

MINISTÉRIO DO AMBIENTE



PLANO DE BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TEJO

1ª Fase

Análise e Diagnóstico da Situação de Referência

Anexo Temático 3 A – Análise de Variáveis Climatológicas

Fevereiro de 2000



ANEXO TEMÁTICO 3A – ANÁLISE DE VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS

TEXTOS

1 – INTRODUÇÃO	1
2 – ANÁLISE DE PRECIPITAÇÕES.....	4
2.1 – Recolha de precipitações anuais, mensais e máximas diárias anuais	4
2.2 – Sistematização da informação em mapas e tabelas. Pré-selecção dos postos com base nos períodos de registos.....	6
2.3 – Análise de qualidade das amostras de registos pluviométricos.....	9
2.4 – Preenchimento de falhas mensais.....	11
2.5 – Postos virtuais	12
2.5.1 – Considerações prévias	12
2.5.2 – Critérios da implantação da rede de postos virtuais	13
2.5.3 – Implantação dos postos virtuais.....	19
2.5.4 – Atribuição de precipitações anuais aos postos virtuais	21
2.5.5 – Atribuição de séries de precipitação mensal aos postos virtuais.....	21
2.6 – Identificação da rede de postos pluviométricos a considerar no prosseguimento do estudo.....	22
2.7 – Tratamento estatístico das séries de precipitação anual e mensal.....	23
2.7.1 – Considerações prévias	23
2.7.2 – Precipitações anuais.....	25
2.7.3 – Precipitações mensais	30
2.8 – Precipitações máximas diárias anuais	36
2.9 – Inclusão dos resultados do estudo das precipitações no SIG. Produção de mapas de isolinhas.....	38
3 – ANÁLISE DE OUTRAS VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS.....	40
3.1 – Considerações prévias	40
3.2 – Recolha de registos. Selecção das estações climatológicas.....	42
3.3 – Preenchimento de falhas	46

3.4 – Inclusão de resultados no SIG. Produção de mapas de isolinhas	48
4 –EVAPOTRANSPITAÇÃO DE REFERÊNCIA.....	49
4.1 – Considerações prévias.....	49
4.2 – Cálculo da evapotranspiração de referência	50
4.3 – Inclusão de resultados no SIG. Produção de mapas de isolinhas	51

APÊNDICES

APÊNDICE A1 – QUADROS

A1.1 - Rede climatológica. Características gerais	1
A1.2 - Análise da qualidade dos registos udométricos.....	10
A1.3 - Atribuição de precipitações mensais aos postos virtuais inseridos nas zonas dos rios Nabão-Ocreza e Ocreza-Erges	11
A1.4 - Identificação de postos virtuais. Postos udométricos utilizados na atribuição de séries de precipitação mensal aos postos virtuais	12
A1.5 - Características estatísticas das séries de precipitação anual	13
A1.6 - Características estatísticas das séries de precipitação mensal.....	17
A1.7 - Identificação dos postos udométricos utilizados na caracterização das precipitações máximas diárias anuais.....	65
A1.8 - Características estatísticas das séries de precipitação máxima diária anual	67
A1.9 - Rede climatológica do Instituto de Meteorologia. Características gerais.....	70
A1.10 - Rede climatológica do Instituto de Meteorologia. Séries mensais preenchidas ..	71
A1.11 - Rede climatológica do Instituto de Meteorologia. Evapotranspirações de referência	107

APÊNDICE A2 – FIGURAS

A2.1 - Implantação da rede climatológica geral	
A2.2 - Postos udométricos. Períodos de registo	
A2.3 - Postos udométricos com mais de 30 anos de observação. Períodos de registo	
A2.4 - Implantação da rede udométrica real e virtual, utilizada na caracterização pluviométrica	
A2.5 - Precipitação anual média	
A2.6 - Precipitação anual para o período de retorno T = 10 anos	
A2.7 - Precipitação anual para o período de retorno T = 100 anos	

- A2.8 - Precipitação anual para o período de retorno $T = 1000$ anos**
- A2.9 - Precipitação média no mês de Outubro**
- A2.10 - Precipitação média no mês de Novembro**
- A2.11 - Precipitação média no mês de Dezembro**
- A2.12 - Precipitação média no mês de Janeiro**
- A2.13 - Precipitação média no mês de Fevereiro**
- A2.14 - Precipitação média no mês de Março**
- A2.15 - Precipitação média no mês de Abril**
- A2.16 - Precipitação média no mês de Maio**
- A2.17 - Precipitação média no mês de Junho**
- A2.18 - Precipitação média no mês de Julho**
- A2.19 - Precipitação média no mês de Agosto**
- A2.20 - Precipitação média no mês de Setembro**
- A2.21 - Média da precipitação máxima diária anual**
- A2.22 - Precipitação máxima diária anual para o período de retorno de $T = 10$ anos**
- A2.23 - Precipitação máxima diária anual para o período de retorno de $T = 100$ anos**
- A2.24 - Precipitação máxima diária anual para o período de retorno de $T = 1000$ anos**
- A2.25 - Rede climatológica do Instituto de Meteorologia. Períodos de registo**
- A2.26 - Implantação da rede climatológica do Instituto de Meteorologia**
- A2.27 - Temperatura mínima do ar anual média e temperaturas mínimas do ar médias mensais**
- A2.28 - Temperatura máxima do ar anual média e temperaturas máximas do ar médias mensais**
- A2.29 - Temperatura do ar anual média e temperaturas do ar médias mensais**
- A2.30 - Humidade relativa do ar anual média e humidades relativas do ar médias mensais**
- A2.31 - Velocidade do vento anual média e velocidades do vento médias mensais**
- A2.32 - Insolação anual média e insolações médias mensais**
- A2.33 - Evapotranspiração de referência anual média e evapotranspirações de referência médias mensais**

APÊNDICE A3 – ANÁLISE DA QUALIDADE DAS SÉRIES DE REGISTOS DE PRECIPITAÇÃO

A3.1 – Teste de Wald-Wolfowitz

A3.2. – Teste da Ordenação

A3.3 – Teste de Mann-Whitney

A3.4 – Teste de Homogeneidade da Variância

A3.5 – Teste de Spearman

A3.6 – Teste do Coeficiente de Autocorrelação

APÊNDICE A4 – PREENCHIMENTO DAS FALHAS MENSAIS DE REGISTOS DE PRECIPITAÇÃO

APÊNDICE A5 – TESTE DE NORMALIDADE DE SNEDECOR E COCHRAN

APÊNDICE A6 – ANÁLISE ESTATÍSTICA. INVERSÃO DAS LEIS NORMAL, DE PEARSON III E DE GUMBEL

A6.1 – Lei Normal

A6.2 – Lei de Pearson III

A6.3 – Lei de Gumbel

APÊNDICE A7 – SÉRIES DE PRECIPITAÇÕES MENSAIS

1 – Introdução

Apresenta-se o Anexo Temático n.º 3A contendo a análise de variáveis climatológicas e que se integra no Anexo Temático 3 relativo à avaliação, em termos médios e associados a dadas probabilidades de ocorrência, dos recursos hídricos superficiais na zona abrangida pelo Plano de Bacia Hidrográfica (PBH) do Rio Tejo. Tal avaliação deverá permitir equacionar, numa perspectiva de desenvolvimento sustentado e integrado, as necessidades de água actuais e, especialmente, as futuras e, consequentemente, estabelecer os cenários de desenvolvimento.

À semelhança da generalidade do País, a bacia hidrográfica do rio Tejo e as zonas com ela confinantes estão relativamente bem cobertas por uma rede de postos udométricos com períodos de registos, nalguns casos, bastante longos. Esta situação contrasta com a dos registos hidrométricos disponíveis que, em termos do número de estações de medição e dos respectivos períodos de funcionamento, são demasiado escassos para permitir pormenorizar a distribuição do escoamento no espaço e no tempo. Em “*Monografias hidrológicas dos principais cursos de água de Portugal Continental*”, Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos (DGRN), Divisão de Hidrometria, Lisboa, 1986, são indicadas as densidades de ocupação para a bacia hidrográfica do rio Tejo de 1 posto udométrico por 118 km² e de 1 estação hidrométrica por 469 km².

Provavelmente também em consequência do anterior cenário, o Guia para a Elaboração do Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tejo estabeleceu que a avaliação das disponibilidades hídricas de superfície fosse concretizada, não por recurso exclusivo a registos hidrométricos, mas fundamentalmente por aplicação de um modelo precipitação-escoamento (modelo de Temez) que requer dados de precipitação e de evapotranspiração potencial.

Deste modo, a avaliação dos recursos hídricos de superfície na zona do PBH do Rio Tejo iniciou-se pelo estudo das precipitações, apresentado no Capítulo 2 do presente anexo. Tais estudos visaram, para além da caracterização da variação espacial e temporal da variável hidrológica em questão, a obtenção dos elementos de base necessários ao desenvolvimento de outras actividades, com ênfase para a caracterização dos escoamentos na bacia hidrográfica e para a análise de secas na bacia hidrográfica.

Paralelamente procedeu-se à recolha, análise e tratamento de registos de outras variáveis climatológicas necessárias ao cálculo da evapotranspiração. Os estudos envolvendo tais variáveis são apresentados no Capítulos 3 do presente Anexo, constando o cálculo da evapotranspiração potencial do Capítulo 4.

A recolha e tratamento dos dados hidrométricos necessários à aferição de parâmetros do modelo de Temez e a subsequente aplicação deste modelo à obtenção dos escoamentos na zona abrangida pelo PBH do Rio Tejo são apresentados no **Anexo Temático 3B**.

Os resultados dos estudos de caracterização e inventário de recursos hídricos foram, na generalidade, organizados em bases de dados importáveis para o Sistema de Informação Geográfica (SIG) do PBH do Rio Tejo. O tipo e o grande volume de informação que se afiguram adequados incluir em tais bases não são compatíveis com a apresentação, sob a forma de quadros e de figuras em formato de papel, de todos os resultados da análise levada a cabo. Assim, para inclusão neste anexo, seleccionaram-se, de entre os resultados que se afiguraram mais relevantes, os que permitiam uma leitura perceptível numa daquelas formas de organização e, ainda, os necessários à exemplificação da informação que, sob a forma de coberturas geo-referenciadas, integra o SIG do PBH do Rio Tejo. Tais elementos são apresentados nos **Apêndices A1 e A2** contendo, respectivamente, quadros e figuras.

Regista-se que o presente anexo é constituído por outros apêndices, para além dos anteriormente referidos, e que, de um modo geral, contêm a descrição pormenorizada das metodologias específicas, frequentemente de índole estatística, aplicadas ao longo dos estudos – **Apêndices A3 a A6**.

Dado que a zona abrangida pelo PBH do Rio Tejo só difere da parte portuguesa da bacia hidrográfica deste rio por uma pequena área de cerca de 185 km², localizada na península de Setúbal, na menção de tal zona ao longo da apresentação dos estudos efectuados utilizou-se, frequentemente e por simplificação, a designação de bacia hidrográfica do rio Tejo, sem que tal implique qualquer restrição na área que foi efectivamente objecto de análise.

Anota-se, por fim, que, de acordo com o Guia para a Elaboração do Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tejo, os estudos de caracterização e inventário dos recursos hídricos naquela bacia foram desenvolvidos para o período de base de 50 anos entre 1941/42 e 1990/91.

2 – Análise de precipitações

2.1 – Recolha de precipitações anuais, mensais e máximas diárias anuais

Com o objectivo de caracterizar o regime de precipitações na bacia hidrográfica do rio Tejo, procedeu-se à recolha de dados pluviométricos mensais (e, em anos não exibindo falhas mensais, dos anuais correspondentes) e máximos diários anuais em postos udométricos, udográficos e climatológicos inseridos na bacia ou localizados em zonas contíguas à mesma.

Os registos mensais e anuais de precipitação intervieram na quantificação da variável hidrológica em causa, na caracterização da sua variabilidade temporal e espacial e na análise de secas. Os registos mensais destinaram-se, ainda, à posterior inclusão no modelo computacional de transformação, à escala mensal, da precipitação em escoamento (modelo de Temez) tendo em vista quantificar o escoamento mensal em secções de referência da bacia hidrográfica da bacia hidrográfica rio Tejo. Os registos de precipitação máxima diária anual possibilitam uma caracterização das precipitações intensas na bacia hidrográfica.

A recolha de registos de precipitação foi efectuada por consulta do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) e directamente junto do Instituto da Água (INAG) que facultou, ainda, registos de precipitação nalguns dos postos explorados pelo Instituto de Meteorologia (IM).

Foram, assim, recolhidos registos mensais de precipitação em 286 postos, dos quais 199 se inserem na zona do PBH do Rio Tejo e os remanescentes, em zonas contíguas. No **Quadro A1.1** do **Apêndice A1** sistematizam-se algumas das características dos anteriores postos, designadamente a identificação (código e nome), as coordenadas de localização (coordenadas cartográficas, distância à meridiana, M, e distância à perpendicular, P, e geográficas, latitude e longitude), os períodos de registo, o tipo de posto (udométrico, udográfico ou climatológico) e as entidades responsáveis pela exploração. Regista-se que as anteriores coordenadas cartográficas (M,P) foram integralmente facultadas pelo INAG e referem-se ao sistema Hayford-Gauss com origem fictícia pelo que, correctamente, são designadas por coordenadas rectangulares de Gauss.

O quadro seguinte contém o número de postos com registos recolhidos e a densidade de ocupação a que os mesmos conduziram, tanto para a zona do PBH do Rio Tejo, como para as suas principais sub-bacias.

Zona ou sub-bacia (-)	Postos da rede udométrica	
	Número (-)	Densidade de ocupação (postos/km ²)
PBH do Rio Tejo	199	126
Ribeira de Aravil	1	445
Rio Pônsul	17	88
Rio Ocreza	11	130
Rio Nabão	10	107
Rio Zêzere	49	104
Rio Maior	10	92
Rio Sorraia	37	166
Rio Sôr	7	178
Rio Raia	24	143

Quadro 1 – Características gerais da rede udométrica na zona do PBH do Rio Tejo.

De acordo com os valores do anterior quadro verifica-se que, exceptuando a bacia hidrográfica da ribeira de Aravil, a rede identificada assegura uma boa cobertura udométrica. A escassez de postos udométricos naquela bacia hidrográfica não é tão pertinente quanto poderia parecer, pois existem bastantes postos contíguos, inseridos na bacia hidrográfica do rio Pônsul com a qual confina a da ribeira de Aravil. A menor cobertura udométrica nas bacias hidrográficas localizadas na margem sul do rio Tejo adequa-se à menor variabilidade espacial que caracteriza a precipitação nessa zona.

No decurso do estudo hidrológico concluiu-se que os registos de alguns dos postos do **Quadro A1.1** do **Apêndice A1** não deveriam sustentar a caracterização pluviométrica da bacia hidrográfica do rio Tejo. Embora a análise e discussão das circunstâncias que conduziram a tal conclusão sejam abordadas em itens subsequentes, por razões de sistematização identificaram-se desde logo no **Quadro A1.1** os postos abandonados e as causas do seu abandono.

A implantação geo-referenciada dos postos do **Quadro A1.1**, diferenciados consoante o tipo, é apresentada na **Figura A2.1** do **Apêndice A2**.

Procedeu-se, ainda, à identificação dos postos possuindo registos de precipitação máxima diária anual. A recolha das respectivas amostras só foi, contudo, efectuada em fase posterior por forma a se restringir aos postos que, em consequência da maior duração do período de registos e da confirmação da boa qualidade destes últimos, pudessem ser efectivamente adoptados no prosseguimento dos estudos.

2.2 – Sistematização da informação em mapas e tabelas. Pré-selecção dos postos com base nos períodos de registos

A informação relativa aos 286 postos udométricos com registos recolhidos, foi sistematizada num mapa de barras, apresentado na **Figura A2.2** e contendo a identificação dos anos com registos e das ocorrências de falhas.

A análise de tal mapa evidencia dois reforços da rede udométrica: um levado a cabo entre os anos de 1930/31 e de 1939/40, inclusive, e outro entre os anos de 1979/80 e de 1980/81, inclusive. Na sequência do primeiro dos anteriores reforços, a rede foi aumentada em 67 postos passando dos 25 postos que apresentava no ano de 1929/30 (alguns dos quais exibindo, contudo, acentuada descontinuidade na recolha de registos) para 92 postos no ano 1939/40.

Nos reforços ocorridos em 1979/80 e em 1980/81 foram respectivamente incluídos 56 e 69 novos postos (num total de 127 novos postos), não obstante alguns não apresentarem continuidade na recolha de dados e cerca de 20 terem sido abandonados até 1984/85. Posteriormente a 1979/80 registou-se, ainda, o abandono de 9 postos, de entre os que exibiam séries já com considerável dimensão (anteriores à década de 1960/61).

Na figura seguinte apresenta-se o número de postos que constituía a rede pluviométrica em cada um dos anos aí assinalados, distinguindo-se entre postos inseridos na zona do PBH do Rio Tejo e postos inseridos em zonas contíguas.

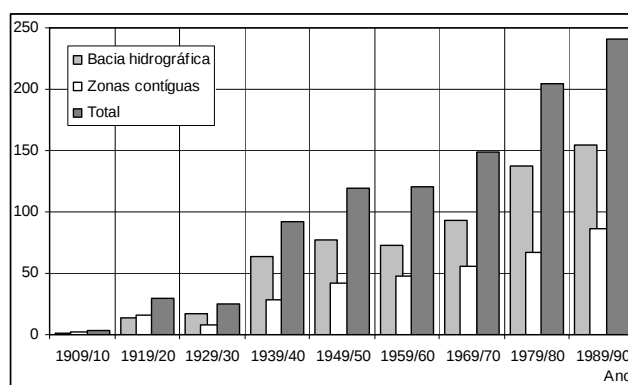


Figura 1– Evolução do número de postos udométricos na zona do PBH do Rio Tejo e nas zonas contíguas.

Tendo por base a anterior recolha de registos, o critério de identificação da rede udométrica efectivamente a adoptar na caracterização pluviométrica da zona do PBH do Rio Tejo atendeu ao facto de o Guia para a elaboração deste Plano indicar que, mediante o preenchimento de falhas de registos, se deve proceder à obtenção de séries de precipitação completas para o período de 50 anos entre 1941/42 e 1990/91. Deste modo, estabeleceu-se que os postos a pré-seleccionar, de entre os do **Quadro A1.1**, deveriam ser tais que apresentassem registos pelo menos em metade daquele período de 50 anos.

Para o efeito, no **Quadro 2**, que se segue, sistematizaram-se, de acordo com a dimensão dos períodos de registos e com o número de falhas de registos entre 1941/42 e 1990/91, os postos, de entre os 286 reconhecidos, com mais de 16 anos de registos. Não obstante os postos com períodos de registos inferiores a 25 anos não cumpririam o critério de pré-selecção enunciado, incluíram-se alguns desses postos na sistematização levada a cabo (designadamente os postos com períodos de registos entre 16 e 24 anos), por forma a fornecer uma ideia mais concreta da rede udométrica na zona do PBH do Rio Tejo.

O anterior quadro permite verificar que dos 188 postos mais de 16 anos de registos, $188-151=37$ apresentam exactamente 16 anos de registos e $188-143=45$ requerem o preenchimento de falhas em mais de 25 anos do período entre 1941/42 e 1990/91. Um número tão elevado de falhas a preencher conduziria a estimativas da precipitação certamente pouco fiáveis, pelo que não foram considerados os postos em tais condições. Regista-se que a redução do período de registos tornaria ainda mais crítica a anterior situação.

Dimensão das séries	Número de séries com a dimensão indicada	Número de séries com α anos a preencher no período entre 1941/42 e 1990/91					
		$\alpha = 39$	$\alpha = 38$	$\alpha = 37$	$\alpha = 31$	$\alpha = 30$	$\alpha = 28$
≥ 16 anos	188	11	29	1	1	1	2
≥ 17 anos	151	--	4	--	1	1	2
≥ 23 anos	147	--	--	--	1	1	2
≥ 24 anos	146	--	--	--	1	--	2
≥ 26 anos	144	--	--	--	--	--	1
≥ 30 anos	143	--	--	--	--	--	--

Dimensão das séries	Número de séries com a dimensão indicada	Número de séries com α anos a preencher no período entre 1941/42 e 1990/91					
		$\alpha = 23$	$\alpha = 22$	$\alpha = 21$	$11 \leq \alpha \leq 20$	$1 \leq \alpha \leq 10$	$\alpha = 0$
≥ 16 anos	188	1	2	1	27	58	54
≥ 17 anos	151	1	2	1	27	58	54
≥ 23 anos	147	1	2	1	27	58	54
≥ 24 anos	146	1	2	1	27	58	54
≥ 26 anos	144	1	2	1	27	58	54
≥ 30 anos	143	--	2	1	27	58	54

Quadro 2 – Sistematização das falhas anuais exibidas no período entre 1941/42 e 1990/91 pelos postos com mais de 16 anos de registos.

Apenas os postos com 30 ou mais anos de registos asseguram que mais de metade dos valores de precipitação no período entre 1941/42 e 1990/91 decorrerão de registos. Verifica-se, ainda, que o número de postos nestas condições – 143 – praticamente não difere do número dos que têm mais de 17 anos de registos – 151 – o que sustenta também a pré-selecção dos postos com mais de 30 anos de registos pois os postos que assim se deixam de considerar são em número reduzido (apenas oito postos).

No mapa da **Figura A2.3** identificam-se os postos pré-seleccionados de acordo com o critério adoptado, dos quais 94 se inserem na bacia hidrográfica do rio Tejo e 49, em zonas contíguas. Anota-se que, de entre os anteriores postos, 54 apresentam séries completas no período entre 1941/42 e 1990/91.

No **Quadro A1.1** identificam-se os postos que, nesta fase, foram excluídos da caracterização pluviométrica da zona do PBH do Rio Tejo por apresentarem falhas de registos em número superior ao estipulado.

2.3 – Análise de qualidade das amostras de registos pluviométricos

De entre os 143 postos udométricos pré-selecionados, os estudos de caracterização e de inventário prosseguiram com os que apresentavam registos de boa qualidade. Em cada um daqueles postos, a análise da qualidade dos respectivos registos envolveu a apreciação da homogeneidade geral, da homogeneidade da média e da variância e da aleatoriedade da respectiva série de precipitações anuais, para o que foram aplicadas metodologias adequadas ao tipo e à vastíssima quantidade de dados a analisar.

Concretamente, aplicaram-se os testes não-paramétricos apresentados em Henriques, A. G., 1990, *Modelos de distribuição de frequências de caudais de Cheia*, p. 345-353, Dissertação de Doutoramento, IST, Lisboa e Siegel, S., 1975, *Estatística não-paramétrica para as Ciências do Comportamento*, p. 106-181 e p. 228-241, McGraw-Hill, Brasil.

Deste modo, para testar a homogeneidade das séries de precipitação anual aplicaram-se os testes de Wald-Wolfowitz e da ordenação. A homogeneidade das médias e das variâncias daquelas séries utilizou o teste de Mann-Whitney aplicado aos dados originais, no caso da homogeneidade da média, e a dados transformados dos originais, no caso de homogeneidade da variância; a aleatoriedade foi testada mediante a aplicação dos testes de Spearman e do coeficiente de autocorrelação.

A aplicação dos anteriores testes foi efectuada por meio de um programa de cálculo automático, especificamente desenvolvido para os estudos do PBH do Rio Tejo, constando a descrição das respectivas estatísticas do **Apêndice A3**.

O nível de significância, α , conducente à rejeição da hipótese associada a qualquer um dos testes de qualidade foi fixado em 5% (nível de confiança de 95%), tendo-se admitido que a região de rejeição era bilateral, conforme expresso, aliás, nos critérios de rejeição transcritos pelas estatísticas dos testes.

Estipulou-se o abandono de um posto udométrico se a qualidade da respectiva série de registos fosse infirmada por dois ou mais testes de tipo diferente. Por testarem a mesma hipótese, os testes de Wald-Wolfowitz e da ordenação foram considerados do mesmo tipo, ocorrendo a rejeição da hipótese de homogeneidade geral de uma série apenas quando simultaneamente rejeitada por ambos os testes em questão. A rejeição da hipótese de aleatoriedade de uma série

pressupôs, também, a rejeição simultânea pelos testes de Spearman e do coeficiente de autocorrelação, considerados do mesmo tipo.

Não obstante poder constituir uma aproximação na aplicação de alguns dos testes, admitiu-se que as séries a analisar tinham dimensão suficiente para que os critérios de rejeição apresentados fossem válidos com boa aproximação.

No **Quadro A1.2** do **Apêndice A1** apresentam-se os resultados da análise efectuada para averiguar a qualidade das séries anuais de precipitação, designadamente as estatísticas dos testes e os níveis de confiança que lhes estão associados, assinalando-se, ainda, os postos com séries rejeitadas, em número de 22 (14 incluídos na bacia hidrográfica do rio Tejo e 8, nas zonas contíguas). Os postos em causa são os que seguidamente se identificam pelo respectivo nome e código, este último indicado entre parêntesis: inseridos na zona do PBH do Rio Tejo, Penhas Douradas (11L/05), Fajão (13J/01), Silvares (13K/02), Fundão (13L/01), Casal da Serra (13L/03), Figueiró dos Vinhos (14H/01), B. Cabeço Monteiro (14N/01), Caniçal Cimeiro (15J/02), Montalvão (16L/01), Avis (19J/03), Monforte (19M/01), Coruche (20F/01), Sousel (20K/01) e Santo Aleixo (20M/01); inseridos em zonas contíguas, Celorico da Beira (10M/01), Codeceiro (10N/01), Juromenha (21N/01), Pegões (22F/02), Santiago do Escoural (22H/02), Redondo (22L/01), Santa Susana (22L/02) e Viana do Alentejo (23I/02). No quadro seguinte resumem-se, de forma esquemática, as causas de que resultaram o abandono destes 22 postos.

Identificação dos testes rejeitados						Número de postos rejeitados		
Homogeneidade geral		Homogeneidade da média	Homogeneidade da variância	Aleatoriedade		Inseridos na bacia hidrográfica	Inseridos em zonas contíguas	Total
Teste Wald-Wolfowitz	Teste da ordenação			Teste Spearmann	Teste da auto-correlação			
X	X	X	X	X	X	1	1	2
X	X	X		X	X	3	1	4
		X	X	X	X	1	2	3
X	X	X				2	1	3
		X		X	X	5	1	6
		X	X			1	2	3
			X	X	X	1	0	1

Total do número de postos rejeitados	14	8	22
---	----	---	----

Nota: X símbolo indicativo de rejeição de teste.

Quadro 3 – Causas justificativas do não reconhecimento da qualidade de séries de registos pluviométricos.

Na sequência da anterior análise de qualidade dos registos o estudo prosseguiu com 121 postos. No **Quadro A1.1** assinalam-se também os postos excluídos nesta etapa do estudo.

2.4 – Preenchimento de falhas mensais

Conforme referido, a caracterização pluviométrica da zona abrangida pelo PBH do Rio Tejo baseou-se em séries mensais de precipitação completas para o período de 50 anos compreendido entre os anos hidrológicos de 1941/42 e 1990/91. A obtenção de tais séries pressupôs, quer o preenchimento das falhas mensais esporadicamente exibidas pelas séries históricas, quer completamento destas séries nos anos sem qualquer registo mensal.

Para o efeito, implementou-se computacionalmente a metodologia de preenchimento/completamento de falhas mensais, apresentada no **Apêndice A4** e que se baseia na proximidade geográfica entre postos udométricos e na existência de correlações entre as séries mensais de precipitação em postos próximos.

Em cada posto exibindo falhas num dado mês, o modelo desenvolvido para preenchimento dessas falhas aplicou, em linhas gerais, a regressão linear simples aos registos no mês em causa, no posto com falhas e num outro posto que lhe seja geograficamente próximo e que exibisse correlação com o posto com série mensal a preencher.

Regista-se que o preenchimento de falhas por utilização de um posto geograficamente próximo só foi efectuado se a correlação entre as séries de registos mensais neste posto e no posto com falhas fosse superior a 0,8. Exceptuaram-se os meses de Julho, Agosto e Setembro, em que o limite inferior daquele coeficiente foi fixado em 0,6 por, de facto, serem inferiores as correlações expectáveis entre séries de registos relativas a cada um destes meses.

Não obstante no decurso da apresentação do trabalho efectuado se ter simplificado a designação da anterior metodologia, referindo-a apenas ao preenchimento de falhas, a mesma foi

indiferenciadamente utilizada no preenchimento de falhas esporádicas e no completamento das séries nos anos com total ausência de registos mensais, situação que pressupôs a sua aplicação a todos os meses desses anos.

A metodologia descrita no **Apêndice A4** foi aplicada aos 121 postos udométricos possuindo registos com qualidade confirmada e, com excepção de 12 postos (7 dos quais inseridos na bacia hidrográfica do rio Tejo), permitiu o preenchimento para o período de 1941/42 a 1990/91 das séries de registos mensais nos restantes 109 postos (73 inseridos na bacia hidrográfica do rio Tejo e 36, nas zonas contíguas).

No **Quadro A1.1** assinalam-se os 12 postos que, assim, se excluíram por não ter sido possível completar as respectivas séries pois não foram identificados postos contíguos com os quais exibissem correlação a nível das séries mensais de precipitação. Os postos em causa são os que seguidamente se identificam (iniciando-se pelos 7 incluídos na bacia hidrográfica do rio Tejo) pelo respectivo nome e código, este último indicado entre parêntesis: Pampilhosa da Serra (13J/03), Lourçal do Campo (13M/01), Pedrógão Grande (14I/01), Vila do Rei (15I/02), Longomel (18J/01), Machuqueira (19G/01), Sassoeiros (21B/03), Manteigas-Mondego (11L/02), Aldeia da Ponte (11P/01), Turquel (17D/01), Sintra-Granja (21B/01) e Santiago Maior (22M/01).

2.5 – Postos virtuais

2.5.1 – *Considerações prévias*

A rede pluviométrica constituída pelos 109 postos udométricos anteriormente seleccionados foi completada mediante a introdução de postos virtuais: postos fictícios localizados especialmente em linhas de cumeada com o objectivo de preencher as lacunas de informação que decorrem do facto da rede udométrica real não se estender, por regra, às zonas acidentadas,

particularmente quando localizadas a cotas mais elevadas, nas quais é mais difícil assegurar a manutenção e a exploração de postos udométricos.

Embora em menor número, procedeu-se à implantação de postos virtuais também em vales com o objectivo de obviar os erros de interpolação entre valores da precipitação registados em encostas opostas, erros resultantes de não se atender à variação que a grandeza hidrológica em causa eventualmente exhibe ao progredir-se para as zonas inferiores dos vales.

De acordo com o documento *M3 Metodologias de avaliação dos recursos hídricos superficiais*, INAG, DSRH, 1994, a rede de postos virtuais tem por objectivo suprir a escassez de informação pluviométrica verificada em zonas da bacia, com destaque para as localizadas a cotas mais elevadas, mediante a atribuição de séries de precipitação anual e mensal a pontos da bacia hidrográfica. Pretende-se, deste modo, exprimir a influência, que se afigura existir, do relevo na variação espacial e nos valores da precipitação.

A inclusão e a implantação de postos virtuais atenderam aos desníveis topográficos que ocorrem na bacia. A atribuição de séries de precipitações anuais e mensais a tais postos foi desenvolvida a partir do estabelecimento de regressões lineares entre as precipitações registadas nos postos efectivamente existentes e as respectivas altitudes.

2.5.2 – Critérios da implantação da rede de postos virtuais

Para averiguar a existência de eventuais correlações entre as precipitações registadas em postos udométricos reais e as altitudes de tais postos, considerou-se a bacia hidrográfica do rio Tejo dividida nas cinco regiões esquematizadas na **Figura 2** e correspondentes às zonas entre os rios Nabão e Ocreza, entre os rios Ocreza e Erges, entre o rio Sever e a ribeira da Seda e a duas outras zonas identificadas como zonas Oeste e Este do Tejo.

Para cada uma das regiões da anterior figura estabeleceu-se a equação de regressão linear entre as precipitações anuais médias registadas nos postos inseridos na mesma e as respectivas altitudes. No **Quadro 4** especificam-se os dados intervenientes na obtenção das anteriores equações de regressão.

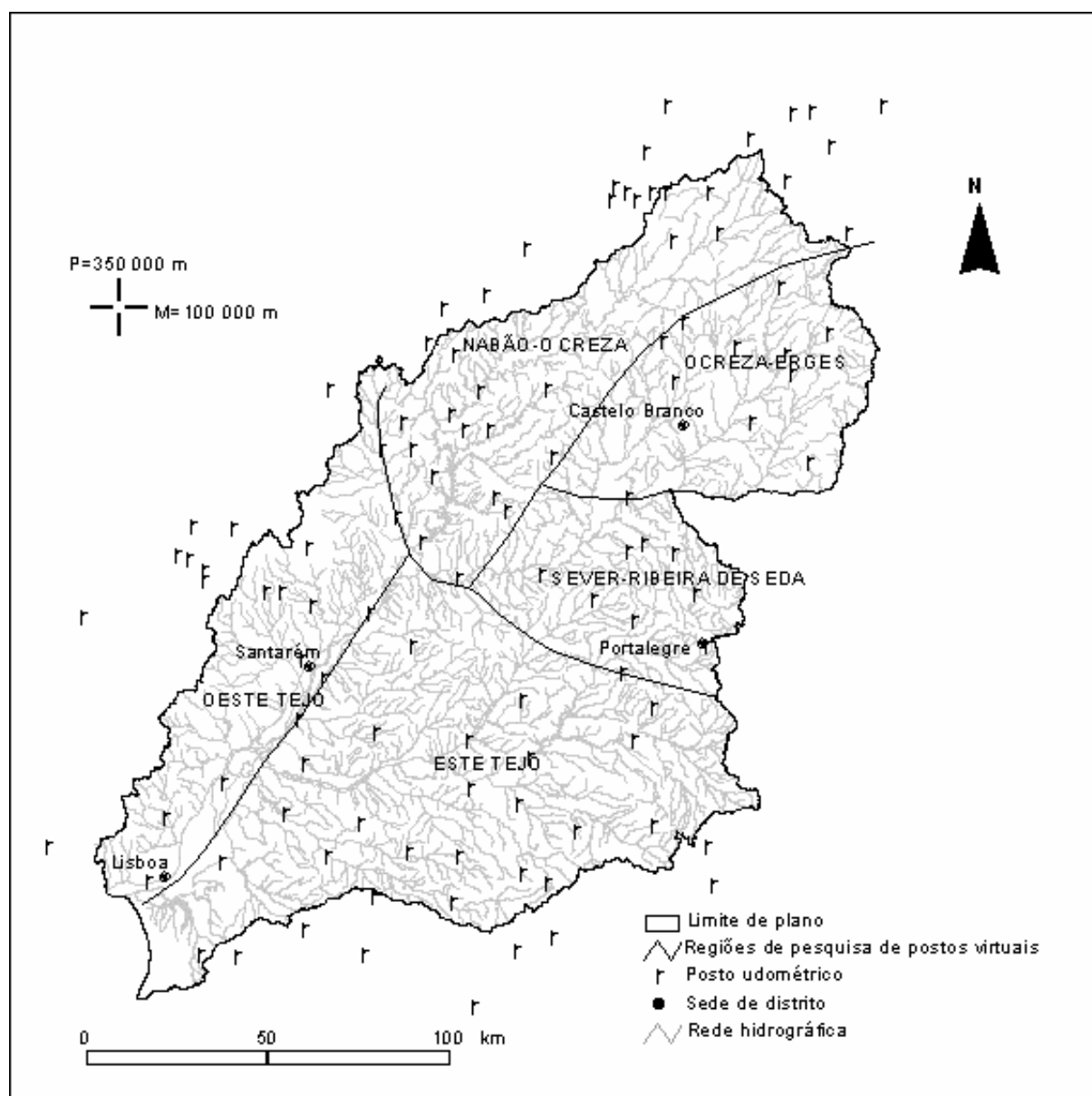


Figura 2 – Zonas consideradas na identificação de postos virtuais.

Região	Características dos postos udométricos			Precipitação anual média (mm)
	Nome (-)	Código (-)	Altitude (m)	
Rio Nabão- - Rio Ocreza	Vale de Rossim	11L/03	1400	1725
	Manteigas	11L/04	815	1591
	Valhelhas	11M/01	515	1104
	Covilhã	12L/03	745	1587
	Caria	12M/01	475	863
	Castanheira de Pêra	13H/05	460	1614
	Barragem de Bouçã	14H/02	210	1144
	Barragem do Cabril	14I/02	395	1286
	Oleiros	14J/01	520	1266
	Alvaizere	15G/01	325	1206
	Rego da Murta	15G/02	230	1035
	Freixianda	15G/03	115	958
	Cernache Bonjardim	15H/01	390	1127
	Ferreira do Zezere	15H/02	350	1120
	Sertã	15I/01	287	1054
	Proença-a-Nova	15J/01	460	1146
	Tomar	16G/01	78	763
	Barragem de Castelo de Bode	16H/01	127	872
	Amêndoa	16I/01	375	1023
	Chão de Codes	16I/02	310	1071
Rio Ocreza- -Rio Erges	Penamacor	12O/01	462	811
	Gralhas	13L/02	910	1512
	São Vicente da Beira	13L/04	563	1014
	São Miguel da Acha	13N/01	365	810
	Penha Garcia	13O/01	530	793
	Ladoeiro	14N/02	215	609
	Póvoa de Rio de Moinhos	14L/01	360	771
	Idanha-a-Velha	14O/01	270	667
	Alcafozes	14O/02	537	714
	Rosmaninhal	15O/01	360	562
Rio Sever- -Ribeira de Seda	Vila Velha de Rodão	16K/01	98	744
	Central da Bruceira	16L/02	210	716
	Nisa	16L/03	300	692
	Póvoa de Meadas	16L/04	338	726
	Abrantes	17H/01	158	657
	Gavião	17J/01	281	828
	Comenda	17K/01	267	809
	Vale do Peso	17L/02	297	769
	Castelo de Vide	17M/01	540	856
	Alter do Chão	18L/01	270	621
Oeste do rio Tejo	Portalegre	18M/01	597	843
	Minde	16E/02	217	1156
	Alcanede	17E/01	112	921
	Abrã	17E/02	190	980
	Pernes	17F/01	85	825
	Chamusca	17G/02	17	633
	Santarém (Escola Agrícola)	18E/01	54	697
	Almeirim	18F/01	16	669
	Muge	19E/01	15	600
	São Julião do Tojal	20C/01	13	716
Vila Franca de Xira (Lezírias)	Vila Franca de Xira (Lezírias)	20D/01	3	658

Quadro 4 – Dados necessários ao estabelecimento de regressões lineares entre precipitações anuais médias e altitudes.

De entre as zonas identificadas na **Figura 2** e no **Quadro 4**, não se prosseguiu com a implantação de postos virtuais naquelas:

- em que se obtiveram coeficientes de correlação entre precipitações anuais médias registadas nos postos e altitudes destes últimos inferiores a 0,80 (por se considerar que coeficientes inferiores a este mínimo indicavam fraca correlação entre as duas grandezas em jogo);
- que não possuíam desníveis topográficos superiores a cerca de 400 m, quer em termos absolutos, quer comparativamente às cotas a que estão localizados os postos reais.

Em cada uma das demais zonas com que prosseguiu a análise, estipulou-se que a inclusão de um posto virtual só poderia ser efectivada se a altitude prevista para o mesmo não fosse significativamente superior ou inferior às altitudes, respectivamente, máxima e mínima a que se localizam os postos reais inseridos na zona. Por outras palavras, em cada zona impôs-se que os postos virtuais a criar estivessem enquadrados, em termos de cotas de localização, pela rede de postos reais. O limite máximo da diferença entre a cota de um posto virtual e a maior ou a menor cota de um posto real foi fixado em 250 m. Pretendeu-se, deste modo, conter o acréscimo ou o decréscimo pontual da precipitação em consequência da inclusão de postos virtuais.

Os critérios de identificação, de entre as cinco zonas representadas na **Figura 2**, daquelas eventualmente carecendo da inclusão de postos virtuais, e, para as zonas assim identificadas, de efectivação de tal inclusão, podem, então, ser resumidos por:

- Zona exibindo diferenças de altitude entre os possíveis pontos de implantação de postos virtuais e os postos reais adjacentes maiores ou aproximadamente iguais a 400 m.
- Zona tal que as séries de registos de precipitação nos postos reais inseridos na mesma conduzem ao reconhecimento de uma correlação entre precipitações anuais médias registadas naqueles postos e as altitudes destes últimos (coeficiente de correlação superior ou igual a 0,80).
- Zona apresentando diferenças entre as altitudes dos possíveis pontos de implantação de postos virtuais e as altitudes máxima e mínima dos postos reais aí localizados não superiores a cerca de 250 m.

No **Quadro 5** resumem-se, para as regiões analisadas, os resultados que, de acordo com os anteriores critérios, precederam a inclusão de postos virtuais.

Conforme sistematizado em tal quadro, verifica-se que, de entre as cinco zonas consideradas, a rede de postos reais pôde ser reforçada mediante a inclusão de postos virtuais em duas das mesmas, designadamente nas zonas entre os rios Nabão e Ocreza e entre os rios Ocreza e Erges.

Na **Figura 3** apresentam-se as rectas de regressão entre precipitações anuais médias e altitudes.

Zona	Regressão linear entre a precipitação anual média, P (mm) e a altitude, h (m)		Observações	Inclusão de postos virtuais
	Equação de regressão	Coefficiente de correlação		
Rios Nabão-Ocreza	$P=0,7196 \cdot h + 868.98$	$R=0,801$	Altitudes dos possíveis postos virtuais enquadradas pelas altitudes dos postos reais	Admitida
Rios Ocreza-Erges	$P=0,9881 \cdot h + 399.34$	$R=0,824$	Altitudes dos possíveis postos virtuais enquadradas pelas altitudes dos postos reais	Admitida
Rio Sever-Ribeira Seda	$P=0,3981 \cdot h + 621.85$	$R=0,672$	Coefficiente de correlação inferior a 0,80	Rejeitada
Oeste Tejo	$P=2,2451 \cdot h + 622.89$	$R=0,966$	Altitudes dos possíveis postos virtuais não enquadradas pelas altitudes dos postos reais	Rejeitada
Este Tejo	-	-	Zona sem desníveis superiores a 400 m	Rejeitada

Quadro 5 – Resultados da análise da possibilidade de implantação de postos virtuais nas cinco zonas consideradas para o efeito.

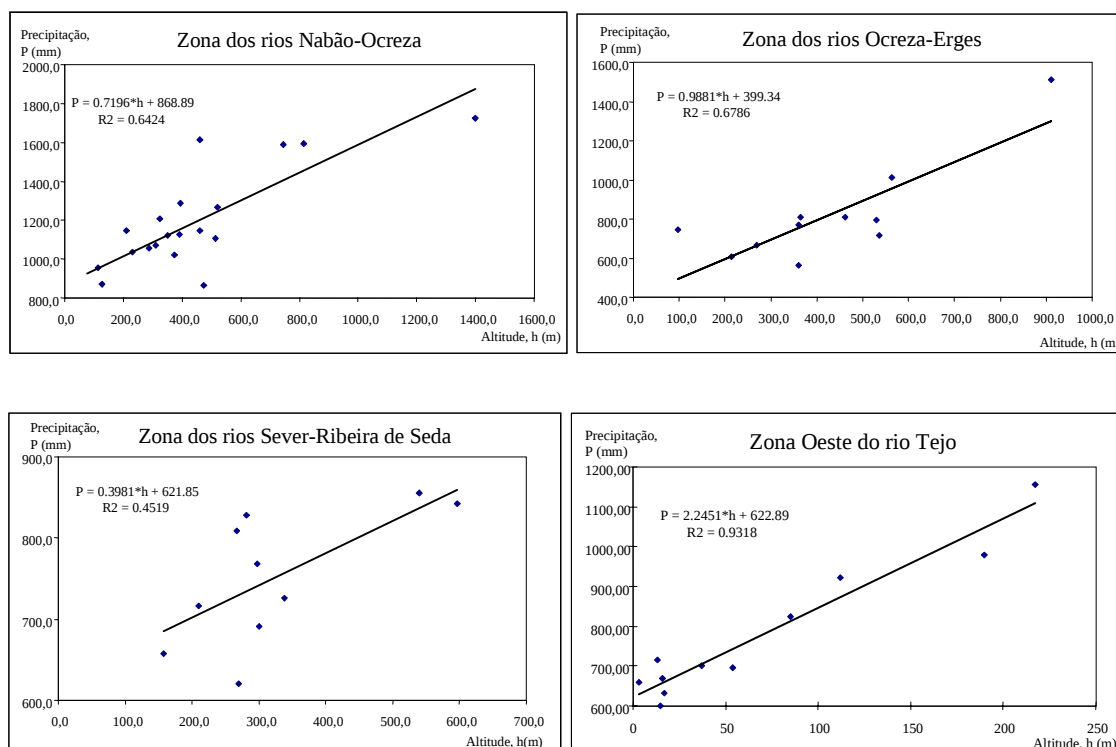


Figura 3 – Regressões lineares entre precipitações anuais médias e altitudes dos postos udométricos.

2.5.3 – Implantação dos postos virtuais

Mediante a análise, sistemática e exaustiva, da altimetria das duas zonas em que anteriormente se concluiu poderem existir postos virtuais, identificaram-se 45 postos virtuais, esquematicamente implantados na **Figura 4** e situados em vales e, especialmente, em cumeadas apresentando desníveis topográficos, em relação a postos reais adjacentes, sensivelmente superiores a 400 m.

Os postos virtuais foram designados em consonância com a nomenclatura aplicada aos postos reais, ou seja, mediante a indicação das quadrículas da malha alfanumérica associada à rede pluviométrica em que se inserem. Para distinguir os postos virtuais dos reais, precedeu-se a identificação das quadrículas de inserção daqueles primeiros postos da letra V.

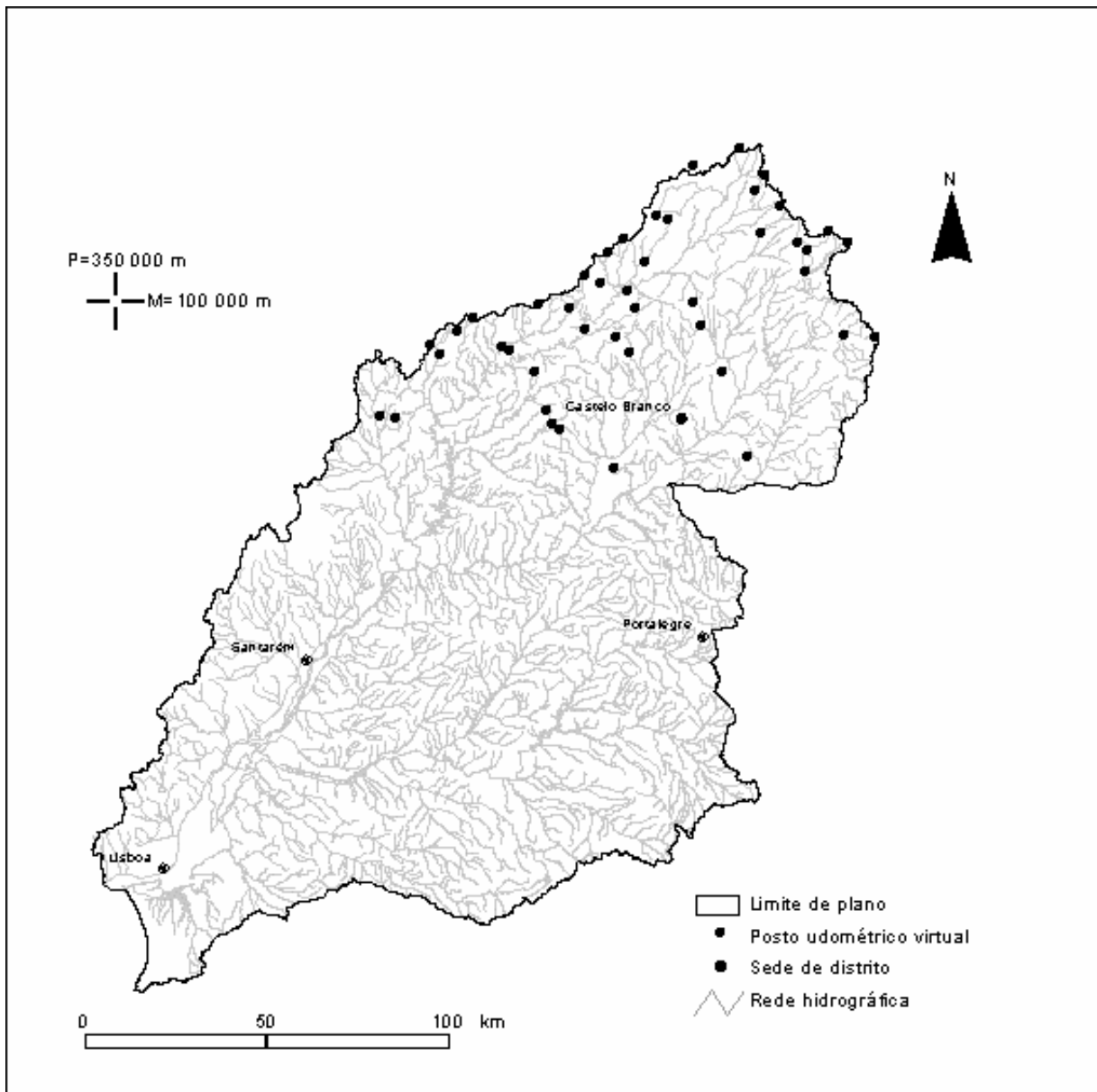


Figura 4 – Localização esquemática dos postos virtuais.

Regista-se que, por forma a dar expressão à maior precipitação que se julga ocorrer entre as bacias hidrográficas dos rios Ocreza e Ponsul, se reforçou localmente a da rede de postos virtuais que resultaria estritamente dos critérios apresentados em 2.5.2, mediante a inclusão de mais postos em cumeadas entre aquelas duas bacias hidrográficas. Para o efeito, admitiram-se desníveis topográficos entre postos virtuais e reais adjacentes ligeiramente inferiores ao limite mínimo anteriormente estabelecido de 400 m.

2.5.4 – Atribuição de precipitações anuais aos postos virtuais

Tendo em vista atribuir séries de precipitação anual, no período de 50 anos entre 1941/42 a 1990/91, aos 45 postos virtuais criados obtiveram-se, ano a ano e para cada uma das duas zonas em que prosseguiu o estudo, as equações de regressão linear entre as precipitações anuais registadas nos postos reais inseridos na mesma e as altitudes de tais postos. Os parâmetros de tais regressões, bem como os correspondentes coeficientes de correlação são apresentados no **Quadro A1.3**.

O valor mínimo do coeficiente de correlação adoptado no reconhecimento de uma relação significativa entre as precipitações em cada ano do período de estudo e as altitudes dos postos foi fixado em 0,60.

Com base nas anteriores regressões, a atribuição de uma precipitação anual a um posto virtual utilizou a equação de regressão precipitação anual/altitude estabelecida para a zona em que o posto de insere, no ano em causa. Nos anos em que o coeficiente de correlação de tal regressão foi inferior ao limite fixado de 0,60, aplicou-se a equação de regressão obtida para essa mesma zona entre a precipitação anual média e a altitude, já apresentada no **Quadro 5**.

Regista-se que a existência de correlação entre a precipitação anual e a altitude foi rejeitada, na região entre os rios Nabão e Ocreza, em catorze anos e, na região entre os rios Ocreza e Erges, em sete anos, anos em que se foram utilizadas as respectivas regressões anuais médias.

2.5.5 – Atribuição de séries de precipitação mensal aos postos virtuais

As precipitações mensais num posto virtual, num dado ano, foram obtidas considerando, para esse posto, uma repartição da precipitação anual igual à verificada, no mesmo ano, num posto udométrico real adjacente. Havendo dois postos reais suficientemente próximos do virtual em causa, a repartição da precipitação anual em mensal no posto virtual utilizou as médias dos coeficientes de repartição relativos aos dois postos reais adjacentes. No **Quadro A1.4** do **Apêndice A1**, especificam-se os postos udométricos utilizados na atribuição de precipitações mensais aos postos virtuais.

2.6 – Identificação da rede de postos pluviométricos a considerar no prosseguimento do estudo

No **Quadro 6** sistematiza-se a redução que o número de postos udométricos sofreu, desde o número inicial de 286 postos com registos recolhidos até ao número final de 154 postos que efectivamente sustentaram a caracterização pluviométrica da zona do PBH do Rio Tejo e a generalidade dos estudos subsequentes em que intervieram dados mensais e anuais de precipitação.

Postos inseridos		Número total de postos	Observação
Na bacia hidrográfica do rio Tejo	Em zonas contíguas		
199	87	286	Postos com registos recolhidos
94	49	143	Postos com mais de 30 anos de registos
80	41	121	Postos com qualidade dos dados não rejeitada
73	36	109	Postos com séries mensais preenchidas
118	36	154	Número final de postos, incluindo a rede virtual

Quadro 6 – Número de postos sucessivamente seleccionados para a caracterização pluviométrica da zona do PBH do Rio Tejo.

No **Quadro A1.1** do **Apêndice A1** estão também identificados os postos sucessivamente abandonados e as razões desse abandono, bem como a rede udométrica real em que, efectivamente, se apoiaram os estudos do PBH do Rio Tejo. A esta rede acrescem os 45 postos udométricos virtuais identificados no **Quadro A1.4**.

A figura seguinte, obtida por simplificação da **Figura A2.4** do **Apêndice A2**, contém a localização esquemática da rede de postos virtuais e reais considerada no prosseguimento dos estudos do PBH do Rio Tejo.

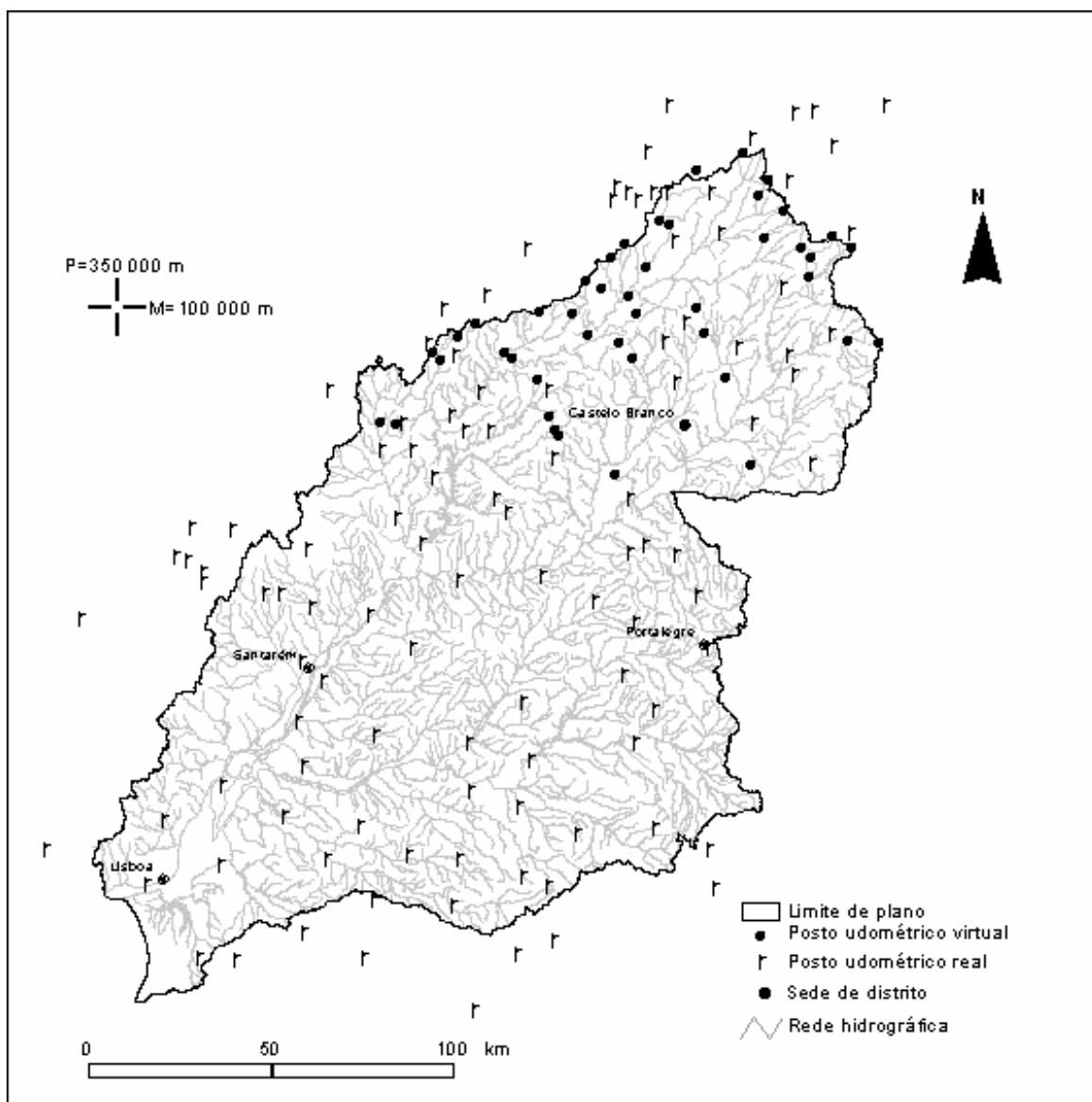


Figura 5 – Localização esquemática dos postos reais e virtuais.

2.7 – Tratamento estatístico das séries de precipitação anual e mensal

2.7.1 – Considerações prévias

A caracterização pluviométrica, a nível anual e, também, a nível mensal da bacia hidrográfica do rio Tejo utilizou, conforme referido, séries de precipitação em 154 postos reais e virtuais no período de 50 anos entre 1941/42 a 1990/91. Para os anteriores postos calcularam-se as precipitações anuais e mensais médias e associadas a diferentes períodos de retorno, com base nas quais obtiveram, por meio do SIG do PBH do Rio Tejo, as superfícies de precipitação que caracterizam a variação espacial da variável hidrológica em causa.

Os períodos de retorno considerados nos anteriores cálculos foram de 5, 10, 25, 50, 100, 500 e 1 000 anos a que correspondem as probabilidades de não excedência de 80,0%, 90,0%, 96,0%, 98,0%, 99,0%, 99,8% e 99,9%, respectivamente. Por fim, estimaram-se, para a zona em questão, os valores ponderados correspondentes às precipitações anuais e mensais consideradas. Regista-se que a nível anual e com carácter de exemplo, se incluíram resultados também para o período de retorno de 2 anos (probabilidade de não excedência de 50,0%) o qual, em amostras como as analisadas, apresentando assimetrias pequenas, conduz a estimativas muito próximas das respectivas médias.

Na concretização dos anteriores cálculos, sistematizaram-se as séries de precipitação nos 154 postos considerados e procedeu-se ao cálculo das correspondentes estatísticas amostrais, designadamente das médias, dos desvio-padrão e dos coeficientes de assimetria.

As estimativas, em cada posto, das precipitações anuais e mensais associadas aos diferentes períodos de retorno adoptados utilizou a lei de Pearson III ou a lei Normal, consoante a assimetria da correspondente amostra de registos anuais fosse ou não significativamente diferente de zero.

Para apreciar em que medida a assimetria de cada amostra de precipitações anuais podia ser ou não considerada significativamente diferente de zero utilizou-se o teste de normalidade proposto por Snedecor and Cochran, 1967, in Salas, J. D., Delleur, J. W., Yevjevich, V. and Lane, W. L., 1980, *Applied modeling of hydrologic time series*, p. 93, Water Resources Publicatios, Colorado, cuja descrição se apresenta no **Apêndice A5**.

O cálculo, de acordo com a lei aplicável – lei normal ou lei Pearson III, consoante o resultado do teste de Snedecor e Cochran –, das estimativas dos valores das precipitações anuais e mensais associadas, em cada posto udométrico, aos períodos de retorno considerados utilizou a inversão

numérica da função de distribuição em causa, de acordo com os procedimentos que se descrevem no **Apêndice A6**.

2.7.2 – Precipitações anuais

O **Quadro A1.5** do **Apêndice A1** contém, para a totalidade dos 154 postos analisados, as características estatísticas das respectivas séries de precipitações anuais, bem como as estimativas da precipitação anual para os períodos de retorno adoptados.

Nas **Figuras A2.5 a A2.8**, do **Apêndice A2**, apresentam-se, a título de exemplo, as superfícies de precipitação relativas às precipitações anual média e para os períodos de retorno de 10, 100 e 1000 anos, geradas pelo SIG a partir da distribuição discreta de precipitações nos 154 postos da rede pluviométrica. No **Quadro 7** sistematizam-se as precipitações que, assim, decorrem para a zona do PBH do Rio Tejo.

Período de retorno (anos)	Probabilidade de não excedência (%)	Precipitação anual na bacia hidrográfica do rio Tejo (mm)
-	-	866 ⁽¹⁾
2	50,0	865
5	80,0	1 060
10	90,0	1 161
25	96,0	1 270
50	98,0	1 340
100	99,0	1 404
500	99,8	1 532
1000	99,9	1 582

⁽¹⁾ Precipitação anual média

Quadro 7 – Precipitações anuais na bacia hidrográfica do rio Tejo.

No **Quadro 8** apresenta-se a série de valores da precipitação anual na zona do PBH do Rio Tejo, constando o respectivo diagrama cronológico da **Figura 6**, que se lhe segue. Na **Figura 7** apresenta-se um histograma da frequência de valores da precipitação anual na bacia hidrográfica, para o que foram consideradas classes com 100 mm de amplitude (com excepção das classes mais baixa e mais alta, com menor amplitude).

Anos	Precipitação anual (mm)	Anos	Precipitação anual (mm)	Anos	Precipitação anual (mm)
1941/42	830,4	1958/59	1019,2	1975/76	660,4
1942/43	1007,2	1959/60	1261,1	1976/77	963,8
1943/44	614,3	1960/61	1008,9	1977/78	1102,5
1944/45	531,8	1961/62	939,3	1978/79	1180,6
1945/46	983,6	1962/63	1107,7	1979/80	776,1
1946/47	991,2	1963/64	1170,9	1980/81	576,9
1947/48	815,1	1964/65	629,7	1981/82	794,4
1948/49	617,1	1965/66	1268,9	1982/83	529,1
1949/50	771,5	1966/67	762,8	1983/84	963
1950/51	865,9	1967/68	723,8	1984/85	1033,9
1951/52	952,1	1968/69	1233,1	1985/86	797
1952/53	568,8	1969/70	943,9	1986/87	805,4
1953/54	761,3	1970/71	804,7	1987/88	1012,5
1954/55	782,6	1971/72	739,5	1988/89	607
1955/56	1241,5	1972/73	822,3	1989/90	1083,1
1956/57	649,5	1973/74	783,2	1990/91	844,3
1957/58	761,3	1974/75	635,7		

Quadro 8 – Precipitações anuais na zona do PBH do Rio Tejo entre 1941/42 e 1990/91.

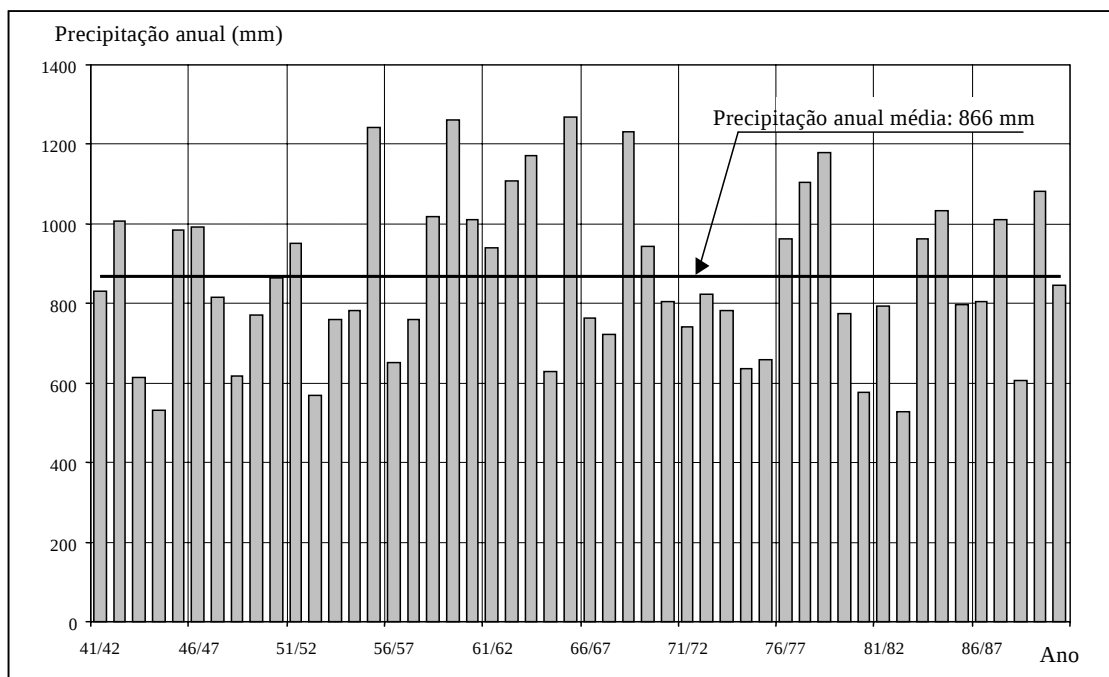


Figura 6 – Diagrama cronológico das precipitações anuais na zona do PBH do Rio Tejo entre

1941/42 e 1990/91.

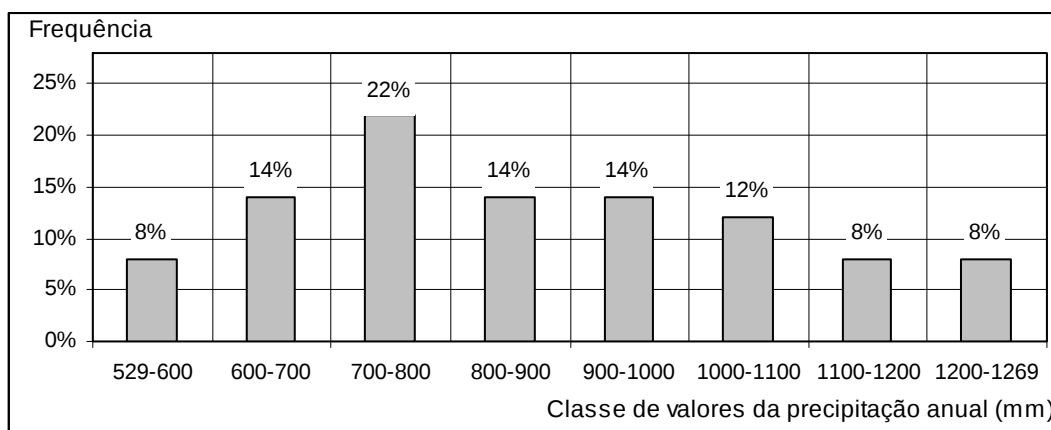


Figura 7 – Histograma das frequências relativas da precipitação anual na zona do PBH do Rio Tejo (de 1941/42 a 1990/91).

A análise das anteriores elementos permite verificar que o ano com menores precipitações foi o de 1982/83 (529 mm), seguido do ano de 1944/45 (com 531 mm). Este último ano foi, contudo, antecedido por um ano muito seco (1943/44, com 614 mm), situação que agravou a carência de água em 1944/45. Os anos mais húmidos foram os de 1965/66 (1269 mm) e de 1959/60 (1261 mm).

O maior período de anos consecutivos com precipitação anual inferior à média ocorreu entre 1970/71 e 1975/76 (média da precipitação anual neste período de 741 mm). Regista-se que ocorreram dois períodos de quatro anos consecutivos também com precipitação anual inferior à média: entre 1947/48 e 1950/51 (média de 767 mm) e entre 1979/80 e 1982/83 (média de 669 mm).

O maior período de anos consecutivos com precipitação anual superior à média registou-se entre 1958/59 e 1963/64 (média da precipitação anual neste período de 1085 mm).

Por último, observa-se que os valores mais frequentes da precipitação anual se concentram entre os 600 mm e os 1100 mm, representando cerca de 74% das ocorrências.

Nos termos do Guia do PBH do Rio Tejo e conforme se aborda com maior detalhe no **item 2.9**, a caracterização da distribuição espacial da precipitação anual média e associada aos

diferentes períodos de retorno foi efectuada com recurso ao SIG, tendo resultado da aplicação, aos valores discretos das estimativas da precipitação nos postos, do procedimento designado por IDW (*Inverse Distance Weighting*).

Por forma a alcançar traçados para as isoietas mais conformes com caracterizações pluviométricas disponíveis para a zona do PBH do Rio Tejo e antecedendo a obtenção dos resultados exemplificados nas **Figuras A2.5 a A2.8**, ensaiaram-se diferentes valores do coeficientes de ponderação que intervém no método IDW.

Tal pesquisa, não conduziu, contudo, à identificação de um coeficiente de ponderação que atenuasse as singularidades de traçado das isoietas a que a utilização do SIG conduziu, como se pode verificar na **Figura 8** em que, a título de exemplo, se compara a distribuição espacial que decorreu para a precipitação anual média na bacia hidrográfica do rio Tejo dos coeficientes de ponderação de 2 - Figura 8 a) - e de 3 – Figura 8 b). Observa-se que um coeficiente de ponderação unitário corresponde à aplicação do método de Thiessen.

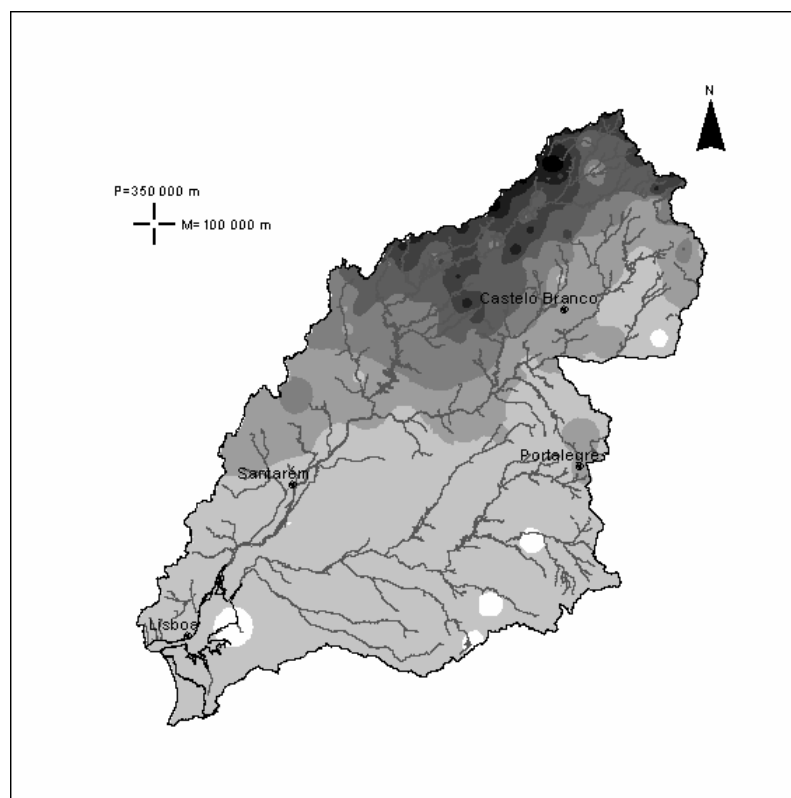
Face aos anteriores resultados, adoptou-se o valor único de 2 para o coeficiente de ponderação, pelo que a Figura 8 a) deu origem à **Figura A2.5** do **Apêndice 2**.

A análise, em termos globais, dos mapas de isolinhas anuais exemplificados nas **Figuras A2.5 a A2.8** permite identificar duas zonas com variações distintas, separadas pelo paralelo passando sensivelmente por Portalegre (distância à perpendicular de cerca de $P=260\,000$ m) ou, em termos anuais médios, um pouco mais a norte.

De facto, a zona a sul de tal limite e que pode representar mais de 50% da área da bacia hidrográfica do rio Tejo, apresenta menor variação da precipitação, ou seja, sugere uniformidade espacial do ponto de vista da variável hidrológica em questão. É também esta a zona em que sistematicamente ocorrem as menores precipitações anuais.

A norte do mesmo limite, as precipitações anuais denotam acréscimos progressivos, desde os mínimos na fronteira com a zona a sul, até à região da Serra as Estrela, onde se registam sempre as mais elevadas precipitações anuais que, em parte, decorreram também da inclusão aí de postos virtuais.

a)



b)

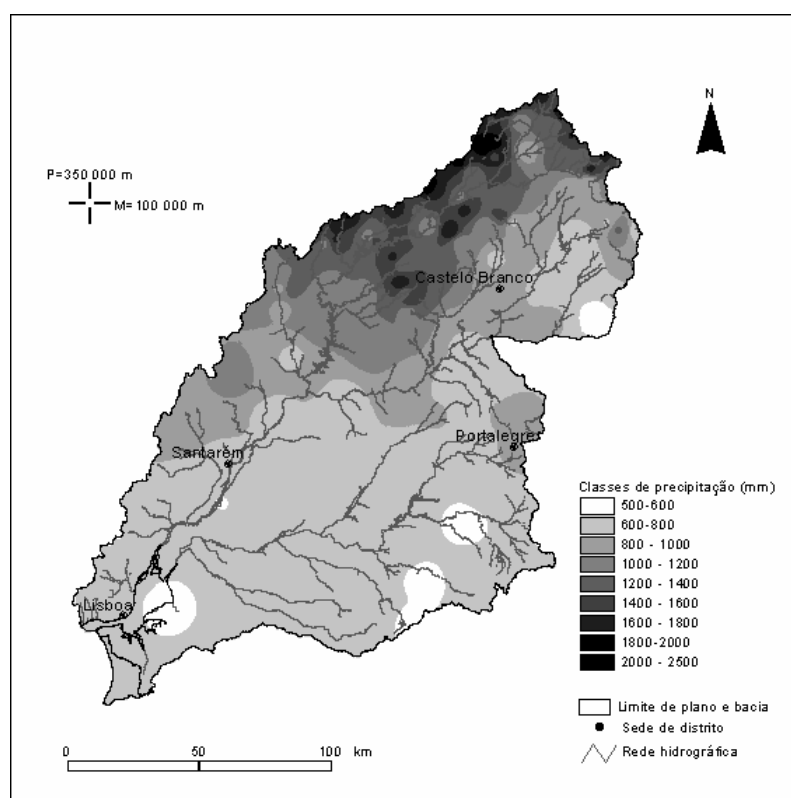


Figura 8 – Precipitação anual média obtida por interpolação espacial de acordo com o método IDW com factor de ponderação: a) 2 e b) 3.

Em termos anuais médios, verifica-se que a precipitação na zona a sul do limite em questão varia entre 600 e 800 mm, atingindo, a norte do mesmo limite, valores máximos próximos de 2 000 mm. Concluiu-se, assim, que à uniformidade espacial da precipitação na zona sul da bacia hidrográfica do rio Tejo (e que sugere homogeneidade do ponto de vista hidrológico) se associam valores daquela variável significativamente inferiores aos máximos registados na zona norte da bacia.

2.7.3 – *Precipitações mensais*

Em cada posto udométrico, o tratamento estatístico das séries de precipitação relativas a cada um dos meses do ano hidrológico utilizou uma metodologia coincidente com a aplicada às séries de precipitação anual. Os resultados obtidos são também equivalentes aos anteriormente especificados para aquele outro nível temporal:

- em cada posto, características estatísticas das séries de precipitação nos sucessivos meses do ano (médias, desvio-padrão e coeficientes de assimetria) e correspondentes estimativas das precipitações mensais para os períodos de retorno de 5, 10, 25, 50, 100, 500 e 1000 anos;
- para a zona do PBH do Rio Tejo e mês a mês, superfícies associadas à média da precipitação e às precipitações para os períodos de retorno adoptados.

O **Quadro A1.6** contém os primeiros dos anteriores elementos. No que respeita às precipitações mensais na bacia hidrográfica do rio Tejo, os resultados disponíveis para integrar no SIG foram exemplificados apenas mediante a inclusão no **Apêndice A2** de uma figura por mês, relativa à média da precipitação nesse mês – **Figuras A2.9 a A2.20**.

No **Quadro 9** sistematizam-se as precipitações mensais que, assim, se obtiveram para a zona do PBH do Rio Tejo.

A variabilidade mensal da precipitação expressa pelos resultados do anterior quadro está representada na **Figura 9**.

Mês	Precipitação mensal							
	Média	Período de retorno (anos) / probabilidade de não excedência (%)						
		5 / 80,0	10 / 90,0	25 / 96,0	50 / 98,0	100 / 99,0	500 / 99,8	1000 / 99,9
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Outubro	86	138	182	236	276	315	405	443
Novembro	114	176	225	285	329	371	467	508
Dezembro	123	193	252	325	378	431	550	601
Janeiro	118	184	232	291	333	373	463	501
Fevereiro	110	177	227	286	328	369	458	495
Março	99	158	191	228	252	274	320	338
Abril	72	110	138	172	197	222	277	301
Maiο	59	95	121	154	177	120	251	272
Junho	30	50	71	99	121	142	194	217
Julho	7	14	22	34	44	54	79	90
Agosto	8	15	23	36	46	56	83	95
Setembro	39	67	96	124	148	171	224	246

Quadro 9 – Precipitações mensais na zona do PBH do Rio Tejo.

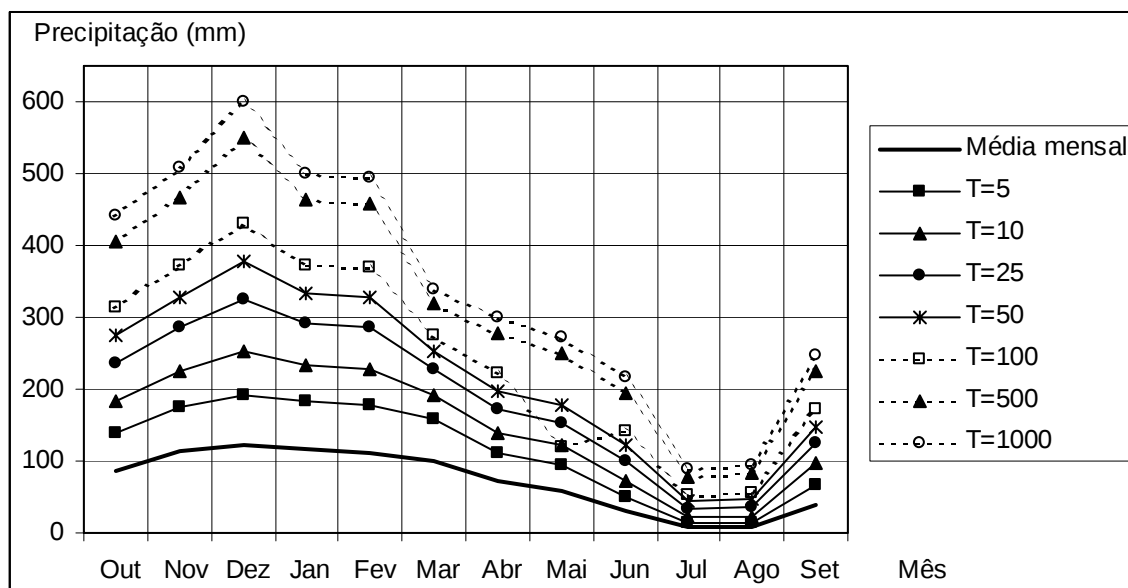


Figura 9 – Representação gráfica das precipitações mensais na zona do PBH do Rio Tejo.

No **Quadro 10** apresenta-se a série de valores mensais da precipitação na zona do PBH do Rio Tejo.

Regista-se que a obtenção de tais precipitações pressupõe uma intensa e demorada utilização do SIG do PBH do Rio Tejo, designadamente o seu carregamento num total de 600 vezes, cada uma fornecendo como resultado um único valor da precipitação mensal na bacia hidrográfica: o valor relativo ao mês e ao ano a que se referiam os dados introduzidos para os 154 postos da rede udométrica final.

Na **Figura 10** apresenta-se um histograma da frequência de valores da precipitação mensal na bacia hidrográfica, para o que foram consideradas classes com 10 mm de amplitude.

A análise da anterior figura permite concluir que apenas as duas primeiras classes se evidenciam pela incidência de valores da precipitação mensal nas mesmas. Em cerca de 50% dos meses ocorrem precipitações mensais inferiores a 50 mm e apenas em 10% dos meses se esperam precipitações superiores a 180 mm.

	Precipitações mensais (mm)												
	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Ano
1941/42	5,3	157,7	19,0	77,5	49,6	231,1	130,5	40,8	27,6	1,0	12,2	78,3	831
1942/43	123,8	83,8	178,9	214,3	34,6	154,2	70,7	9,8	2,4	25,3	0,7	108,7	1007
1943/44	104,2	24,2	118,8	6,0	34,2	61,5	135,7	23,7	49,4	13,8	30,5	13,7	616
1944/45	75,6	120,2	99,6	48,8	15,4	34,2	45,4	62,9	20,4	4,4	3,2	1,8	532
1945/46	94,4	124,2	223,7	62,1	30,2	119,2	109,5	182,5	15,7	1,1	3,8	17,4	984
1946/47	60,3	87,4	48,8	112,3	335,9	211,0	40,3	39,8	8,6	1,0	5,9	39,7	991
1947/48	71,7	46,5	105,7	230,0	94,8	68,1	60,3	119,0	6,0	0,7	7,9	4,3	815
1948/49	57,0	11,4	186,2	42,6	12,6	49,6	44,8	23,5	30,1	3,2	3,3	152,9	617
1949/50	50,2	114,1	122,4	41,6	101,5	82,8	15,3	167,1	43,5	13,4	0,7	19,0	772
1950/51	37,9	74,4	88,8	133,8	159,0	179,2	50,4	64,3	29,9	7,4	5,5	35,3	866
1951/52	49,8	248,9	50,5	72,8	30,1	186,1	63,8	103,6	52,0	16,3	14,8	63,4	952
1952/53	61,6	94,9	98,2	57,1	38,2	53,9	75,5	17,7	10,2	1,3	0,3	59,8	569
1953/54	156,0	86,0	154,6	35,4	34,0	184,5	65,2	22,9	17,0	1,7	3,6	0,6	762
1954/55	16,1	126,7	48,3	242,5	178,8	75,6	17,6	40,6	23,9	0,9	9,7	1,9	783
1955/56	57,3	206,8	194,7	181,3	58,2	219,9	136,1	60,8	2,0	3,2	35,8	85,6	1242
1956/57	87,7	29,3	65,8	26,7	143,0	108,0	46,8	69,6	23,1	8,8	5,2	35,6	650
1957/58	22,4	99,5	86,9	199,3	71,3	135,2	48,7	18,6	41,6	8,2	20,6	8,9	761
1958/59	45,6	17,7	314,1	141,4	48,5	196,8	84,0	87,7	3,2	0,8	6,4	73,0	1019
1959/60	99,3	187,3	208,6	123,2	195,8	173,9	60,9	117,1	27,3	1,0	12,3	54,5	1261
1960/61	248,9	179,9	117,1	82,8	23,0	60,6	87,1	101,1	42,6	8,1	2,1	55,5	1009
1961/62	65,2	220,5	160,5	118,4	44,2	196,0	43,9	17,1	28,9	0,5	0,0	44,2	939
1962/63	93,2	84,6	67,9	285,2	207,3	121,4	123,1	47,7	54,2	0,8	0,3	22,0	1108
1963/64	47,4	295,9	246,5	44,6	208,2	168,9	33,4	29,1	47,7	11,6	4,4	33,1	1171
1964/65	24,6	34,7	64,5	136,0	114,7	128,2	8,6	15,2	5,3	1,4	0,2	96,5	630
1965/66	217,2	189,4	99,2	215,2	269,9	3,6	208,3	10,8	21,7	2,1	12,5	33,8	1284
1966/67	210,2	63,2	30,0	97,9	120,8	58,5	58,7	74,2	31,5	0,1	8,1	9,7	763
1967/68	50,0	143,8	14,6	3,0	242,7	80,4	90,5	53,4	4,7	0,6	11,0	29,2	724
1968/69	66,9	225,3	134,1	164,6	173,0	214,8	39,6	96,0	40,0	5,8	1,0	72,1	1233
1969/70	105,4	109,4	56,2	399,9	21,9	19,8	13,8	107,0	100,6	0,5	7,9	1,6	944
1970/71	5,2	100,8	44,7	181,6	9,6	61,4	165,2	124,9	75,8	19,6	14,5	1,5	805
1971/72	10,2	12,8	42,7	181,3	257,9	108,7	15,4	30,7	7,4	20,8	0,5	51,2	740
1972/73	164,0	63,7	167,6	147,2	24,4	27,2	21,4	127,9	31,5	23,8	0,3	23,2	822
1973/74	63,3	109,7	92,4	142,8	122,1	50,7	60,1	52,0	86,4	1,0	0,0	2,9	783
1974/75	4,5	85,7	31,2	83,1	112,8	179,2	28,0	57,2	16,2	0,2	0,3	37,4	636
1975/76	37,9	42,9	77,9	59,4	92,5	51,5	102,7	10,8	22,4	12,7	44,2	105,6	661
1976/77	127,9	111,0	170,4	180,8	201,4	27,0	22,3	30,6	50,4	16,0	7,5	18,6	964
1977/78	151,9	102,0	235,2	85,0	205,9	83,8	95,2	76,5	44,5	1,7	0,2	20,6	1103
1978/79	52,4	56,0	357,2	172,8	267,1	124,9	88,6	18,4	15,9	15,0	0,8	11,5	1181
1979/80	284,0	35,6	58,6	62,9	70,5	79,0	65,3	66,9	16,5	4,0	16,7	16,1	776
1980/81	61,3	95,1	17,0	1,8	54,5	99,0	107,3	69,1	18,1	9,9	5,3	40,1	579
1981/82	68,8	1,3	312,5	89,5	78,8	23,8	43,4	42,4	17,7	8,2	18,5	89,5	794
1982/83	31,7	120,1	57,7	3,6	72,6	4,4	133,7	71,9	17,7	5,4	5,2	5,2	529
1983/84	47,4	353,5	138,7	60,0	13,7	113,1	73,8	77,9	61,3	7,2	7,3	9,2	963
1984/85	95,3	193,0	89,3	197,4	196,9	39,9	133,0	54,2	23,4	4,9	0,1	6,5	1034
1985/86	5,2	149,8	139,2	105,4	183,1	22,7	60,1	16,9	8,2	0,8	2,9	102,7	797
1986/87	49,7	74,9	57,8	183,8	144,1	53,6	102,8	14,4	8,6	15,8	21,2	78,7	805
1987/88	150,1	50,0	200,8	173,2	61,5	7,4	81,1	91,2	141,8	47,8	0,3	3,7	1009
1988/89	131,0	101,9	14,7	45,8	79,8	37,3	83,8	80,2	7,0	0,5	7,6	17,4	607
1989/90	122,0	271,1	390,8	85,7	31,1	32,4	96,5	16,5	2,6	3,3	13,0	21,4	1086
1990/91	232,7	116,3	55,3	80,3	120,5	154,0	26,1	2,9	15,8	3,2	4,2	32,9	844
Média	86,0	114,7	123,1	118,4	109,8	99,2	72,3	59,1	30,0	7,3	8,0	39,0	867

Quadro 10 – Precipitações mensais na zona do PBH do Rio Tejo entre 1941/42 e 1990/91.

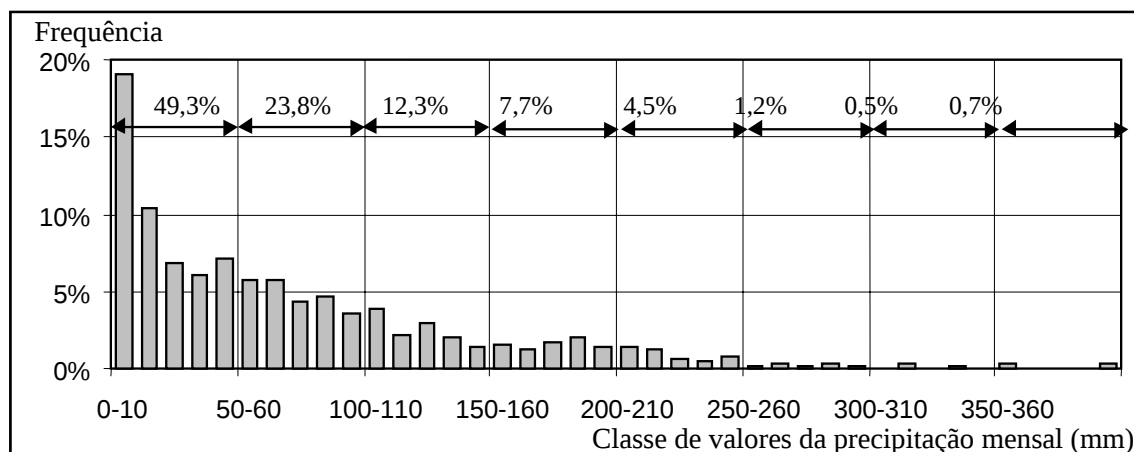


Figura 10 – Histograma das frequências relativas da precipitação mensal na zona do PBH do Rio Tejo (de 1941/42 a 1990/91).

Da demais caracterização efectuada concluiu-se, como representado aliás na **Figura 11**, que a repartição mensal média da precipitação na bacia hidrográfica do rio Tejo não difere significativamente da registada para a generalidade do País, ocorrendo cerca de 75% da precipitação no semestre húmido e somente os 25% remanescentes, no semestre seco.

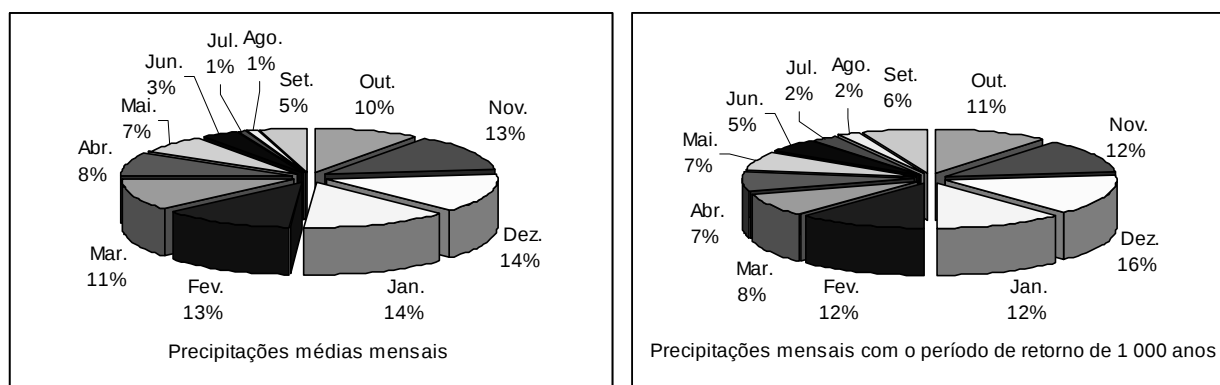


Figura 11 – Repartição percentual das precipitações médias mensais e associadas ao período de retorno de 1 000 anos.

Com o aumento do período de retorno, a diferença entre as anteriores percentagens atenua-se ligeiramente: por exemplo para o período de retorno de 1 000 anos, estima-se que a percentagem da precipitação relativa ao semestre húmido decresça para cerca de 70%.

Em termos mensais médios, verifica-se que os meses mais chuvosos são os de Janeiro e Dezembro, com cerca de 14% da precipitação anual média, seguido dos meses de Novembro e de Fevereiro, com cerca de 13 % daquela precipitação, e dos meses de Março e Outubro, com sensivelmente 11% da mesma precipitação (ou um pouco mais em Outubro). Em termos médios, os meses menos chuvosos são dos Julho e Agosto – com menos de 1% da precipitação anual média – a que se seguem Junho (3%) e Setembro (5%).

A análise das **Figuras A2.9 a A2.20** relativas à distribuição espacial na zona do PBH do Rio Tejo da precipitação média em cada mês permite verificar que nos meses de Verão existe uma acentuada uniformidade espacial dos valores da variável hidrológica em questão, consequência das reduzidíssimas precipitações que caracterizam tal período.

A distribuição espacial da precipitação média nos meses mais chuvosos reforça, em parte, a identificação, já detectada quando da análise da precipitação anual, de duas zonas com variações distintas, separadas pela isolinha dos 100 mm que, nos meses mais chuvosos de Novembro, se insere sensivelmente à latitude de Portelegre (distância à perpendicular de cerca de $P=260\,000$ m) deslocando-se para norte nos meses de transição (latitude de Castelo Branco, com distância à perpendicular de cerca de $P=320\,000$ m). A norte do anterior limite regista-se o acréscimo progressivo das precipitação, desde o mínimo na fronteira com a zona a sul até ao máximo que ocorre sempre na zona da Serra as Estrela.

2.8 – Precipitações máximas diárias anuais

Tendo em vista caracterizar as precipitações intensas na zona abrangida pelo PBH do Rio Tejo, procedeu-se à recolha de séries de precipitações máximas diárias anuais, a que se seguiu a sua análise, mediante o tratamento estatístico das amostras recolhidas, com vista à determinação, em cada posto e para a zona em causa, dos valores daquelas precipitações para os períodos de retorno adoptados nos estudos pluviométricos: 5, 10, 25, 50, 100, 500 e 1000 anos.

A recolha de registos de precipitações máximas diárias anuais foi efectuada para os 121 postos reais que, de acordo com os estudos precedentes, se concluiu possuírem amostras de precipitação anual consideradas de qualidade e abrangendo um período superior ou igual a 30 anos – **Quadro 6**. De entre tais postos, seleccionaram os que apresentavam mais de 30 registos máximos diários anuais, independentemente de tais registos constituírem ou não séries contínuas. Nestas circunstâncias foram identificados os 118 postos indicados no **Quadro A1.7**.

O estudo estatístico das séries de precipitações máximas diárias anuais em cada um dos anteriores postos pressupôs a determinação de algumas das estatísticas amostrais (designadamente da média e do desvio-padrão) e utilizou somente a lei de Gumbel.

De facto, estudos recentes sobre precipitações intensas em postos udométricos do território português, Brandão Pereira, C., 1995, *Análise de precipitações intensas*, Dissertação de Mestrado, IST, Lisboa, indicam que “...a distribuição de Gumbel é aquela que melhor se ajusta às séries de dados e, como tal, a que melhor caracteriza o fenómeno da precipitação intensa”. A obtenção das estimativas das precipitações máximas diárias anuais de acordo com a lei em causa é apresentada no **Apêndice A6**.

O **Quadro A1.8** do **Apêndice A1** contém os resultados da análise estatística das séries de precipitação máxima diária anual nos postos seleccionados, aí identificados, constando da **Figura A2.21** as isolinhas da precipitação máxima diária anual média.

Não obstante exceder o âmbito estabelecido nos documentos que estipulam os elementos a incluir no SIG do PBH do Rio Tejo, obtiveram-se também as superfícies de precipitação máxima diária anual associadas aos valores médios e aos períodos de retorno adoptados. Tais superfícies são apresentadas a título de exemplo para os períodos de retorno de 10, 100 e 1000 anos – **Figuras A2.22 a A2.24** do **Apêndice A2**.

No **Quadro 11** sistematizam-se as precipitações máximas diárias anuais que, assim, decorreram para a zona do PBH do Rio Tejo.

Período de retorno (anos)	Probabilidade de não excedência (%)	Precipitação máxima diária anual na bacia hidrográfica do rio Tejo (mm)
-	-	52,8 ⁽¹⁾
5	80,0	66,2
10	90,0	77,1
25	96,0	90,8
50	98,0	101,0
100	99,0	111,2
500	99,8	134,6
1000	99,9	144,6

⁽¹⁾ Média da precipitação máxima diária anual

Quadro 11 – Precipitações máximas diárias anuais na zona do PBH do Rio Tejo.

A distribuição espacial dos valores médios e associados a diferentes períodos de retorno das precipitações máximas diárias anuais conduziu, à semelhança do verificado para as precipitações anuais e mensais, à identificação de uma zona sul da bacia, na qual as precipitações em análise apresentam menores valores e alguma uniformidade espacial.

2.9 – Inclusão dos resultados do estudo das precipitações no SIG. Produção de mapas de isolinhas

A informação necessária à caracterização pluviométrica da zona envolvida pelo PBH do Rio Tejo, bem como os resultados decorrentes do tratamento de tal informação, foram incluídos no SIG relativo ao PBH do Rio Tejo. A organização e simbologia para o efeito adoptada obedeceu ao estipulado em *Informação Cartográfica dos Planos de Bacia. Sistematização das Figuras e Cartas a imprimir em papel*, INAG, Outubro de 1998. A dimensão da célula de cálculo do modelo do tipo *RASTER* que suporta a obtenção de superfícies de precipitação foi fixada em 500x500 m².

Para cada um dos níveis temporais considerados (anual, meses do ano ou valores máximos diários anuais), a reconstituição espacial da precipitação, quer média, quer associada aos períodos de retorno adoptados, baseou-se na aplicação, aos valores discretos das estimativas da precipitação nos postos, do procedimento designado por IDW (*Inverse Distance Weighting*). A interpolação espacial utilizou os vinte postos mais próximos e o factor de ponderação foi

considerado igual a dois. Para fixar os valores destes dois parâmetros compararam-se os mapas de isolinhas da precipitação produzidos por sucessivos valores dos mesmos, tendo-se optado pelos que conduziram a traçados mais suaves e conformes com caracterizações pluviométricas disponíveis para a zona do PBH do Rio Tejo.

De acordo com as referências incluídas no decurso da apresentação do estudo das precipitações na zona do PBH do Rio Tejo, apresentam-se no **Apêndice A2** figuras contendo algumas das superfícies de precipitação que foram incluídas no SIG daquele Plano. Mais uma vez, se realça que a apresentação de tais figuras teve por objectivo deixar antever a informação que efectivamente integra aquele SIG. O elevado número de figuras, quadros e tabelas que constituem a totalidade dos elementos incluídos no SIG não foi estruturado para ser apresentado num documento escrito, mas antes para ser computacionalmente manipulado.

No entanto, optou-se por apresentar, no **Apêndice A7**, as séries de precipitação mensal nos 154 postos adoptados na caracterização pluviométrica na zona do PBH do rio Tejo, diferenciando-se, para os postos reais, os valores correspondentes a registos daqueles que resultaram de preenchimento.

3 – Análise de outras variáveis climatológicas

3.1 – Considerações prévias

Tendo em vista caracterizar as variáveis que, para além da precipitação, determinam o clima na zona do PBH do Rio Tejo e, fundamentalmente, proceder ao cálculo da evapotranspiração de referência naquela zona, procedeu-se à recolha e ao tratamento de registos mensais das temperaturas médias do ar (mensais, máximas e mínimas), da humidade relativa média do ar, da velocidade média do vento, da insolação e da nebulosidade em estações climatológicas com influência na bacia hidrográfica.

Com excepção da nebulosidade, as demais variáveis climatológicas são as necessárias ao cálculo da evapotranspiração de referência pelo método para o efeito indicado no Guia para a Elaboração do Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tejo, ou seja, pelo método de Penman-Monteith.

As estimativas da evapotranspiração de referência, intervindo em problemas de balanço hídrico, são indispensáveis à quantificação das necessidades de água em estudos de regadio. No âmbito dos estudos do PBH do Rio Tejo, foram igualmente imprescindíveis para a avaliação do escoamento na bacia hidrográfica, uma vez que o referido Guia estipula que tal avaliação se efectue por recurso ao modelo de precipitação-escoamento de Temez que requer como dado a evapotranspiração de referência.

A temperatura do ar, elemento meteorológico de relevante importância, mede-se com termómetros instalados em abrigos meteorológicos, com o reservatório à altura de 1,5 m acima do solo; os seus valores exprimem-se em graus Celsius (°C).

A distribuição espacial da temperatura do ar numa dada região é condicionada por factores tais como o relevo (altitude e exposição), a natureza do solo e o seu revestimento, a proximidade de grandes superfícies de água e o regime dos ventos. A temperatura média do ar num dado intervalo de tempo é calculada pela média das temperaturas máxima e mínima registadas nesse intervalo de tempo.

Os valores mais altos da temperatura do ar observam-se quando sobre a região sul da Península Ibérica se estabelece com persistência uma depressão de origem térmica que transporta na sua circulação massas de ar tropical continental, muito quente e seco, com origem nas regiões desérticas do norte de África. Os valores mais baixos, observam-se quando a Península é invadida por massas de ar polar continental, frio e seco, transportada na circulação de um extenso anticiclone situado sobre a Península Escandinava, o mar do Norte ou a Europa Central. De um modo geral, os valores médios da temperatura mensal variam com regularidade ao longo do ano, correspondendo os maiores valores aos meses de Julho a Setembro e os menores, a Dezembro ou a Janeiro.

A humidade relativa do ar é um dos elementos climáticos que definem o estado higrométrico do ar e representa a razão entre a massa de vapor de água que existe num determinado volume de ar húmido e a massa de vapor de água que, à mesma temperatura, aí deveria existir para que o ar estivesse saturado. Os seus valores exprimem-se em centésimos (%), correspondendo 0 ao ar seco e 100, ao ar saturado.

As variações da humidade relativa do ar são principalmente condicionadas pelas variações da temperatura e pela natureza das massas de ar no local, podendo admitir-se que uma variação da temperatura do ar provoca, em regra, uma variação da humidade relativa em sentido contrário. Assim, os valores mais baixos da humidade relativa do ar ocorrem normalmente nas primeiras horas da tarde e correspondem aos valores mais altos da temperatura do ar e os valores mais altos daquela humidade correspondem aos valores mais baixos da temperatura e ocorrem geralmente às primeiras horas da manhã. A variação diurna da humidade relativa do ar pode ser alterada, praticamente anulando-se se, na região, persistirem massas de ar húmido, grande nebulosidade ou precipitação.

Os parâmetros que descrevem o vento num local são o rumo, indicado pelo ponto da rosa dos ventos donde o vento sopra, e a velocidade, que pode ser expressa em km/h. Quando a velocidade é inferior a 1 km/h sem rumo determinável, diz-se que há calma.

A insolação é a variável climatológica que exprime o tempo de Sol descoberto, num determinado local e durante um dado intervalo de tempo. O seu valor expressa-se em horas. A insolação depende da latitude, da época do ano, da exposição ao Sol e da nebulosidade, do que resulta a sua variação entre locais.

Se uma massa de ar húmido arrefecer e a sua temperatura atingir a do ponto de orvalho do ar, o vapor de água condensa-se em pequenas partículas que ficam em suspensão na atmosfera, constituindo nuvens ou nevoeiros, conforme a condensação se der em altitude ou junto da superfície do globo. A formação de nuvens pode resultar da subida da massa de ar na atmosfera por convecção (nuvens de convecção), da subida de uma superfície frontal (nuvens frontais), da subida forçada pela presença de encostas (nuvens orográficas) ou da agitação produzida pela turbulência (nuvens de turbulência). O elemento climático nebulosidade é a quantidade de nuvens no céu num dado local e hora.

A nebulosidade apresenta, em regra, uma variação diurna nítida, que resulta em grande parte da formação de nuvens por convecção. Durante a manhã, o solo aquece por absorção da radiação solar, a camada de ar junto ao solo torna-se instável e estabelecem-se correntes de convecção; a instabilidade da atmosfera é máxima depois do meio-dia e a nebulosidade é máxima à tarde; a seguir, a instabilidade diminui, as correntes de convecção enfraquecem, as nuvens dissipam-se gradualmente e a nebulosidade torna-se mínima ao princípio da noite.

3.2 – Recolha de registos. Selecção das estações climatológicas

Numa primeira etapa, procedeu-se ao reconhecimento geral da rede climatológica com influência na zona do PBH do Rio Tejo e áreas confinantes, por forma a identificar as estações que, dispondo de registos mensais das variáveis climatológicas anteriormente identificadas, permitissem o cálculo mensal da evapotranspiração de referência.

Tal reconhecimento foi efectuado por consulta dos anuários climatológicos publicados pelo Instituto de Meteorologia (IM) até 1988 e conduziu à pré-selecção de 34 estações climatológicas, com influência na zona do PBH do Rio Tejo.

Regista-se que, dada a escassez de estações meteorológicas em certas regiões da bacia, se incluíram, nas estações pré-seleccionadas, as de Coimbra/Geofísico (12G/01), Alcobaça/Estação de Fruticultura (16D/06), Dois Portos (19B/02) e Évora-Torre do Setório (22J/01), em zonas confinantes com a bacia hidrográfica.

Os dados climatológicos nas anteriores estações foram integralmente digitalizados. Para o efeito, adoptou-se o período de 30 anos, iniciado em 1959 e terminando em 1988, último ano

para o qual se dispõe de registos em formato de papel. Amostras desta dimensão são reconhecidas como adequadas à caracterização, em termos estatísticos, de variáveis climatológicas pois admite-se que incorporaram a variabilidade temporal que caracteriza aquelas variáveis.

Observa-se que, uma vez que geralmente se considera que os valores da humidade relativa medidos às 09 h TUC representam, como boa aproximação, a média dos valores das 24 horas diárias, somente tais registos foram recolhidos. Dado, contudo, que para a estação climatológica de Évora-Torre do Sertório apenas estão disponíveis os valores da humidade relativa às 06 h e 12 h, optou-se por, neste caso, recolher as médias dos registos relativos a estas duas medições.

No **Quadro A1.9** do **Apêndice A1** indicam-se algumas características das 34 estações climatológicas para as quais se procedeu à digitalização de registos, designadamente a identificação (código e nome), a altitude e as coordenadas de localização (coordenadas cartográficas, distância à meridiana, M, e distância à perpendicular, P, e geográficas, latitude e longitude).

A **Figura 12** contém a implantação esquemática das estações climatológicas do **Quadro A1.9**.

Na **Figura A2.25** do **Apêndice A2** sistematizam-se, para cada uma das anteriores estações climatológicas e por meio de gráficos de barras, os períodos em que se dispõe de registos de cada uma das variáveis climatológicas em consideração.

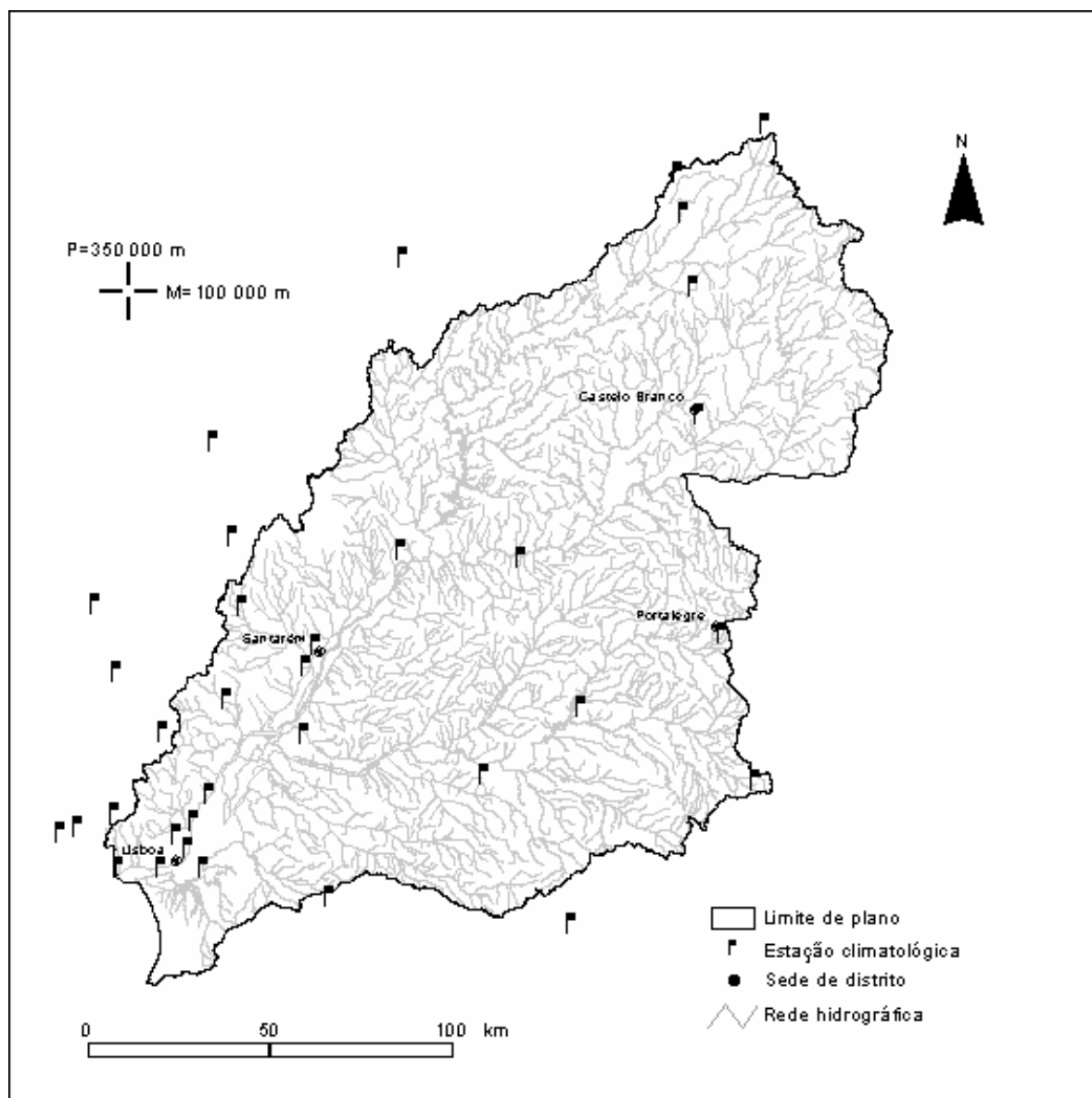


Figura 12 – Localização esquemática das 34 estações climatológicas do IM com registos digitalizados.

Com base na análise da informação recolhida, concluiu-se ser possível prosseguir os estudos apenas com 12 das 34 estações meteorológicas cujos registos se digitalizaram. A selecção das restantes 22 estações não foi possível pois:

- Apresentam total ausência de registos em muitos dos anos do período de 30 anos seleccionado – estações de S. Pedro de Moel (15C/01), Vimeiro (18B/05), Benavila (19J/02), Alverca-Base Aérea (20C/06), Colares-Sarraço (21A/01) e Sacavém (21C/03).

- Exibem muitas falhas ou mesmo ausência de registos em vários anos consecutivos, com ênfase para a insolação e/ou nebulosidade – estações de Cabo da Roca (21A/03), Sassoeiros (21B/03) e Cabo Ruivo (21C/04) – ou para a velocidade do vento – Tancos-Base Área (17G/01), Ota (19D/01) e Montijo-Base Área (21C/07) – ou para ambas as variáveis – Castelo Branco (15M/01).
- Não apresentam registos de uma ou mais variáveis, normalmente insolação e/ou nebulosidade e/ou velocidade do vento – estações de Guarda (10N/03), Penhas da Saúde (12L/02), Rio Maior (17D/02), Fonte Boa (18E/02), Mora (20H/01), Vila Fernando (20N/01), Lisboa–Portela (21C/02) e Pegões (22F/02).
- Localizam-se nas proximidades de outras estações já seleccionadas, correspondendo a informação redundante – estações de Cabo Carvoeiro (17A/02) e, acumulando motivos de exclusão, como, por exemplo, as estações de Lisboa–Portela (21C/02) e de Sacavém (21C/03).

As 12 estações climatológicas seleccionadas são identificadas no quadro seguinte e encontram-se implantadas na **Figura A2.26**.

Atendendo a que:

- a atribuição de valores à nebulosidade pode enfermar de imprecisão e, consequentemente, corresponder a registos por vezes com pouco valor informativo;
- das 12 estações com que se concluiu ser possível prosseguir os estudos, apenas três possuem registos de nebulosidade;
- tal variável climatológica não intervém no cálculo da evapotranspiração de referência, optou-se por não prosseguir com a apresentação da mesma, embora ainda tivesse sido utilizada no preenchimento de falhas, conforme se aborda no item que se segue.

Identificação		Coordenadas de localização		Altitude	Altura do anemómetro ou da cabeça
Nome	Código	Cartográficas	Geográficas		

		M (m)	P (m)	Latitude (° ' ")	Longitude (° ' ")	(m)	do catavento (m)
Penhas Douradas	11L/05	249373,6	383127,0	40 25 00	7 33 00	1380	12,7
Coimbra/Geofísico	12G/01	175050,0	359717,9	40 12 25	8 25 30	141	10,5
Fundão	13L/01	253842,0	351693,8	40 08 00	7 30 00	495	4,0
Alcobaça/E.Fruticultura	16D/06	128197,5	283363,8	39 31 00	8 58 00	38	4,0
Alvega	17I/01	207033,0	277483,3	29 28 00	8 03 00	51,0	4,0
Santarém (Esc. Agrícola)	18E/01	150970,0	253886,5	39 15 10	8 41 59	54	6,0
Portalegre	18M/01	261698,0	257369,6	39 17 00	7 25 00	597	11,7
Dois Portos	19B/02	108941,4	229896,0	39 02 00	9 11 00	110	4,0
Salvaterra de Magos	19E/02	147907,4	229542,2	39 02 00	8 44 00	5	4,0
Sintra (Granja)	21B/01	95660,1	207852,5	38 50 00	9 20 00	134	19,4
Lisboa(Tapada da Ajuda)	21B/07	108551,5	192889,6	38 42 00	9 11 00	37	6,0
Évora–Torre do Sertório	22J/01	220196,9	177589,3	38 34 00	7 54 00	309	22,9

Quadro 12 – Estações climatológicas do IM seleccionadas para prosseguimento dos estudos.

3.3 – Preenchimento de falhas

Por forma a dispor de séries mensais completas para o período de 30 anos seleccionado (de 1959 a 1988), houve que proceder ao preenchimento das falhas nas amostras recolhidas.

Assim, o preenchimento das falhas da humidade relativa do ar num dado mês e numa dada estação utilizou a análise de regressão entre séries, relativas a esse mês, na estação exibindo falhas e na estação mais próxima que tivesse menor número de falhas comuns e melhor correlação com a estação com falhas a preencher.

Em cada mês em que não foi possível aplicar o anterior procedimento, por inexistência de registos mensais também em estações próximas da estação objecto de preenchimento, as falhas foram colmatadas por adopção da média da humidade relativa no mês em causa, calculada a partir dos registos mensais disponíveis na estação com falhas a preencher.

O preenchimento de falhas das temperaturas mensais, máximas, mínimas e médias, utilizou idêntico procedimento, embora aplicado às séries da variável climatológica em questão.

O preenchimento de falhas mensais da velocidade média do vento baseou-se nos registos do número de observações e da velocidade média por cada rumo, de acordo com

$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^{n_r} (n_i v_i)}{\sum_{i=1}^{n_r} n_i},$$

sendo

$\bar{V}$ – valor estimado para a velocidade média do vento;

n_r – número de rumos, incluindo as calmas;

n_i – número de observações mensais no rumo i ;

v_i – velocidade média do vento no rumo i (nula para as calmas).

Regista-se que o preenchimento de falhas mensais da velocidade do vento nem sempre pôde utilizar o modelo precedente por não se dispor de observações por rumos. Cada falha nesta situação foi preenchida pela média da velocidade média mensal no mês em causa.

Tendo em vista o preenchimento de falhas de registos da insolação num dado posto e mês, estabeleceu-se a equação de regressão linear entre os valores disponíveis, para esse posto e mês, de nebulosidade e de insolação.

Quando não existiram dados mensais de nebulosidade o preenchimento de falhas de registos de insolação utilizou a regressão linear simples, aplicada aos registos no mês em causa, no posto com falhas e num outro posto que lhe fosse geograficamente próximo e que exibisse correlação com o posto com série mensal a preencher. Nas situações em que também não foi possível identificar um posto próximo com o qual o posto com falha exibisse correlação, atribuiu-se à falha a insolação média no mês em causa.

No **Quadro A1.10** apresentam-se as séries mensais preenchidas da temperatura média do ar, da humidade relativa média do ar, da velocidade média do vento e da insolação para as 12 estações do **Quadro 12** e para o período de 30 anos entre 1959 e 1988, tendo-se destacado os valores objecto de preenchimento. Especificaram-se ainda as correspondentes médias mensais e anuais.

3.4 – Inclusão de resultados no SIG. Produção de mapas de isolinhas

À semelhança do tratamento de que foi objecto a precipitação, também os resultados da análise das variáveis climatológicas apresentada neste capítulo foram incluídos no SIG relativo ao PBH do Rio Tejo. Para o efeito, adoptaram-se os procedimentos descritos no **item 2.9**.

Uma vez que a rede de estações climatológicas é incomparavelmente mais escassa que a de postos udométricos, tornou-se a averiguar quais os valores dos parâmetros – número de postos mais próximos e factor de ponderação – do método de interpolação espacial IDW que conduziam a isolinhas exibindo menos singularidades. Tendo por base a análise comparativa das configurações de isolinhas associadas a diferentes valores daqueles parâmetros, fixaram-se os mesmos em 6 e 3, respectivamente.

As **Figuras A2.27 a A2.32 do Apêndice A2**, relativas à caracterização, em termos anuais médios e, esquematicamente, médios mensais, da temperatura do ar (três figuras), da humidade relativa do ar, da velocidade do vento e da insolação na zona do PBH do Rio Tejo, exemplificam a informação que foi integrada no SIG.

4 – Evapotranspiração de referência

4.1 – Considerações prévias

O elemento climático evaporação descreve a transferência natural da água no estado de vapor, do globo para a atmosfera. A evaporação corresponde, assim, ao caso especial da superfície evaporante ser água e não inclui, portanto, a quantidade de água transferida para atmosfera por outros mecanismos, nomeadamente por transpiração das plantas existentes à superfície. Mais descritivo é o conceito de evapotranspiração real relativo à quantidade de água transferida no estado de vapor, do globo para a atmosfera, por evaporação de água e por transpiração das plantas no solo.

A evapotranspiração potencial refere-se à máxima evapotranspiração possível no pressuposto de o solo estar amplamente abastecido de água. Contudo, esta definição torna a evapotranspiração potencial numa grandeza ecoclimática pois fá-la depender, não só de parâmetros climáticos que determinam a disponibilidade de água para o processo e que possibilitam a energia necessária à transferência de vapor de água para a atmosfera, mas também do tipo de cobertura vegetal do solo e do seu grau de desenvolvimento.

Surge, assim, o conceito de evapotranspiração de referência que torna o conceito de evapotranspiração potencial independente do tipo de cultura, por o remeter para uma superfície de solo particular.

A estimativa da evapotranspiração de referência é indispensável para a quantificação das necessidades de água em estudos de regadio. No âmbito dos estudos do PBH do Rio Tejo, tal estimativa assumiu ainda maior peso pois, como frequentemente se referiu, o Guia para a Elaboração do Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tejo estipula que a avaliação do escoamento na bacia hidrográfica se efectue por recurso ao modelo de precipitação-escoamento de Temez que requer como dado de entrada, tanto na fase de aferição de parâmetros, como na de posterior cálculo de escoamentos, a evapotranspiração de referência.

Nos termos ainda daquele Guia, o cálculo da evapotranspiração de referência utilizou o método de Penam-Monteith.

4.2 – Cálculo da evapotranspiração de referência

A cultura de referência pressuposta no conceito de evapotranspiração de referência deverá apresentar altura uniforme, de 8 a 15 cm, resistência superficial fixa de 70 s m^{-1} e um albedo de 0,23 (Maidment, D. R., 1993, *Handbook of Hydrology*. David R. Maidment, editor in chief. McGrawHill, New York). A evapotranspiração de referência aproxima-se da evapotranspiração de uma superfície extensa de relva em crescimento activo, sombreando completamente o solo e com um adequado abastecimento hídrico.

A fórmula de Penman-Monteith para cálculo da evapotranspiração de referência é dada por:

$$E_{To} = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \frac{900}{T + 273} v_2 DTV}{\Delta + \delta (1 + 0.34 v_2)} \quad (1)$$

sendo

E_{To} – evapotranspiração de referência (mm/dia)

R_n – radiação disponível na superfície das culturas ($\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$)

G – fluxo de calor do solo ($\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$)

T – temperatura média a 2 m de altura ($^{\circ}\text{C}$)

v_2 – velocidade do vento a 2 m de altura (m s^{-1})

Δ – tangente trigonométrica da curva de saturação do vapor de água em função da temperatura T ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$)

δ – constante psicométrica ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$)

DTV – valor médio diário do défice da tensão de vapor (kPa)

900 – coeficiente para a cultura de referência

0,34 – coeficiente do vento para a cultura de referência

O valor de DTV é fornecido por

$$DTV = 0.5 (e_w (T_{\max}) + e_w (T_{\min})) - e_w (T_{p.orv}) \quad (2)$$

em que

$e_w(T_{\max})$ – tensão do vapor de água à temperatura máxima diária (kPa)

$e_w(T_{\min})$ – tensão do vapor de água à temperatura mínima diária (kPa)

$e_w(T_{p.orv})$ – tensão do vapor de água à temperatura do ponto de orvalho (kPa)

A aplicação da anterior fórmula foi efectuada mensalmente para a série de 30 anos (1959-1988) em cada uma das 12 estações meteorológicas seleccionadas, por utilização do modelo computacional EVAPOT (Programa EVAPOT – Versão 2.1, Abril de 1995. Departamento de Engenharia Rural do Instituto Superior de Agronomia. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa).

As variáveis climáticas necessárias ao cálculo da evapotranspiração de referência intervêm em termos de valores mensais e coincidem com as especificadas no Capítulo 3: temperaturas médias do ar, velocidade média do vento, insolação e humidade relativa média do ar.

O modelo requer ainda a latitude e altitude de cada estação climatológica, bem como a altura do anemómetro, valores estes que constam do **Quadro 11**.

No **Quadro A1.11** do **Apêndice A1** apresentam-se os resultados obtidos para a evapotranspiração potencial nas 12 estações climatológicas do **Quadro 11**.

4.3 – Inclusão de resultados no SIG. Produção de mapas de isolinhas

Os resultados obtidos para a evapotranspiração potencial foram também incluídos no SIG do PBH do Rio Tejo e estão exemplificados na **Figura A2.33** do **Apêndice A2** relativa à distribuição espacial da evapotranspiração de referência anual média. Observa-se que os valores adoptados para os parâmetros do método de interpolação espacial IDW coincidiram com os especificados no **item 3.4**.

Na **Figura A2.33** contém ainda a caracterização, embora de modo esquemático, das médias mensais da evapotranspiração de referência nas 12 estações climatológicas em que se apoiou o cálculo daquela grandeza.