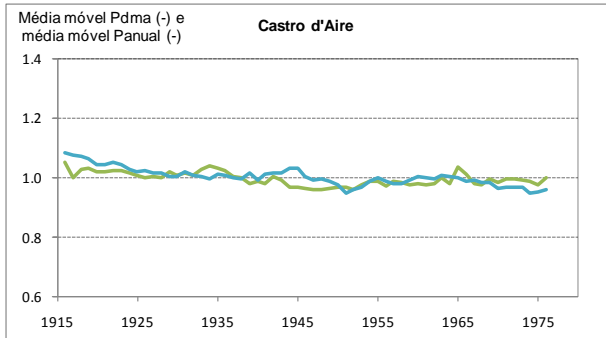
Como foi referido no início deste ponto, apresenta-se ainda a **Figura 4.6** com a representação das médias móveis adimensionalizadas, em grupos sucessivos de 25 anos, da Panual e da Pdma, para os mesmos 23 postos antes analisados, de modo a concluir se existe ou não uma relação entre o comportamento daquelas duas séries.

Cada gráfico identifica o posto a que respeita. Os postos são apresentados, da esquerda para a direita e de cima para baixo, em conformidade com a ordem do **Quadro 3.1**. A adimensionalização de cada série de 25 anos sucessivos foi efectuada por divisão pela média da série total de registos, para as precipitações, quer diárias máximas anuais, quer anuais. Os gráficos da **Figura 4.6** utilizaram os valores apresentados no **Anexo1**, com excepção do posto de Alfândega da Fé, cujas razões da exclusão já foram especificadas (ver ponto 4.2.1 deste texto). Em alguns postos, as curvas referentes às médias móveis adimensionalizadas da Panual e da Pdma não têm início no mesmo ano, visto existirem falhas nos períodos de registos de Panual que não se puderam completar, com conseqüente exclusão do cálculo dos anos que precederam essas falhas.

-Bacia do rio Ave.



-Bacia do rio Douro.

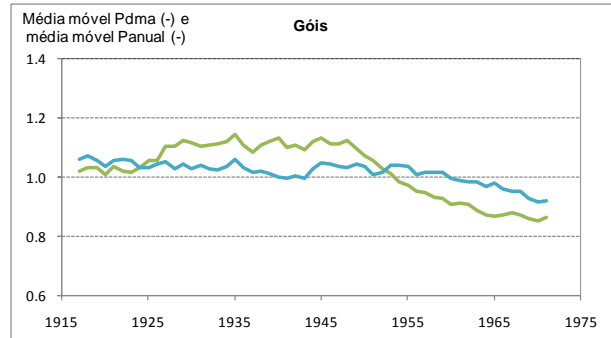
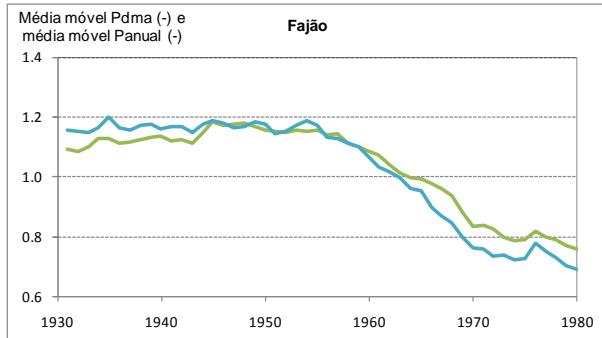


— média móvel Pdma

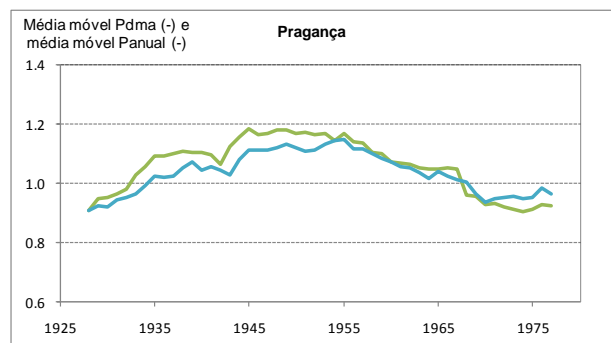
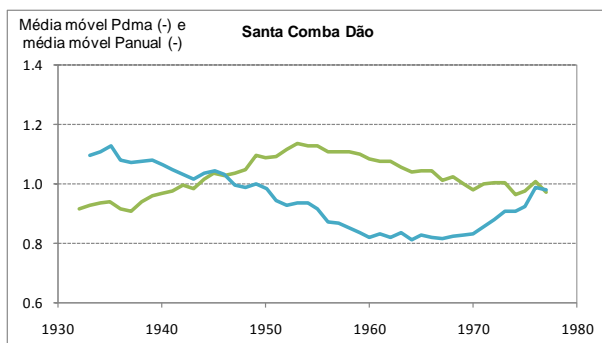
— média móvel Panual

Figura 4.6: Médias móveis adimensionais das precipitações diária máxima anual (Pdma) e anual (Panual).

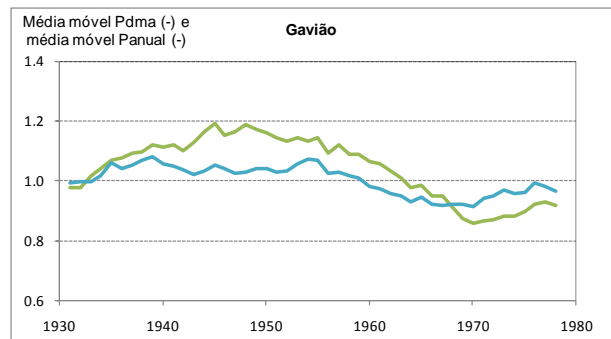
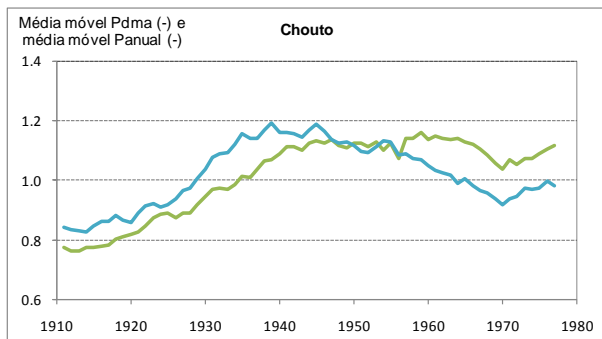
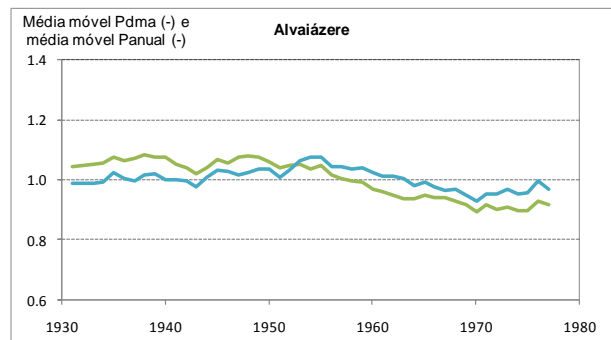
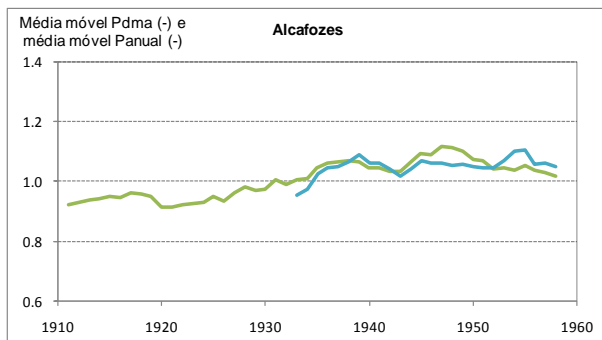
-Bacia do rio Mondego.



-Bacia Ribeiras do Oeste.



-Bacia do rio Tejo.



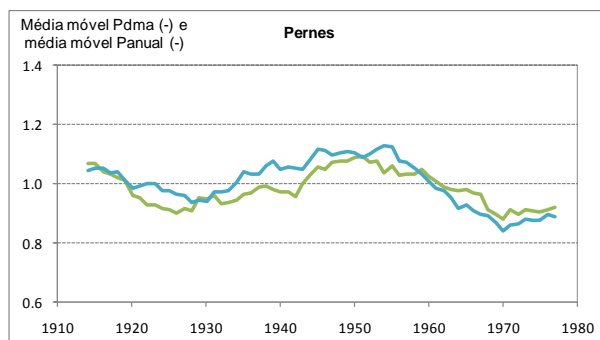
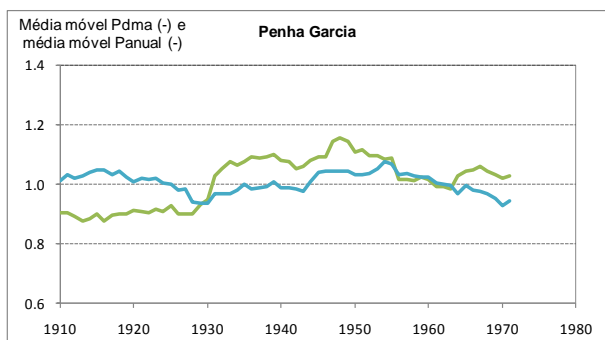
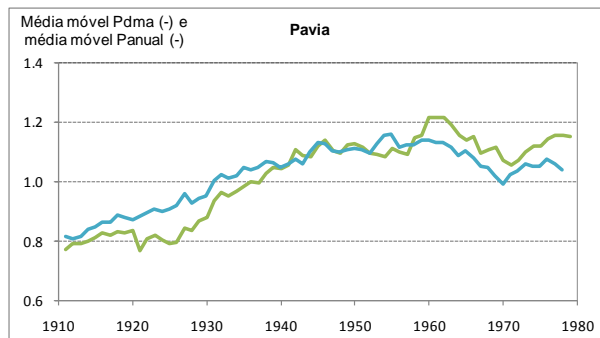
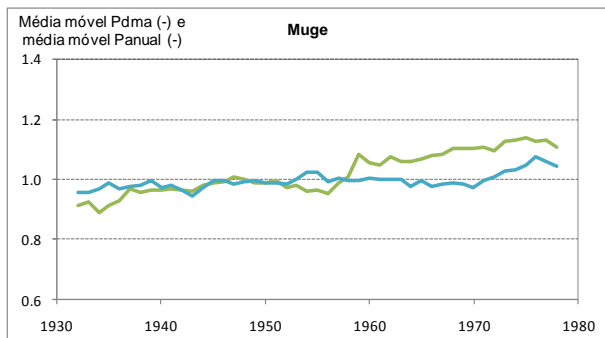
— média móvel Pdma

— média móvel Panual

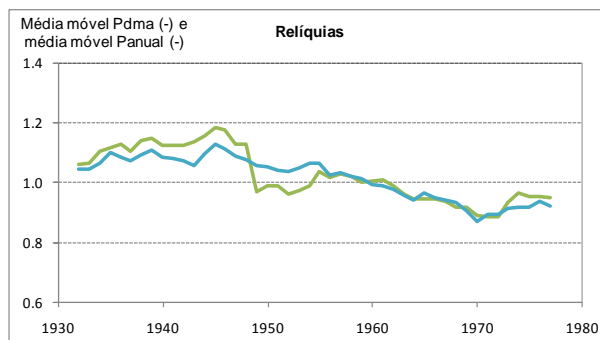
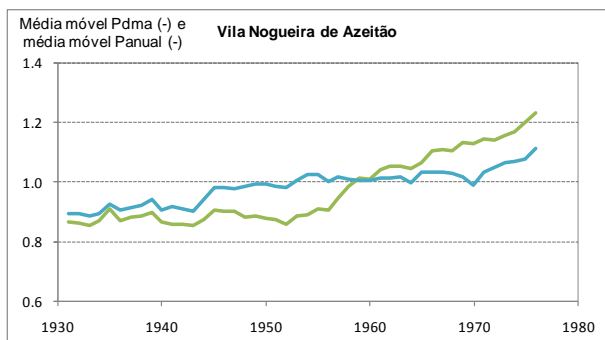
Figura 4.6 (continuação): Médias móveis adimensionais das precipitações diária máxima anual (Pdma) e anual (Panual).



-Bacia do rio Tejo (continuação).



-Bacia do rio Mira.



-Bacia do rio Guadiana.

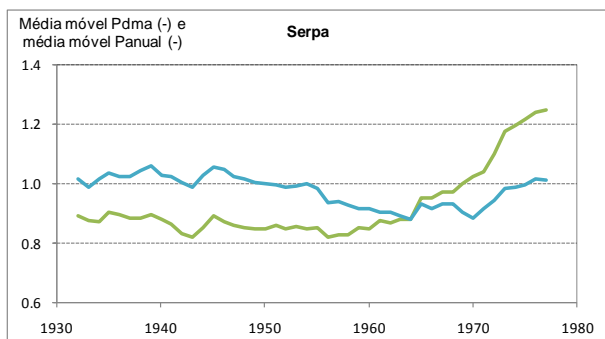


Figura 4.6 (continuação): Médias móveis adimensionais das precipitações diária máxima anual (Pdma) e anual (Panual).

— média móvel Pdma

— média móvel Panual

Em observação à **Figura 4.6**, verifica-se que, exceptuando os postos de Santa Comba São, Serpa e, de certa forma, Penha Garcia, a análise de médias móveis aplicadas às precipitações diárias máximas anuais (Pdma) ou às precipitações anuais (Panual) sugere o mesmo tipo de tendência. No caso de Penha Garcia a anterior situação também se verifica mas somente após, sensivelmente, a década de 1930. Assim, são reiteradas as conclusões sistematizadas a propósito da análise de médias móveis aplicadas às Pdma, sistematizadas no **Quadro 4.1**.

Nos postos de Santa Comba Dão e Serpa verifica-se, até perto da década de 1960, que as tendências das duas séries em comparação são, por assim dizer, contrárias, havendo uma tendência de aumento da Pdma e uma tendência de diminuição da Panual (embora muito menos nítida no posto de Serpa). Tal comportamento sugere que se podem esperar precipitações intensas mais elevadas em períodos progressivamente mais secos. Não obstante, é importante registar que o padrão referido, frequentemente indicado como sendo o expectável em cenários de alteração climática, não está patente nos demais postos analisados. Portanto, o cenário de alteração climática não é sustentado pela análise em causa. Acresce que a combinação de tendências acima referida para os postos de Santa Comba Dão e de Serpa (aumento de precipitação diária máxima anual e diminuição de precipitação anual) se inverte no posto de Santa Comba Dão posteriormente a meados da década de 1960, pelo que não é aí um fenómeno persistente.

Assim, como principal conclusão da análise à **Figura 4.6** subsiste apenas o facto de as séries de precipitações, tanto anuais, como diárias máximas anuais, indicarem, em geral, idênticas tendências.

Não foi possível detectar qualquer tendência global, através da análise de médias móveis aplicada às séries de precipitação, quer diária máxima anual, quer anual. Esta conclusão está, de certo modo, em conformidade com trabalhos anteriores, já que em [11] as representações cronológicas das médias móveis das precipitações anuais nos diferentes postos também não permitiram inferir sobre a existência de um comportamento comum. A inexistência de evidências da alteração climática a nível anual é também mencionada em [18] e [19].

Para completar as análises precedentes foram aplicados mais alguns procedimentos, desta feita apenas a seis postos, uma vez que tais procedimentos requereram a análise de séries diárias de precipitações envolvendo, portanto, uma quantidade apreciável de informação. Os referidos procedimentos, assim como os respectivos resultados, serão apresentados no capítulo seguinte.

## 5 Procedimentos de análise adicionais

### 5.1 Introdução

O presente capítulo contém a descrição e os resultados alcançados mediante a aplicação, às amostras em seis postos do **Quadro 1.1**, do que se designou por procedimentos adicionais de análise. Tais procedimentos destinaram-se a complementar a caracterização antes efectuada, designadamente no que respeita à distribuição ao longo dos sucessivos anos de precipitações diárias de algum modo consideradas excepcionais.

Os postos udométricos sobre os quais incidiram os procedimentos adicionais foram os de Travancas e Vinhais, na bacia hidrográfica do rio Douro, de Góis, na bacia hidrográfica do rio Mondego, de Pernes e Vila Nogueira de Azeitão, na bacia hidrográfica do rio Tejo e de Serpa, na bacia hidrográfica do rio Guadiana. Os postos referidos foram escolhidos por: (i) serem representativos dos diferentes comportamentos detectados através das análise objecto do capítulo anterior; (ii) por assegurarem uma razoável cobertura espacial do País, de Norte a Sul; e (iii) por pertencerem a quatro das principais bacias hidrográficas em Portugal.

Para tais postos e para além das amostras de precipitações diárias máximas anuais (Pd<sub>ma</sub>), houve que dispor de amostras de precipitações diárias, para o que também se recorreu à consulta do SNIRH. Para a utilização daquele primeiro tipo de amostras procedeu-se à obtenção das curvas das frequências empíricas das Pd<sub>ma</sub> que, seguidamente, foram utilizadas para identificar limiares de excepcionalidade das precipitações diárias.

### 5.2 Descrição dos procedimentos

#### 5.2.1 Frequências empíricas

Ao valor de ordem  $i$ ,  $x_i$ , de uma amostra de uma variável aleatória  $X$  é possível atribuir uma probabilidade empírica de não excedência,  $F(x_i)$ , que, de acordo com essa amostra, estima a probabilidade de ocorrerem valores iguais ou inferiores a  $x_i$ .

A probabilidade empírica de não excedência ou frequência empírica  $F(x_i)$  pode ser calculada pela seguinte equação (fórmula de Weibull):

$$F(x_i) = \frac{i}{N+1} \quad (5.1)$$

em que  $i$  é o número de ordem de  $x_i$  na amostra, supondo-a ordenada de modo crescente e  $N$ , o número de valores dessa amostra. Em relação à expressão clássica de cálculo da frequência teórica ( $1/n$ ), a equação (5.1) assegura que a probabilidade de não excedência,  $F(x_N)$ , correspondente ao valor mais elevado da amostra ordenada,  $x_N$ , é inferior à unidade, o que equivale a admitir que podem ocorrer

valores superior a  $x_N$ , [16], como se julga razoável, especialmente quando em presença de amostras de variáveis hidrológicas.

Para averiguar se o comportamento estatístico da Pdma ao longo do período de registos se manteve ou não inalterado, seleccionaram-se alguns dos postos do **Quadro 3.1**. Tendo por base a amostra daquela precipitação em cada um desses postos, obtiveram-se as curvas representativas das frequências empíricas para três períodos de registos diferentes, nomeadamente para o período total de registos e para os primeiros e os últimos 25 anos de registos.

Para tanto, os valores de cada uma das anteriores amostras foram ordenados crescentemente, com a atribuição, a cada valor, do número de ordem  $i$  representativo do número de valores dessa amostra iguais ou inferiores ao considerado, com conseqüente cálculo da correspondente frequência empírica, por aplicação da equação (5.1).

Os gráficos que contêm os resultados assim obtidos são objecto do ponto 5.3 deste texto, sendo exemplificados pela **Figura 5.1**, relativa ao posto udométrico de Góis. Cada gráfico permite averiguar se o andamento relativo das curvas representativas das probabilidades empíricas sugere alterações que confirmem as conseqüências atribuídas às alterações climáticas, por indicarem no presente um aumento da frequência da ocorrência de valores que, no passado e de algum modo, se revestiam de excepcionalidade. Menciona-se que os registos no posto udométrico de Góis revelam uma situação exactamente oposta: o último período de 25 anos sugere que precipitações diárias máximas anuais não invulgares no passado, como seja a precipitação de 80 mm, aparentam ser muito mais invulgares no presente, ou seja, tornaram-se mais excepcionais.

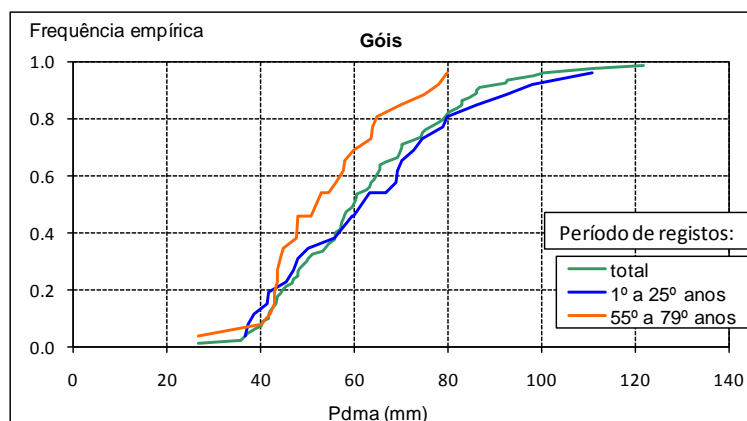


Figura 5.1: Frequências empíricas avaliadas com base no período total e no primeiro e último grupos de 25 anos sucessivos (cada grupo é identificado pelos números de ordem, na série total, do primeiro e do último anos). Exemplo para o posto udométrico de Góis.

Observa-se que, tanto na anterior figura, como nas demais figuras por ela exemplificada, o primeiro e último grupo de 25 anos foram identificados pelos números de ordem que, de acordo com a série total, correspondem aos primeiros e aos últimos anos daqueles grupos.

## 5.2.2 Caracterização adicional das precipitações diárias excepcionais

Nesta fase do estudo pretendeu-se conhecer a evolução dos acontecimentos de precipitações excepcionais do ponto de vista intranual, ou seja, da sua distribuição ao longo do ano. Para tal, foram utilizadas amostras de precipitações diárias nos mesmos postos subjacentes à obtenção das curvas representativas das frequências empíricas e definidos limiares a partir dos quais se considerou estar em presença de precipitações diárias com alguma excepcionalidade.

Para cada um dos postos analisados, consideraram-se como precipitações diárias excepcionais as que excederam as precipitações diárias máximas anuais a que, de acordo com as curvas representativas das frequências empíricas antes obtidas, corresponderam probabilidades empíricas de não excedência de 50 e 70%, avaliadas com base no período total de registos das precipitações diárias máximas anuais identificado no **Quadro 3.1**. As Pdma que concretizam os anteriores limiares foram designadas respectivamente por  $P_{50}$  e  $P_{70}$ .

Importa mencionar que  $P_{50}$  não corresponde à média da amostra de Pdma sendo antes a respectiva mediana, o que significa que metade dos valores daquela amostra é inferior ou igual a  $P_{50}$  e a outra metade, superior a  $P_{50}$ .

A análise referente às precipitações diárias excepcionais em cada posto processou-se de acordo com as seguintes duas etapas, que foram aplicadas de modo separado a cada um dos limiares antes definidos ( $P_{50}$  e  $P_{70}$ ) e que, obviamente, pressupuseram a obtenção prévia dos valores destes limiares a partir das curvas de frequências empíricas:

- 1) Para cada ano, constituição da amostra de precipitações diárias superiores ao limiar em causa e cálculo da correspondente média aritmética. Tal média foi designada por  $P^*_{50}$ , quando referente à probabilidade empírica de não excedência de 50%, e por  $P^*_{70}$ , no caso da probabilidade empírica de não excedência de 70%.
- 2) Também para cada ano e em simultâneo com a etapa anterior, constituição da amostra de precipitação referente aos dias com chuva nesse ano (dias com registos superiores a zero) e cálculo da correspondente média aritmética, designada por  $P_{média}$  (em cada ano, média da precipitação diária nos dias com chuva). Foi também retido o número de dias com chuva. Menciona-se que, não ocorrendo falhas diárias de registos, o produto deste número por  $P_{média}$  conduz à precipitação nesse ano – Panual.

Os valores decorrentes desta análise são apresentados no **Anexo 3**, enquanto a consequente representação gráfica é objecto do ponto 5.3 deste texto.

Certos postos apresentavam falhas nos registos de precipitação diária. Algumas dessas falhas verificaram-se em períodos com precipitação muito reduzida ou nula em que, a terem ocorrido precipitações, o seu valor seria negligenciável. Por tal motivo foram assimiladas a ausências de precipitação.

De modo a simplificar os procedimentos de cálculo e dado o reduzido número de dias com ausência de registos, considerou-se que as falhas em um ou quanto muito dois dias do semestre húmido, antecedidas e seguidas por períodos de fraca chuva (precipitações inferiores a  $P_{50}$ ) correspondiam também a precipitações nulas.

No caso do posto de Travancas, com falhas numa semana de Dezembro e em duas semanas de Janeiro do ano hidrológico de 1954/1955, o preenchimento foi efectuado do seguinte método:

- Para o período constituído pelos dias dos meses de Dezembro de 1954 e Janeiro de 1955 em que existem registos em Travancas – designadamente 1 a 6/12/1954, 12 a 28/12/1954, 30/12/1954 a 03/01/1955 e 12 a 31/01/1955 – avaliaram-se as precipitações, quer no posto de Travancas, quer em postos localizados tão próximos quanto possível de Travancas, para o que foram adoptados os postos de Chaves, Gestosa, Padrela, Soutelinho da Raia e Tinhela.

Designa-se por  $P_i^{(j)}$  a precipitação no período  $i$  em causa no posto ( $j$ ) e por  $P^{(Tr)}$  a mesma precipitação, mas relativa a Travancas. Em cada posto, a precipitação num dia correspondente a uma falha em Travancas foi expressa em fracção da precipitação no mencionado período. Se  $i$  representar o dia com falha em Travancas, o cálculo efectuado para o posto (1) foi o seguinte:

$$P_i^{(1)} / P^{(1)} \quad (5.2)$$

As fracções assim obtidas para o dia  $i$  com base nos postos de Chaves, Gestosa, Padrela, Soutelinho da Raia e Tinhela (respectivamente,  $j=1$  a 5) foram caracterizadas pela respectiva média, ou seja:

$$P_i = \frac{\sum_{j=1}^5 P_i^{(j)} / P^{(j)}}{5} \quad (5.3)$$

Por fim, a precipitação no dia  $i$  em Travancas foi calculada multiplicando a precipitação  $P^{(Tr)}$  antes obtida pela anterior fracção média.

Os seis postos udométricos objecto de análise exibiram falhas diárias cujo preenchimento não foi possível efectuar. Tais falhas respeitaram a anos sucessivos, no início ou no final dos períodos de registos, que foram excluídos.

Deste modo, embora o posto udométrico de Travancas tenha registos diários entre os anos hidrológicos de 1913/1914 a 2007/2008, só foram utilizados na análise os anos de 1932/1933 a 2001/2002 (70 anos); no posto de Vinhais foram analisados os anos de 1913/1914 a 2000/2001 (88 anos), apesar de existirem registos até 2006/2007; no posto de Góis, que, teoricamente, dispõe de registos de 1917/1918 a 2007/2008, só puderam ser utilizados os anos de 1924/1925 a 1995/1996 (72 anos); em Pernes, apesar de existirem registos entre 1914/1915 e 2006/2007, houve que excluir o ano de 2006/2007 (92 anos); no posto de Vila Nogueira de Azeitão foram excluídos o primeiro e o último anos de registos, tendo sido utilizado o período de 1932/1933 a 2006/2007 (75 anos); e, por fim, no

posto de Serpa foram excluídos os dois últimos anos, pelo que se considerou o período de 1931/1932 a 2005/2006 (75 anos). No total, foram utilizados registos correspondentes a 472 anos de precipitações diárias, o que implicou um considerável esforço na recolha de informação.

Menciona-se que o número total de falhas diárias objecto de preenchimento foi de 58 (média de 0.12 falhas em cada um daqueles 472 anos), o que evidencia a menor importância do procedimento adoptado nesse preenchimento.

No ponto seguinte apresentam-se os gráficos representativos das precipitações excepcionais, ou seja das precipitações cuja probabilidade empírica de não excedência supera 50% e 70%. Conforme se exemplifica na **Figura 5.2**, referente ao posto de Góis, as alturas das colunas (lidas em ordenadas) representadas em cada um desses gráficos indicam os sucessivos valores anuais de  $P^*_{50}$  ou de  $P^*_{70}$ , consoante o caso, identificado pela designação atribuída ao eixo vertical. Como antes especificado,  $P^*_{50}$  e  $P^*_{70}$  representam as médias das precipitações diárias nos dias com precipitação superior a  $P_{50}$  e a  $P_{70}$ , respectivamente. Por sua vez,  $P_{50}$  e  $P_{70}$ , são as precipitações diárias máximas anuais a que correspondem probabilidades empíricas de não excedência de 50% e 70%, respectivamente. Os valores de  $P_{50}$  e de  $P_{70}$  estão representados nos gráficos por intermédio de segmentos de recta horizontais.

Em cada gráfico, o espaçamento numérico da grelha vertical é fixo e igual a um ano. A distância adoptada para representar esse espaçamento varia de gráfico para gráfico, em conformidade com o número máximo de dias com precipitação superior a  $P_{50}$ , para o posto a que o gráfico se refere.

No caso da **Figura 5.2**, a distância para representar graficamente o espaçamento é de cinco unidades correspondentes a igual número máximo de dias com precipitações diárias superiores ou iguais a  $P_{50}$  (para esta frequência empírica, a situação que ocorre em Góis e Pernes é idêntica, enquanto que em Vinhais, Vila Nogueira de Azeitão e Serpa o espaçamento representa quatro unidades/dias).

Designa-se por  $l$  a distância adoptada para representar graficamente o ano com o número máximo de dias com precipitações diárias superiores ao limiar em causa que define o espaçamento da grelha vertical. Admite-se que aquele número máximo de dias foi de cinco. Como se esquematizou na **Figura 5.2**, num ano com  $k$  dias com precipitações diárias superiores ou iguais a  $P_{50}$ , sendo  $k$  inferior a cinco, as colunas representativas do valor de  $P^*_{50}$  nesse ano apenas ocupam a distância de  $k/5 \times l$ .

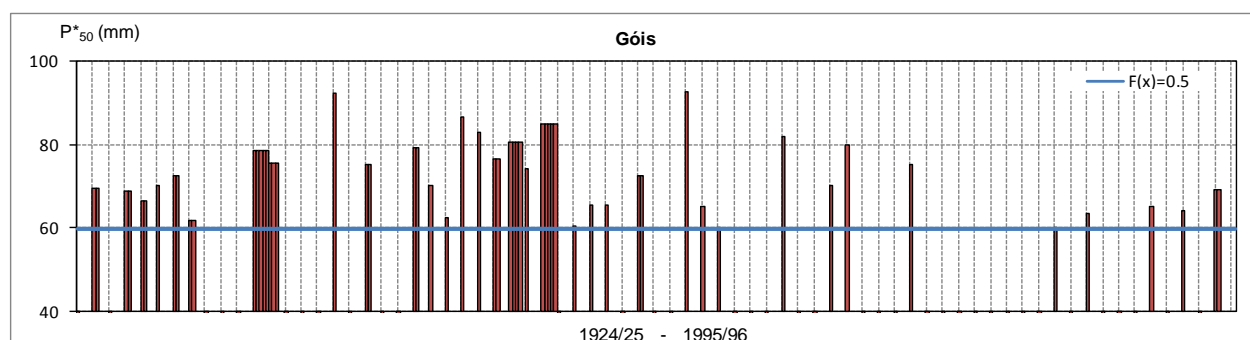


Figura 5.2: Média e duração das precipitações excepcionais. Para o posto udométrico de Góis: precipitações diárias com probabilidade de não excedência de 50%. O espaçamento da grelha vertical representa cinco dias.

Os gráficos anteriormente referidos são objecto da **Figura 5.5** do ponto 5.3 deste texto. Nessa figura, para cada posto, são apresentados dois gráficos: o superior, respeita às precipitações excepcionais que excedem  $P_{50}$  e o gráfico inferior, às precipitações excepcionais que excedem  $P_{70}$ .

Com base nos dados do **Anexo 3**, além dos gráficos da **Figura 5.5**, foram elaborados os gráficos da **Figura 5.6**, objecto do ponto 5.3 deste texto, em número de dois por posto. Um gráfico contém a representação das médias móveis do número de dias por ano com chuva - identificada por #dias com chuva no ano – e das médias móveis de  $P_{média}$ , ou seja, da média, em cada ano, da precipitação diária nos dias com chuva – simplificada por  $P_{média}$ . No outro gráfico estão representadas as médias móveis dos número de dias com precipitações excepcionais por ano – identificadas por #dias  $P^*_{50}$  e #dias  $P^*_{70}$  – e as médias móveis dos valores de  $P^*_{50}$  e  $P^*_{70}$ , neste caso, simplificada por estes dois últimos símbolos.

As médias móveis foram calculadas em conformidade com a equação (4.1) para grupos sucessivos de 25 anos hidrológicos. Estes gráficos foram incluídos no ponto 5.3 deste texto, sendo exemplificados na **Figura 5.3**, referente ao posto udométrico de Góis.

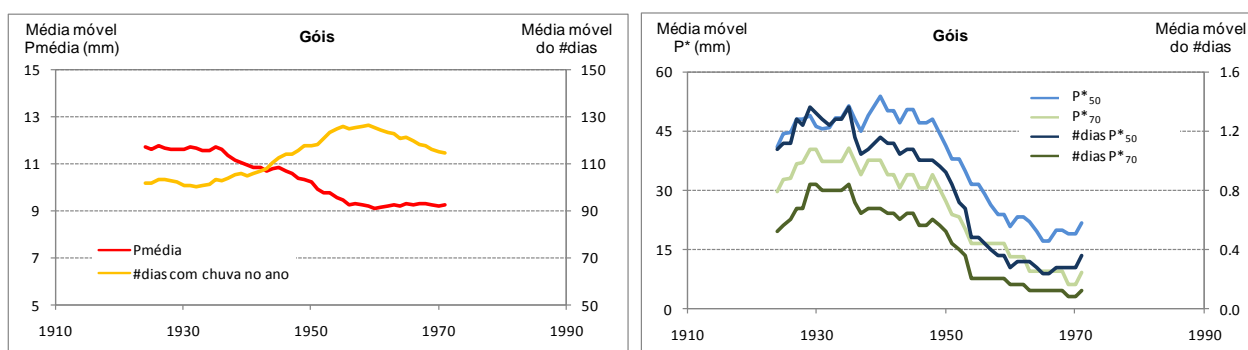


Figura 5.3: Para o posto udométrico de Góis, médias móveis: do lado esquerdo, do número de dias por ano com precipitação (#dias com chuva no ano) e da média anual da precipitação diária nesses dias ( $P_{média}$ ); do lado direito, do número de dias por ano com precipitações excepcionais (#dias  $P^*_{50}$  e #dias  $P^*_{70}$ ) e das médias anuais das precipitações diárias nesses dias ( $P^*_{50}$  e  $P^*_{70}$ ).

### 5.3 Postos de Travancas, Vinhais, Góis, Pernes, Vila Nogueira de Azeitão e Serpa. Resultados e conclusões

As **Figuras 5.4**, **5.5** e **5.6** incluídas nas páginas 5.8 a 5.13, inclusive, contêm os resultados dos procedimentos descritos no ponto 5.2 para os postos a que os mesmos foram aplicados: Travancas e Vinhais, na bacia hidrográfica do rio Douro, Góis, na bacia hidrográfica do rio Mondego, Pernes e Vila Nogueira de Azeitão, na bacia hidrográfica do rio Tejo e Serpa, na bacia hidrográfica do rio Guadiana.

Na **Figura 5.4** apresentam-se os gráficos decorrentes do cálculo das frequências empíricas, para três períodos de registos diferentes, nomeadamente, para o período total de registos e para os primeiros e



os últimos 25 anos de registos. As ordenadas representam as frequências empíricas, e as abcissas, as correspondentes Pdma, em conformidade com a simbologia antes adoptada na **Figura 5.1**.

A **Figura 5.5** tem, para cada posto identificado, dois gráficos respeitantes às precipitações diárias com probabilidades empíricas de não excedência de 50% (gráfico superior) e de 70% (gráfico inferior). Como antes descrito, nestes gráficos, as alturas das colunas (lidas em ordenadas) indicam os sucessivos valores anuais de  $P^*_{50}$  ou de  $P^*_{70}$ , consoante o caso. Em cada gráfico, o espaçamento numérico da grelha vertical é fixo e igual a um ano. A distância que representa esse espaçamento varia de gráfico para gráfico em conformidade com o número máximo de dias com precipitação superior a  $P_{50}$ , para o posto a que o gráfico se refere. A distância ocupada pelas colunas, em cada espaçamento representativo de um ano, sugere o número de dias em que, nesse ano, a precipitação diária excede  $P_{50}$  ou  $P_{70}$ .

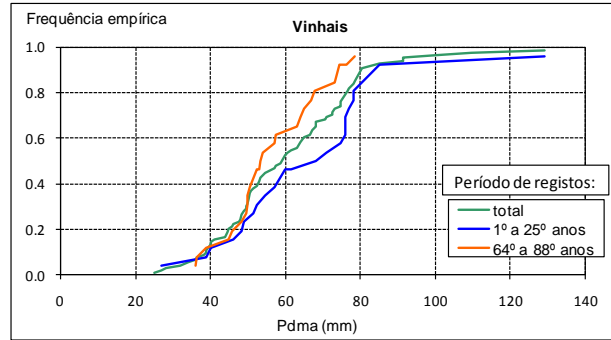
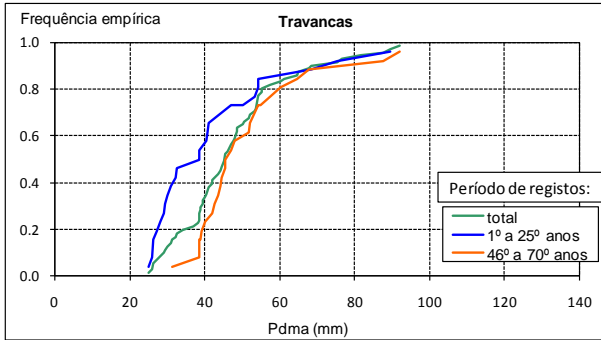
Estes gráficos permitem inferir sobre a intensidade das precipitações excepcionais através da altura das colunas, e sobre a frequência dessas precipitações, por intermédio do número de colunas conjuntamente com a largura que tais colunas ocupam na grelha vertical.

A última das três figuras contendo resultados, **Figura 5.6**, apresenta, para cada posto, dois gráficos. No primeiro gráfico representam-se as médias móveis do número de dias por ano com chuva - #dias com chuva no ano – e das médias móveis de  $P_{média}$ , ou seja, da média, em cada ano, da precipitação diária nos dias com chuva –  $P_{média}$ . O outro gráfico contém as curvas das médias móveis dos número de dias com precipitações excepcionais por ano – #dias  $P^*_{50}$  e #dias  $P^*_{70}$  – e das médias móveis dos valores de  $P^*_{50}$  e  $P^*_{70}$  - identificadas por estes dois últimos símbolos.

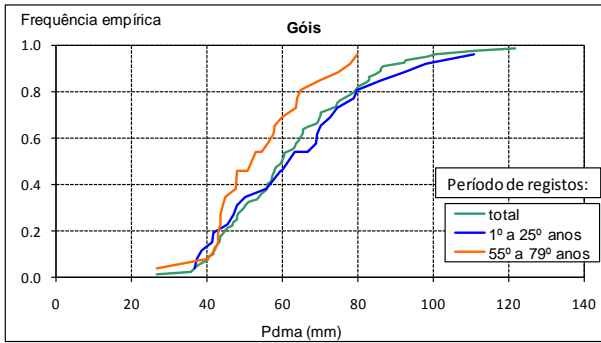
Os gráficos que constituem cada uma das anteriores figuras são apresentados como habitualmente, ou seja, em conformidade com a ordem dos postos udométricos definida no **Quadro 3.1**.

À semelhança do procedimento adoptado no ponto 4, as análises de resultados são efectuadas, primeiramente, posto a posto e, posteriormente, de uma forma mais global. A finalizar, é apresentado um quadro resumo das tendências sugeridas pela observação dos gráficos da **Figura 5.5**.

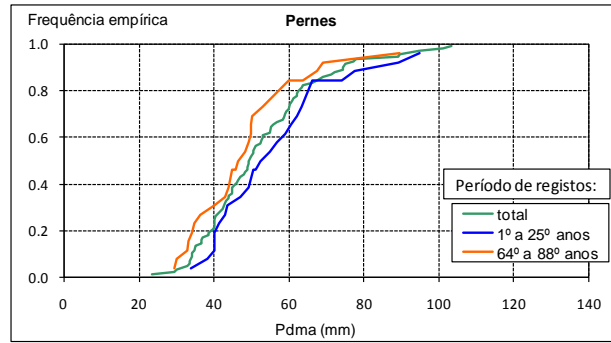
-Bacia do rio Douro.



-Bacia do rio Mondego.



-Bacia do rio Tejo.



-Bacia do rio Guadiana.

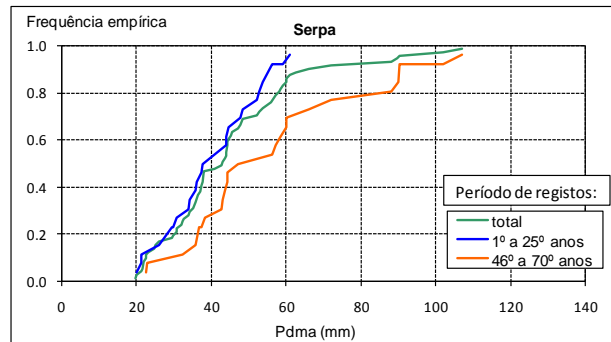
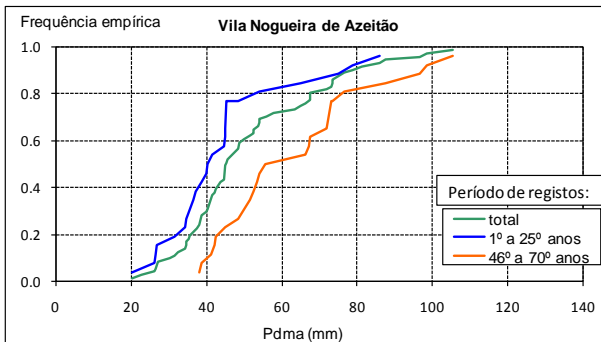


Figura 5.4: Frequências empíricas avaliadas com base no período total e no primeiro e último grupos de 25 anos sucessivos (cada grupo é identificado pelos números de ordem, na série total, do primeiro e do último anos).

-Bacia do rio Douro.

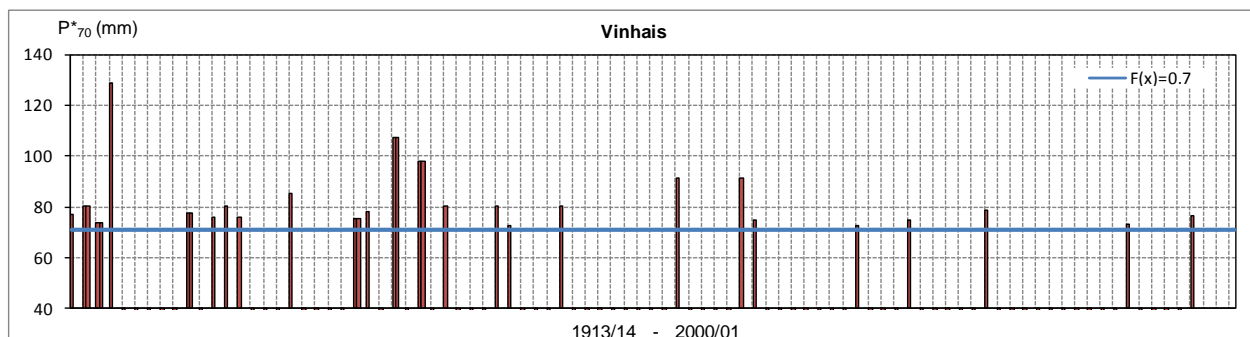
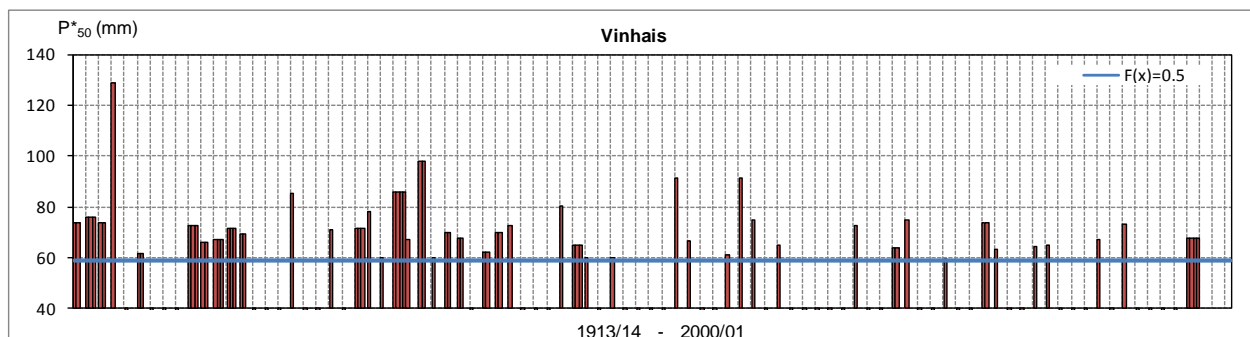
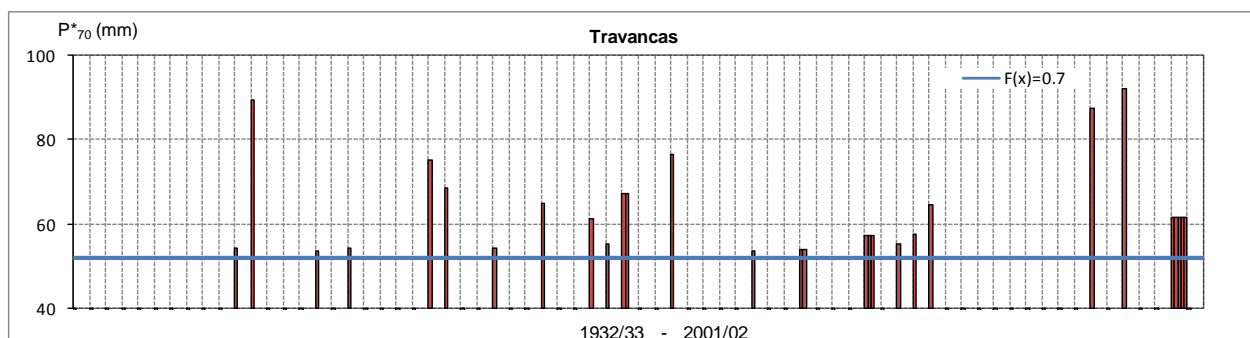
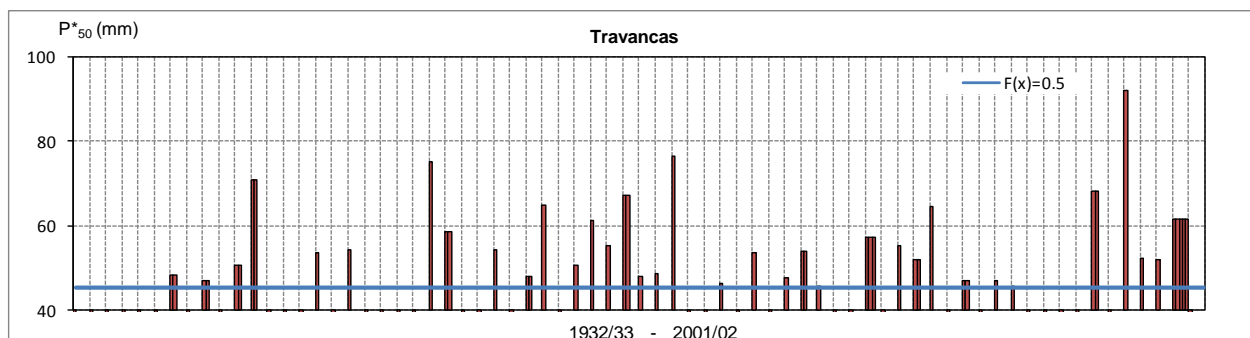
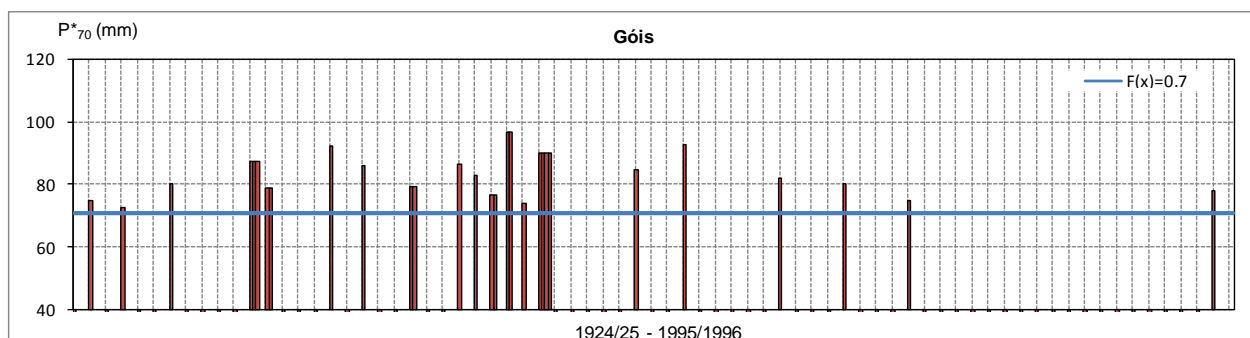
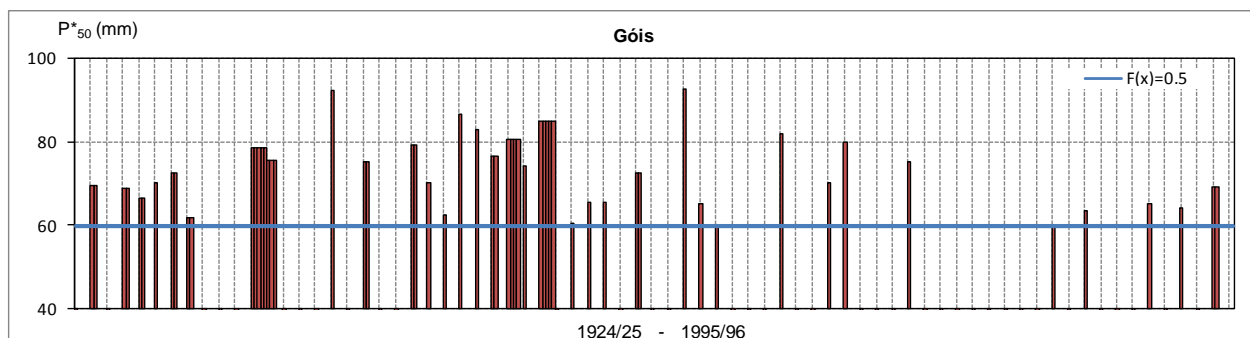


Figura 5.5: Média e duração das precipitações excepcionais. Para cada posto udométrico: precipitações diárias com probabilidade de não excedência de 50% (gráfico superior) e de 70% (gráfico inferior). Em Travancas, Góis e Pernes, o espaçamento da grelha vertical representa cinco dias e em Vinhais, Vila Nogueira de Azeitão e Serpa, quatro dias.

-Bacia do rio Mondego.



-Bacia do rio Tejo.

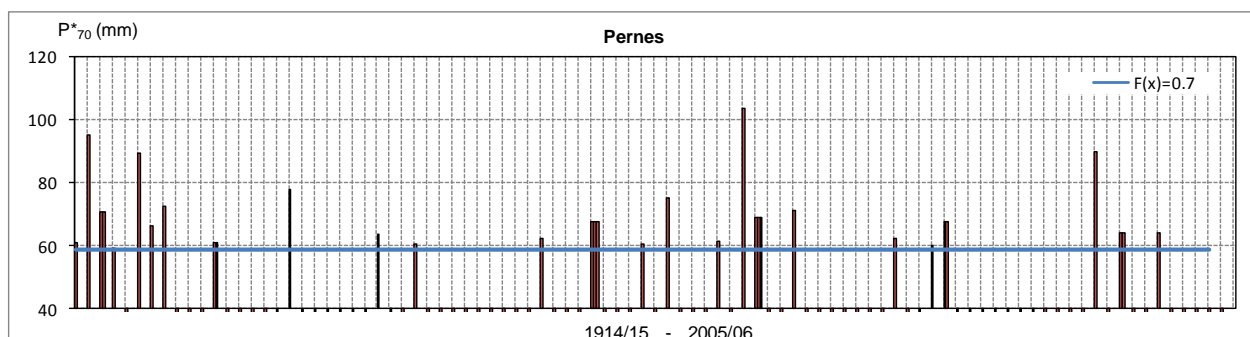
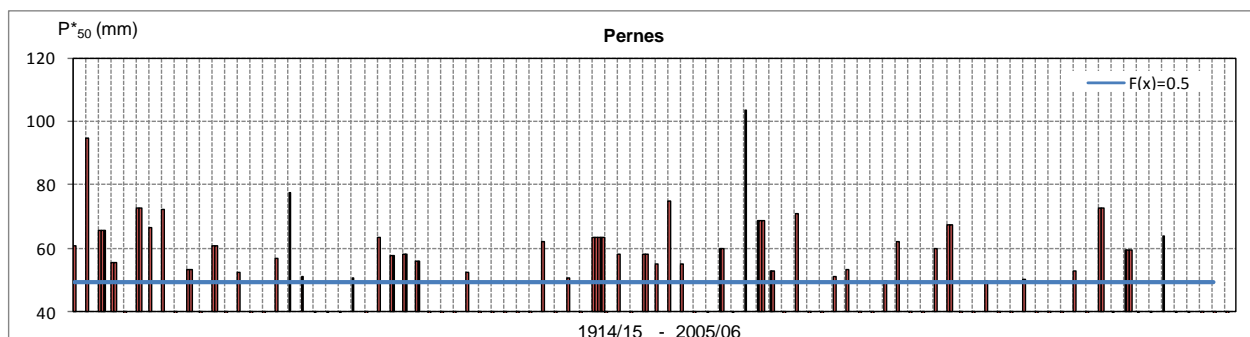
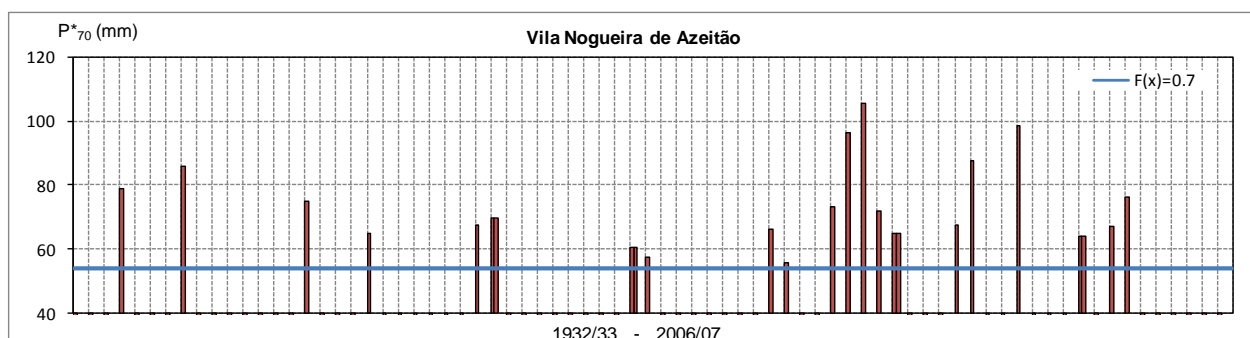
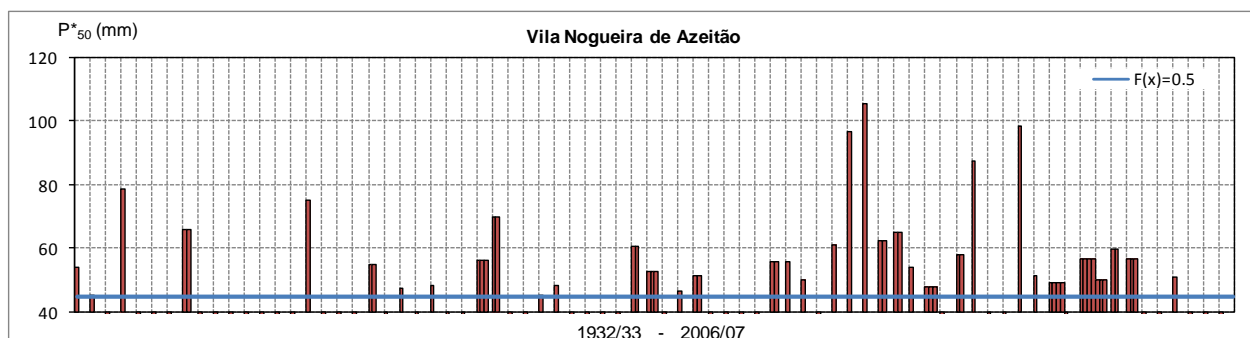


Figura 5.5 (continuação): Média e duração das precipitações excepcionais. Para cada posto udométrico: precipitações diárias com probabilidade de não excedência de 50% (gráfico superior) e de 70% (gráfico inferior). Em Travancas, Góis e Pernes, o espaçamento da grelha vertical representa cinco dias e em Vinhais, Vila Nogueira de Azeitão e Serpa, quatro dias.

-Bacia do rio Tejo (continuação).



-Bacia do rio Guadiana.

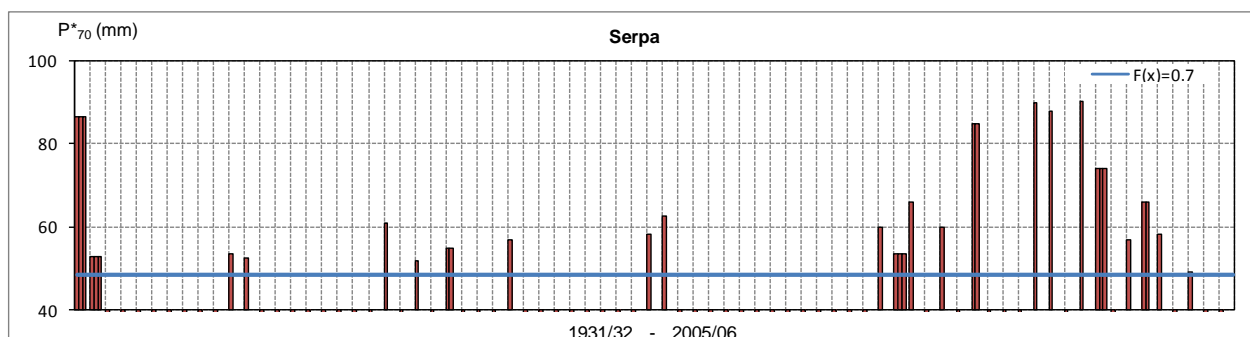
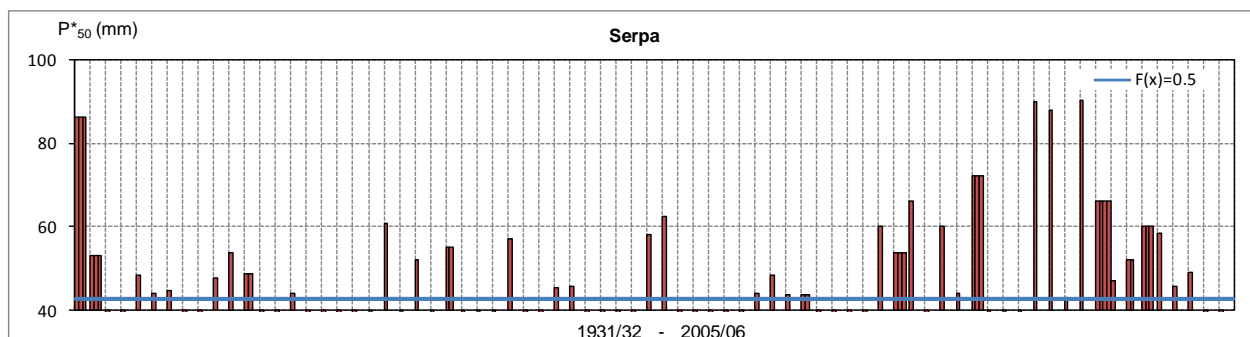
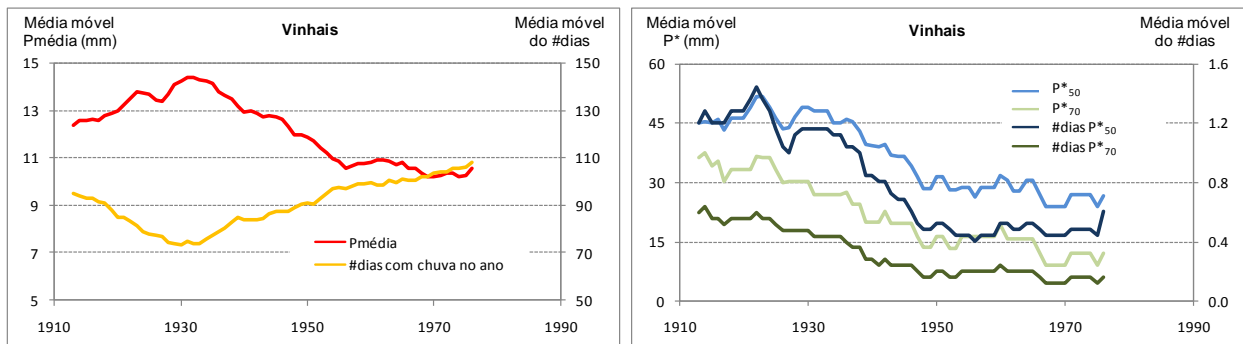
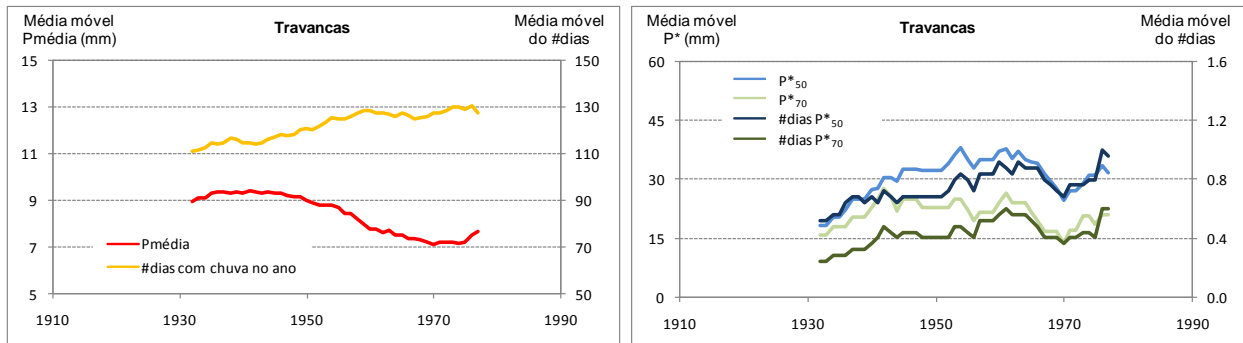


Figura 5.5 (continuação): Média e duração das precipitações excepcionais. Para cada posto udométrico: precipitações diárias com probabilidade de não excedência de 50% (gráfico superior) e de 70% (gráfico inferior). Em Travancas, Góis e Pernes, o espaçamento da grelha vertical representa cinco dias e em Vinhais, Vila Nogueira de Azeitão e Serpa, quatro dias.

-Bacia do rio Douro.



-Bacia do rio Mondego.

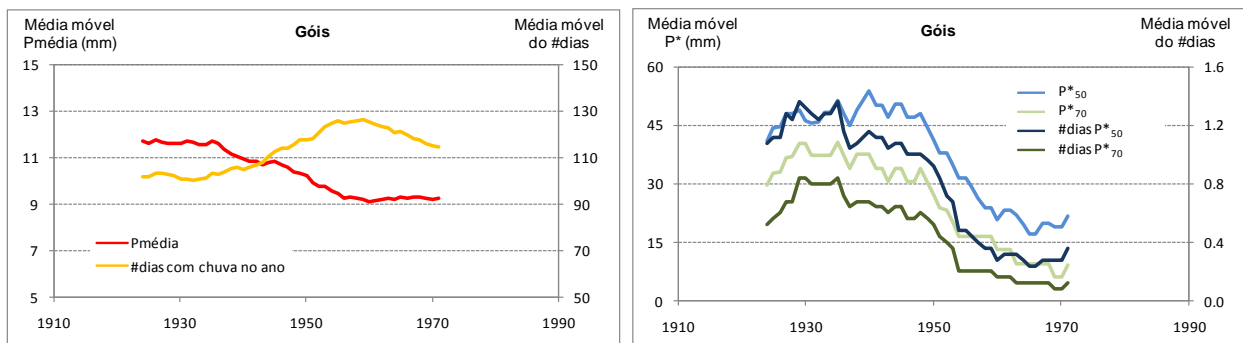
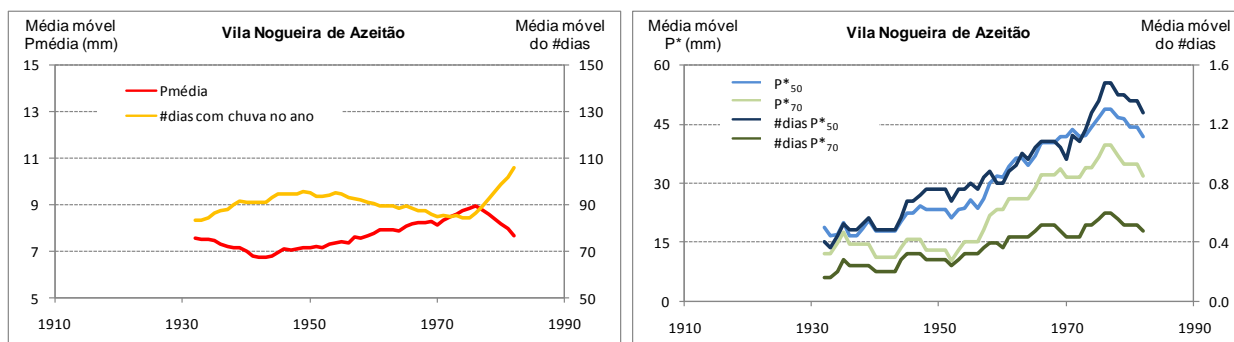
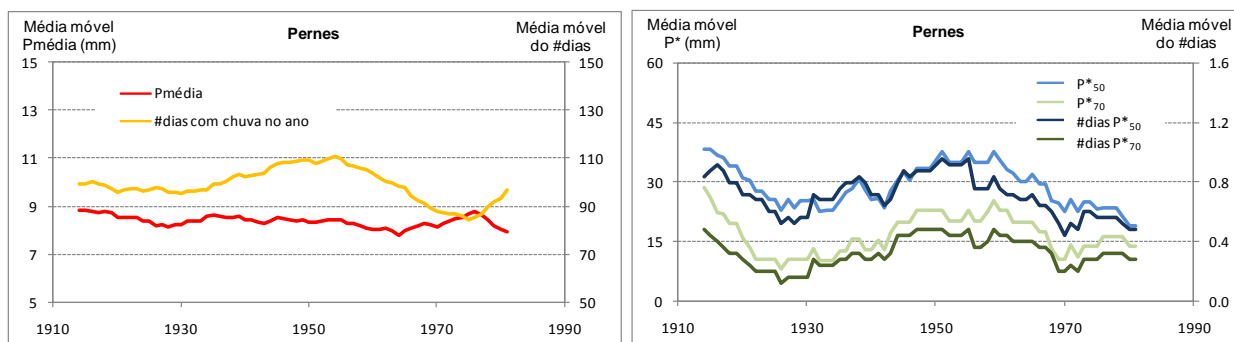


Figura 5.6: Para cada posto udométrico, médias móveis: do lado esquerdo, do número de dias por ano com precipitação (#dias com chuva no ano) e da média anual da precipitação diária nesses dias (Pmédia); do lado direito, do número de dias por ano com precipitações excepcionais (#dias P\*50 e #dias P\*70) e das médias anuais das precipitações diárias nesses dias (P\*50 e P\*70).

-Bacia do rio Tejo.



-Bacia do rio Guadiana.

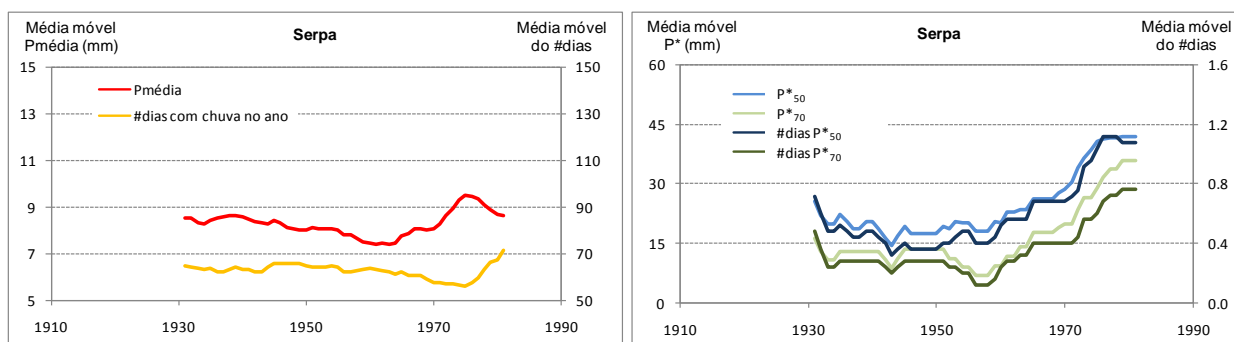


Figura 5.6 (continuação): Para cada posto udométrico, médias móveis: do lado esquerdo, do número de dias por ano com precipitação (#dias com chuva no ano) e da média anual da precipitação diária nesses dias (Pmédia); do lado direito, do número de dias por ano com precipitações excepcionais (#dias P\*<sub>50</sub> e #dias P\*<sub>70</sub>) e das médias anuais das precipitações diárias nesses dias (P\*<sub>50</sub> e P\*<sub>70</sub>).

Segue-se a análise posto a posto. Menciona-se que, na interpretação dos resultados, se atendeu também às médias móveis da precipitação anual relativas aos períodos em que existem registos diários. Para tanto, bastou restringir os resultados apresentados na **Figura 4.6** às médias móveis das precipitações anuais nos postos e períodos agora considerados.

#### **-Bacia Douro**

- Travancas

As frequências empíricas calculadas para este posto demonstram que as precipitações diárias máximas anuais a que correspondem probabilidades empíricas de não excedência superiores a 50% e 70% são mais elevadas, quando avaliadas partir dos últimos 25 anos de registos ( $P_{50}=45.5$  mm e  $P_{70}=52.1$  mm baseadas nesses registos e  $P_{50}=38.4$  mm e  $P_{70}=41.0$  mm com a utilização dos primeiros 25 registos).

As médias móveis da precipitação anual revelam um decréscimo desde 1956, até finais da década de 1960 (ver **Figura 4.6**), e, como as médias móveis dos números de dias com chuva por ano têm tendência crescente, implica que as médias móveis da média da precipitação diária nesses dias também diminuem. Focalizando apenas os últimos grupos de 25 anos com início na década de 1970, observa-se uma manutenção do número de dias por anos com chuva e um aumento das médias móveis das precipitações excepcionais, e, conseqüentemente, da média da precipitação diária nos dias com chuva e da precipitação anual, para os grupos de anos mencionados.

- Vinhais

Os primeiros 25 registos da precipitação diária máxima anual conduzem a maiores valores daquelas precipitações excedidas em 50% e 30% das ocasiões comparativamente à utilização dos últimos 25 registos ( $P_{50}=68.0$  mm e  $P_{70}=76.0$  mm, para os primeiros, e  $P_{50}=53.3$  mm e  $P_{70}=64.0$  mm, para os últimos).

Como se pode perceber pelo andamento descendente das curvas representativas das médias móveis dos números de dias por ano com precipitações excepcionais e das médias das precipitações diárias nesses dias, o número de acontecimentos excepcionais e a sua intensidade é menor nos períodos mais recentes.

As médias móveis da precipitação anual não exibem tendência ao longo dos anos (ver **Figura 4.6**). No entanto, há uma tendência crescente no número de dias com chuva por ano, o que, dado que não existe nenhuma variação na precipitação anual, conduz a um decréscimo das médias móveis da precipitação média nesses dias.

#### **-Bacia Mondego**

- Góis

As análises a este posto revelam uma forte diminuição dos acontecimentos extremos.

A mesma frequência empírica, quando apoiada em registos mais recentes, conduz a um valor menor de precipitação diária máxima anual, do que quando avaliada a partir de outros períodos de registos. De facto, o período de registos correspondente ao último grupo de 25 anos apresenta valores de  $P_{50}$  e



$P_{70}$  de 50.8 mm e 60.0 mm, respectivamente, enquanto os primeiros 25 registos apresentam, para os mesmos parâmetros, os valores 59.8 mm e 72.6 mm, respectivamente.

Os acontecimentos de precipitações excepcionais apresentam uma tendência fortemente decrescente, como se observa pelo comportamento das médias móveis de dias por ano com precipitações excepcionais e das médias das precipitações diárias nesses dias.

As médias móveis da precipitação anual (ver **Figura 4.6**), apesar de um ligeiro decréscimo desde meados do século XX, apresentam, de certo modo, uma manutenção dos valores. A curva representativa das médias móveis do número de dias com chuva denota um aumento, até à década de 1960, pelo que a média das precipitações diárias nesses dias, dada à relativa ausência de tendência da precipitação anual, apresenta uma diminuição. No entanto, após a referida década, existe uma diminuição do número de dias com chuva e uma manutenção da precipitação média nesses dias.

### **-Bacia Tejo**

- Pernes

As frequências empíricas quando avaliadas a partir dos 25 registos mais recentes são menores do que quando apoiadas nos primeiros grupos de 25 anos. Assim, a precipitação diária máxima anual a que correspondem as probabilidades empíricas de não excedência de 50% e 70% são, para os últimos 25 registos,  $P_{50}=46.4$  mm e  $P_{70}=50.4$  mm, e para os primeiros,  $P_{50}=52.6$  mm e  $P_{70}=62.4$  mm.

As médias móveis da precipitação anual, em grupos consecutivos de 25 anos, não revelam tendências notórias, apesar de se registar uma diminuição desde meados do século XX, provavelmente justificada pela variabilidade natural da precipitação anual (ver **Figura 4.6**).

Além das médias móveis da precipitação anual, também as médias móveis dos dias com chuva por ano, assim como as dos dias com precipitações excepcionais, não denotam nenhuma tendência. Não obstante a não existência de tendência, quando se observam apenas os últimos anos, observa-se um aumento do número de dias com chuva, que, devido à manutenção das médias móveis da precipitação anual, conduz a um decréscimo da precipitação média nos dias com precipitação. Atente-se que este comportamento não tem nenhuma evidência de ser tendencial, sendo apenas o que se observa para os últimos anos.

Assim, para o posto de Pernes não se pode inferir sobre um comportamento tendencial. Esta indefinição sugere uma manutenção das características neste posto.

- Vila Nogueira de Azeitão

As precipitações diárias máximas anuais a que correspondem as probabilidades empíricas de não excedência de 50% e 70% aumentam com a utilização dos registos mais recentes ( $P_{50}=55.7$  mm e  $P_{70}=72.0$  mm) face aos mais antigos ( $P_{50}=40.2$  mm e  $P_{70}=45.0$  mm).

As médias móveis das precipitações diárias excepcionais revelam um forte aumento, até aos últimos cinco grupos de 25 anos, da frequência e da intensidade. A par destas precipitações, também as médias móveis da precipitação anual revelam uma tendência de aumento (ver **Figura 4.6**), o que conduz a um acréscimo das médias móveis da média anual da precipitação diária nos dias com chuva.

As médias móveis dos dias por ano com precipitação revelam uma certa manutenção. Porém, olhando apenas para os últimos grupos de 25 anos observa-se um forte aumento dos dias com chuva, pelo que a média da precipitação diária nesses dias reduz-se.

Apesar do ligeiro decréscimo verificado naqueles grupos de 25 anos, a tendência que este posto revela é a de aumento dos valores dos registos de precipitação excepcional.

#### **-Bacia Guadiana**

- Serpa

Para a mesma frequência empírica, os registos mais recentes conduzem a valores maiores de  $P_{50}$  e  $P_{70}$  comparativamente à utilização dos primeiros registos. Assim, as referidas precipitações são, para os primeiros 25 anos, de 37.6 mm e 47.6 mm, enquanto que para os últimos 25 registos são de 47.0 mm e 60.0 mm, respectivamente.

Os acontecimentos de precipitações excepcionais parecem estar mais frequentes e intensos nos tempos mais recentes. A observação das médias móveis do número de dias com precipitações excepcionais e das médias das precipitações diárias naqueles dias sugere o aumento das mesmas, ou seja, há a sugestão do aumento da variabilidade intra anual.

De modo a sintetizar as tendências sugeridas pelos gráficos da **Figura 5.5**, apresenta-se o **Quadro 5.1**, que permite uma melhor percepção sobre a evolução das precipitações excepcionais no decorrer do período de registos.

Quadro 5.1: Síntese da **Figura 5.5**. Evolução das precipitações excepcionais ao longo dos períodos de registos.

Bacia	Posto	Frequência	Intensidade
Douro	Travancas	=	=
	Vinhais	-	-
Mondego	Góis	-	-
Tejo	Pernes	=	=
	Vila Nogueira de Azeitão	+	+
Guadiana	Serpa	+	+

**Legenda:** = sem tendência de variação    + tendência para aumento    - tendência para diminuição

Efectuada a análise posto a posto, segue-se a análise dos resultados obtidos, desta feita, de um ponto de vista mais global.

A análise das frequências empíricas é coerente com os resultados obtidos no ponto 4, principalmente com as tendências sugeridas pela análise de médias móveis das séries de Pdma, sintetizadas no **Quadro 4.1**. Nos postos onde se verifica uma tendência para aumento das médias móveis daquelas precipitações observa-se também o aumento das precipitações diárias com probabilidade empírica de não excedência de 50 e 70%; e contrariamente para os postos com tendência de decréscimo das médias móveis. Apenas o posto de Pernes difere neste aspecto, já que, apesar de não ter sido

observada nenhuma tendência na análise das médias móveis, verifica-se um aumento das frequências empíricas apoiadas nos registos mais recentes.

O **Quadro 5.1** que sintetiza a **Figura 5.5** evidencia que, em cada posto, a frequência e a intensidade das precipitações excepcionais seguem sempre o mesmo tipo de evolução. Ou seja, os aumentos na frequência de acontecimentos de precipitações excepcionais são acompanhados por aumentos da intensidade dessas precipitações, e vice-versa. Não se detectou um tipo de padrão ou tendência generalizada, já que se verificaram evoluções com tendências para aumento em dois postos (Vila Nogueira de Azeitão e Serpa), evoluções com tendência para decréscimo também em dois postos (Vinhais e Góis) e nenhum indício de evolução nos restantes dois postos (Travancas e Pernes)

Assim, a análise a precipitações excepcionais não permitiu corroborar as tendências expectáveis perante um cenário de alteração climática: aumento da frequência e de intensidade das precipitações excepcionais, em períodos progressivamente mais secos.

## 6 Conclusões gerais e recomendações

Em resultado do estudo efectuado, julga-se ser válido concluir que, no conjunto das amostras analisadas de precipitações diárias máximas anuais e de precipitações excepcionais, não foi possível identificar inequivocamente tendências ou padrões globais de variação daquelas precipitações que indicassem ou que contradissem os efeitos atribuídos à alteração climática no âmbito em estudo. 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.

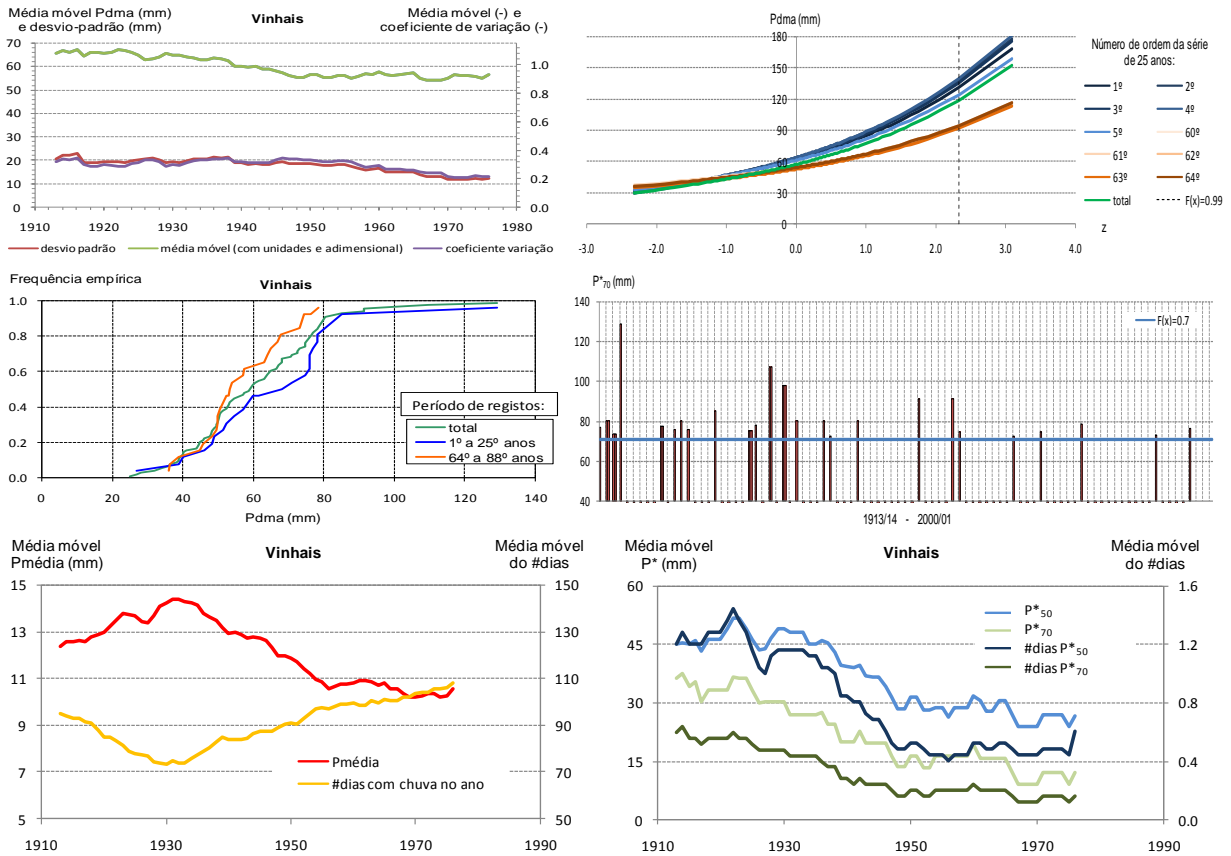
A **Figura 6.1**, inserida na página seguinte, que, a título de exemplo, destaca os resultados obtidos em dois dos postos analisados, elucida a anterior circunstância, evidenciando a disparidade entre comportamentos das séries de precipitações intensas e excepcionais. Com efeito, os resultados referentes ao posto udométrico de Vinhais em nada indiciam os efeitos da alteração climática, enquanto que os relativos ao posto de Serpa estão em tudo conformes com os frequentemente imputados com aqueles efeitos.

Em termos abreviados, verifica-se que, em Vinhais, a análise de médias móveis sugere uma ligeira diminuição da precipitação diária máxima anual e da respectiva variabilidade temporal de que resultam estimativas daquela precipitação progressivamente menores conforme utilizam informação mais recente. Aparentemente, os acontecimentos excepcionais tornaram-se menos frequentes, havendo indícios de diminuição das precipitações excepcionais e do número de dias em que tais precipitações ocorrem.

Em Serpa, a situação é oposta. As precipitações diárias máximas anuais e a correspondente variabilidade temporal têm vindo a aumentar, pelo que a utilização dos registos mais recentes conduz a estimativas mais elevadas daquelas precipitações. Verifica-se ainda um aumento da frequência das precipitações excepcionais, cujos valor médio e número de dias com ocorrência também aumentam.

Apesar de não se terem identificado tendências, foram observados alguns comportamentos semelhantes em zonas geograficamente afins. Estão nestas circunstâncias: (i) o decréscimo das médias móveis da precipitação diária máxima anual a partir de meados do século XX em três postos da bacia de Mondego; (ii) a maior incidência no Centro/Sul do País de postos udométricos em que são os últimos anos de registos que conduzem às mais elevadas estimativas da precipitação diária máxima anual, pelo menos para os períodos de retorno mais elevados; e (iii) ainda o facto de no Norte do País tais estimativas serem mais frequentemente alcançadas mediante a consideração do período total.

-Posto udométrico de Vinhais (bacia hidrográfica do rio Douro).



-Posto udométrico de Serpa (bacia hidrográfica do rio Guadiana).

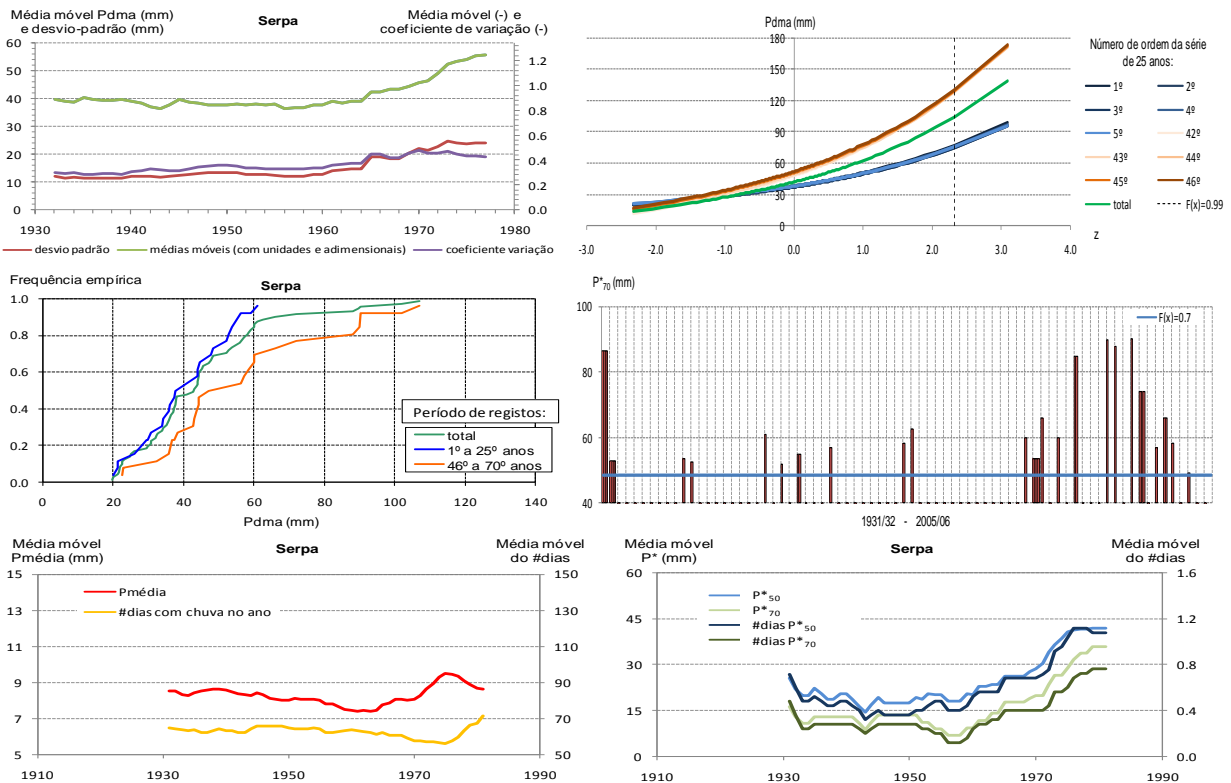


Figura 6.1: Resultados em dois postos udométricos infirmando – caso do posto de Vinhais – e confirmando – caso do posto de Serpa – as tendências frequentemente atribuídas às alterações climáticas.

Julga-se, contudo, que a investigação efectuada tornou clara a necessidade de adoptar critérios de dimensionamento adicionais, tal como sugerido em [8], designadamente, quando estão em causa valores de projecto obtidos por análise estatística de precipitações intensas. Com efeito, deixa de ser válido sustentar aquela análise unicamente nas amostras referentes aos períodos totais de registo pois, como ficou demonstrado, muitos são os postos em que, para elevados períodos de retorno, a análise estatística aplicada aos registos mais recentes conduz a estimativas mais elevadas e, como tal, mais condicionantes.

Importa, todavia, anotar que, em termos de técnicas de detecção de tendências em séries temporais de variáveis hidrológicas, apenas se recorreu à análise de médias móveis. Deste modo, admite-se que o tema possa ser retomado, sem dúvida mediante a consideração de amostras longas num maior número de postos, mas, fundamentalmente, com aplicação de outras técnicas de detecção de tendências aliadas ou não a procedimentos de análise estatística que tornassem mais objectiva aquela detecção, aliás como levado a cabo em [15].

Seria também interessante ampliar o domínio dos fenómenos extremos mediante a análise de secas, tanto mais que também é atribuída à alteração climática a intensificação daquele fenómeno. Assim, haveria que fazer incidir o estudo também sobre os períodos com ausência de precipitação, a par com a caracterização das precipitações excepcionalmente baixas.

Por fim, menciona-se que a própria hipótese de a análise das amostras disponíveis, quer de precipitações diárias máximas anuais, quer de outras variáveis hidrológicas permitir aceder aos efeitos da alteração climática carece de confirmação. Neste domínio, poderia ser relevante confrontar para o presente os resultados daquela análise com os fornecidos por modelos de circulação global aplicados, não como habitualmente a cenários, mas às condições que efectivamente têm sido registadas em termos de variáveis explicativas do clima, como sejam as concentrações dos gases com efeito de estufa ou a capacidade de retenção de vapor de água na atmosfera.

## 7 Bibliografia

- [1] Alcamo, J.M., 2008, "Climate Change and the Transformation of Global Water Resources" in *Tribuna del Agua (Water Tribune)*. *Semana temática: Cambio Climático y Fenómenos Extremos (Climate Change and Water Extremes)*, Saragoça.
- [2] Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S.Wu and J.P. Palutikof, Eds., 2008: *Climate Change and Water*. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp, pp 3, 4, 15-26, 93.
- [3] Correia, M.G.P., 2008, *Análise da precipitação máxima com média duração em Portugal Continental*. Dissertação de Mestrado em Hidráulica e Recursos Hídricos. IST, Lisboa.
- [4] Costa, R.A., 1983, *Um primeiro contacto com a distribuição de Gumbel (Tipo I – Máximos)*. Mestrado de Investigação Operacional e Engenharia de Sistemas. Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- [5] Cubash, U., 2008, "Future Rainfall Projections" in *Tribuna del Agua (Water Tribune)*. *Semana temática: Cambio Climático y Fenómenos Extremos (Climate Change and Water Extremes)*, Saragoça.
- [6] DGA, 1999, "2.1 – As alterações climáticas" in *Relatório do Estado do Ambiente, REA 1999*, Direcção-geral do Ambiente, Lisboa, ISBN: 972-8419-49-X.  
(Online: <http://www.iambiente.pt/rea99/docs/21altclim.pdf>)
- [7] Escária, V., 1995, "A utilização do método XII-ARIMA na dessazonalização de séries de conjuntura", *Prospectiva e Planeamento*, nº1, Lisboa.  
(Online: <http://www.dpp.pt/pages/files/ARIMA.pdf>)
- [8] Kundzewic, Z.W., 2008, "Heavy precipitation and floods" in *Tribuna del Agua (Water Tribune)*. *Semana temática: Cambio Climático y Fenómenos Extremos (Climate Change and Water Extremes)*, Saragoça.
- [9] Mata, L.J., 2008, "Implication of Climate Change on Droughts and Water Scarcity" in *Tribuna del Agua (Water Tribune)*. *Semana temática: Cambio Climático y Fenómenos Extremos (Climate Change and Water Extremes)*, Saragoça.
- [10] Mello, F.M., 1982, "Noções de Estatística Aplicada à Hidrologia", *I Curso de Hidrologia Operativa*, Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, Lisboa.

- [11] Miranda, P.M.A., 2005, “A mudança climática em Portugal. Tendências e Cenários.” (apresentação), *10º Aniversário do Centro de Ecologia Aplicada Prof. Baeta das Neves*, Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa, Instituto D. Luís – Laboratório Associado, Lisboa.  
(Online: [http://www.igidl.ul.pt/pmiranda/P\\_Miranda\\_Clima\\_ISA\\_2005\\_Novembro.pdf](http://www.igidl.ul.pt/pmiranda/P_Miranda_Clima_ISA_2005_Novembro.pdf))
- [12] Papoulis, A., 1985, *Probability, random variables and stochastic processes*, McGraw-Hill, International Student Edition, Singapore.
- [13]<sup>2</sup> Pereira, C.B., 1995, *Análise de precipitações intensas*. Dissertação para a obtenção do grau de mestre em Hidráulica e Recursos Hídricos. Universidade Técnica de Lisboa. IST, Lisboa.
- [14] Portela, M.M., 2005, *Modelação Hidrológica*. Folhas de apoio à disciplina de Modelação Hidrológica. Associação de Estudantes do Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- [15] Portela, M.M., Quintela, A.C., 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.
- [16] Quintela, A.C., 1996, *Hidrologia e Recursos Hídricos*. Folhas de apoio à disciplina de Hidráulica e Recursos Hídricos. Associação de Estudantes do Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- [17] Santos, F.D., Miranda, P., Eds, 2006, *Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de adaptação – Projecto SIAM II*, Gradiva – Publicações, L.<sup>da</sup>, Lisboa, pp 21, 22, 31, 47-51, 109, 117, 127, 164.
- [18] Santos, J.F., Portela, M.M., 2007, “Tendências em series de precipitação mensal em Portugal Continental. Aplicação do teste de Mann-Kendall”. *8º Simpósio: de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa (8º SILUSBA)*, S. Paulo, Brasil.
- [19] Santos, J.F., 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, Lisboa, Portugal.
- [www.snirh.pt](http://www.snirh.pt)

---

<sup>2</sup> Referência não consultada directamente.

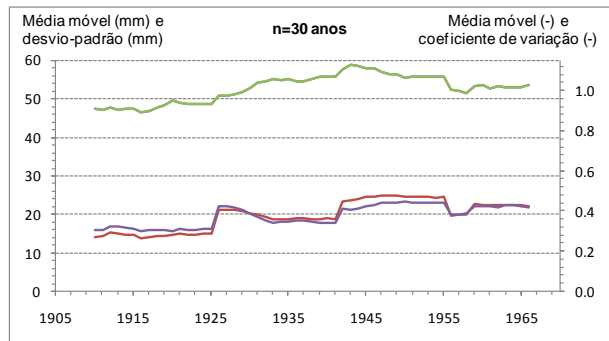
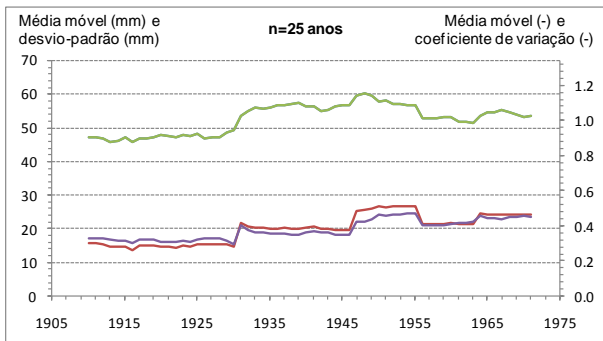
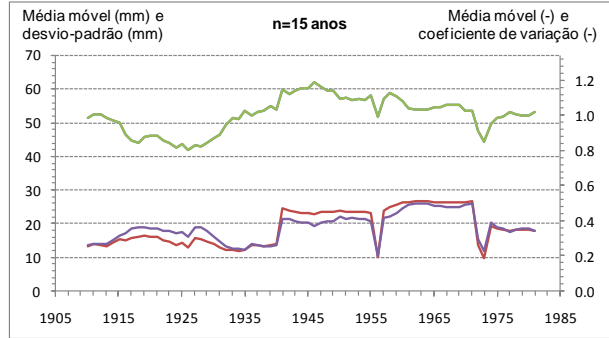
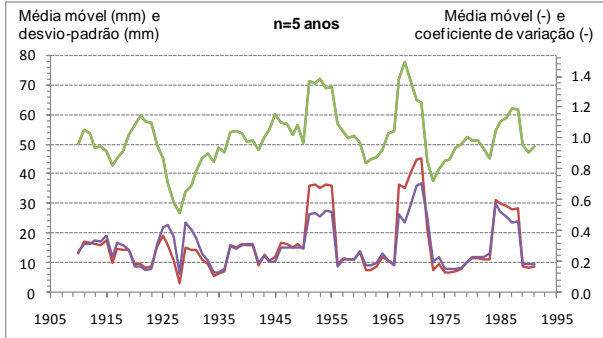


## **Anexos**

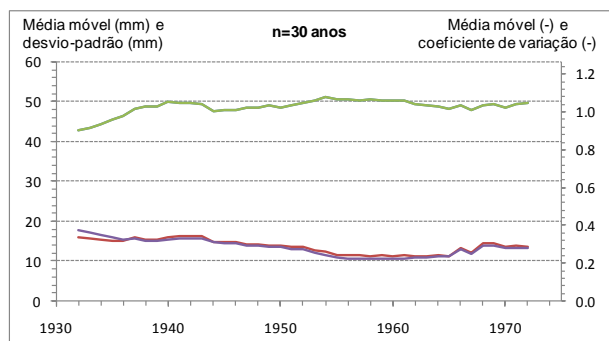
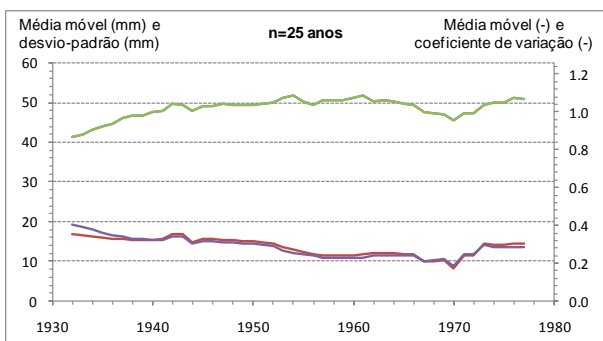
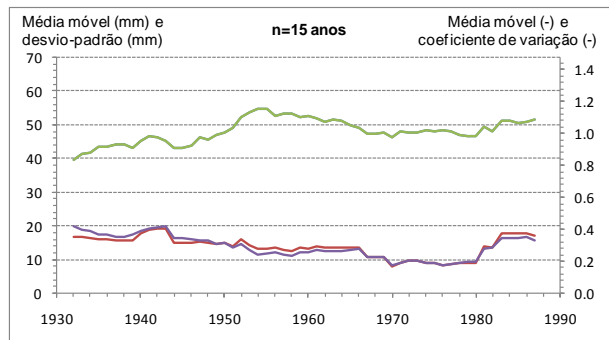
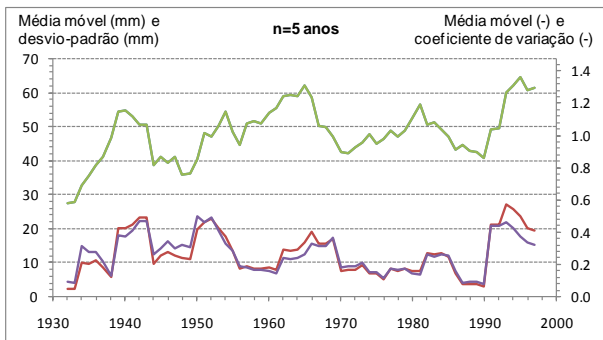


**Anexo 2** - Efeito do período de n anos – “janela temporal” – nas médias móveis das precipitações diárias máximas anuais.

-Posto udométrico de Penha Garcia.



-Posto udométrico de Travancas.



— desvio-padrão — média móvel (com unidades e adimensional) — coeficiente variação

**Anexo 3 – Número de dias por ano com precipitação (#dias com chuva), média da precipitação diária nesses dias (Pmédia), número de dias com precipitações excepcionais (#dias) e média das precipitações diárias nesses dias (P\*)**

Bacia hidrográfica do rio Douro													Bacia hidrográfica do rio Mondego							Bacia hidrográfica do rio Tejo										Bacia hidrográfica do rio Guadiana					
Travancas							Vinhais						Góis							Pernes					Vila Nogueira de Azeitão					Serpa					
no ano		F(x)=50%		F(x)=70%			no ano		F(x)=50%		F(x)=70%				no ano		F(x)=50%			F(x)=70%				no ano		F(x)=50%		F(x)=70%							
Ano	#dias com chuva	Pmédia (mm)	#dias	P* <sub>50</sub> (mm)	#dias	P* <sub>70</sub> (mm)	Ano	#dias com chuva	Pmédia (mm)	#dias	P* <sub>50</sub> (mm)	#dias	P* <sub>70</sub> (mm)	Ano	#dias com chuva	Pmédia (mm)	#dias	P* <sub>50</sub> (mm)	#dias	P* <sub>70</sub> (mm)	Ano	#dias com chuva	Pmédia (mm)	#dias	P* <sub>50</sub> (mm)	#dias	P* <sub>70</sub> (mm)	Ano	#dias com chuva	Pmédia (mm)	#dias	P* <sub>50</sub> (mm)	#dias	P* <sub>70</sub> (mm)	
1932	99	9.67	0	0.00	0	0.00	1913	86	14.33	2	73.45	1	76.90	1914	99	10.97	1	60.80	1	60.80	1932	64	10.34	1	54.10	0	0.00	1931	66	13.28	3	86.37	3	86.37	
1933	97	6.75	0	0.00	0	0.00	1914	120	14.50	3	75.60	2	80.50	1915	119	9.25	1	95.00	1	95.00	1933	59	11.52	1	45.20	0	0.00	1932	61	12.47	3	52.90	3	52.90	
1934	85	7.51	0	0.00	0	0.00	1915	128	12.51	2	73.40	2	73.40	1916	106	10.43	3	65.87	2	70.70	1934	49	8.74	0	0.00	0	0.00	1933	67	5.62	0	0.00	0	0.00	
1935	160	9.94	0	0.00	0	0.00	1916	114	14.32	1	129.00	1	129.00	1917	95	7.77	2	55.60	1	59.20	1935	83	11.18	1	78.80	1	78.80	1934	58	5.65	0	0.00	0	0.00	
1936	102	8.91	0	0.00	0	0.00	1917	81	9.82	0	0.00	0	0.00	1918	93	10.12	2	66.50	0	0.00	1936	63	8.68	0	0.00	0	0.00	1935	99	7.21	1	48.40	0	0.00	
1937	83	9.68	0	0.00	0	0.00	1918	116	11.95	2	61.50	0	0.00	1919	90	9.79	1	70.20	0	0.00	1937	72	9.94	0	0.00	0	0.00	1936	70	7.73	1	44.00	0	0.00	
1938	121	9.61	2	48.10	0	0.00	1919	122	8.45	0	0.00	0	0.00	1920	90	8.24	1	66.40	1	66.40	1938	64	10.23	0	0.00	0	0.00	1937	64	7.76	1	44.80	0	0.00	
1939	134	8.38	0	0.00	0	0.00	1920	102	8.81	0	0.00	0	0.00	1921	100	10.63	2	61.90	0	0.00	1939	80	13.14	2	66.10	1	86.00	1938	54	8.76	0	0.00	0	0.00	
1940	143	9.79	2	46.90	0	0.00	1921	118	9.50	0	0.00	0	0.00	1922	87	9.09	0	0.00	0	0.00	1940	125	5.79	0	0.00	0	0.00	1939	76	10.22	0	0.00	0	0.00	
1941	119	7.36	0	0.00	0	0.00	1922	111	11.79	3	72.73	2	77.40	1923	109	9.52	2	53.50	0	0.00	1941	94	6.17	0	0.00	0	0.00	1940	91	7.31	1	47.60	0	0.00	
1942	112	9.73	2	50.50	1	54.20	1923	122	13.36	2	65.60	0	0.00	1924	92	8.40	0	0.00	0	0.00	1942	96	7.99	0	0.00	0	0.00	1941	57	8.60	1	53.60	1	53.60	
1943	97	9.56	2	70.70	1	89.40	1924	103	12.38	3	66.80	1	76.00	1925	101	11.16	2	60.80	2	69.80	1943	77	4.26	0	0.00	0	0.00	1942	63	10.65	2	48.70	1	52.60	
1944	79	6.67	0	0.00	0	0.00	1925	91	18.86	3	71.13	1	80.20	1926	107	7.64	0	0.00	0	0.00	1944	60	7.24	0	0.00	0	0.00	1943	41	7.24	0	0.00	0	0.00	
1945	122	9.62	0	0.00	0	0.00	1926	92	16.50	2	69.20	1	76.00	1927	118	9.04	1	52.60	0	0.00	1945	108	5.90	0	0.00	0	0.00	1944	28	6.99	0	0.00	0	0.00	
1946	136	8.43	0	0.00	0	0.00	1927	116	10.78	0	0.00	0	0.00	1928	85	6.69	0	0.00	0	0.00	1946	104	6.14	0	0.00	0	0.00	1945	70	10.61	1	43.80	0	0.00	
1947	109	8.63	1	53.40	1	53.40	1928	67	8.93	0	0.00	0	0.00	1929	115	7.98	0	0.00	0	0.00	1947	83	6.95	1	75.00	1	75.00	1946	69	9.27	0	0.00	0	0.00	
1948	75	8.41	0	0.00	0	0.00	1929	96	8.89	0	0.00	0	0.00	1930	90	7.16	1	56.80	0	0.00	1948	82	5.10	0	0.00	0	0.00	1947	64	7.59	0	0.00	0	0.00	
1949	106	9.61	1	54.20	1	54.20	1930	60	13.51	1	85.00	1	85.00	1931	94	7.56	1	77.80	1	77.80	1949	96	5.79	0	0.00	0	0.00	1948	54	8.03	0	0.00	0	0.00	
1950	126	9.22	0	0.00	0	0.00	1931	88	8.38	0	0.00	0	0.00	1932	92	8.38	1	51.20	0	0.00	1950	110	5.22	0	0.00	0	0.00	1949	66	7.60	0	0.00	0	0.00	
1951	117	9.01	0	0.00	0	0.00	1932	83	11.66	0	0.00	0	0.00	1933	110	6.07	0	0.00	0	0.00	1951	98	7.84	2	55.15	1	65.00	1950	72	6.38	0	0.00	0	0.00	
1952	107	8.54	0	0.00	0	0.00	1933	68	11.37	1	71.00	0	0.00	1934	76	8.34	0	0.00	0	0.00	1952	70	6.23	0	0.00	0	0.00	1951	76	8.65	1	60.80	1	60.80	
1953	101	8.43	0	0.00	0	0.00	1934	74	12.88	0	0.00	0	0.00	1935	131	10.38	0	0.00	0	0.00	1953	83	7.38	1	47.50	0	0.00	1952	54	8.65	0	0.00	0	0.00	
1954	120	11.78	1	75.20	1	75.20	1935	102	18.52	3	71.33	2	75.00	1936	86	10.30	1	50.60	0	0.00	1954	91	6.18	0	0.00	0	0.00	1953	60	9.12	1	52.90	1	52.90	
1955	128	11.87	2	58.40	1	68.40	1936	69	14.01	1	78.00	1	78.00	1937	86	9.10	0	0.00	0	0.00	1955	102	8.66	1	48.40	0	0.00	1954	68	8.46	0	0.00	0	0.00	
1956	96	6.82	0	0.00	0	0.00	1937	52	13.63	1	60.00	0	0.00	1938	87	10.52	1	63.60	1	63.60	1956	70	5.70	0	0.00	0	0.00	1955	79	10.81	2	55.00	2	55.00	
1957	113	12.08	0	0.00	0	0.00	1938	67	18.60	4	85.68	2	107.20	1939	106	9.97	1	82.80	1	82.80	1957	68	7.44	0	0.00	0	0.00	1956	48	8.63	0	0.00	0	0.00	
1958	124	10.52	1	54.20	1	54.20	1939	89	14.81	1	67.20	0	0.00	1940	137	8.14	2	58.40	2	76.40	1958	86	9.89	3	56.43	1	67.50	1957	43	8.48	0	0.00	0	0.00	
1959	135	11.66	0	0.00	0	0.00	1940	125	13.78	2	97.70	2	97.70	1941	86	8.69	2	56.00	1	69.40	1959	99	9.48	2	69.80	2	69.80	1958	64	11.42	0	0.00	0	0.00	
1960	145	9.01	2	47.80	0	0.00	1941	82	12.88	1	60.00	0	0.00	1942	70	9.91	1	74.00	1	74.00	1960	100	5.98	0	0.00	0	0.00	1959	70	8.97	1	57.00	1	57.00	
1961	115	9.38	1	64.80	1	64.80	1942	63	15.80	2	70.00	1	80.00	1943	87	16.14	5	85.00	4	90.20	1961	64	7.82	0	0.00	0	0.00	1960	64	8.72	0	0.00	0	0.00	
1962	139	7.15	0	0.00	0	0.00	1943	50	14.14	2	67.50	0	0.00	1944	101	10.19	0	0.00	0	0.00	1962	120	7.28	1	45.40	0	0.00	1961	63	8.10	0	0.00	0	0.00	
1963	111	11.09	1	50.50	0	0.00	1944	39	11.18	0	0.00	0	0.00	1945	110	8.47	1	52.40	0	0.00	1963	96	9.01	1	48.50	0	0.00	1962	86	9.01	1	45.30	0	0.00	
1964	86	8.07	1	61.10	1	61.10	1945	99	14.28	2	62.00	0	0.00	1946	86	8.46	0	0.00	0	0.00	1964	69	6.79	0	0.00	0	0.00	1963	85	8.05	1	45.50	0	0.00	
1965	145	11.65	1	55.20	1	55.20	1946	82	16.58	2	70.00	1	80.00	1947	92	9.00	1	65.50	0	0.00	1965	125	7.21	0	0.00	0	0.00	1964	46	7.16	0	0.00	0	0.00	
1966	112	7.87	2	66.95	2	66.95	1947	60	18.95	1	72.40	1	72.40	1948	115	10.74	0	0.00	0	0.00	1966	97	4.64	0	0.00	0	0.00	1965	90	7.23	0	0.00	0	0.00	
1967	122	7.14	1	48.00	0	0.00	1948	57	11.63	0	0.00	0	0.00	1949	98	7.71	0	0.00	0	0.00	1967	95	5.61	0	0.00	0	0.00	1966	42	5.61	0	0.00	0	0.00	
1968	129	10.52	1	48.50	0	0.00	1949	72	12.25	0	0.00	0	0.00	1950	128	7.06	0	0.00	0	0.00	1968	127	8.29	2	60.55	2	60.55	1967	58	7.54	0	0.00	0	0.00	
1969	111	7.91	1	76.50	1	76.50	1950	95	12.90	0	0.00	0	0.00	1951	94	7.73	1	62.20	1	62.20	1969	109	8.66	3	52.97	1	57.80	1968	97	9.36	1	58.10	1	58.10	
1970	145	6.96	0	0.00	0	0.00	1951	70	15.59	1	80.00	1	89.00	1952	77	7.54	0	0.00	0	0.00	1970	106	5.78	0	0.00	0	0.00	1969	70	8.59	1	62.50	1	62.50	
1971	123	6.48	0	0.00	0	0.00	1952	62	17.71	3	64.67	0	0.00	1953	85	9.05	1	50.80	0	0.00	1971	101	5.67	1	46.50	0	0.00	1970	74	6.14	0	0.00	0	0.00	
1972	128	7.65	1																																