

RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MINHO

Elsa ALVES

Assistente Investigação, LNEC, Av. do Brasil 101, 1700-166, Lisboa, +351 21 8443636, ealves@lneec.pt

Maria Alzira SANTOS

Investigadora Coordenadora, LNEC, Av. do Brasil 101, 1700-166, Lisboa, +351 21 8440000, masantos@lneec.pt

RESUMO

No âmbito dos planos de bacia hidrográfica elaborados para o Instituto da Água (INAG) procedeu-se à avaliação dos recursos hídricos superficiais na área do plano de bacia hidrográfica do rio Minho. Neste trabalho referem-se as metodologias consideradas, as principais dificuldades decorrentes da sua aplicação, e os principais resultados obtidos, agrupados segundo três variáveis hidrológicas: precipitação, evapotranspiração e escoamento. O período de análise compreende os anos hidrológicos de 1941/42 a 1990/91 (50 anos). Pela sua importância no estudo, é feita uma breve descrição do estado da rede hidrometeorológica da região. Devido à dimensão reduzida das séries meteorológicas foi necessário suplementar um conjunto elevado de valores. A distribuição espacial das estações pluviométricas levou à consideração de um conjunto adicional de postos para os quais foram gerados valores a partir de relações de precipitação – altitude. Com base nas séries de precipitação e de evapotranspiração potencial foram simuladas as afluências em regime natural em várias sub-bacias da região através da aplicação de um modelo hidrológico. A inexistência de valores de escoamento nos afluentes do rio Minho não permitiu calibrar o modelo para a região em estudo, tendo sido considerados parâmetros obtidos na bacia hidrográfica do rio Lima. Foi demonstrado que este procedimento conduz a escoamentos próximos dos observados nos afluentes da margem direita do rio Minho.

Palavras-chave: recursos hídricos, precipitação, evapotranspiração, escoamento, modelo hidrológico

1 – INTRODUÇÃO

O inventário dos recursos hídricos superficiais surge como uma das peças fundamentais no contexto dos Planos de Bacia Hidrográfica, tendo em vista a definição de medidas e acções para o aproveitamento racional e sustentável dos recursos hídricos da bacia hidrográfica. Tem como objectivos principais a caracterização de variáveis hidrológicas relevantes, designadamente a precipitação, a evaporação e evapotranspiração, e o escoamento superficial para a situação actual e para a situação pristina em vários locais estratégicos da rede hidrográfica.

Através do Guia para a Elaboração dos Planos de Bacia Hidrográfica (INAG, 1997), o INAG definiu um conjunto de metodologias a adoptar pelas equipas de projecto tendo em vista a caracterização das disponibilidades hídricas nas principais bacias hidrográficas portuguesas. Foi também definido como período base para o estudo o de 1941/42 a 1990/91 (50 anos).

Este trabalho surge no âmbito do Plano de Bacia Hidrográfica do Minho, realizado pelo Consórcio FBO, Agri.Pro Ambiente, Profabril, Drena, HLC. A área do plano é definida pela parte portuguesa da bacia hidrográfica do rio Minho e pelas ribeiras da costa do concelho de Caminha. A área total da região em estudo é de 818 km² dos quais 799 km² correspondem à parte portuguesa da bacia do Minho (Figura 1).

O rio Minho é um rio internacional partilhado por Portugal e Espanha. A área total da bacia hidrográfica do rio Minho é 17 080 km² dos quais 11 % pertencem à sub-bacia internacional e apenas 5 % à parte portuguesa da bacia hidrográfica. O troço internacional tem 70 km de comprimento. Em Portugal, os principais afluentes são os rios Coura e Mouro, localizados na margem esquerda (Figura 1). Em Espanha, os principais afluentes da margem direita são os rios Tamoga, Ladra, Avia, Tea e Louro, e, na margem esquerda os rios Neira, Sil e Arnoya.

Nesta comunicação apresentam-se os principais resultados obtidos no inventário dos recursos hídricos na área do Plano de Bacia Hidrográfica do rio Minho, agrupados segundo três variáveis hidrológicas relevantes: a precipitação, a evaporação e o escoamento. Referem-se as metodologias utilizadas e as dificuldades na sua aplicação, em parte derivadas da qualidade e representatividade dos dados existentes.

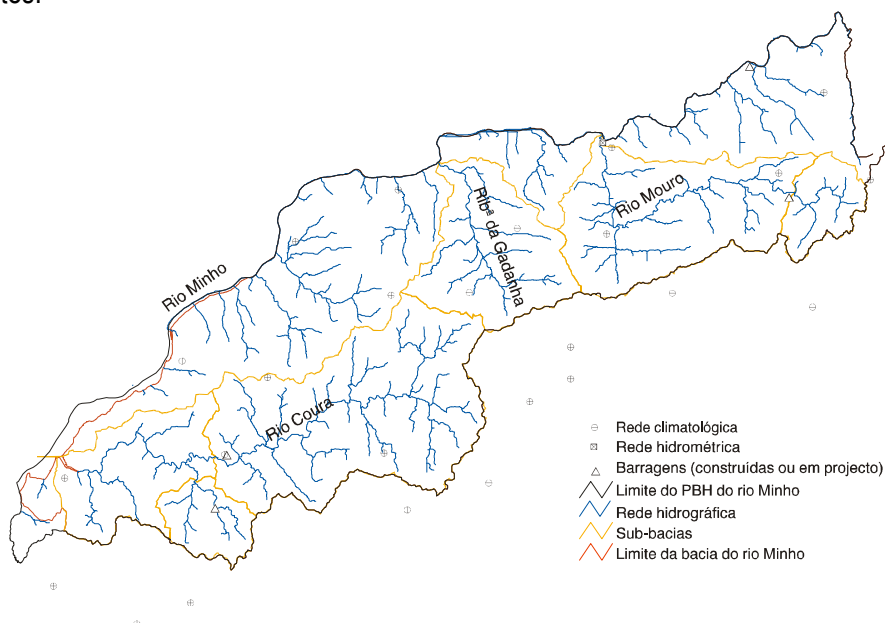


Figura 1 – Região do Plano de Bacia Hidrográfica do rio Minho

2 – ANÁLISE DA REDE HIDROMETEOROLÓGICA

A caracterização da rede hidrometeorológica baseou-se na análise dos seguintes aspectos: i) densidade dos aparelhos de medição; ii) período de actividade; iii) distribuição espacial; iv) estado de conservação e de manutenção das estações; v) forma de recolha e de armazenamento da informação; e vi) disponibilização da informação.

Adopta-se neste texto a designação de rede climatológica para referir o conjunto constituído pelas estações onde se procede à medição de variáveis meteorológicas (estações climatológicas) e pelas estações onde se mede apenas a precipitação (estações pluviométricas).

A rede climatológica da bacia hidrográfica do rio Minho foi iniciada em 1932 com a instalação de 2 estações. Em 1960 encontravam-se em funcionamento 5 estações. A partir de 1980 registou-se um incremento significativo na instalação de novas estações pluviométricas, que se mantêm em funcionamento até à data. A rede actual compreende 16 estações em funcionamento sendo uma do tipo climatológico; a sua densidade é de 1 estação por 50 km².

Apesar da rede ter sido iniciada em 1932, constata-se que 60 % dos registos de precipitação anual (nas estações em funcionamento e nas estações desactivadas) possuem uma dimensão entre 15 e 20 anos (Figura 2a) e apenas 25 % possui uma dimensão superior a 30 anos (mas inferior a 40 anos), o que é manifestamente reduzido para a caracterização estatística da precipitação na região. Os registos de outras variáveis meteorológicas, nomeadamente, da nebulosidade, do vento, da temperatura, da humidade relativa do ar, da insolação e da evaporação, são também reduzidos. A estação climatológica de Monção/Valinha (01G/04), em funcionamento desde 1966/67, possui numerosas falhas, apresentando apenas 14 anos hidrológicos completos de medições de evaporação. A estação de Melgaço (01H/01), já extinta, possui 14 anos hidrológicos completos de medições de evaporação e a estação de Lamas de Mouro (02G/13), também extinta, não possui um único ano hidrológico completo de observações de evaporação.

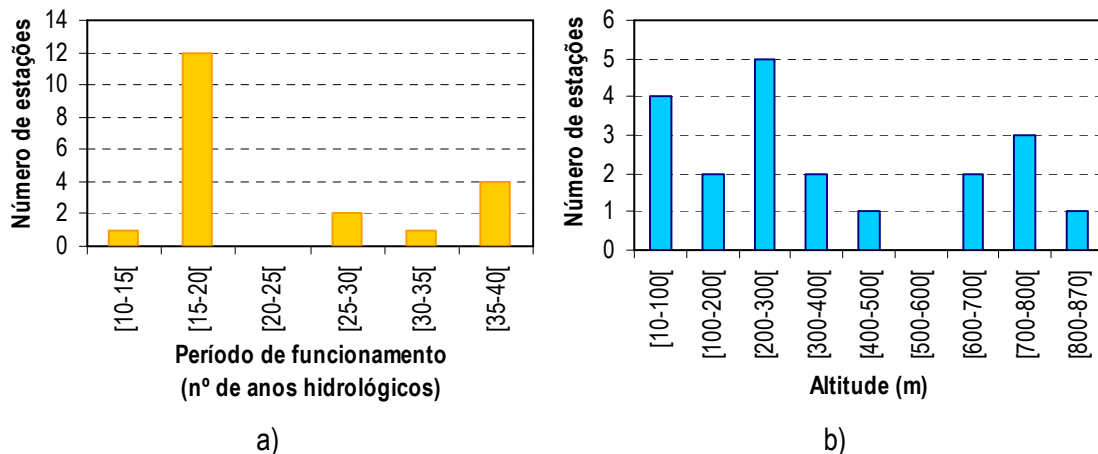


Figura 2 – Período de observação a) e altitude b) das estações da rede climatológica

A distribuição espacial das estações da rede climatológica por classes de altitude revela que 55 % das estações se localiza a uma altitude inferior a 300 m (Figura 2b). Atendendo ao relevo acidentado da bacia, designadamente aos sistemas montanhosos da Serra de Arga e da Serra da Peneda, considera-se que a distribuição das estações não permite caracterizar de forma adequada a influência da variação da altitude da bacia no fenómeno da precipitação. As estações climatológicas de Monção/Valinha (01G/04) e de Melgaço (01H/01) foram colocadas a altitudes relativamente baixas: 80 m e 235 m. A estação de Lamas

de Mouro (02G/13) foi colocada a uma altitude de 870 m, mas a dimensão e a qualidade dos registos não permite uma adequada caracterização das variáveis meteorológicas observadas.

Através de uma visita de campo constatou-se as condições precárias de funcionamento da maior parte das estações, no que respeita a aspectos de segurança dos instrumentos de medição e a aspectos de deficiência de manutenção. A maioria das estações encontra-se localizada próximo de obstáculos (vegetação ou edifícios), e algumas nos quintais das casas dos próprios observadores (Figura 3). A localização das estações está dependente da fixação humana, sendo por vezes este o factor determinante da mudança de localização ou desactivação de uma estação. Durante a visita de campo, suspeitou-se que nem sempre as medições são feitas à mesma hora. Estes aspectos relativos ao funcionamento e distribuição espacial das estações tornam mais urgente a automatização dos postos.

A informação recolhida pelos operadores é registada em impressos próprios que são posteriormente entregues à DRA-Norte. A base de dados SNIRH do INAG disponibiliza os valores de precipitação até ao ano hidrológico de 1994/95. Os valores posteriores (até 1997/98) foram fornecidos pela DRA-Norte em suporte de papel.



Figura 3 – Estações pluviométricas de Arga de Baixo a) e de Sapardos b) em 10/2/1999

A rede hidrométrica actual é constituída por uma estação, designada por Foz do Mouro (01G/02), localizada no rio Minho. A estação foi instalada em 1973 e dispõe de escala e de limnógrafo. A exploração está a cargo da REN (Grupo EDP), sendo os valores observados disponibilizados através de publicações anuais. Na visita ao local constatou-se que a estação está localizada numa curva, em que se verifica alguma perturbação do escoamento.

Não foi possível confirmar as curvas de vazão da estação de Foz do Mouro utilizadas para obter os valores de caudais a partir de valores observados de alturas de água. De facto, constatou-se que as curvas de vazão fornecidas pelo INAG se afastam significativamente dos valores de caudais e de alturas de escoamento fornecidos pela REN, suspeitando-se que esse afastamento derive de os valores observados não estarem referenciados ao zero da escala hidrométrica. No entanto, verificou-se que os valores de caudais publicados nos anuários da REN terão sido obtidos através de curvas de vazão idênticas às fornecidas pelo INAG e não coincidem com os valores fornecidos pela própria REN.

Na área em estudo existiram mais duas estações hidrométricas designadas por Pt. Mantelães (02F/01) e Messegães (01G/01), que entretanto foram extintas. De acordo com informações do INAG, estas estações possuíam escala mas não foram definidas as respectivas curvas de vazão pelo que não existem registos de caudal. A estação de Messegães estava localizada no rio Minho e funcionou entre

1966 e 1974. A estação de Pt. Mantelães localizava-se no rio Coura e esteve em actividade no período de 1919 a 1941. É, portanto, desconhecido o regime de escoamento nos afluentes portugueses da margem esquerda do rio, nomeadamente nos afluentes principais: o rio Coura e o rio Mouro.

3 – SUPLEMENTAÇÃO DAS SÉRIES HIDROLÓGICAS

Tendo em vista a caracterização da precipitação mensal e anual na bacia hidrográfica do rio Minho foram consideradas 35 estações, das quais 20 pertencem à bacia do rio Minho (estando actualmente apenas 16 em funcionamento), 12 estão localizadas na bacia do rio Lima e 3 estão localizadas na bacia do rio Âncora (Figura 1). Para a caracterização da evaporação e da evapotranspiração potencial, foram consideradas as estações climatológicas de Âncora (03D/01), Melgaço (01H/01) e Monção/Valinha (01G/04), das quais apenas a última está localizada na bacia do rio Minho.

As séries de precipitação anual foram validadas através da análise da evolução temporal da série cronológica, da análise da evolução temporal das médias acumuladas, da aplicação de testes estatísticos e da construção de curvas de dupla acumulação. Desta análise foram rejeitadas 9 estações: Melgaço (01H/01), Fonte Boa (01H/03), Melgaço (01H/04), Arga de Baixo (02E/03), Extremo (02G/03), Sistelo (02G/04), Lamas de Mouro (02G/13), Bouça dos Homens (02H/01) e Âncora (03D/01).

Dado que as estações seleccionadas possuem diversas falhas e o seu período de funcionamento é reduzido e nem sempre coincide com o período base definido pelo INAG (1941/42 a 1990/91), houve necessidade de proceder à suplementação das séries.

A suplementação das séries de precipitação baseou-se na determinação das regressões lineares entre os valores mensais das estações com falhas e os valores mensais das estações geograficamente mais próximas, seleccionando-se a regressão para a qual se obteve o maior coeficiente de correlação. Algumas das regressões utilizadas apresentam coeficientes de correlação relativamente baixos, nomeadamente para os meses de Junho, Julho e de Agosto, para os quais se regista uma maior dispersão de valores. Por outro lado, apesar de se terem utilizado os valores observados até 1997/98, a dimensão das séries consideradas para as regressões lineares é ainda bastante reduzida. Como se pode verificar na Figura 4, a consideração do período base de 1941/42 a 1990/91 levou à suplementação de um elevado número de valores: para 20 das estações seleccionadas foram suplementados mais de 30 anos hidrológicos do período base.

A suplementação das séries relativas aos parâmetros observados em cada estação climatológica, baseou-se na consideração, para cada mês em falta, do respectivo valor médio das medições efectuadas no restante período. Este procedimento deu origem à suplementação de um número elevado de valores, originando que todas as variáveis climatológicas apresentem os mesmos valores nos primeiros 5 anos hidrológicos do período de 1941/42 a 1990/91.

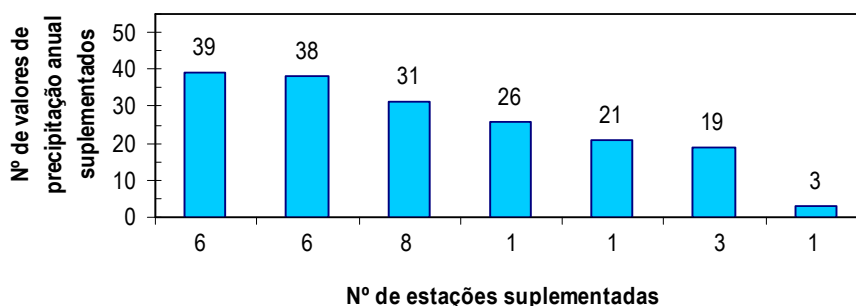


Figura 4 – Suplementação das séries de precipitação

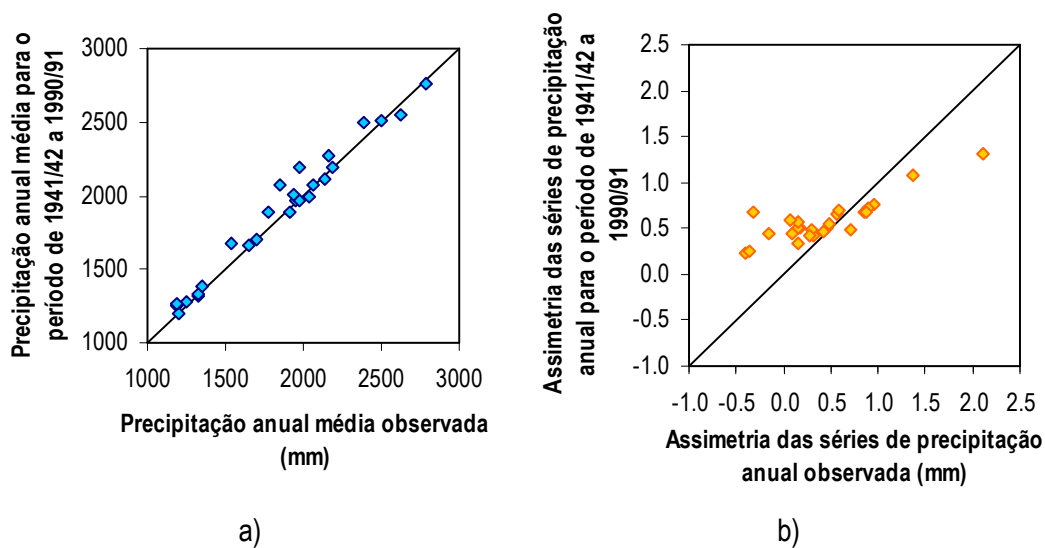


Figura 5 – Diferenças entre as séries de precipitação anual observadas e suplementadas em termos de valores médios a) e de coeficiente de assimetria b)

4 – VARIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO COM A ALTITUDE

Em regiões onde a densidade dos aparelhos de medição da precipitação é baixa e a sua localização não acompanha o relevo acentuado, a definição de isolinhas de precipitação pode ficar comprometida se se considerarem apenas os postos da rede. Para ultrapassar esta dificuldade foi sugerida pelo INAG uma metodologia onde se procura traduzir a influência da altitude na precipitação através da definição de um conjunto de postos complementares aos da rede existente. Esse conjunto de postos é constituído por postos que se designaram por virtuais e por postos auxiliares.

Os postos virtuais correspondem a estações fictícias, que devem ser localizadas em zonas onde a rede actual se mostra insuficiente para a caracterização da precipitação, nomeadamente, foram colocados em cumeadas, meias-encostas e vales, sempre que entre dois postos existissem diferenças de cotas superiores a 300 m ou a 400 m. Atendendo à rede climatológica existente e ao relevo da região, considerou-se necessária a definição de 33 postos virtuais. A maior parte dos postos virtuais localiza-se na zona montanhosa da Serra da Peneda, que separa as bacias hidrográficas do rio Lima e do rio Minho. Os postos auxiliares correspondem a estações existentes que foram rejeitadas na análise de validação (os postos referidos na secção 3).

Para gerar os valores de precipitação em cada posto auxiliar e virtual, determinou-se a relação entre a precipitação anual e a altitude com base nas estações da rede climatológica. Atendendo à orientação das principais sub-bacias na região do Minho e à correlação espacial entre as séries de precipitação anual foram consideradas duas regiões homogéneas, geograficamente distintas: a região I que inclui a bacia do rio Coura, a Serra de Arga e parte do Vale do Minho; e a região II, que inclui a bacia do rio Mouro, parte da Serra da Peneda e parte do Vale do Minho. O modelo de regressão que melhor traduziu a relação entre precipitação anual e altitude para ambas as regiões foi um modelo do tipo monómio. Para cada ano hidrológico do período de 1941/42 a 1990/91, foram determinadas as respectivas relações entre precipitação e altitude para as regiões I e II. Com base nestas relações foram gerados os valores anuais

em cada posto virtual e auxiliar. Os valores mensais foram obtidos através da desagregação dos valores anuais tendo em consideração a distribuição da precipitação mensal em cada ano hidrológico nos postos da rede geograficamente mais próximos.

Na Figura 6 representam-se as relações precipitação anual média (P) – altitude (H) determinadas para as regiões I e II e ainda a precipitação anual média e a altitude dos postos virtuais e auxiliares definidos em cada região.

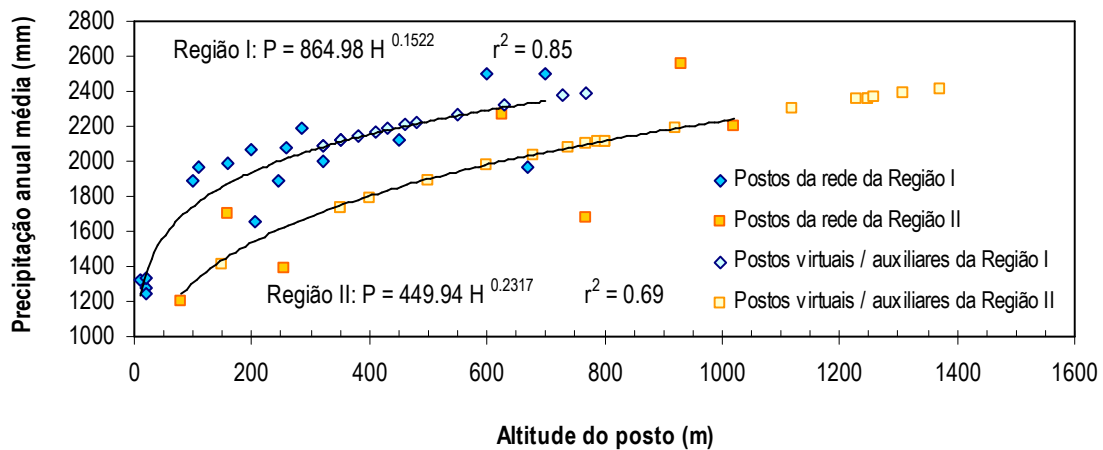


Figura 6 – Relação precipitação anual média – altitude para as regiões I e II

A aplicação da metodologia sugerida pelo INAG à região do Plano de Bacia do rio Minho levantou algumas dificuldades que merecem os seguintes comentários. Através desta metodologia, foi considerado um número de postos virtuais idêntico ao número de postos da rede existente o que conduz a que a caracterização da precipitação se baseie num conjunto elevado de valores não observados. A variação de altitudes dos postos da rede que serviram de base à determinação das relações entre precipitação e altitude é relativamente baixa em face das altitudes da região, o que compromete a extrapolação de valores para postos virtuais de maior altitude. Como se pode verificar pela Figura 6, a precipitação média nos postos virtuais é, em geral, superior à dos postos da rede. Por outro lado, as relações obtidas entre precipitação – altitude apresentam coeficientes de correlação em geral baixos, sugerindo que outros factores de influência local, como por exemplo, o posicionamento numa vertente, o regime de ventos e o afastamento em relação ao mar são necessários para a caracterização da variação espacial da precipitação.

5 – CARACTERIZAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO, EVAPORAÇÃO E ESCOAMENTO

Com base no Sistema de Informação Geográfica foram obtidas as cartas de isolinhas de precipitação correspondentes aos valores em cada mês de cada ano hidrológico do período de 1941/42 a 1990/91 e também as cartas de isolinhas correspondentes aos valores de precipitação anual de cada ano. A malha para determinação das superfícies de precipitação foi de 100 m e o método de interpolação o “Inverse Distance Weighted” (ESRI, 1996). Foram considerados os postos da rede, os postos auxiliares e os postos virtuais. A partir das cartas de isolinhas foram determinadas as séries de precipitação mensal e anual ponderadas na área do Plano de Bacia no período de 1941/42 a 1990/91.

A precipitação anual ponderada na área do Plano de Bacia varia entre os 1195.1 mm e os 3004.1 mm apresentando um valor médio de 1945.5 mm. A precipitação no semestre húmido (Outubro a

Março) corresponde a 72 % do total anual, enquanto que a precipitação no semestre seco (Abril a Setembro) corresponde apenas a 28 % do total. Em ano médio, os valores mínimos da precipitação mensal registam-se em Julho, com 32.3 mm, e os valores máximos em Dezembro, com 266.5 mm (Quadro 1).

Quadro 1 – Séries de precipitação mensal e anual ponderada: valores médios e valores associados a probabilidades de não excedência (mm)

Mês	Média	Probabilidade de não excedência				
		0.05	0.2	0.5	0.8	0.95
Outubro	186.7	27.1	82.4	163.1	276.2	426.4
Novembro	233.2	59.2	115.1	205.9	335.8	500.6
Dezembro	266.5	52.4	115.6	226.9	395.0	615.7
Janeiro	259.3	37.6	129.8	244.0	379.8	533.2
Fevereiro	242.3	44.6	101.6	204.3	361.5	569.5
Março	201.8	6.3	89.2	190.0	307.4	437.4
Abril	141.9	32.3	66.3	123.4	207.0	314.8
Mai	143.0	22.8	72.8	134.8	208.3	291.3
Junho	76.5	14.2	32.3	64.6	114.0	179.3
Julho	32.3	3.7	10.7	25.4	50.0	84.3
Agosto	46.8	6.3	16.8	37.7	71.8	118.6
Setembro	103.1	14.1	37.3	83.2	157.9	260.1
Anual	1945.5	1328.3	1582.1	1900.0	2281.9	2717.7

No Quadro 1 apresentam-se os valores mensais e anuais associados às probabilidades de não excedência de 5 %, 20 %, 50 %, 80 % e 95 % considerados para a definição de anos muito secos, secos, médios, húmidos e muito húmidos, para a região do Plano de Bacia Hidrográfica do rio Minho. Esses valores foram obtidos através do ajustamento de funções de distribuição às séries anuais e mensais dos postos da rede, dos postos auxiliares e virtuais e às séries ponderadas na área do plano de bacia. Foram consideradas as seguintes funções de distribuição: Normal, Log-Normal (2 e 3 parâmetros), Gama, Pearson III e Gumbel. A qualidade do ajustamento foi avaliada através dos testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov, Kuiper, Cramer-von-Mises, Watson e Qui-Quadrado e por meio gráfico.

Verificou-se que, em geral, a função Log-Normal de 2 parâmetros é a que se ajusta melhor aos valores anuais de precipitação para os postos da rede, postos auxiliares e virtuais e série ponderada. As distribuições Log-Normal de 3 parâmetros e Gama foram as que melhor se ajustaram aos valores mensais de precipitação. Refira-se que os meses de Março e de Agosto são os que apresentam maior variabilidade de valores tendo sido várias vezes rejeitados os ajustamentos de funções de distribuição.

Para a caracterização da evaporação foram consideradas as estações climatológicas com influência na área do Plano de Bacia Hidrográfica do Minho, designadamente: Lamas de Mouro (02G/13), Melgaço (01H/01), Monção/Valinha (01G/04) e Âncora (03D/01). Como foi referido anteriormente, estas estações possuem diversas falhas, o que levou a rejeitar a estação de Lamas de Mouro nesta análise. No Quadro 2 caracterizam-se as séries mensais e anuais de evaporação registadas nas estações climatológicas através da média e do desvio-padrão, indicando-se também o período de observação e o número de observações existentes (N).

As estações de Melgaço (01H/01) e de Monção/Valinha (01G/04) apresentam valores de evaporação mensal muito distintos entre o semestre húmido e o semestre seco. Os valores mínimos da evaporação mensal (inferiores a 70 mm) ocorrem nos meses de Novembro a Fevereiro, enquanto que os valores máximos (superiores a 140 mm) são observados nos meses de Julho e de Agosto.

Ao contrário do que se verifica nas estações de Melgaço (01H/01) e de Monção/Valinha (01G/04), na estação de Âncora (03D/01) os valores médios de evaporação mensal apresentam uma certa regularidade

ao longo do ano. Esta diferença pode estar relacionada com o rigor das medições efectuadas ou com o facto da estação de Âncora estar localizada junto à zona costeira enquanto que as estações de Melgaço e de Monção/Valinha estão localizadas no vale do Minho, numa região mais interior.

Refira-se que a qualidade dos dados observados nas estações de Melgaço (01H/01) e de Âncora (03D/01) merece alguma reserva, dado que os valores anuais em Melgaço são particularmente elevados nos primeiros anos de funcionamento da estação, e, na estação de Âncora os valores anuais apresentam uma tendência crescente nos últimos anos.

Quadro 2 – Caracterização da evaporação mensal e anual nas estações climatológicas da área do plano de bacia

Mês	Âncora (03D/01) 1950/51 a 1969/70			Melgaço (01H/01) 1950/51 a 1965/66			Monção/Valinha (01G/04) 1967/68 a 1997/98		
	Média (mm)	Desvio-padrão (mm)	N	Média (mm)	Desvio-padrão (mm)	N	Média (mm)	Desvio-padrão (mm)	N
Outubro	83.7	16.2	18	86.0	23.3	15	78.9	27.6	28
Novembro	80.7	17.4	18	63.7	19.0	15	55.2	15.9	28
Dezembro	73.5	17.8	19	48.3	14.8	15	58.5	17.1	29
Janeiro	80.3	37.2	19	55.4	24.9	16	58.4	15.0	29
Fevereiro	75.6	19.1	19	63.5	14.4	16	60.6	22.6	29
Março	90.1	18.2	19	87.1	19.6	16	93.0	27.4	30
Abril	94.0	16.1	19	97.7	19.0	16	101.6	31.7	27
Maiο	97.0	15.8	19	122.8	16.8	16	116.6	47.9	28
Junho	90.1	19.0	19	122.4	16.7	16	125.0	37.5	28
Julho	94.3	26.3	19	145.6	22.4	15	162.0	39.6	26
Agosto	96.7	28.6	19	147.7	27.1	15	152.3	37.3	27
Setembro	76.9	15.6	19	112.8	21.9	15	115.9	28.6	27
Anual	1039.4	83.3	17	1163.8	111.3	14	1137.0	188.4	14

Com base nas séries de variáveis climatológicas procedeu-se à determinação da evapotranspiração potencial no período de 1941/42 a 1990/91. Foram considerados os seguintes métodos: Thornthwaite, Turc, Penman e Penman-Monteith. A fórmula de Thornthwaite depende apenas da temperatura média do ar, enquanto que a fórmula de Turc depende ainda da humidade relativa e da radiação solar. As fórmulas de Penman e de Penman-Monteith dependem dos parâmetros anteriormente referidos e ainda da velocidade do vento. Dado que nenhuma das estações climatológicas possui observações da radiação solar, este parâmetro foi estimado com base na insolação e na radiação extraterrestre tabelada em função da latitude.

A aplicação dos diversos métodos de cálculo da evapotranspiração potencial conduziu a estimativas muito diferentes, obtendo-se diferenças superiores a 100 %. O método de Thornthwaite conduz a estimativas sempre inferiores às obtidas pelos outros métodos, enquanto que as estimativas pelo método de Penman são sempre as mais elevadas. Os métodos de Turc e de Penman-Monteith conduzem, em geral, a estimativas muito próximas, tendo-se optado por considerar, nesta análise, os valores fornecidos pelo método de Turc que se apresentam no Quadro 3.

Note-se que os valores estimados de evapotranspiração potencial para as estações climatológicas de Âncora (03D/01), Melgaço (01H/01) e Monção/Valinha (01G/04) não apresentam diferenças significativas entre si, ao contrário do que se verifica com os valores de evaporação. Este resultado parece estar associado ao elevado número de valores suplementados.

Quadro 3 – Valores médios mensais (mm) e anuais (mm) da evapotranspiração potencial

Mês	Estações climatológicas			Valores ponderados na área do Plano de Bacia
	Âncora (03D/01)	Melgaço (01H/01)	Monção/Valinha (01G/04)	
Outubro	71.8	63.9	62.7	70.5
Novembro	42.9	35.3	37.5	40.2
Dezembro	31.2	24.5	26.8	29.2
Janeiro	34.7	26.7	29.3	31.0
Fevereiro	38.1	34.1	34.2	41.0
Março	62.3	56.2	60.4	65.3
Abril	92.8	80.3	77.9	93.2
Mai	115.2	111.2	105.1	131.3
Junho	127.5	126.4	125.5	152.5
Julho	141.4	145.1	142.8	174.1
Agosto	125.0	157.7	130.4	160.8
Setembro	89.3	89.0	93.7	106.0
Anual	972.2	950.4	926.5	1100.6

Com base nos valores mensais e anuais no período de 1941/42 a 1990/91, obtidos pelo método de Turc para cada estação climatológica, foram calculados os valores de evapotranspiração potencial ponderada na área do Plano de Bacia, utilizando-se as ferramentas de análise espacial disponíveis no SIG. No Quadro 3 apresentam-se as características das séries de evapotranspiração potencial.

A caracterização do escoamento na área do Plano de Bacia Hidrográfica do rio Minho baseou-se nos valores observados na rede hidrométrica portuguesa e na rede espanhola, e nos valores relativos à exploração dos aproveitamentos hidroeléctricos existentes.

Como foi referido na secção 2, na área em estudo existe apenas uma estação hidrométrica, Foz do Mouro, localizada no rio Minho. Através da análise da série de escoamentos anuais em Foz do Mouro no período de 1973/74 a 1996/97, constatou-se que os valores mínimos ocorreram nos anos hidrológicos de 1975/76 (260.2 mm), 1988/89 (268.4 mm) e em 1991/92 (332.2 mm). Os valores máximos registaram-se em 1984/85 (1001.4 mm) e em 1987/88 (1025.4 mm).

A estação de Foz do Mouro localiza-se a cerca de 20 km a jusante da barragem de Frieira. A barragem, localizada em Espanha à entrada do troço internacional do rio Minho, é a fio de água, com uma capacidade de armazenamento de 44 hm³, e foi construída em 1970. Dado que os escoamentos em Foz do Mouro estão condicionados pelas descargas da barragem de Frieira e estas, por sua vez, pela exploração de vários aproveitamentos a montante, foi testada a homogeneidade, consistência e aleatoriedade da série de escoamentos anuais em Foz do Mouro através da aplicação de testes estatísticos (os referidos em 2).

Para um nível de confiança de 95 % verificou-se que nenhum dos testes rejeitam a hipótese de aleatoriedade e homogeneidade do escoamento anual em Foz do Mouro. Admitiu-se portanto, que a série de escoamentos em Foz do Mouro é representativa das aflúncias actuais naquela secção do rio Minho. Assim, obteve-se um escoamento anual médio de 622.5 mm e valores médios do escoamento mensal a variar entre 19.6 mm (em Agosto e Setembro) e 99.9 mm em Fevereiro. O caudal modular é de 304.9 m³/s.

Foram disponibilizados pela Confederación Hidrográfica Del Norte, em Espanha, os valores de escoamento observados nas estações hidrométricas de Puenteareas e de Tuy, localizadas em dois afluentes da margem direita do rio Minho, respectivamente, nos rios Tea e Louro. Constatou-se que os escoamentos nos rios Louro e Tea seguem a tendência observada no rio Minho em Foz do Mouro, apresentando valores máximos e mínimos do escoamento anual para os mesmos anos hidrológicos. No rio

Louro, em Tuy, o escoamento anual médio é de 1672.5 mm e o escoamento mensal varia, em média, entre os 15.5 mm em Agosto e os 334.2 mm em Fevereiro. O rio Tea, em Punteareas, apresenta um escoamento anual médio de 1921.3 mm e um escoamento mensal variável entre 57.3 mm em Agosto e 1196.2 mm em Fevereiro.

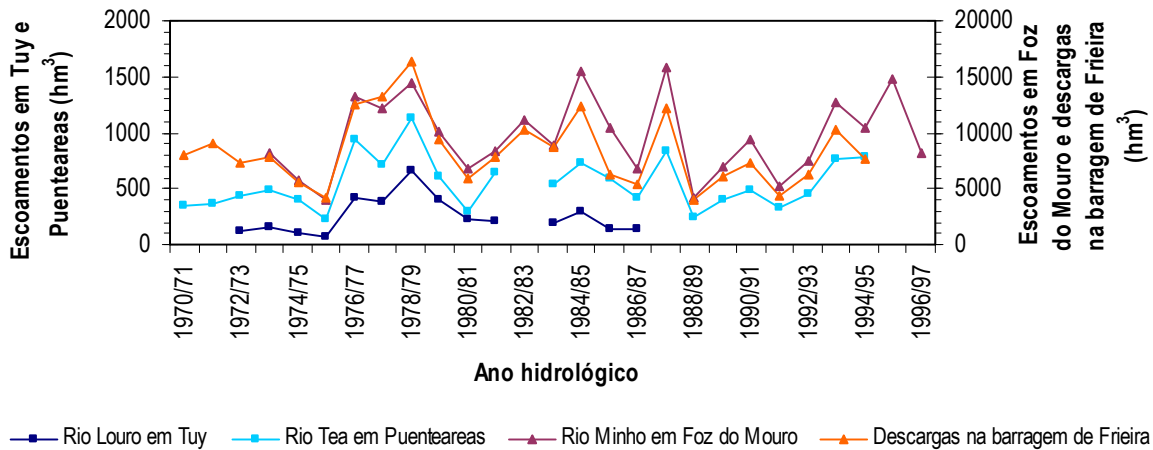


Figura 7 – Escoamentos nos rios Minho, Louro e Tea e descargas da barragem de Frieira

A Confederación Hidrográfica Del Norte disponibilizou ainda dados relativos à exploração da barragem de Frieira. No período de 1970/71 a 1994/95 as descargas anuais em Frieira variaram entre os 4 016 hm³ em 1988/89 e os 16 421 hm³ em 1978/79 apresentando um valor médio de 8 340 hm³. Verificou-se que a contribuição da bacia intermédia definida pelas secções de Foz do Mouro e da barragem de Frieira é reduzida, ocorrendo valores de escoamento em Foz do Mouro inferiores às descargas da barragem o que só pode ser atribuído a erros de avaliação uma vez que não existem consumos significativos entre essas secções. Refira-se que, na área do Plano de Bacia, existe uma barragem construída, a barragem de Covas, para a qual não foi disponibilizada informação sobre a sua exploração, apesar de ter sido solicitada ao INAG.

6 – AFLUÊNCIAS EM REGIME NATURAL EM LOCAIS ESTRATÉGICOS DA REDE HIDROGRÁFICA

A determinação das afluências em regime natural baseou-se na aplicação do modelo hidrológico de Temez. A aplicação sequencial do modelo de Temez a uma bacia hidrográfica exige que se disponha dos valores ponderados de precipitação e evapotranspiração potencial em cada intervalo de tempo e ainda que sejam conhecidos os quatro parâmetros do modelo, designadamente, a capacidade máxima de armazenamento na zona superficial do solo (H_{max}), o coeficiente de escoamento (C), a capacidade de infiltração máxima (I_{max}) e o coeficiente de esgotamento do aquífero (α). Como, em geral, estes parâmetros são desconhecidos, é necessário calibrar o modelo com base numa série de escoamentos observados na bacia em estudo. A unidade de tempo considerada foi o mês e o período de análise o de 1941/42 a 1990/91.

Para a aplicação do modelo de Temez foram seleccionadas várias sub-bacias da área do Plano de Bacia Hidrográfica do rio Minho de acordo com os seguintes critérios definidos pelo INAG: i) existência de uma barragem construída, em construção ou em projecto; ii) zona de abastecimento de água; iii) localização de estação hidrométrica; iv) confluências de cursos de água; v) fronteira com outro território; e vi) dimensão da bacia hidrográfica superior a 100 km². As sub-bacias estão associadas às secções das

confluências dos rios Mouro, Coura e ribeira da Gadanha com o rio Minho e às barragens de Covas (construída), de Arga de Baixo e de Parada Monte (projectadas) (Figura 1). Para cada uma das sub-bacias consideradas, foram determinadas as séries ponderadas de precipitação mensal e de evapotranspiração potencial mensal no período de 1941/42 a 1990/91, através de funções de análise espacial disponíveis no SIG.

A calibração do modelo de Temez para as sub-bacias consideradas foi inviabilizada pelo facto de não existirem registos de escoamentos nos afluentes portugueses do rio Minho. Uma vez que se dispõe de valores de escoamento no rio Minho, na estação de Foz do Mouro, e de descargas na barragem de Frieira calcularam-se os escoamentos produzidos pela bacia intermédia, na perspectiva de tentar calibrar o modelo de Temez para essa sub-bacia. No entanto, constatou-se que, em vários meses, os escoamentos em Foz do Mouro são inferiores às descargas em Frieira o que inviabilizou este procedimento.

No estudo preliminar efectuado pelo INAG, em 1995, o modelo de Temez foi calibrado com base nos valores de escoamento observados na estação hidrométrica de Ameijoeira (021/01), pertencente à bacia hidrográfica do rio Lima, no período de 1947/48 a 1949/50. Nesse estudo obtiveram-se os seguintes parâmetros: $C = 0.14$, $H_{max} = 98$ mm, $I_{max} = 480.5$ mm, $\alpha = 0.156$ (INAG, 1995).

Na tentativa de verificar se os parâmetros obtidos pelo INAG podiam ser aplicados na estimativa das afluições na área do Plano de Bacia Hidrográfica do rio Minho, optou-se por simular as séries de afluições nos rios Tea e Louro e compará-las com os valores observados nas estações hidrométricas espanholas. Refira-se que as bacias hidrográficas desses rios não são dominadas por aproveitamento hidráulicos. Na aplicação do modelo de Temez nas bacias do rio Louro e do rio Tea, consideraram-se as séries de precipitação e de evapotranspiração potencial mensal ponderadas nas sub-bacias portuguesas. Constatou-se que este procedimento reproduz de forma aproximada os escoamentos observados nas estações hidrométricas daqueles rios (Figura 7) atendendo às aproximações efectuadas. Os maiores desvios registam-se, como seria de esperar, nos meses de maior escoamento. A proximidade entre os valores fornecidos pelo modelo de Temez e os valores observados nos rios Louro e Tea, veio reforçar a adopção dos parâmetros estabelecidos pelo INAG na geração das afluições em regime natural na área em estudo.

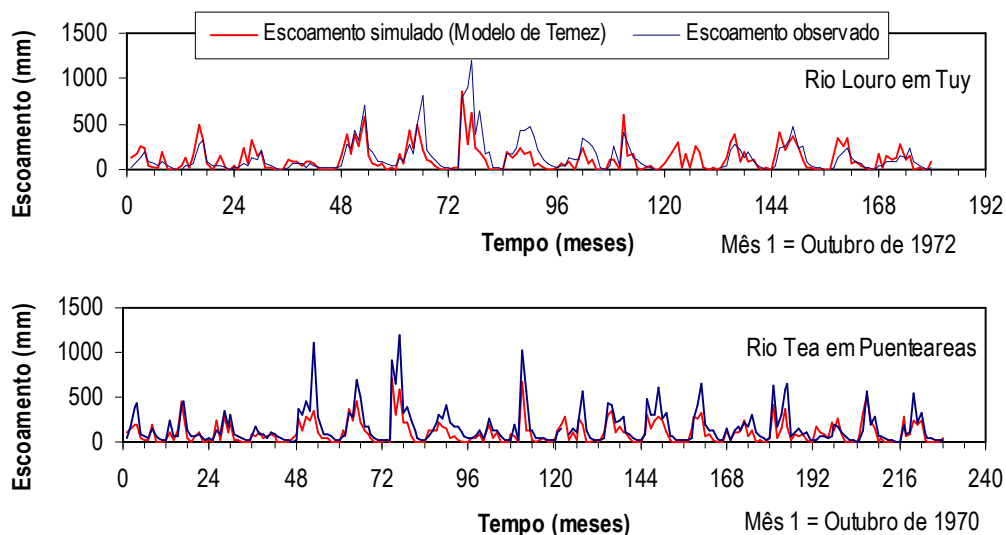


Figura 7 – Comparação entre escoamentos simulados e observados nos rios Louro e Tea

No Quadro 3 caracterizam-se as séries de escoamentos anuais geradas nas sub-bacias do rio Coura, da ribeira da Gadanha e do rio Mouro, através da média anual e dos valores associados às probabilidades de não excedência de 5 %, 20 %, 50 %, 80 % e 95 %, obtidos através do ajustamento de funções de distribuição. Como se pode constatar, a bacia hidrográfica do rio Coura apresenta valores de escoamento superiores aos das bacias da ribeira da Gadanha e do rio Mouro.

Quadro 3 – Características as séries de afluências em regime natural

Ponto de avaliação	Área da bacia hidrográfica associada (km ²)	Afluências anuais (mm)					
		Média	Probabilidade de não excedência				
			0.05	0.20	0.50	0.80	0.95
Confluência do rio Coura com o rio Minho	269.0	1382.5	700.8	986.2	1337.6	1752.2	2217.2
Local da barragem de Arga de Baixo	26.1	1479.2	802.6	1052.9	1399.3	1859.6	2439.6
Local da barragem de Covas	176.7	1464.8	794.4	1042.4	1385.7	1842.0	2417.0
Confluência da ribeira da Gadanha com o rio Minho	81.0	1243.0	680.0	889.0	1177.1	1558.7	2037.7
Confluência do rio Mouro com o rio Minho	141.7	1278.5	696.3	931.2	1230.9	1597.3	2022.8
Local da barragem de Parada Monte	26.3	1519.2	834.1	1107.0	1459.3	1895.5	2408.1

A Confederación Hidrográfica Del Norte disponibilizou as séries de afluências em regime natural em vários pontos da rede hidrográfica da parte espanhola da bacia hidrográfica do rio Minho. Estas séries foram obtidas através da aplicação do modelo de Sacramento. Na Figura 8 apresentam-se as afluências em regime natural nos afluentes principais do troço internacional do rio Minho e à sua entrada (Frieira).

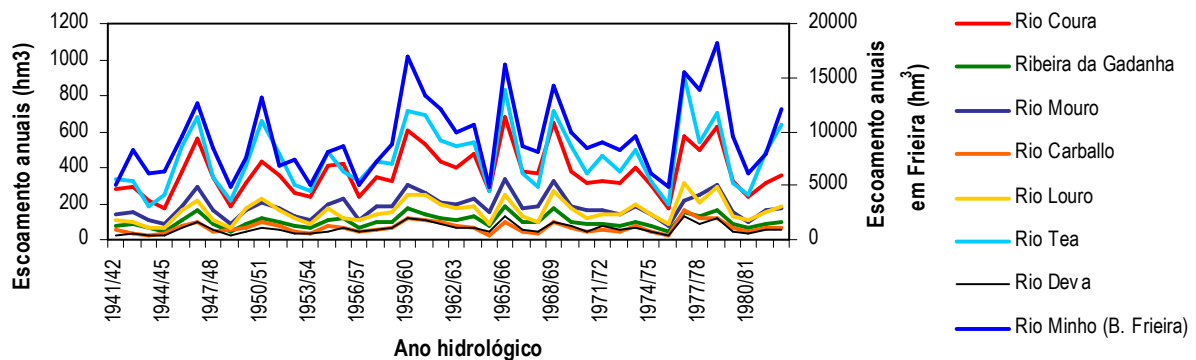


Figura 8 – Escoamentos em regime natural nos afluentes do troço internacional do rio Minho

Como se pode verificar, os escoamentos gerados pelo modelo Temez para os afluentes portugueses (rios Coura e Mouro e ribeira da Gadanha) e os escoamentos gerados pelo modelo de Sacramento para os afluentes espanhóis (rios Carballo, Louro, Tea e Deva) revelam a mesma tendência no período comum de 1941/42 a 1982/83. Os rios Coura e Tea são os que mais contribuem para o escoamento no troço internacional do rio Minho.

6 – CONCLUSÕES

As metodologias adoptadas para o inventário dos recursos hídricos superficiais requerem a utilização de um conjunto elevado de dados da rede hidrometeorológica, que apesar de reconhecido como de grande importância, não tem recebido a atenção suficiente quer em termos de funcionamento das estações da rede quer em termos de investimento na sua optimização. No caso da rede hidrometeorológica da área do Plano de Bacia Hidrográfica do rio Minho, constatou-se a precariedade de funcionamento e a manifesta falta de manutenção da maior parte das estações pluviométricas e a dimensão reduzida das séries meteorológicas, cujo período de observação não é coincidente com o

período de base definido para o estudo: 1941/42 a 1990/91. Também a avaliação do caudal do rio Minho e dos seus afluentes devia merecer maior atenção das entidades responsáveis.

A metodologia para caracterização mensal e anual da precipitação baseou-se na definição de um conjunto suplementar de postos pluviométricos, para os quais foram gerados valores de precipitação com base em relações precipitação-altitude. A definição destas relações revelou algumas dificuldades decorrentes dos dados de base considerados, não permitindo validar a metodologia para a região.

Através do modelo hidrológico de Temez determinaram-se os escoamentos em regime natural nos principais afluentes portugueses do rio Minho. Dada a inexistência de valores de escoamento observados não foi possível calibrar o modelo para a região, tendo sido considerados os parâmetros obtidos na bacia hidrográfica do rio Lima. Verificou-se que este procedimento conduz a valores de escoamentos próximos dos observados nos afluentes da margem direita do rio Minho. Com base em valores fornecidos pela Confederación Hidrográfica Del Norte, foram caracterizadas as aflúncias em regime natural na margem direita do troço internacional do rio Minho e à sua entrada.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se ao INAG e à FBO a autorização para a divulgação dos resultados do estudo realizado. Agradece-se à Confederación Hidrográfica Del Norte, ao Instituto da Água, à Direcção Regional de Ambiente do Norte, à Rede Eléctrica Nacional e ao Instituto de Meteorologia a disponibilização de informação utilizada no estudo. Agradece-se ao Doutor Rodrigo Oliveira as sugestões apresentadas ao longo da execução do estudo. Agradece-se ao Dr. Miguel Gamboa e ao Sr. Américo Louro a geração de superfícies de precipitação com base no SIG.

BIBLIOGRAFIA

ALVES, E. – *Plano de Bacia Hidrográfica do rio Minho. Análise e Diagnóstico da Situação Actual. Anexo 3 – Recursos Hídricos Superficiais (Aspectos de Quantidade)*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Relatório 54/00 – NHE, Lisboa, 2000.

ESRI – *ArcView, Spatial Analyst*. Environmental Systems Research Institute, Inc., California, 1996.

DGOH – *Plan Hidrológico I*. Confederación Hidrográfica Del Norte, Dirección General de Obras Hidráulicas, Espanha, 1988.

INAG – *Bacia Hidrográfica do Minho, Avaliação de Recursos Hídricos (Versão Preliminar)*. Direcção de Serviços de Recursos Hídricos, Instituto da Água, Lisboa, 1995.

INAG – *Guia para a Elaboração do Plano de Bacia Hidrográfica do Minho*. Instituto da Água, Lisboa, 1997.

OLIVEIRA, R. – *XLWAT: um add-in para Excel. Modelo de Precipitação-Escoamento*. Chiron, Sistemas de Informação Lda., Lisboa, 1998.