

INSTITUTO DE ESTUDOS GEOGRÁFICOS
FACULDADE DE LETRAS — UNIVERSIDADE DE COIMBRA



Cadernos de Geografia

O RIO ALVA

ESTUDO HIDROCLIMATOLÓGICO

LUCIANO LOURENÇO

Bolseiro do INIC

RESUMO

Após descrição das estações e dos registos hidrométricos, apresentam-se os principais aspectos intervenientes na caracterização climático-hidrológica da bacia de drenagem do rio Alva, agrupando-os em factores relativos à precipitação e em factores condicionantes da evapotranspiração.

Dos primeiros consideram-se natureza, intensidade, duração e distribuição de precipitação, no espaço e no tempo, e ressalta-se tanto a irregularidade como a variabilidade desta.

Dos factores condicionantes da evapotranspiração tratam-se, em linhas gerais, a insolação e o vento, e dá-se mais realce à temperatura e à humidade relativa do ar e, ainda, ao teor em água do solo.

Com base nestes valores, e segundo critérios estabelecidos por diferentes autores, apresenta-se a classificação climática da bacia.

Abordam-se, depois, os problemas relacionados com o escoamento fluvial, começando pela descrição das estações hidrométricas para, em seguida, se analisarem os elementos do regime e se proceder à sua caracterização. Para o efeito, consideram-se tanto a abundância média como as variações interanuais e estacionais dos caudais, em particular as cheias e estiagens, e, ainda, as variações ao longo do curso, de montante para jusante.

Por fim, analisa-se a influência dos aproveitamentos hidroeléctricos existentes na bacia hidrográfica sobre o regime do rio, que classificamos de acordo com os critérios propostos pelos principais especialistas e concluímos demonstrando a influência do rio Alva sobre o regime do rio Mondego (inferior).

RÉSUMÉ

Après la description des stations et des registres hydrométriques, on présente les principaux aspects intervenant dans la caractérisation climo-hydrologique du bassin de drainage du fleuve Alva, qu'on classifie en deux groupes d'élé-

ments: ceux relatifs à la précipitation, et ceux relatifs aux causes de l'évapotranspiration.

Dans le premier groupe on considère la nature, l'intensité, la durée et la distribution de la précipitation, dans l'espace et dans le temps, tout en insistant sur son irrégularité et sa variabilité.

Parmi les causes de l'évapotranspiration on considère en termes généraux, l'insolation et le vent, et on approfondi l'influence de la température et de l'humidité relative de l'air, aussi bien que la teneur d'eau dans le sol.

Ayant pour base ces valeurs, et selon les critères établis par des différents auteurs, on présente la classification climatologique du bassin.

On s'occupe, en suite, des problèmes relatifs à l'écoulement fluviale, en commençant par la description des stations et des registres hydrométriques, pour en suite, procéder à l'analyse des éléments du régime, qui sont après caractérisés. Pour cela on considère l'abondance moyenne, ainsi que les variations inter-annuelles et par saison, des débits, en particulier les crues et les périodes secs, aussi bien que les variations le long du cours de l'amont vers l'aval.

Finalement on analyse l'influence exercée sur le régime du fleuve des barrages hydroélectriques existant dans le bassin hydrographique, classifiées d'après les critères proposés par les principaux spécialistes, et nous concluons par la démonstration de l'influence du fleuve Alva sur le régime du fleuve Mondego (inférieur).

ABSTRACT

After describing the stations and the hydrometrical registers, are presented the principle aspects interposing the climo-hydrological character of the drainage basin of the Alva river; those factors are divided into two groups, one relative to precipitation, and the other consisting of the conditional factors effecting evapotranspiration.

In the first group are considered the nature, intensity, duration and distribution of rainfall in space and time, and the focus is placed on it's irregularity and variability.

Among the conditions of evapotranspiration, the isolation and the wind are described in general terms, while the emphasis lies in the temperature, relative humidity and the degree of soil moisture.

Based on these conditioning factors, and according to criterious established by different authors, the climatic classification of the basin is thereby presented.

The problems related to the drainage of the river are then studied, starting with description of the stations and hydrometric registers; secondly, the elements of the system are analysed and characterised. To achieve these ends we must consider the medium quantity, as well as the inter-annual and seasonal variations of flow, in particular flood and drought stages, and also variations along the course of the river, upstream and downstream.

Finally, the influence of the existing hydroelectric projects in the hydrographic basin over the system of the river are analysed and classified in accordance to the criterious proposed by the principal specialists and we conclude by demonstrating the influence of the Alva river over the system of the Mondego river (lower).

INTRODUÇÃO

A hidrologia, ciência onde se entrecruzam diferentes especialidades da geografia física, tem merecido, salvo raras exceções, pouca atenção da parte dos geógrafos. Talvez por isso, desde cedo nos apaixonámos por esta ciência embora, até ao momento, pouco tenhamos contribuído para que as nossas águas deixem de ser «ilustres desconhecidas».

No intuito de obviar a essa situação, há já alguns anos, iniciámos os primeiros passos nesta longa caminhada que a descoberta do Alva nos viria a proporcionar. Muitos dos aspectos que agora se apresentam mereciam, sem dúvida, uma análise mais aturada mas já decorreram três anos sobre a publicação da primeira parte deste estudo e, por isso, não nos podíamos permitir a veleidade de não o concluir em tempo oportuno, embora correndo o risco de não responder cabalmente a todas as nossas expectativas.

Este trabalho surge, pois, na continuação de estudos anteriores (L. LOURENÇO, 1978, 1979, 1983, 1984 e 1986-b) e que, como foi dito em 1986 (p. 45), «abordará as características climático-hidrologicas da bacia com vista à definição do modo como nela se processa o escoamento fluvial e à determinação do próprio regime do rio Alva».

Trabalhos de investigação que se prolongam por vários anos apresentam inegáveis vantagens mas enfermam de alguns inconvenientes, no caso concreto relacionados com a aquisição anual de novos elementos e, por conseguinte, da relativa desactualização dos anteriores.

O facto de existir uma maior quantidade de informação referente aos últimos anos e porque, tanto quanto possível, pretendíamos que este estudo fosse actual, foram motivos suficientes para procedermos ao tratamento dos valores relativos às últimas três décadas, embora conscientes de que, em termos de valores normais, as diferenças não são muito significativas.

Este objectivo levantou-nos dificuldades inesperadas, mercê da necessidade de manusear dados inéditos que tornaram o trabalho bastante mais moroso, em face das dificuldades de obtenção ou mesmo a inacessibilidade de alguns deles.

Apesar destes inconvenientes, julgámos preferível tratar valores actuais e, na impossibilidade, recorrer aos valores normais anteriormente publicados. Assim, como se trata de um estudo de hidrologia, os dados referem-se, em regra, a anos hidrológicos, dentro do período 1950/51-79/80¹. Os valores relativos aos

¹ Exceptuam-se, naturalmente, os postos udometeorológicos instalados depois do início deste período (Almaça e Covão do Ferro) ou entretanto extintos (Meãs e Penacova).

caudais diários só passaram a ser determinados rigorosamente depois de 1960/61 pelo que só se consideram após esse ano.

Com base nos dados climáticos e hidrológicos disponíveis, determinámos valores normais para os períodos em análise e calculámos, quando foi caso disso, os coeficientes necessários.

Por fim, sempre que possível, procurámos traduzir graficamente as diferentes informações quantitativas, a fim de facilitar a visualização das diversas temáticas abordadas.

Atendendo a que muitos dos dados usados eram inéditos, por vezes manuscritos, obtivemos a melhor compreensão e recebemos todo o apoio da generalidade dos organismos, entidades públicas e empresas privadas, responsáveis pela sua recolha e tratamento e que, muitas vezes se traduziram na concessão de facilidades para a sua consulta ou na própria cedência dos elementos de que carecíamos.

Contudo, outros houve que, incompreensivelmente, colocaram entraves e dificuldades inexplicáveis para a cedência dos elementos de que dispunham, situação que não podemos deixar de lamentar e de repudiar e que, não obstante, foi insuficiente para nos demover do nosso intuito. Obrigou-nos sim, a contorná-la, refazendo cálculos mas, apesar de tudo e com bastante mais esforço da nossa parte, acabámos por ficar próximos dos objectivos propostos.

Relativamente aos primeiros que, felizmente, foram a grande maioria, queremos manifestar-lhes a nossa profunda gratidão. Começamos pela Direcção-Geral dos Recursos Naturais, cujos serviços utilizámos inúmeras vezes. Tanto na Divisão de Hidrometria como na Direcção da Biblioteca encontramos sempre o melhor apoio e compreensão às nossas inúmeras solicitações e que é de justiça mencionar. Do mesmo modo, quer a Brigada de Hidrometria do Baixo Mondego quer a Direcção Hidráulica do Mondego sempre nos acolheram e facultaram generosamente todas as informações que pretendíamos.

Também a Electricidade de Portugal nos franqueou as suas portas. Recorremos frequentemente ao Órgão de Apoio Exploração, do Centro de Distribuição de Seia, à Direcção Operacional do Equipamento Hidráulico, do Porto e, ainda, ao Gabinete de Relações Públicas e Informações, da Estrutura Central de Lisboa tendo, em todos eles, sido sempre cordialmente recebidos.

Do mesmo modo, tanto a HIDROPROJECTO como a COBA, as empresas particulares com que contactámos, nos franquearam as suas instalações, onde fomos sempre bem acolhidos.

A todos agradecemos a amabilidade com que sempre nos distinguiram, cedendo-nos os elementos de que necessitávamos para a concretização deste estudo. A Fernando COROADO devemos o desenho das figuras. Bem-hajam.

1. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

As perspectivas de tratamento dos diferentes elementos climáticos dependem, essencialmente, dos objectivos que nos propomos alcançar.

Como, do ponto de vista climático, pretendemos caracterizar a bacia hidrográfica do rio Alva com vista à sua definição hidrológica, aborda-la-emos sob dois aspectos principais.

Por um lado, analisaremos os factores que mais contribuem para o fornecimento de água à bacia hidrográfica, ou seja, aqueles que fazem com que haja escoamento no curso de água. Estes factores estão naturalmente ligados à precipitação e serão tratados sob os seguintes aspectos: natureza, intensidade, duração, distribuição no espaço e distribuição no tempo.

Por outra parte, considerar-se-ão os factores que condicionam a evapotranspiração, isto é, aqueles que são responsáveis pelas perdas de água e que, portanto, diminuem o escoamento. Prendem-se com um conjunto de fenómenos verificados nas imediações da interface solo-atmosfera e que, entre outros, se relacionam com a radiação solar, o vento, a temperatura e a humidade do ar, a pressão atmosférica, a natureza da superfície evaporante, o teor em água do solo e, ainda, com as espécies vegetais e a sua repartição.

Torna-se evidente que as características essenciais de todos estes diferentes elementos advêm, fundamentalmente, da localização da bacia hidrográfica. Porque situada nas médias latitudes, encontra-se numa área de transição entre os climas predominantemente mediterrâneos de Sueste e os de feições mais marcadamente atlânticas, de Noroeste. Assim, as características climáticas reflectem, naturalmente, esta situação de transição.

1.1. ESTAÇÕES E REGISTOS METEOROLÓGICOS

Em termos de caracterização meteorológica, a bacia hidrográfica do rio Alva apresenta acentuados contrastes. Se, nas áreas de cabeceiras da serra de Estrela, menos de 100 Km², apresentam uma rede suficientemente densa de estações meteorológicas e de postos udométricos, em contrapartida, o resto da bacia, mais de 600 Km², apenas possui um único posto udométrico, situado em Coja. Face a esta situação e para uma melhor caracterização das precipitações, recorreremos a outros postos localizados em bacias limítrofes mas suficientemente próximos das divisórias de água para poderem ser considerados.

1.1.1. Rede udométrica

O conjunto da rede udométrica usada para caracterizar a bacia hidrográfica do rio Alva, é constituída por três postos udográficos e onze postos udométricos², com a seguinte localização (fig. 1):

Udográficos:

Penhas Douradas	40° 25' N;	7° 33' W;	1386 m;
Oliveira do Hospital	40° 22' N;	7° 52' W;	480 m;
Góis	40° 09' N;	8° 07' W;	190 m;

Udométricos:

Covão do Ferro	40° 19' N;	7° 36' W;	1577 m;
Lagoa Comprida	40° 23' N;	7° 38' W;	1560 m;
Vale do Rossim	40° 24' N;	7° 35' W;	1400 m;
Sabugueiro	40° 24' N;	7° 40' W;	975 m;
Fajão	40° 09' N;	7° 55' W;	762 m;
Meãs	40° 09' N;	7° 49' W;	700 m;
Ponte de Jugais	40° 23' N;	7° 43' W;	550 m;
Seia	40° 25' N;	7° 42' W;	518 m;
Coja	40° 16' N;	7° 59' W;	172 m;
Almaça	40° 20' N;	8° 13' W;	127 m;
Penacova	40° 16' N;	8° 17' W;	60 m;

Os postos do Vale do Rossim, Sabugueiro e Ponte de Jugais foram instalados pela Empresa Hidroeléctrica da Serra da Estrela em 1946/47, mas depois de 1974 transitaram para o Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG), a quem também pertencem as estações meteorológicas das Penhas Douradas e da Lagoa Comprida.

O Covão do Ferro é um posto particular, pertencente à Penteadora, Sociedade Industrial de Penteação e Fiação de Lãs, SARL, de Unhais da Serra. O posto das Meãs, actualmente extinto, também era particular. Todos os restantes postos são da responsabilidade da Direcção-Geral dos Recursos Naturais, antiga Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos.

² De 1950/51 a 1953/4 funcionou um udometro nos Covões de Loriga. Não se considerou, dada a curta série de observações (1952/53 não foi publicado).

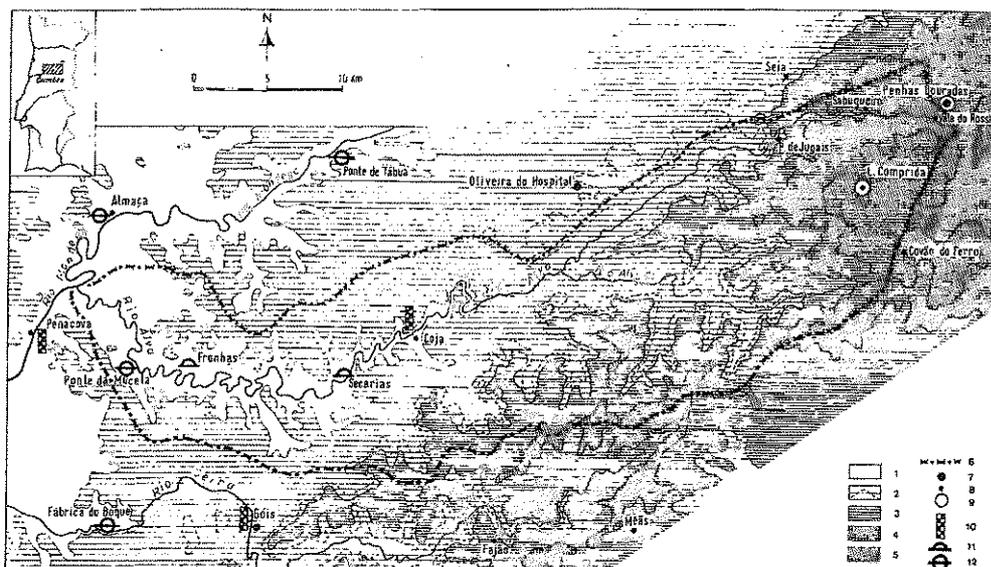


FIG. 1 — Esboço de localização dos postos e estações das redes udometeorológica e hidrométrica.

1 — altitudes inferiores a 200 metros; 2 — de 200 a 600 m (a tracejado indica-se a curva de nível dos 500 m); 3 — de 600 a 1000 m; 4 — de 1000 a 1500 m; 5 — superiores a 1500 m; 6 — limite da bacia hidrográfica do rio Alva; 7 — posto udográfico; 8 — posto udométrico; 9 — estação meteorológica; 10 — estação limnigráfica; 11 — estação limnigráfica com descarregador.

1.1.2. Estações meteorológicas

Apenas as estações de Penhas Douradas e da Lagoa Comprida estão devidamente equipadas com instrumentos que, além da precipitação na sua fase líquida, possibilitam a avaliação de outras grandezas e, por isso, procedem com regularidade à observação meteorológica.

Para estas estações é, pois, possível conhecer tanto a pressão atmosférica como a temperatura e a humidade relativa do ar, ou ainda, o vento, a insolação, a nebulosidade, a evaporação e, até, as precipitações de natureza sólida. Por esse motivo estas duas estações merecerão, logicamente, um tratamento mais pormenorizado.

Como ambas se situam na Serra de Estrela, os seus registos não são significativos para a generalidade da bacia de drenagem, motivo porque, por vezes, também recorremos aos valores referentes à estação meteorológica do Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra. Embora situada já fora da bacia, regista valores mais próximos dos que se verificam nas partes menos elevadas e, por isso, permitem estabelecer correlações, necessárias para uma mais eficaz caracterização das situações possíveis de ocorrerem na bacia hidrográfica.

1.1.3. Documentos udometeorológicos

Atendendo a que as estações meteorológicas e os postos udométricos e udográficos se distribuem, na generalidade, pelas duas entidades já referidas, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG) e Direcção-Geral dos Recursos Naturais (DGRN), a edição dos documentos que contêm os registos meteorológicos tem sido da responsabilidade desses dois organismos.

Na generalidade, os documentos publicados constituem o resumo dos registos efectuados pelos observadores locais que, normalmente, procedem a uma observação diária.

De entre outras publicações periódicas, salientamos naturalmente, os diversos volumes do *Anuário Climatológico de Portugal, Observações de superfície — I Parte*, da responsabilidade do INMG, e os *Anuários dos Serviços Hidráulicos*, da Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, actual DGRN, inicialmente apresentados num único volume que, depois, se subdividiram em duas séries, udometeorologia e hidrometria, e que, actualmente se publicam apenas na versão de *CAUDAIS, Portugal (Continente)*.

Outra série editada pelo INMG, onde é possível encontrar grande quantidade de dados, denomina-se *Clima de Portugal*. Embora não apresente um carácter periódico, apontamos os fascículos com mais interesse para este estudo; IV — «Valores mensais e anuais dos elementos climáticos no período de 1901-1930» (1945); V — «Beira» (1946); IX — «Valores médios dos elementos climáticos no território nacional em 1921-1950» (1956); XIII — «Normais climatológicas do Continente, Açores e Madeira correspondentes a 1931-1960» (1965); XXI — «Contribuição para o estudo das cheias na bacia hidrográfica do Mondego» (1980) e XXIV — «Contribuição para o estudo do balanço climatológico da água no solo e classificação climática de Portugal Continental» (1980).

Por sua vez, a Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos publicou em Dezembro de 1986 dois volumes com os *Escoamentos até 1984/85* e os *Dados Pluviométricos de 1900/01 a 1984/85*.

Infelizmente, dificuldades de diversas índoles têm impedido que o INMG publique, em tempo oportuno, os elementos relativos aos seus postos, assim como a DGRN proceda à edição de alguns Anuários atrasados que, por continuarem em falta, impossibilitam o fácil acesso a esses registos.

Por outro lado, a entrada em funcionamento dos diferentes postos apresenta grandes desfasamentos no tempo, pelo que enquanto para uns é possível obter longas séries de dados, superiores a cem anos, para outros, de instalação mais recente, somos forçados a usar apenas cerca de uma vintena de anos (fig. 2).

Por último, algumas falhas que, por vezes, se observam nalguns registos criam lacunas que, naturalmente, dificultam o tratamento dos dados.

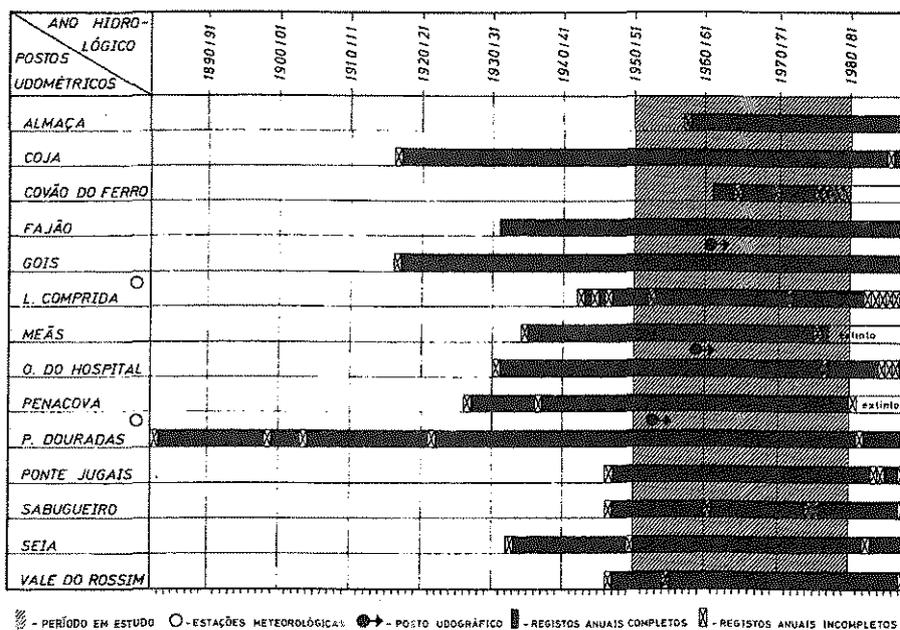


FIG. 2 — Períodos de observação dos postos udometeorológicos.

1.2. FACTORES RELATIVOS À PRECIPITAÇÃO

Do ponto de vista hidrológico, é grande a importância de que se revestem os factores relativos à precipitação porquanto, quando em associação com outros factores também de ordem física, determinam as quantidades de água disponível tanto para a infiltração, como para o escoamento superficial e, ainda, para a evapotranspiração. Por todas estas razões convém, pois, analisá-los com algum detalhe.

1.2.1. Natureza, intensidade e duração da precipitação

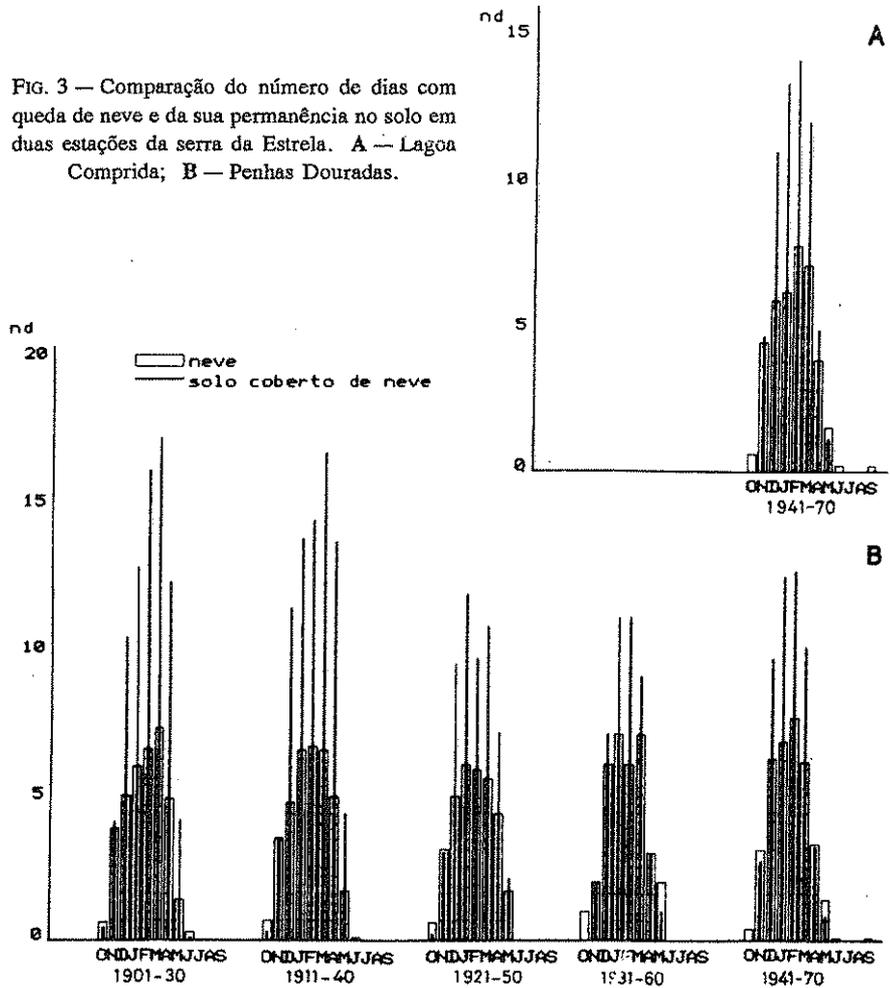
À natureza da precipitação anda normalmente associado o estado, líquido ou sólido, sob que se processa.

Em termos de escoamento é fundamental conhecer a natureza das precipitações para se poder avaliar o seu comportamento futuro. Se as precipitações líquidas originam, normalmente, escoamento imediato, já as precipitações de natureza sólida, particularmente quando sob a forma de neve, o podem produzir com grande desfaseamento no tempo.

No caso da bacia hidrográfica em estudo, as precipitações são, na sua grande maioria, de natureza líquida, pelo que, em termos de escoamento, o rio deverá res-

ponder, de imediato, com um acréscimo de caudal mais ou menos proporcional à queda da chuva.

Em condições de tempo mais severas, toda a bacia hidrográfica pode registar queda de neve, mas, normalmente, só ocorre acima dos 900 metros de altitude e



nos meses de Outubro a Maio, sendo mais frequente de Dezembro a Março. Apenas nos cumos da serra da Estrela e, mais raramente, da serra do Açor, permanece no solo por alguns dias (fig. 3). A altitude é, pois, um factor decisivo para a queda de neve na bacia do rio Alva. Ao seu gradual aumento corresponde uma lenta diminuição da temperatura do ar que, muitas vezes, é suficiente para solidificar as gotas de água das nuvens e originar, por isso, precipitação sólida que, por

permanecer no solo durante poucos dias, se reveste de pouco interesse para o escoamento.

A intensidade da precipitação associa-se à quantidade de chuva caída num determinado período de tempo. Corresponde ao quociente entre a altura de precipitação caída, Δh , e o seu tempo de duração, Δt , $i = \Delta h / \Delta t$ (LENCASTRE et al., 1984, p. 62). As chuvas consideram-se muito intensas quando grandes quantitativos de precipitação caem num curto intervalo de tempo e, pelo contrário, deixam de se considerar intensas quando esses quantitativos se distribuem por longos períodos de tempo.

A duração da precipitação tem a ver com o intervalo de tempo durante o qual se processa, isto é, com o período de tempo em que chove sem interrupção, independentemente da quantidade de chuva registada.

Quando os efeitos da duração se conjugam com os da intensidade da precipitação, originam-se os escoamentos superficiais mais abundantes. Por um lado, quanto mais duráveis forem as precipitações tanto menor será a capacidade de infiltração, uma vez que, devido ao contínuo fornecimento de água ao solo, o seu teor em água vai-se elevando progressivamente, até ao ponto de se alcançar a saturação.

Por outro lado, precipitações intensas, principalmente quando ocorridas depois de satisfeita a capacidade de infiltração dos aquíferos, determinam um escoamento superficial abundante que, muitas vezes, conduz a aumentos significativos de caudal nos rios, podendo até levar à ocorrência de cheias.

Por estes motivos, a análise da intensidade da precipitação, em íntima relação com diferentes durações, tem merecido particular atenção nos estudos hidrológicos.

Alguns destes trabalhos, de natureza específica (J. M. LOUREIRO e M. S. PINTO, 1979) e outros de ordem mais geral, mas que também consideraram a intensidade da precipitação para várias durações (J. M. R. FARIA *et al.*, 1978 e S. F. GODINHO, 1980) foram aplicados à bacia hidrográfica do rio Mondego, na qual a do Alva se integra, pelo que, neste aspecto, já dispomos de alguns conhecimentos suficientemente detalhados. Contudo, a sua difusão foi relativamente restrita pelo que nos pareceu conveniente actualizá-los e divulgar algumas das suas linhas gerais.

Verificou-se que as precipitações máximas diárias observadas desde que há registos ocorreram no posto que detem a série mais longa, as Penhas Douradas, nos anos hidrológicos de 1926/27, 1927/28 e 1928/29 com 327,4 (10.03), 331,0 (23.12) e 310,0 (15.12) mm, respectivamente. Nessa altura só funcionavam os postos de Coja, Góis e Penacova, muito distantes e que nesses dias registaram precipitações máximas diárias bastante inferiores aos seus próprios máximos, respectivamente, 109,4 mm — 01.01.1931; 121,8 mm — 05.11.1951 e 113,0 mm — 21.12.1935. Como na serra de Estrela não existia nenhum outro udó-

metro, é lógico pensar, com base nos valores observados mais tarde, que o máximo pudesse ter sido ainda maior, ocorrendo noutra local da serra.

É que durante o período em estudo, a estação meteorológica das Penhas Douradas esteve longe de alcançar os valores mais altos da precipitação máxima diária registados na área da bacia. Esse facto levou-nos a supor que se a actual rede existisse nos anos 20, os máximos talvez não correspondessem às Penhas Douradas, dado que, depois desse período, as máximas diárias mais elevadas e em maior número foram observadas na Lagoa Comprida, no Covão do Ferro e no Vale do Rossim.

Além disso, prova o carácter efémero e local destes valores, muito variáveis de ano para ano, de mês para mês, ainda que neste caso sempre circunscritos às estações do Outono e do Inverno, o que nem sempre sucede quando se considera a globalidade das máximas precipitações diárias registadas anualmente e, sobretudo, de lugar para lugar (fig. 4). Apenas em 20.11.59 e em 13.03.69 se registaram máximos simultâneos em quatro e dois postos, respectivamente, na Lagoa Comprida, Vale do Rossim, Sabugueiro, Meãs e no Covão do Ferro e Fajão (Quadro I).

Com as médias mais elevadas das máximas precipitações anuais em 24 horas sucedeu algo de semelhante. O valor mais alto coube ao Covão do Ferro com 135,0 mm, seguido do Vale do Rossim com 102,4 mm, da Lagoa Comprida com 102,2 mm, das Meãs com 92,9 mm e, só depois das Penhas Douradas com 90,7 mm (Quadro II). Se, em parte, a justificação para o Covão do Ferro e para as Meãs se poderá atribuir ao facto de apresentarem séries de observações mais curtas do que as Penhas Douradas, isso já não é válido para o Vale do Rossim ou para a Lagoa Comprida, pelo que as precipitações máximas não parecem verificar-se nas Penhas Douradas, como vulgarmente se crê.

Durante o período em estudo, ainda tentámos determinar médias para outras durações mais curtas, mas não tivemos acesso aos dados pelo que nos limitámos a analisar alguns dos valores referidos na bibliografia.

Assim, apresentamos os dados por nós calculados, relativos a uma duração de 24 horas e referentes ao conjunto das estações (Quadro II) comparativamente com os determinados, para diferentes durações, por J. M. R. FARIA *et al.*, (1978) para as Penhas Douradas e por J. M. LOUREIRO *et al.*, (1979) para as Penhas Douradas, Oliveira do Hospital e Góis (Quadro III).

Verifica-se que nas Penhas Douradas e em Góis os valores médios mais baixos para 24 horas de duração se referem, logicamente, ao maior número de anos de observações, enquanto que em Oliveira do Hospital sucede o contrário. Para durações inferiores os valores aumentam proporcionalmente com a diminuição do intervalo de tempo considerado.

A partir dos valores médios das máximas precipitações anuais em 24 horas, obtêm-se as médias da intensidade da precipitação máxima anual para essa mesma duração (Quadros IV e V).

QUADRO I — Precipitações máximas diárias superiores a 130,0 mm (lugar e data de ocorrência)

Lagoa Comprida	Covão do Ferro	Vale do Rossim	Sabugueiro	Meãs	Fajão	Penhas Douradas
200,3-15.11.68	179,4-13.03.69	177,4-20.11.59	160,0-20.11.59	152,0-20.11.59	140,0-13.03.69	134,3-16.02.63
189,0-20.11.58	168,2-05.01.70	157,5-20.03.53		140,0-14.12.76		
173,0-30.01.65	145,2-23.02.64	134,5-18.01.55		134,0-28.01.58		
146,5-18.10.77	142,0-28.11.61	132,5-23.09.51				
132,5-28.11.53	140,0-06.02.66					
	130,7-02.01.63					

QUADRO II — Média das máximas precipitações anuais em 24 horas durante o período 1950/51-79/80

Covão do Ferro	Vale do Rossim	Lagoa Comprida	Meãs	Penhas Douradas	Fajão	Sabugueiro	Pena-cova	Seia	Góis	Almaça	Oliv. ^a do Hosp.	Coja	Ponte de Jugais
135,0	102,4	102,2	92,9	90,7	84,6	80,0	69,9	67,9	65,1	61,5	56,8	55,0	55,0

Quadro III — Média das máximas precipitações anuais para diferentes durações

N.º de anos de Observações	Nome do Posto	24 h	12 h	6 h	3 h	2 h	1 h	30 m	20 m	10 m	Autores
13 (1951-63)	P. Douradas	98,1	74,8	57,5	39,3	—	24,3	19,1	15,2	9,8	FARIA <i>et al.</i>
24	P. Douradas	93,7	69,7	48,2	33,6	27,4	20,0	—	—	—	LOUREIRO
20	Oliv.* Hosp.	53,7	43,5	32,5	24,4	20,0	16,0	—	—	—	
18	Góis	68,8	50,6	35,8	26,1	21,6	15,8	—	—	—	<i>et al.</i>

QUADRO IV — Média da intensidade de precipitação máxima anual para a duração de 24 horas (1950/51-79/80)

Covão do Ferro	Vale do Rossim	Lagoa Comprida	Meãs	Penhas Douradas	Fajão	Sabugueiro	Pena-cova	Seia	Góis	Almaça	Oliv. ^a do Hosp.	Coja	Ponte de Jugais
5,6	4,3	4,3	3,9	3,8	3,5	3,3	2,9	2,8	2,7	2,6	2,4	2,3	2,3

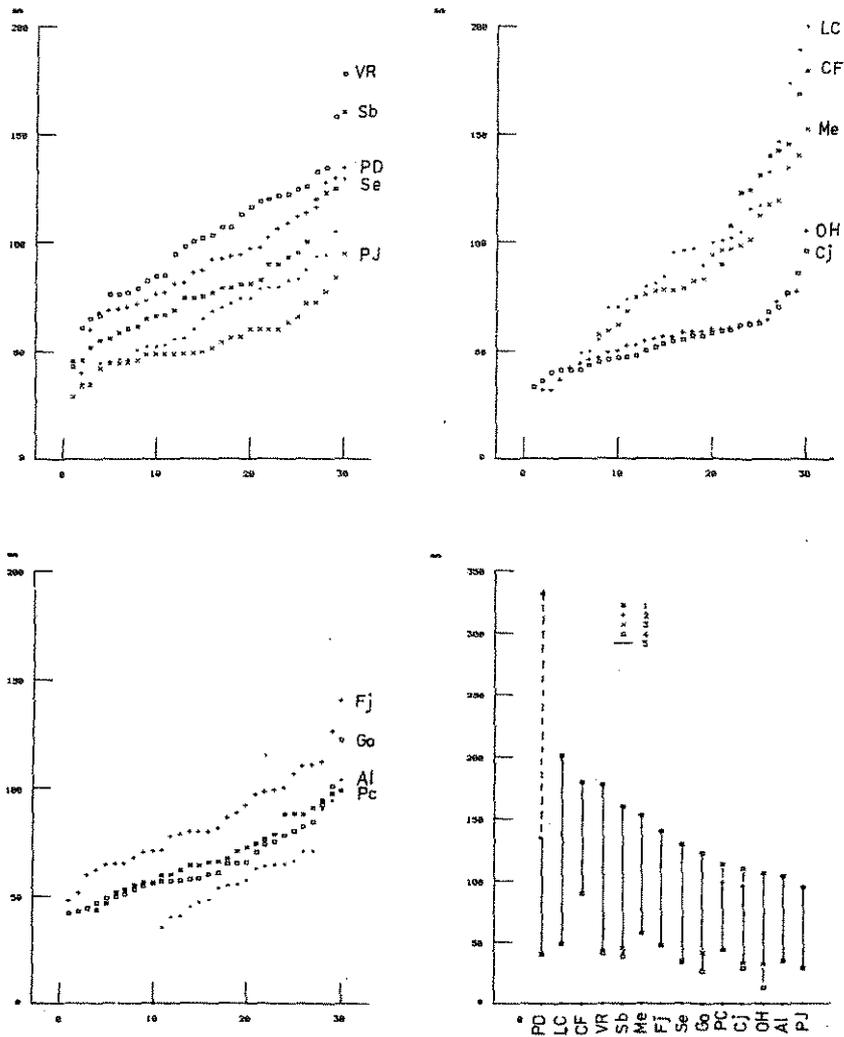


FIG. 4 — Variação dos valores das máximas precipitações diárias observadas desde que há registos e durante o período em estudo, nos 14 postos considerados. P D - Penhas Douradas; L C — Lagoa Comprida; C F — Covão do Ferro; V R — Vale do Rossim; Sb — Sabugueiro; Me — Meãs; Fj — Fajão; Se — Seia; Go — Góis; Pc — Penacova; Cj — Coja; O H — Oliveira do Hospital; Al — Almaça e P J — Ponte de Jugais. 1 — máximo absoluto; 2 — máximo entre 1950/51 e 1979/80; 3 — máximo mais baixo (1950/51-79/80); 4 — máximo mais baixo observado; 5 — amplitude entre os valores extremos (1950/51-79/80).

Relativamente a durações inferiores, os valores apresentados, mesmo tratando-se de valores médios, ilustram a diferenciação existente entre os diferentes postos, mesmo quando situados relativamente próximos uns dos outros e servem para realçar a importância dos factores locais na explicação dos diferentes mecanismos que provocam precipitações com intensidades muito diferentes.

As intensidades médias mais elevadas referem-se, obviamente, aos períodos de tempo mais curtos e, por isso, em função dos dados disponíveis, reportam-se unicamente às Penhas Douradas.

A intensidade das precipitações surge, pois, como factor preponderante em hidrologia, em particular na explicação das cheias, muitas vezes associadas a precipitações abundantes caídas num curto espaço de tempo, logo, a precipitações intensas.

À precipitação associam-se, por vezes, outros hidrometeoros dos quais destacamos, pela importância que apresentam nesta bacia hidrográfica, o orvalho e a geada.

QUADRO V — Média da intensidade de precipitação máxima anual para diferentes durações (segundo LOUREIRO *et al.*, 1979)

<i>N.º de anos de Observações</i>	<i>Nome do Posto</i>	<i>24 h</i>	<i>12h</i>	<i>6 h</i>	<i>3 h</i>	<i>2 h</i>	<i>1 h</i>
24	P. Douradas	3,9	5,8	8,0	11,2	13,7	20,0
20	Oliv.ª Hospital	2,2	3,6	5,4	8,1	10,0	16,0
18	Góis	2,9	4,2	5,9	8,7	10,8	15,8

Durante as noites e madrugadas calmas ou com vento fraco, frias e secas, do final do Outono, Inverno e início da Primavera forma-se geada, um pouco por toda a bacia, particularmente nas vertentes umbrias, onde chega a permanecer várias semanas consecutivas (fig.5), cuja acção é por vezes muito importante, pelas alterações que produz nos solos e até nas próprias rochas, preparando o material para posterior evacuação pela água das chuvas.

O orvalho, especialmente no Verão, quando, muitas vezes, anda associado ao nevoeiro, cobre toda a bacia do Baixo Alva, limitando-se aos vales, nas partes mais elevadas (fig. 6). Torna-se importante porquanto fornece humidade à parte mais superficial do solo e à vegetação ajudando-a a suportar os estios mais secos.

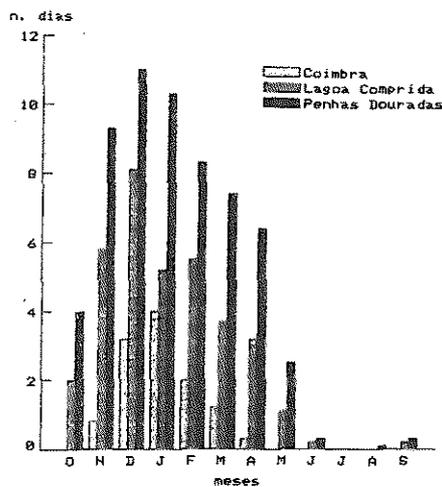


FIG. 5 — Distribuição, ao longo do ano, do número de dias com geada, em Coimbra, na Lagoa Comprida e nas Penhas Douradas.

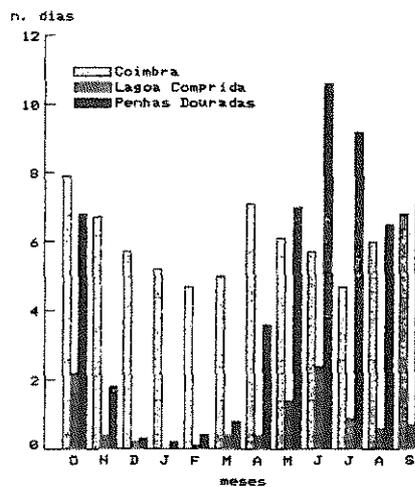


FIG. 6 — Repartição mensal do número de dias com orvalho, em Coimbra, na Lagoa Comprida e nas Penhas Douradas.

1.2.2. Distribuição no espaço e no tempo. Implicações da sua variabilidade no escoamento fluvial

Mais do que preocupar-nos com a cartografia da distribuição espacial das precipitações na bacia do Alva, atendendo a que foi excelentemente elaborada, na escala de 1/500 000, pela Prof.^a S. DAVEAU e seus colaboradores (1977), preferimos proceder a uma análise mais detalhada dos registos relativos aos postos nela situados, ou na sua periferia.

Deste modo, a sua análise no tempo considerará a época de ocorrência e o intervalo de tempo entre os fenómenos de precipitação.

Dos 14 postos considerados apenas um deles apresenta precipitação média anual inferior a 1000 mm, do mesmo modo que só num deles é superior a 2000 mm. Seis dos postos registam precipitações entre 1000 e 1500 mm e os outros seis entre 1500 e 2000 mm (fig. 7-A).

Altitudinalmente a distribuição é também irregular. O maior número de postos, três, localiza-se entre os 100 e os 200 metros. Depois, aparecem dois postos entre 500 e 600 metros e, ainda entre 700 e 800 e entre 1500 e 1600 metros. Finalmente, existe um posto entre 0 e 100 metros, entre 400 e 500, 900 e 1000, 1300 e 1400 e entre 1400 e 1500 metros. Deste modo, as altitudes compreendidas

entre 200 e 400, 600 e 700, 800 e 900, 1000 e 1300 e superiores a 1600 metros não dispõem de nenhum posto (fig. 7-B).

A precipitação pode considerar-se média, em quase toda a bacia hidrográfica, atendendo à sua exposição uniforme às massas de ar dominantes, do quadrante

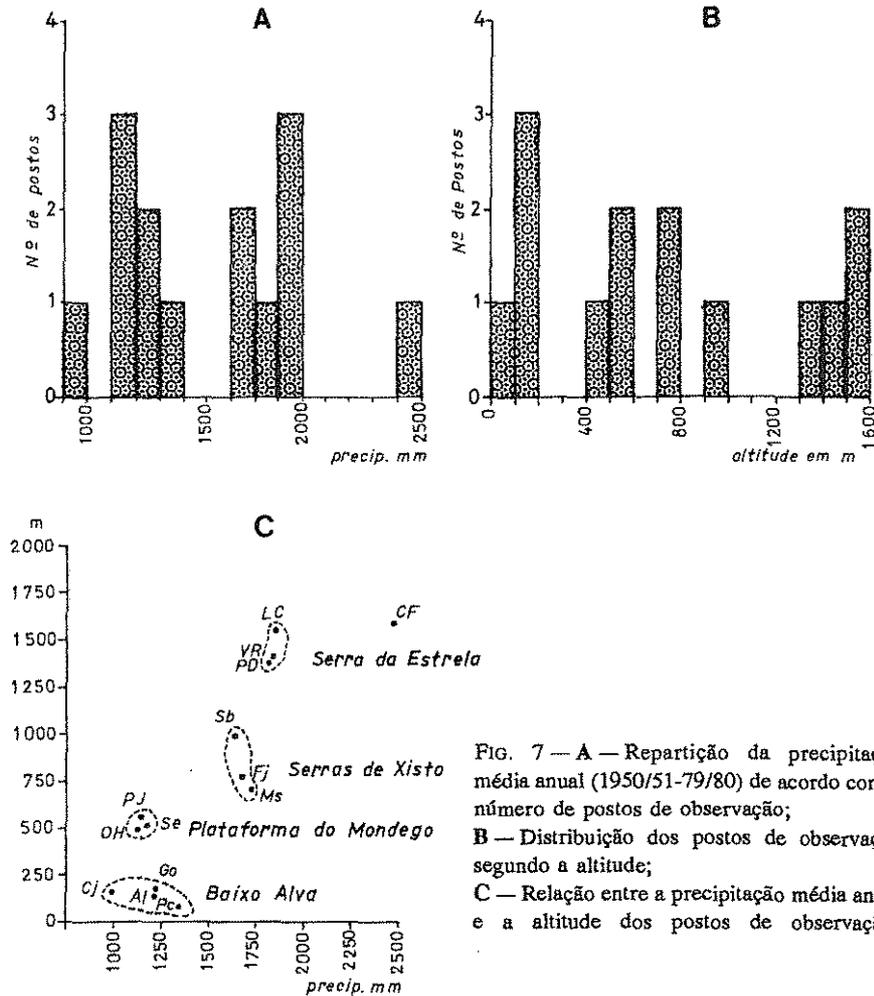


FIG. 7 — A — Repartição da precipitação média anual (1950/51-79/80) de acordo com o número de postos de observação; B — Distribuição dos postos de observação segundo a altitude; C — Relação entre a precipitação média anual e a altitude dos postos de observação.

Oeste, e à disposição quase concordante da Cordilheira Central que a limita a Sueste. A precipitação aumenta, logicamente, com a altitude e, para uma mesma altitude, com a localização (fig. 7-C).

Em linhas gerais, a precipitação aumenta de Poente para Nascente e de Sul para Norte. Esse aumento fica a dever-se à ascensão a que, por circular em baixa altitude, as massas de ar marítimo são forçadas, ao encontrarem a vertente oci-

dental da Cordilheira Central na parte oriental a bacia, onde, naturalmente, as altitudes são mais elevadas, mais a Norte do que a Sul, e onde, por conseguinte, as massas de ar são obrigadas a condensar o vapor de água que transportam.

Assim, as precipitações mais baixas registaram-se no Baixo Alva, com valores semelhantes às da Plataforma do Mondego, diferindo apenas na altitude a que se encontram colocadas as estações. Um outro conjunto agrupa os postos colocados nas serras de xisto e a que se agrega o Sabugueiro. Finalmente, os valores mais altos da precipitação, foram observados nas altitudes mais elevadas da Serra de Estrela (fig. 7-C).

Abstendo-nos das diferenças quantitativas provocadas pela altitude, constatamos que a distribuição da precipitação média ao longo do ano é semelhante em todos os postos, com máximos de Novembro a Fevereiro e mínimos em Julho e Agosto. Ressalta, no entanto, a grande variabilidade dos quantitativos mensais registados ao longo dos diferentes anos, factor que, como veremos, será elemento preponderante na explicação do comportamento hidrológico do rio. Por isso em vez de nos limitarmos aos valores médios mensais normais para o período considerado, preferimos representar também os valores extremos registados nesse mesmo período, para facilmente se poderem avaliar as irregularidades presentes no regime mensal das precipitações (fig. 8).

Relativamente ao número de dias com precipitação verificámos, em termos médios, que são os meses de Janeiro e de Março os mais propensos a registarem o maior número de dias com precipitação, enquanto que os de Julho e Agosto são aqueles que apresentam o menor número de dias com chuva. Também neste aspecto a variabilidade de ano para ano é grande, como se deduz pela observação dos valores extremos dos dias que registaram precipitação ao longo dos diferentes meses (fig. 8).

No entanto, muitos desses dias registaram precipitações com valores pouco significativos. Como, em termos de escoamento, são particularmente interessantes os dias com precipitações superiores a 10 mm, analisámos a sua distribuição mensal. Dificuldades diversas impediram-nos de apresentar os valores relativos a todos os postos (1950/51-79/80), motivo pelo que apenas considerámos os valores normais nesse período nas Penhas Douradas, Lagoa Comprida e Coimbra e os comparámos com os valores normais em períodos imediatamente anteriores.

Além do maior número de dias observado nas Penhas Douradas, constata-se uma certa regularidade de valores nos diferentes períodos considerados (fig. 9).

A análise estacional mostrou que, em termos médios, foi sempre o Inverno que tomou a dianteira nos valores da precipitação registada em todos os postos. Seguiu-se-lhe o Outono e, bem distante, a Primavera. O Verão revelou-se sempre como a estação de penúria para a totalidade dos postos de observação. No entanto, esta regularidade é só aparente pois, quando observamos os valores máximos regis-

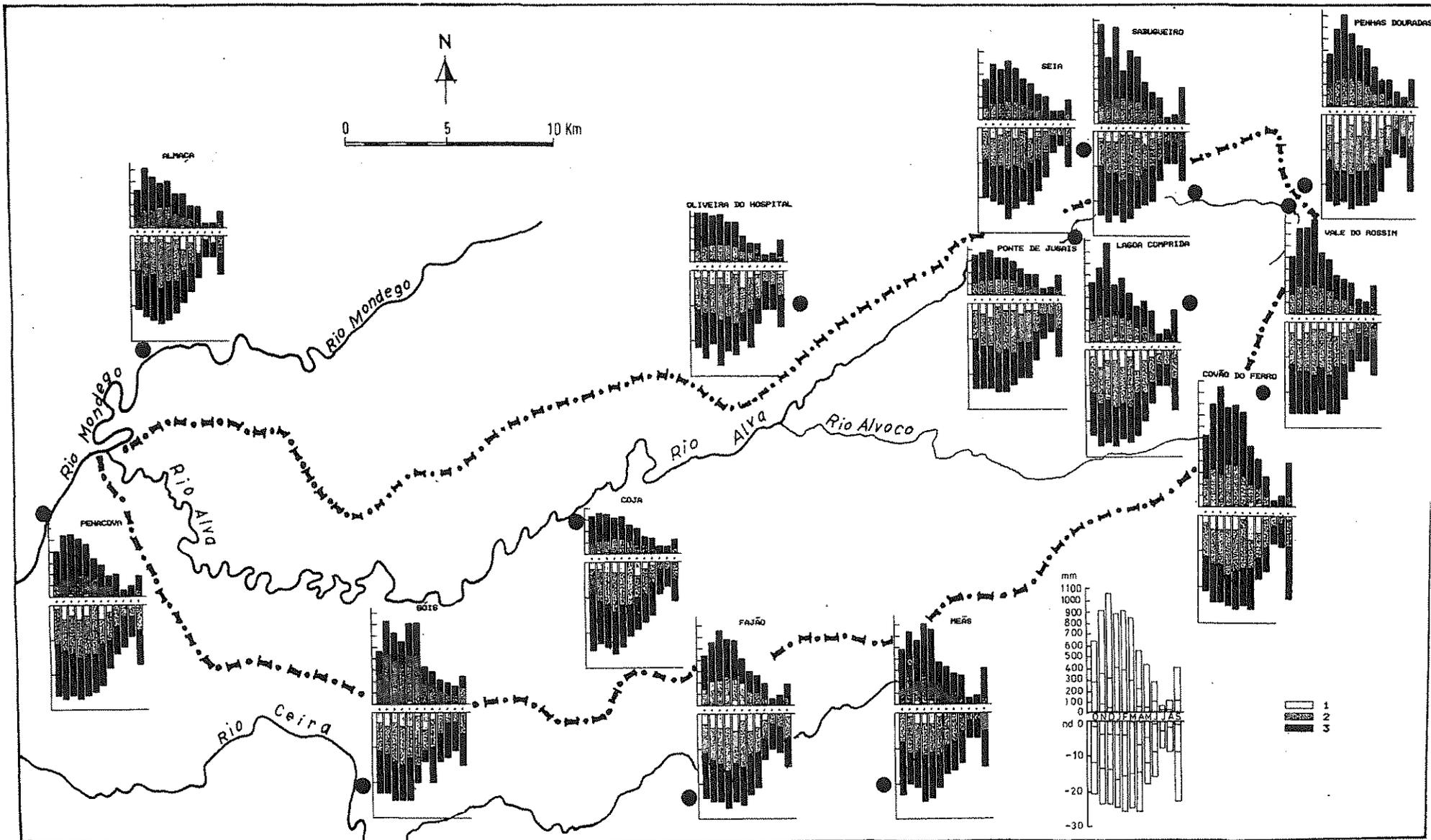


FIG. 8 — Distribuição mensal das precipitações na bacia do Alva, altura (mm) e número de dias (nd), no período de 1950/51 a 1979/80.

1 — Valor máximo mensal registado; 2 — Média mensal; 3 — Valor mais baixo observado.

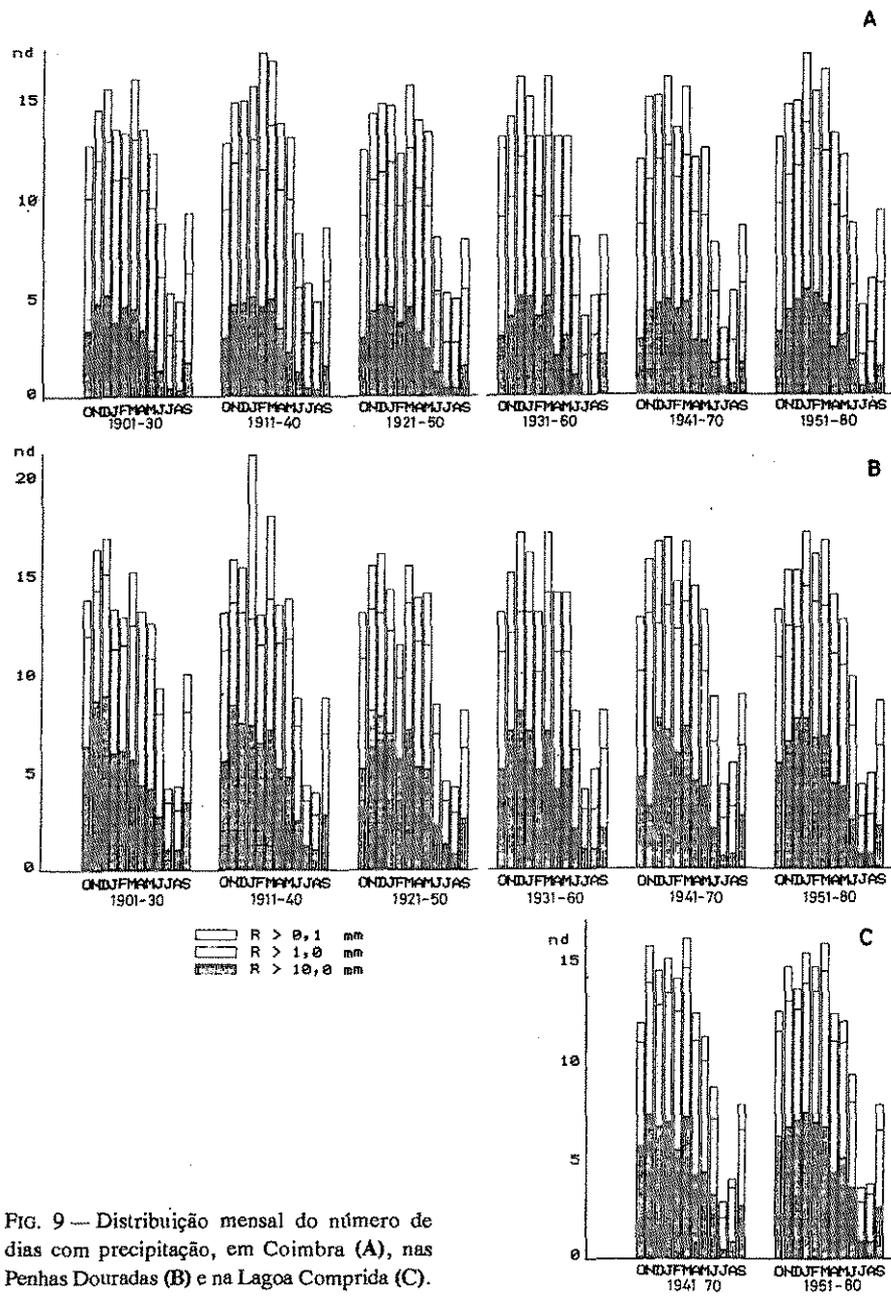


FIG. 9 — Distribuição mensal do número de dias com precipitação, em Coimbra (A), nas Penhas Douradas (B) e na Lagoa Comprida (C).

tados, verificamos que ao Outono cabem nove desses máximos ficando disponíveis para o Inverno apenas cinco deles, se bem que, na generalidade das situações, as diferenças entre os máximos, primário e secundário, não sejam muito significativas.

Se bem que o Outono se tenha revelado com uma estação em que podem ocorrer grandes quantitativos de precipitação, contudo, em termos hidrológicos, não se verificou uma resposta directa a esses valores porquanto o Outono surge depois de uma época de escassez e, por conseguinte, grande parte dessa precipitação, vai ser absorvida pelos solos, infiltrando-se e entrando na circulação subterrânea, reconstituindo as reservas entretanto desfalcadas.

Relativamente às menores precipitações observadas, a proporção manteve-se, nove para o Outono e cinco para o Inverno, embora nem sempre se tenha verificado uma perfeita coincidência nos postos. A Primavera continuou sempre em situação intermédia do mesmo modo que o Verão surgiu sempre como a época de maior escassez, com valores mínimos muito baixos nalguns dos postos: 1,1 mm no Sabugueiro, 5,0 mm em Almaça, 5,4 mm em Coja e 9,6 mm em Góis (fig. 10).

No que respeita à variabilidade interanual, o comportamento dos diferentes postos é similar, embora os quantitativos tenham variado muito de local para local e, especialmente, de ano para ano (fig. 11), tornando-se muito irregular a alternância de anos secos e anos húmidos (Quadro VI).

Penhas Douradas é, de entre todas as estações aquela que apresenta uma série de observações mais longa. Inicia-se no ano hidrológico de 1883/84, começando por um período muito pluvioso, cinco anos consecutivos com precipitação superior a 3 000 mm, ao qual se segue um período húmido que alcança o máximo da precipitação em 1935/36, com 5 198,6 mm, ano a partir do qual os valores passam a ser bem inferiores.

Depois deste ano, só em 1965/66 e em 1968/69, se voltam a registar precipitações próximas dos 3 000 mm, com 2 949,1 e 2 766,7 mm, respectivamente. Assim parece que após 1935/36 se entrou num período relativamente seco, quando comparado com o anterior. Os valores médios normais correspondentes aos diferentes períodos desde o início dos registos começam por se mostrarem superiores à média do período, situação que se inverte em 1930/31-59/60, passando a agravar-se nos anos seguintes (fig. 11 e Quadro VII). Com base nesta evolução das precipitações parece confirmar-se uma certa tendência para o acentuar da secura neste fim de século.

Quanto aos outros postos, quase todos se situam apenas no período mais seco. Por isso, embora a sua evolução seja semelhante, traduzida numa grande variabilidade interanual dos valores da precipitação, em termos médios já não se nota a diversidade existente nas Penhas Douradas. São contudo as estações que registam maior quantidade de precipitação aquelas que também apresentam uma maior

NOME DO POSTO	Alt. (m)	MÁXIMA				MÉDIA				MÍNIMA			
		O	I	P	V	O	I	P	V	O	I	P	V
Covão do Ferro	1577	1700,9	1752,4	820,3	388,5	842,5	1021,0	268,5	129,9	190,4	168,0	165	12,5
Lagoa Comprida	1560	1181,2	1201,7	892,5	312,1	670,9	671,2	374,2	131,0	193,7	271,6	119,0	30,4
Vale do Rossim	1400	1338,3	1220,1	707,0	280,2	676,5	706,4	342,5	126,7	175,5	166,2	107,3	34,6
Penhas Douradas	1386	1259,6	1151,3	694,1	256,9	680,9	691,4	322,2	115,2	195,3	208,9	92,9	15,8
Sabugueiro	975	1864,4	1402,2	626,5	369,3	673,7	634,6	327,8	107,2	132,6	80,2	99,6	1,1
Fajão	762	1202,2	1171,8	629,3	305,4	582,1	683,1	301	105,5	186,5	247,7	82,6	16,4
Meãs	700	1329,5	1265,1	621,5	403,8	620,6	710,8	384,5	90,9	125,8	243,3	132,2	17,2
Ponte de Jugais	550	735,8	659,5	521,4	204,7	372,9	429,8	248,1	86,2	108,3	86,5	66,0	13,7
Seia	518	721,7	976,5	496,5	194,0	389,1	466,6	258,5	82,1	104,1	62,1	65,5	11,0
Oliveira do Hospital	480	803,5	769,6	453,8	213,1	376,7	430,4	223,9	82,5	92,9	77,3	60,6	11,5
Góis	190	820,6	855,0	483,8	260,2	401,8	497,7	223,3	83,8	125,0	104,6	11,0	9,6
Coja	172	682,6	628,2	393,5	247,8	332,2	384,5	194,5	76,0	82,7	61,4	51,7	5,4
Almaça	127	799,2	794,4	432,4	148,1	415,5	496,0	224,5	63,4	111,2	198,0	16,5	5,0
Penacova	60	916,8	972,5	493,5	257,0	449,2	554,7	216,8	89,4	127,6	115,0	76,5	13,2

Máximo Primário	Máximo Secund.	Mínimo Primário	Mínimo Secund.

O - Outono
I - Inverno
P - Primavera
V - Verão

FIG. 10 — Distribuição estacional das precipitações (mm) na bacia do Alva.

QUADRO VI — Variação interanual da precipitação na bacia do Alva

Nome do Posto	Precipitação em mm							
	Ano médio	Anos secos		Anos húmidos		Anos secos		Ano húmido
		1952/53	1956/57	1959/60	1965/66	1969/70	1975/76	1976/77
Covão do Ferro	2 483,8	—	—	—	4 169,0	1 299,8	—	—
Lagoa Comprida	1 829,9	—	884,5	2 480,2	2 559,5	1 406,4	1 121,5	3 004,1
Vale do Rossim	1 846,4	1 423,7	1 214,5	2 736,4	2 825,6	1 318,4	802,4	2 315,9
Penhas Douradas	1 809,6	1 152,1	1 209,5	2 482,1	2 949,1	1 483,4	895,1	2 312,5
Sabugueiro	1 643,3	634,0	702,8	4 006,8	2 293,5	1 314,3	—	2 374,8
Fajão	1 676,6	1 092,9	1 234,2	2 621,2	2 476,5	1 593,6	873,4	1 985,5
Meãs	1 720,8	1 011,1	918,0	2 777,5	3 100,3	1 811,0	—	2 403,4
Ponte de Jugais	1 137,1	579,1	766,1	1 727,1	1 751,7	1 080,5	—	1 508,9
Seia	1 176,2	514,0	674,8	1 658,5	2 309,8	1 039,7	660,5	1 725,2
Oliv.ª do Hosp.	1 118,0	541,0	806,4	1 749,9	1 868,5	1 134,3	616,0	1 460,9
Góis	1 207,1	693,4	784,9	1 839,1	1 623,8	1 133,9	774,0	1 667,5
Coja	987,1	467,2	597,4	1 523,8	1 544,2	964,9	693,2	1 434,6
Almaça	1 208,5	—	—	1 682,0	1 915,7	970,3	600,7	1 628,8
Penacova	1 340,1	679,2	792,2	1 852,8	2 386,2	1 197,5	819,7	1 929,1

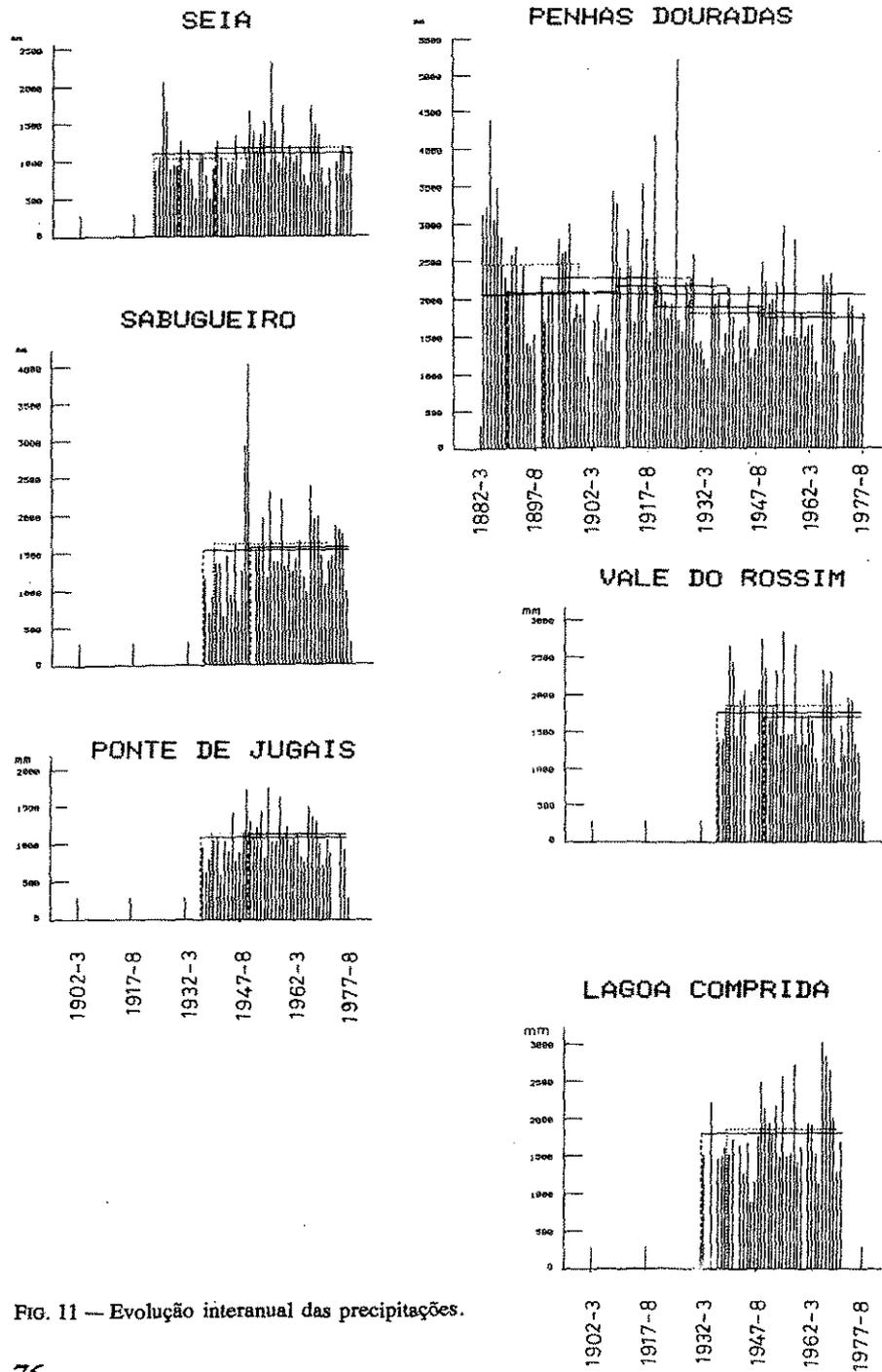
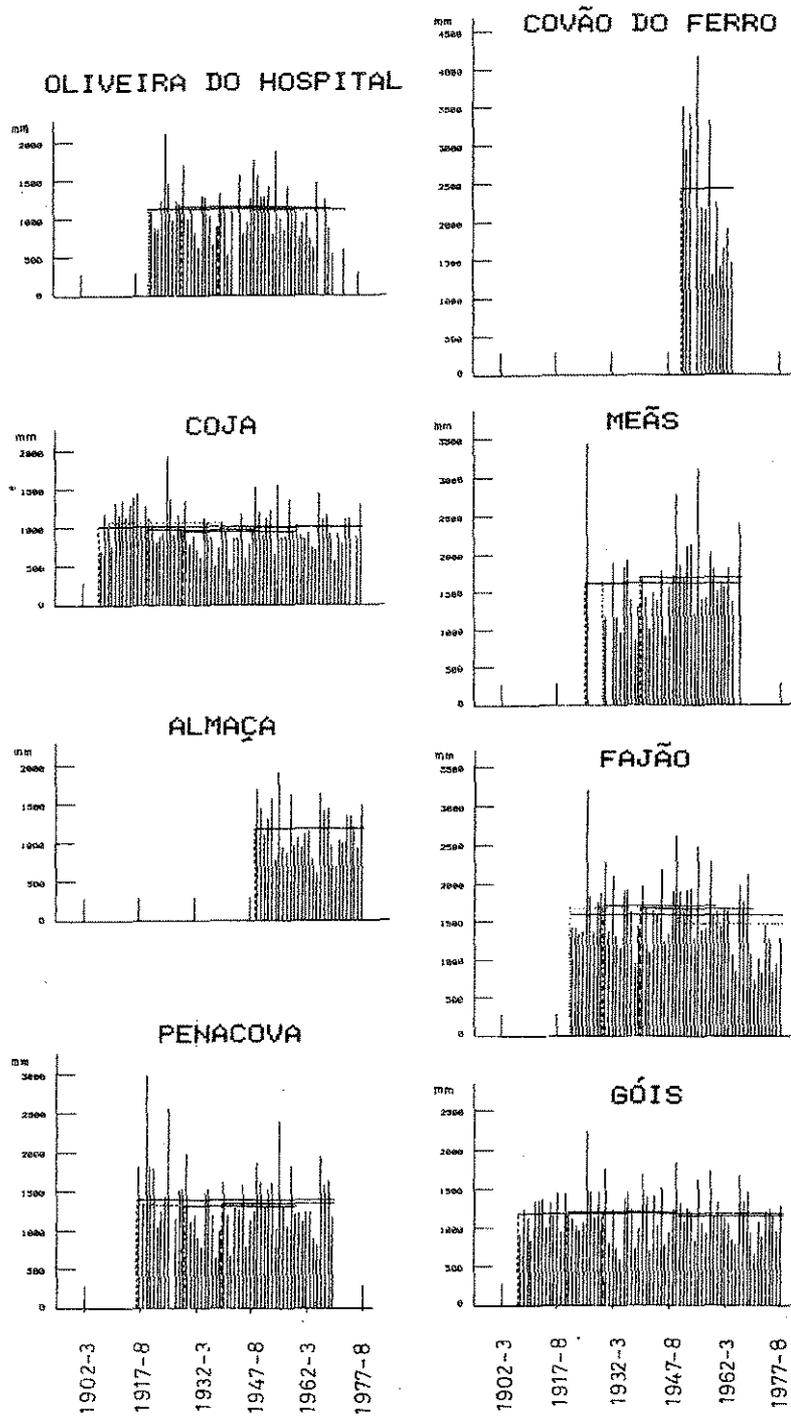


FIG. 11 — Evolução interanual das precipitações.



variabilidade nos valores normais. No conjunto, durante o período em estudo, os anos mais secos foram os de 1952/53 e de 1975/76 e os mais pluviosos foram os de 1965/66 e de 1959/60 (Quadro VI).

A análise um pouco exaustiva da distribuição das precipitações resulta das implicações que a sua variabilidade, quer interestacional quer interanual, representa para a alimentação fluvial. Efectivamente, como as precipitações se processam quase só na sua forma líquida, o rio responderá directamente aos seus quantitativos, daí que a resposta do rio e, por conseguinte o seu regime, denotem as irregularidades das precipitações, como adiante veremos.

QUADRO VII — Valores normais da precipitação em diferentes postos na bacia do Alva e em distintos períodos

Nome do Posto	Período de Funcionamento	Valores normais durante								
		1960/61	1950/51	1940/41	1930/31	1920/21	1910/11	1900/01	1890/91	1883/84
		a 1987/88	a 1979/80	a 1969/70	a 1959/60	a 1949/50	a 1939/40	a 1929/30	a 1919/20	a 1909/10
Covão do Ferro	2 435,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Lagoa Comprida	1 798,3	—	1 848,0	—	—	—	—	—	—	—
Vale do Rossim	1 749,1	1 698,2	1 846,4	—	—	—	—	—	—	—
Penhas Douradas	2 059,9	1 754,5	1 809,6	1 801,1	1 892,9	2 174,3	2 268,5	2 264,8	2 082,6	2 447,3
Sabugueiro	1 522,4	1 557,9	1 602,4	—	—	—	—	—	—	—
Fajão	1 585,0	1 481,2	1 676,6	1 703,2	1 685,2	—	—	—	—	—
Meãs	1 611,9	—	1 693,5	1 617,1	—	—	—	—	—	—
Ponte de Jugais	1 083,1	1 130,8	1 137,1	—	—	—	—	—	—	—
Seia	1 097,0	1 172,9	1 176,2	1 095,5	1 021,0	—	—	—	—	—
Oliv. ^a do Hosp.	1 115,4	1 094,1	1 132,4	1 146,4	1 130,6	—	—	—	—	—
Góis	1 178,5	1 148,7	1 207,1	1 181,1	1 201,8	1 193,2	—	—	—	—
Coja	1 013,7	1 003,4	987,1	949,6	961,9	1 060,4	—	—	—	—
Almaça	1 179,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Penacova	1 387,1	—	1 340,1	1 305,6	1 324,8	—	—	—	—	—

1.3. FACTORES CONDICIONANTES DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Os factores climáticos que mais influenciam a evapotranspiração e que, por isso, também mais influenciam as disponibilidades hídricas da bacia têm a ver com o número de horas de insolação, com a existência ou não de vento e com a variação dos valores da temperatura e da humidade relativa do ar.

Além dos factores climáticos outros há que também são determinantes no comportamento da evapotranspiração, tais como o teor em água do solo ou a natureza da superfície evaporante. A existência de vegetação e, em particular, o seu estado de desenvolvimento é ainda outro factor a considerar na análise dos muitos condicionamentos a que a evapotranspiração está sujeita.

1.3.1. *Condições climáticas*

Iniciando o estudo pela variação do número de horas de insolação ao longo do ano, na medida que esses valores condicionam sobretudo a temperatura e a evapotranspiração, verificámos que o número de horas diminuiu com a altitude da bacia. Assim, enquanto em Coimbra se registaram em média 2573,0 horas de insolação por ano, no período de 1951 a 1980, nas Penhas Douradas observaram-se menos 75,7, ou seja, 2497,3 horas.

Durante o mesmo período, a temperatura média anual oscilou entre 15,6°C em Coimbra, 8,8 nas Penhas Douradas e 7,4 na Lagoa Comprida. Contudo, a evolução mensal foi semelhante nas três estações. Os meses mais frios foram em todas elas os de Janeiro e Fevereiro, ao passo que os mais quentes foram os de Julho e Agosto (fig. 12). As amplitudes térmicas extremas apresentaram sempre valores elevados em todos os meses, mas reduziram-se substancialmente em termos de amplitude térmica anual normal durante esse período.

Os valores extremos da temperatura mostraram, como seria de esperar, distribuições bem diferentes entre os valores referentes a Coimbra e os relativos às estações situadas na Serra da Estrela, Penhas Douradas e Lagoa Comprida. Enquanto em Coimbra, de Maio a Outubro, o número de dias com temperaturas máximas acima de 25°C foi elevado, de 8,4 a 26,4 dias, isso não se verificou nem nas Penhas Douradas, onde apenas Julho e Agosto apresentaram 7 dias com temperaturas superiores a esse valor, e muito menos na Lagoa Comprida onde, em média, o mês mais quente nem sequer alcançou dois dias por ano com temperaturas superiores a 25°C (fig. 13-A).

Relativamente às temperaturas mínimas inferiores a 0°C, ocorreu quase o inverso, dado que em Coimbra o número de dias registado mensalmente foi muito reduzido ou mesmo nulo, contrariamente ao que sucedeu na serra da Estrela onde os meses de Novembro a Abril registaram um considerável número de dias com temperaturas negativas e que variou entre 7 e 17 dias (fig. 13-B).

Por fim, as temperaturas mínimas com valores superiores a 20°C não tiveram significado. Para que, comparativamente, os baixos valores observados nos meses de Junho a Setembro tivessem representação gráfica aceitável houve necessidade de se ampliar a escala vertical 30 vezes (fig. 13-C).

O conhecimento das temperaturas elevadas é importante, em particular quando associadas à circulação atmosférica, porque favorecem grandemente tanto a evaporação da água contida nas toalhas líquidas e nos solos como a própria transpiração das plantas.

A evaporação apresentou naturalmente uma variação mais sensível nas estações situadas na serra do que em Coimbra, embora todas registem, logicamente, os valores mais baixos nos meses mais frios e os valores mais elevados nos meses mais quentes (fig. 14).

Para acentuar estes valores contribuiu, sem dúvida, a circulação atmosférica presente na bacia. Os ventos dominantes, dos quadrantes Oeste e Sueste

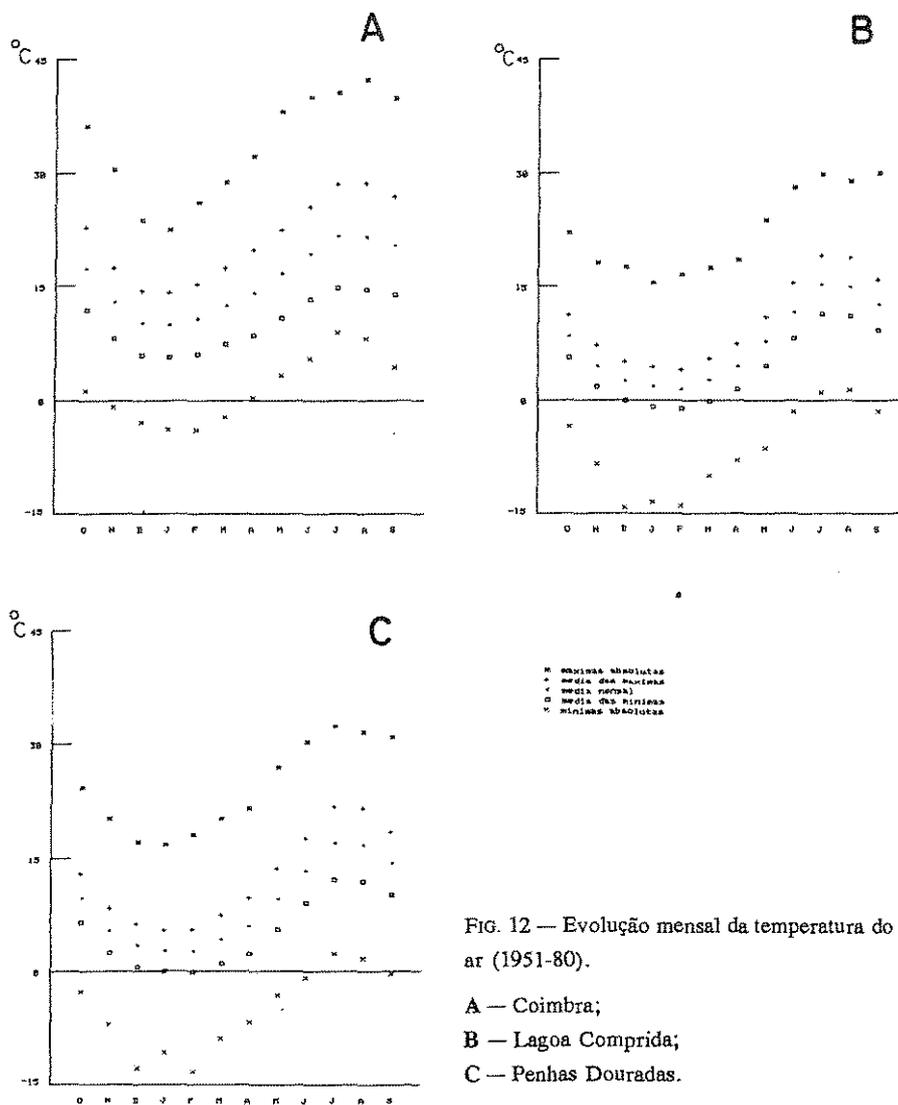
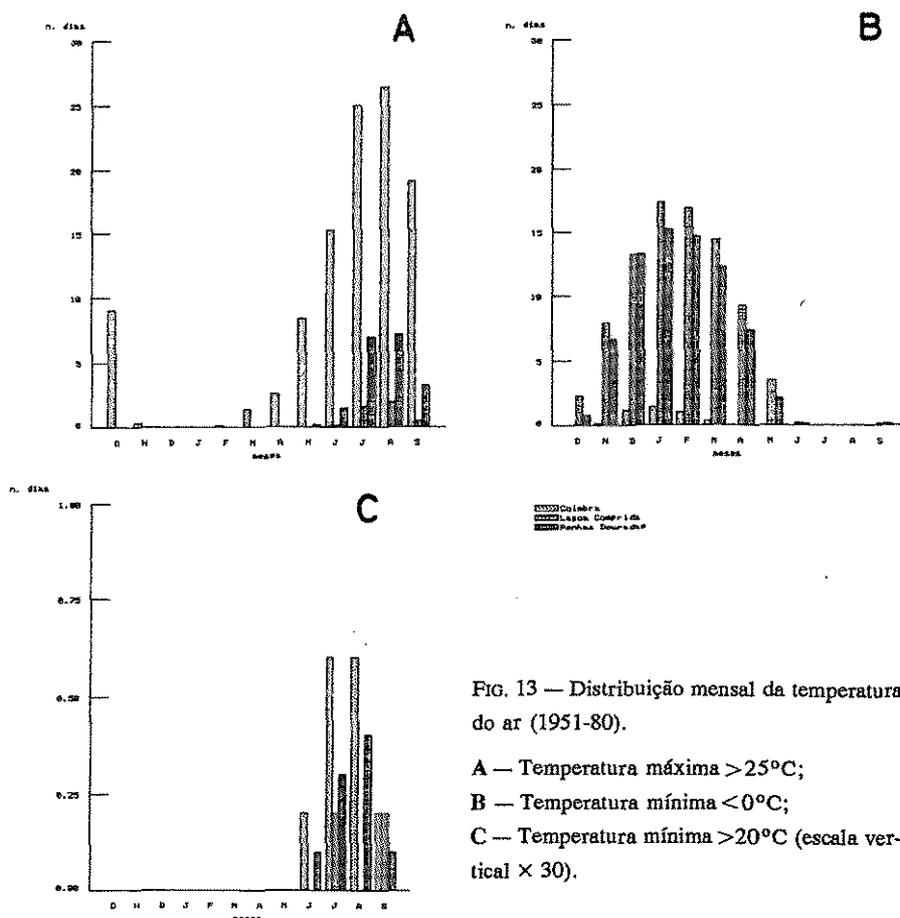


FIG. 12 — Evolução mensal da temperatura do ar (1951-80).

A — Coimbra;
 B — Lagoa Comprida;
 C — Penhas Douradas.

(Quadro VIII), apresentam características diferentes. Os primeiros, relacionados com massas de ar marítimas percorrem, normalmente, um longo trajecto oceânico que os torna húmidos, dificultando por isso a evaporação, enquanto os segundos, com um percurso continental mais ou menos extenso, são secos.

Além disso, sopram perpendicularmente à Cordilheira Central, em cuja vertente Noroeste se desenvolve a bacia hidrográfica do rio Alva, ficando pois sujeita às consequências do efeito de *föhn* que afecta estes ventos ao atravessarem a refe-



rida cordilheira. Os de Oeste-Noroeste, adiabáticos (ascendentes) sobre a bacia do Alva, acentuam a humidade, ao passo que os do quadrante Sueste, já de si secos e porque também são catabáticos (descendentes), diminuem grandemente a humidade, em especial no semestre mais quente, em que são frequentes. A diminuição da humidade relativa do ar facilita, naturalmente, a evapotranspiração.

A evolução dos valores da humidade relativa do ar também ilustra a maior ou menor facilidade que as condições ambientais oferecem à evaporação, uma vez que se o ar estiver saturado ou próximo da saturação não comportará ou

receberá uma quantidade de água muito menor do que poderia receber se estivesse seco.

Mais uma vez são evidentes os contrastes entre as áreas menos elevadas e as mais montanhosas. Enquanto em Coimbra a variação entre os valores relativos

QUADRO VIII — Frequência semestral (%) do vento em cada rumo (1951-80)

Estação do ano	Posto	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Outono	P. D.	2,5	2,9	9,3	22,3	10,8	8,5	27,7	13,7
	L. C.	5,0	7,2	18,2	16,0	12,5	13,0	14,6	9,7
Inverno	Cba.	6,2	5,5	12,3	18,7	15,4	5,5	9,7	18,8
Primavera	P. D.	4,3	4,1	10,2	18,8	6,6	5,2	30,3	18,7
	L. C.	7,8	8,0	13,5	11,8	13,0	7,0	15,9	8,4
Verão	Cba.	6,7	2,8	4,4	6,2	6,1	3,4	15,4	49,2

P. D. — Penhas Douradas; L. C. — Lagoa Comprida; Cba. — Coimbra.

às 15 e às 21 horas se mantêm praticamente constantes ao longo de todo o ano, nas Penhas Douradas a variação começa por ser pequena no Outono e início do Inverno para depois passar a aumentar até alcançar o máximo no Verão (fig. 15).

A Lagoa Comprida é das três estações aquela que regista os valores de humidade mais elevados, 87% em Fevereiro, mas nada sabemos quanto a variação dos valores mais baixos, por não se dispor de observações às 15 horas.

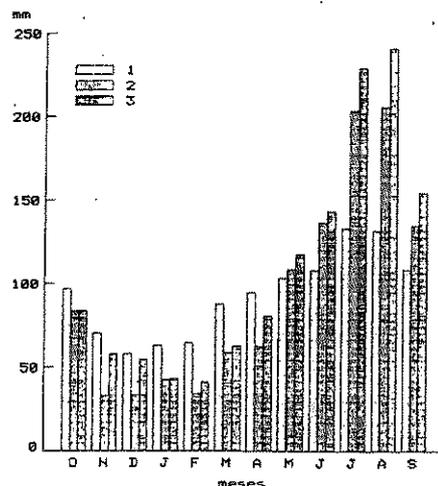


FIG. 14 — Repartição mensal da evaporação (1951-80). 1 — Coimbra; 2 — Lagoa Comprida; 3 — Penhas Douradas.

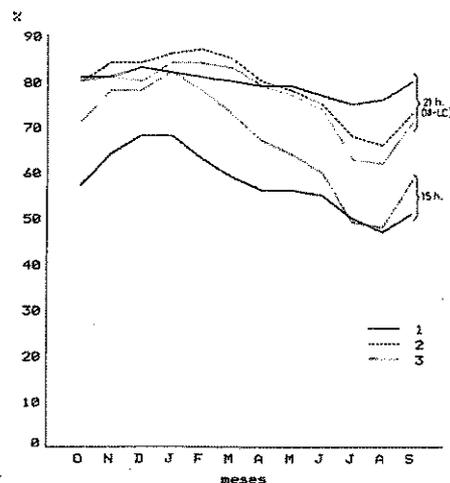


FIG. 15 — Evolução mensal dos valores da humidade relativa do ar (1951-80). 1 — Coimbra; 2 — Lagoa Comprida; 3 — Penhas Douradas.

1.3.2. *Teor em água do solo e natureza da superfície evaporante*

A evaporação depende em parte do teor em água do solo e, ainda, da natureza da superfície evaporante pelo que o seu conhecimento é de grande importância. Torna-se por demais evidente que um solo arenoso pode conter teores de água bem mais elevados do que um solo argiloso, bem como oferecer diferentes resistências à evaporação da água que contém. Por outro lado, uma rocha nua, uma tolha líquida, um solo arável ou uma floresta têm comportamentos bem diferenciados em termos de quantidade de água que, por evaporação, podem fornecer à atmosfera.

Partindo dos valores mensais da temperatura do ar e da quantidade de precipitação registados durante 1931-60 (1943-60, na Lagoa Comprida), J. CASIMIRO MENDES e M. L. BETTENCOURT (1980) determinaram o balanço climatológico da água no solo para as estações meteorológicas que temos vindo a considerar.

O balanço hídrico dá indicação não só das disponibilidades de água para o escoamento, mas também dos períodos em que ela escasseia. Além disso, estabelece as quantidades de água cedidas pelo solo e, posteriormente, os períodos de tempo necessários para a reconstituição das reservas subterrâneas.

A variação dos respectivos valores entre as áreas de cabeceiras e de jusante é bem significativa. Enquanto na serra da Estrela os períodos de deficiência são largamente superados pelos de excesso de água, 1318 e 1033 mm de diferença respectivamente nas Penhas Douradas e na Lagoa Comprida, nas áreas situadas a cotas inferiores, as condições aproximam-se das de Coimbra, uma vez mais considerada como paradigma, cujo «superavit» apenas excedeu o «deficit» em 161 mm (fig. 16), para capacidades de água utilizável de 150 mm nas Penhas Douradas e em Coimbra e de 100 mm na Lagoa Comprida.

Como o teor em água do solo também varia consoante a cobertura vegetal ou a cultura predominante na região, pelas diferentes quantidades de água que consomem e libertam por transpiração, seria interessante conhecer a sua distribuição na bacia.

Além da repartição geográfica, deveriam ser tidos todos em conta tanto o estado de desenvolvimento como o estado vegetativo das espécies pois sucede que, normalmente, as plantas retiram os maiores quantitativos de humidade ao solo na época em que ele dispõe de menos água. Tal facto deve-se a que a generalidade das espécies apresenta durante esse período o seu maior desenvolvimento e, por isso, liberta para a atmosfera, por transpiração, maiores quantidades de água.

É fácil compreender que tanto a floresta caducifólia, dominante que foi na bacia do Alva, como mesmo a sempervirente, se encontram parcialmente adormecidas na época invernal. Se a primeira, que perde a folhagem, a recupera durante a Primavera, aparecendo com toda a sua exuberância em pleno estio, do mesmo modo é nesta quadra que a segunda alcança o auge do seu estado

vegetativo, depois de também na primavera ter iniciado mais um ciclo de crescimento.

O progressivo aumento das folhas traduz-se por um gradual acréscimo da transpiração e, por conseguinte, por uma lenta diminuição do teor em água do solo,

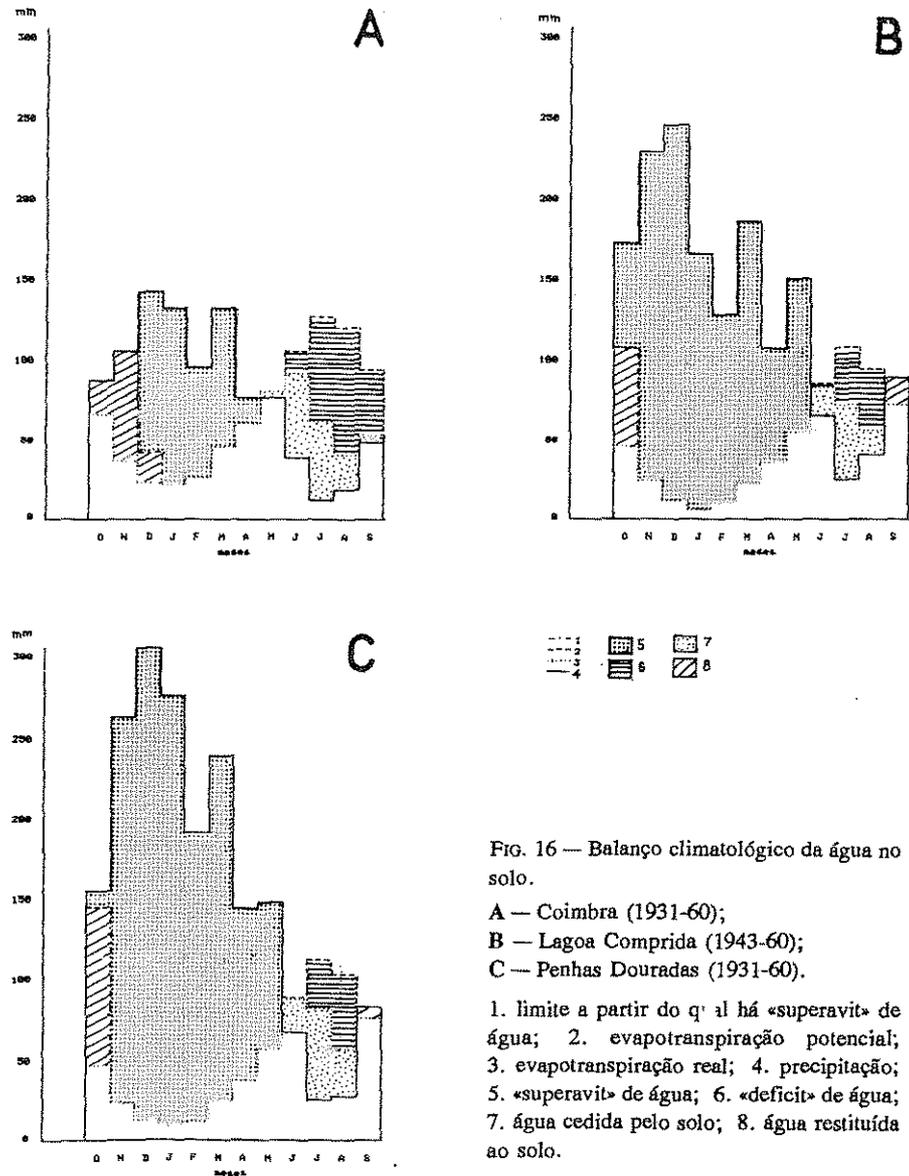


FIG. 16 — Balanço climatológico da água no solo.

A — Coimbra (1931-60);
B — Lagoa Comprida (1943-60);
C — Penhas Douradas (1931-60).

1. limite a partir do qual há «superavit» de água; 2. evapotranspiração potencial; 3. evapotranspiração real; 4. precipitação; 5. «superavit» de água; 6. «deficit» de água; 7. água cedida pelo solo; 8. água restituída ao solo.

que assim, através da transpiração das plantas e da evaporação directa, ou seja da evapotranspiração, vai, pouco a pouco, sendo transferida para a atmosfera.

Infelizmente, na actualidade, muitas das vertentes encontram-se despidas da cobertura vegetal que as caracterizava, vitimada pelos incêndios florestais, pelo que é o mato que agora predomina em muitas dessas vertentes. Constituído por uma associação vegetal que reflecte as já mencionadas características de transição entre as influências do Atlântico e as do Mediterrâneo, nela predominam as urzes, a carqueja, o tojo, o rosmaninho e, por vezes a esteva e o medronheiro, que chegam a assumir certa importância local.

Além do contributo que empresta à evapotranspiração, a vegetação é também de primordial importância para a diminuição da intensidade de actuação dos processos morfogenéticos. Reduz o impacto das gotas de água da chuva sobre o solo, dificulta o escoamento superficial e favorece, por isso, a infiltração, contribuindo para aumentar as reservas subterrâneas e reduzir os caudais superficiais, tanto líquidos como sólidos.

A conjugação de todos estes factores parece favorecer a ocorrência de um escoamento com águas altas no semestre mais frio (Novembro a Abril) e de águas baixas no semestre quente (Maio a Outubro).

1.4. CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA

Uma das maneiras mais cómoda e eficaz para caracterizar o clima de uma região, neste caso a bacia hidrográfica, é através de índices que, normalmente, tomam o nome do seu autor. Para classificar a bacia do Alva utilizámos, entre os muitos existentes, aqueles que nos parecem ter um maior cunho geográfico e, por isso, mais acção. Assim, apresentamos apenas algumas das classificações que se fundamentam em critérios quantitativos deixando de fora as que se baseiam essencialmente em apreciações qualitativas. Deste modo, classificámos o clima da bacia, com base nos valores registados em três estações meteorológicas e de acordo com os critérios propostos pelos autores escolhidos.

1.4.1. Segundo THORNTHWAITE

Para definir os diferentes tipos climáticos, este autor relaciona a precipitação, a temperatura e a evapotranspiração através dos índices de aridez e de humidade que, por sua vez, conjuga no índice hídrico. Os valores que indicamos para as três estações que temos vindo a tomar como referência, Coimbra, Lagoa Comprida e Penhas Douradas (Quadro IX) foram determinados por J. CASIMIRO MENDES e M. L. BETTENCOURT (1980).

Os tipos climáticos assim definidos traduzem a variabilidade do clima na bacia que, segundo o índice hídrico, varia desde o pouco húmido (B1) até

ao super-húmido (A). Em termos de evapotranspiração potencial varia desde o 2.º, microtérmico (C'2) até ao 2.º, mesotérmico (B'2), passando pelo 1.º, mesotérmico (B'1). Através do índice de aridez verifica-se que o «deficit» de água no ano ou foi nulo ou pequeno (r) ou foi moderado no Verão (s). Por fim, trata-se de climas cuja eficácia térmica no Verão pode ser pequena ou nula (a') ou, ainda, moderada (b'4).

QUADRO IX — Índices climáticos

	<i>Coimbra</i> (1930-60)	<i>Lagoa Comprida</i> (1943-60)	<i>Penhas Douradas</i> (1930-60)
Temperatura (°C)	15,9	7,7	8,9
Evapotransp. potencial (mm)	800	563	598
Precipitação (mm)	961	1 596	1 916
Eficácia térmica no Verão	43,8	50,4	50,3
Índice de humidade	44,9	197,0	233,3
Índice de aridez	24,7	13,5	12,9
Índice hídrico	30,0	188,9	225,6
Tipo climático	B1 B'2 s a'	A C'2 r b'4	A B'1 r b'4

1.4.2. Segundo KÖPPEN

Na sua classificação, KÖPPEN (1948) considera unicamente, como a generalidade dos autores, a temperatura e a precipitação para a definição dos diferentes tipos climáticos que identifica através de uma fórmula climática.

Com base nos valores observados nas estações meteorológicas de Coimbra, Lagoa Comprida e Penhas Douradas, durante o período de 1950/51-79/80, a bacia do Alva apresentou um clima do tipo Csb, ou seja, um clima mesotérmico húmido, com estação seca no Verão, que é pouco quente mas extenso. Considerando os períodos normais imediatamente anteriores, 1941-70 e 1931-60, verificamos que em Coimbra a fórmula climática foi Csa, por a temperatura do mês mais quente ter sido igual ou superior a 22,0°C o que reflecte as características subtropicais que nalguns anos se fazem sentir, pelo menos nas áreas menos elevadas da bacia.

1.4.3. Segundo MARTONNE

Como o autor anterior, E. de MARTONNE (1953, p. 208) fundamenta a sua classificação climática na variação dos valores da temperatura do ar e da precipitação

e é, ainda, através deles que define o índice de aridez (1923 e 1942, citado em PÉGUY, 1970, p. 268-9).

Os valores encontrados para as estações de Coimbra (40,55), Lagoa Comprida (104,93) e de Penhas Douradas (95,74), situados muito acima do valor limite de aridez estipulado pelo autor (20,0), levam-nos a integrar a bacia do Alva nos climas das zonas exorreicas, de grandes caudais, favoráveis à existência de grandes florestas.

Contudo, a classificação proposta pelo autor, mais divulgada, tende para uma divisão climática zonal do globo. De acordo com os critérios propostos, a bacia do Alva enquadrar-se-à dentro da zona subtropical dos climas temperados sem inverno ou mediterrâneos e, pelas suas características particulares, na variedade oceânica, de clima português. As influências do oceano reflectem-se particularmente sobre a temperatura do ar, moderando as amplitudes térmicas, que são muito menores do que na variedade continental, de clima helénico, ou mesmo na de transição, de clima provençal.

1.4.4. Segundo GAUSSEN

Também H. GAUSSEN (1952, citado em PÉGUY, p. 270) considera os valores da precipitação e da temperatura do ar na definição do período normal de estiagem, ou seja, do período seco, que ocorre quando a precipitação, em milímetros, é igual ou inferior a duas vezes a temperatura do ar, em graus centígrados, $P \text{ (mm)} \leq 2T \text{ (}^\circ\text{C)}$. A representação gráfica dos valores mensais, através de diagramas termopluiométricos, é um processo cómodo para verificar a duração do período seco.

Como se vê na fig. 17, só os meses de Julho e Agosto foram secos em todas as estações e, particularmente, em Coimbra.

1.4.5. Segundo STRAHLER

Por fim, STRAHLER (1981, p. 245) propõe uma outra maneira prática de determinar os meses secos ou húmidos e os meses frios ou quentes. Partindo da construção de hidrotermogramas, também conhecidos por climogramas, sugere que se relacionem, num sistema de coordenadas apropriado, os valores da temperatura do ar e da precipitação e se considerem como limiares frio-quente o valor de 18°C de temperatura do ar e seco-chuvoso o valor de 40 mm de precipitação.

Com base neste critério, verificou-se que na bacia do Alva os meses de Julho e Agosto se apresentaram invariavelmente secos em todos os postos, tendo sido quentes em Coimbra e frios nas Penhas Douradas e na Lagoa Comprida. Os outros meses, de Setembro a Junho, foram chuvosos e frios em todas as estações, excepto na de Coimbra, que teve os meses de Junho e Setembro chuvosos e quentes. Ainda

em Coimbra, os meses de Maio e Outubro situaram-se muito próximos do limiar frio-quente (fig. 18), pelo que em alguns anos do período considerado terão sido chuvosos e quentes.

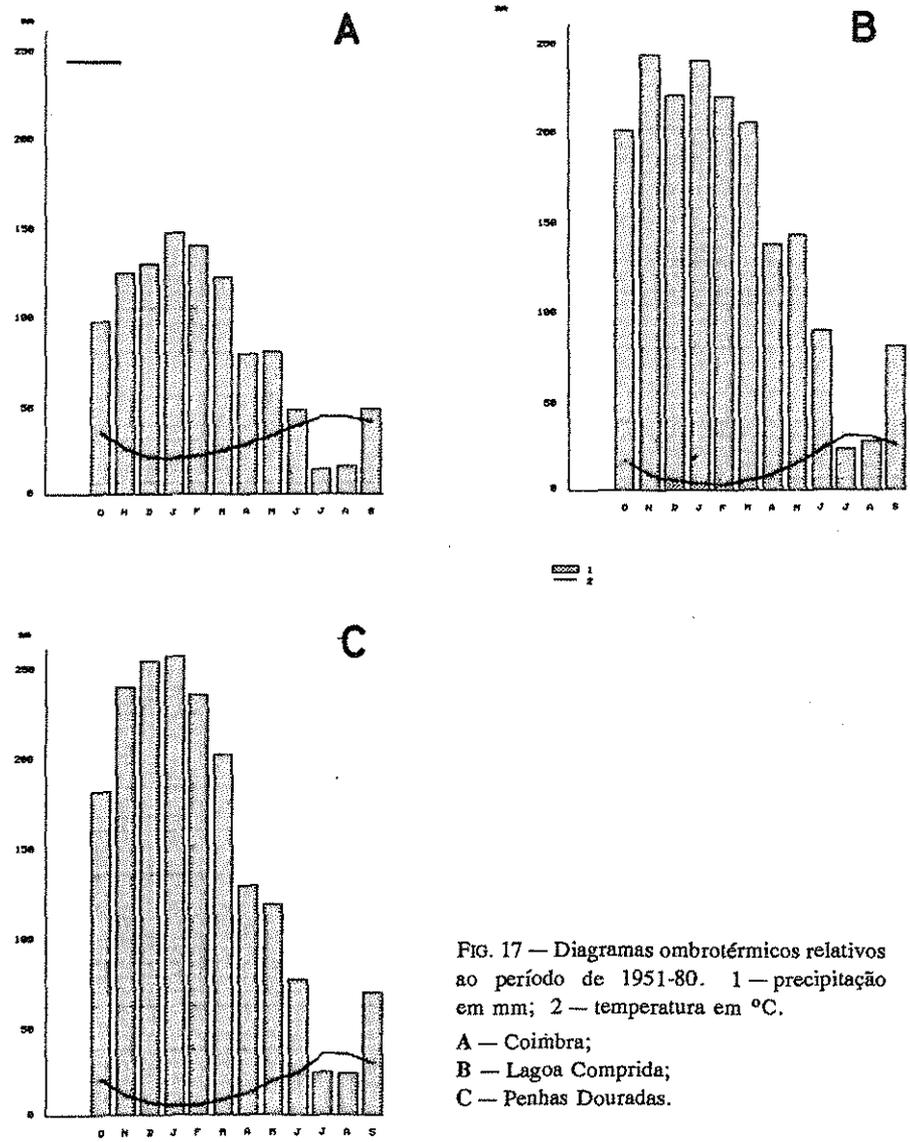


FIG. 17 — Diagramas ombrotérmicos relativos ao período de 1951-80. 1 — precipitação em mm; 2 — temperatura em °C.
 A — Coimbra;
 B — Lagoa Comprida;
 C — Penhas Douradas.

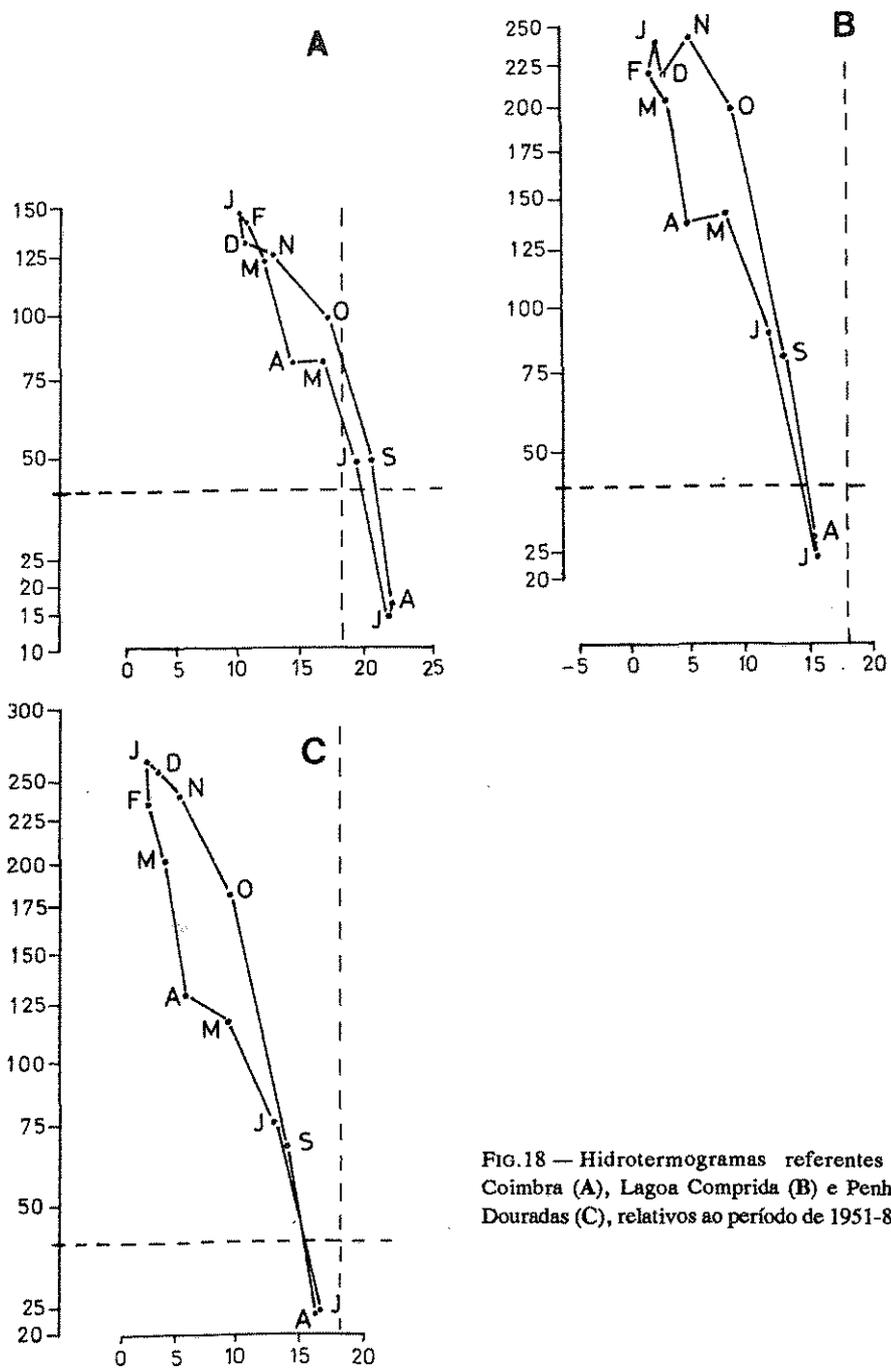


FIG.18 — Hidrotermogramas referentes a Coimbra (A), Lagoa Comprida (B) e Penhas Douradas (C), relativos ao período de 1951-80.

2. ESCOAMENTO FLUVIAL

A água da chuva, ao encontrar a superfície topográfica, ou se evapora, regressando à atmosfera, ou se infiltra, passando a integrar o escoamento subterrâneo, ou, ainda, mais frequentemente, escoa à superfície, dando origem ao escoamento superficial.

Este escoamento, conjugado com o subterrâneo que aflora através das nascentes, acaba por se concentrar nas linhas de água, gerando o escoamento fluvial.

2.1. ESTAÇÕES E REGISTOS HIDROMÉTRICOS

Referimos, a propósito da caracterização climática, os contrastes existentes, em termos de equipamentos udometeorológicos, entre as cabeceiras e o resto da bacia hidrográfica. Do ponto de vista hidrométrico passa-se quase o inverso, como veremos.

2.1.1. Equipamentos hidrométricos

A parte terminal do rio Alva pode considerar-se bem caracterizada do ponto de vista hidrométrico porque, em cerca de 40 km, 1/3 do seu percurso, apresenta quatro estações embora com características diferentes.

De montante para jusante, a primeira delas, instalada em 1917, é limnimétrica e localiza-se em Coja, na ponte da estrada nacional n.º 342, constando de uma escala para obtenção de alturas de águas. A segunda, limnigráfica, foi instalada pela Electricidade de Portugal, em 1984, cerca de 500 metros a montante da Ponte das Secarias e contribui para acentuar ainda mais os contrastes da bacia entre os tramos de montante e de jusante. A terceira, montada pela mesma empresa em 1976 na barragem das Fronhas, é limnigráfica. A última, Ponte da Mucela, começou por ser limnimétrica; está equipada, desde 1920, com uma escala para obtenção de alturas de água, que foi instalada na ponte da estrada nacional n.º 17; em 1957 montou-se um limnígrafo, 500 metros a jusante da referida ponte, tendo passado a ser, desde então, limnigráfica com descarregador.

O resto da bacia encontra-se muito mal caracterizado (fig. 1) porquanto não existe uma única estação hidrométrica³.

É certo que, para a caracterização global das características gerais da bacia hidrográfica, a localização destas estações satisfaz plenamente. No entanto, quando

³ Efectuaram-se medições pontuais tanto em Ponte de Jugais como em Rei de Moinhos, já extinta, com vista à instalação dos respectivos empreendimentos hidroeléctricos. Os registos nunca foram publicados e apesar das diligências efectuadas não nos foi possível localizá-los.

pretendermos executar uma caracterização mais sectorial, a nível de afluentes, para determinar o contributo de cada um deles para o caudal total, o problema é de bem mais difícil solução e só por cálculo, através das precipitações, se poderá chegar a alguns valores aproximados.

Tendo em conta a grande assimetria da bacia hidrográfica, é de lamentar que, pelo menos, os principais afluentes da margem esquerda (Alvoco, Pomares, Coja e Folques) não disponham de estações hidrométricas, fundamentais para uma melhor caracterização não só do regime, em particular no que se refere às cheias, mas sobretudo pela utilidade que o conhecimento dos caudais poderia ter na implantação de pequenas barragens para produção de energia hidroeléctrica, as «mini-hídricas» que, em certas épocas do ano, poderiam ser suficientes para abastecer grande parte das pequenas comunidades serranas.

Contudo, é possível determinar com grande grau de aproximação, para a área do Perímetro Hidráulico dos Aproveitamentos Hidroeléctricos da Serra da Estrela, correspondente à das cabeceiras do Alva, os caudais que passam pelo açude da central de Vila Cova. Dentro desse Perímetro, podem ainda determinar-se com facilidade outros caudais, nomeadamente os que afluem às albufeiras da Lagoa Comprida e de Vale do Rossim.

O processo de cálculo que usámos para determinar os caudais afluentes ao açude de Vila Cova partiu do conhecimento da energia produzida mensalmente nessa central, que se dividiu pelo coeficiente energético médio dos caudais afluentes às bacias vertentes dessa central (0,31) obtendo-se o caudal total turbinado por mês, a partir do qual se determinou o valor médio diário.

Os volumes de água descarregados mensalmente no açude, permitiram-nos obter o seu valor médio mensal que adicionado ao turbinado permitiu chegar ao caudal médio mensal afluente ao referido açude.

2.1.2. *Documentação hidrológica*

As publicações contendo dados hidrológicos são quase exclusivamente editadas pela Direcção-Geral dos Recursos Naturais. Além deste organismo apenas a Electricidade de Portugal EDP/EP publica *Anuários Hidrológicos* relativos às suas estações hidrométricas.

Todos eles se reportam, pelo menos os mais recentes, aos valores das alturas de água e/ou dos caudais médios diários. Para a generalidade das estações dispomos de longas séries de alturas de água, o que não sucede com os caudais cujas séries são, em regra, bem mais curtas. Cabe, no entanto, salientar o esforço empreendido pela Direcção-Geral dos Recursos Naturais nos últimos anos, no sentido de dotar todas as estações com a possibilidade de medirem níveis e caudais, pelo que já são poucas aquelas que mantêm unicamente a informação das alturas de água.

Como vimos, algumas dessas informações começaram por ser publicadas nos *Anuários dos Serviços Hidráulicos*. Posteriormente, com o desdobramento do Anuário, passou a editar-se um volume destinado à *Hidrometria* de que apenas saiu o relativo ao ano de 1976/77. A partir dessa altura iniciou-se nova série denominada *Caudais, Portugal (Continente)*.

Ainda no âmbito da Direcção-Geral dos Recursos Naturais, a Brigada Hidrométrica do Baixo Mondego preparou os *Anuários Udometeorológicos das bacias Hidrográficas dos rios Vouga e Mondego* relativos aos anos de 1970/71 a 1977/78.

2.2. ELEMENTOS DO REGIME

Os regimes fluviais da área em estudo definem-se pela irregularidade que apresentam de ano para ano e pelo seu ritmo, mais ou menos imutável.

O ritmo caracteriza-se por uma certa constância dos valores estacionais, traduzida quer pela ausência de cheias na época de águas baixas, quer pela falta de estiagens na época de águas altas. Por sua vez, a irregularidade apresenta-se como contradição dos valores médios e as suas variações assumem um papel fundamental na caracterização dos regimes, quando analisadas em termos estacionais e completadas com as situações extremas, as cheias e as estiagens.

2.2.1. Abundância média anual

A quantidade de água escoada por um curso de água durante o ano exprime-se, normalmente, pelo seu módulo (caudal médio anual) absoluto (m^3/s) ou, ainda, pelo seu módulo específico, que se obtém dividindo o módulo absoluto pela superfície da bacia hidrográfica e expressa-se em $l/s/km^2$ ou em mm de chuva escoada. Tanto um como outro, traduzem a abundância média anual, cujos valores médios anuais (1950/51 a 1979/80) são, respectivamente, $15,05 m^3/s$ e $22,6 l/s/km^2$.

A análise detalhada do escoamento implica o estudo estatístico dos valores dos caudais dos diferentes anos, com vista à obtenção de médias e de frequências, que traduzam tanto a distribuição dos módulos no tempo como algumas das suas características (Quadro X).

Deste modo, o cálculo dos valores de módulos particulares, anuais, permite caracterizar as flutuações da abundância média no tempo (fig. 19-A).

Excluindo os últimos anos, influenciados pela retenção na albufeira das Fronhas e posterior desvio para a Agueira⁴, e relacionando os valores extremos dos módulos anteriores (28,23 e 3,66 m³/s) obtém-se o coeficiente de imoderação ou de irregularidade⁵. O rio Alva apresenta, assim, um coeficiente de 7,7, valor que se situa próximo dos determinados por M. PARDÉ (1968, p. 213) para outros rios peninsulares (8 para o rio Douro e 10 para o rio Tejo).

Entre outros factores e segundo o mesmo autor (ob. cit., p. 212), estas irregularidades são tanto mais sensíveis quanto menores forem os módulos globais e quanto mais elevadas forem as temperaturas, as alimentações pluviais mais excessivas e as reservas subterrâneas e lacustres menos importantes e, por isso, mais rapidamente esgotáveis. Como todos estes factores se conjugam favoravelmente na bacia do Alva, compreende-se assim a imoderação do seu regime.

Retomando a análise dos módulos, verifica-se que a sua distribuição efectiva ressalta quando comparamos, na curva das variações dos módulos (fig. 19-A), os valores dos diferentes módulos particulares, ordenados no tempo ou segundo a abundância, com os do módulo normal.

No entanto, é possível efectuar uma análise mais aprofundada dessas variações através da elaboração de histogramas dos módulos. Em ordenadas representa-se o número de anos em valores absolutos ou, de preferência, em percentagem e em abcissas indicam-se os coeficientes dos módulos relativos.

A forma do histograma dá indicações importantes sobre a caracterização dos regimes fluviais. Assim, acentuadas assimetrias relacionam-se com cursos de água das regiões áridas, enquanto que histogramas simétricos testemunham uma alimentação líquida muito regular. Os histogramas ligeiramente assimétricos, como é o caso do Alva na Ponte da Mucela (fig. 19-B), estão associados, em regra, a regimes pluviais ou pluvio-nivais.

A imoderação do regime também se deixa antever porquanto o histograma apresenta um maior declive do lado da escassez e se observa a maior frequência nos módulos ligeiramente inferiores à média global (0,7 a 0,9).

⁴ Cf. pág. 113 e seg.

⁵ Um regime fluvial considera-se moderado ou ponderado quando os desvios entre os valores extremos dos caudais (anuais, mensais ou diários) são pequenos. Diz-se regular, quando as águas altas ou baixas estacionais, excessivas ou não, se repetem sistematicamente todos os anos (R. FRÉCAUT, 1972, p. 325).

QUADRO X — O rio Alva na Ponte da Mucela (1950/51-79/80)
 Superfície da bacia vertente — 666 Km²; Altitude máxima — 1993 m; Altitude mínima 70,29 m

	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S
módulo (m ³ /s)	7,57	15,43	23,15	29,48	34,78	27,68	18,21	12,92	6,89	2,15	0,66	1,63
mód. específico (l/s/km ²)	11,37	23,17	34,76	44,26	52,22	41,56	27,34	19,40	10,35	3,23	0,99	2,45
coeficiente mensal caudal	0,50	1,03	1,54	1,96	2,31	1,84	1,21	0,86	0,46	0,14	0,04	0,11
escoamento (10 ³ m ³) máximo	90 140	121 260	209 943	193 660	219 480	177 140	107 560	84 880	88 580	26 290	6 250	12 546
médio	20 322	40 169	62 325	79 124	85 095	74 399	47 326	34 677	17 988	5 794	1 790	4 232
mínimo	1 400	3 722	9 000	11 150	23 020	19 160	14 800	8 810	2 270	602	120	292
caud. méd. men. máx. (m ³ /s)	33,65	46,78	76,42	72,30	90,72	66,13	41,50	30,70	34,17	9,50	2,33	4,84
(1/s/km ²)	50,53	70,24	114,75	108,56	136,22	99,29	62,31	46,10	51,31	14,26	3,50	7,27
caud. méd. men. mín. (m ³ /s)	0,52	1,44	3,36	4,16	9,19	7,15	5,74	3,29	0,87	0,22	0,00	0,11
(1/s/km ²)	0,78	2,16	5,05	6,25	13,80	10,74	8,62	4,94	1,31	0,33	0,00	0,17
caud. máx. instantâneo (m ³ /s)	195,33	561,16	455,42	584,15	415,75	433,01	142,96	100,68	106,19	51,87	6,22	131,69
(1/s/km ²)	293,29	842,58	683,81	877,10	624,25	650,17	214,66	151,17	159,44	77,88	9,34	197,73

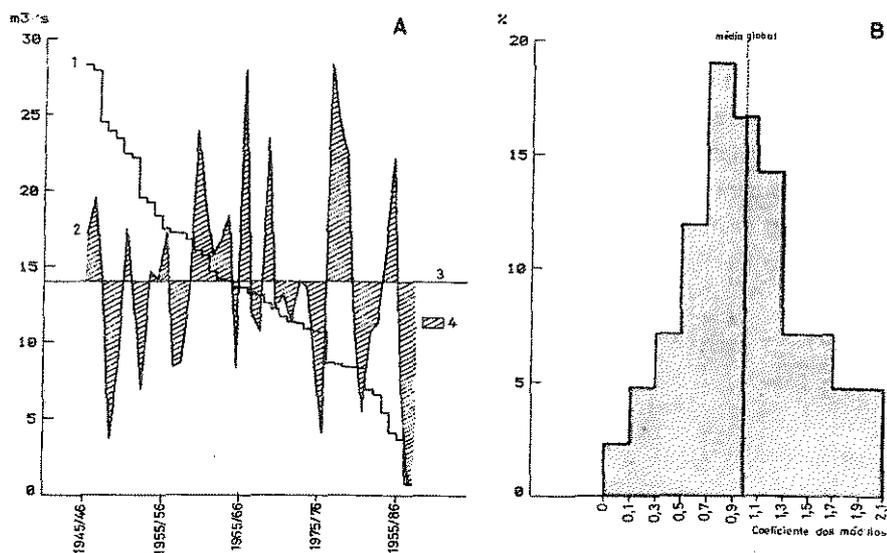


FIG. 19 — Módulos particulares e módulo normal do Alva na Ponte da Mucela entre 1945/46 e 1986/87

A — Variação dos módulos; 1 — módulos particulares ordenados segundo a abundância; 2 — módulos particulares ordenados no tempo; 3 — módulo normal ($13,97 m^3/s - 20,98 l/s/km^2$); 4 — desvios em relação ao módulo normal; B — Ligeira assimetria dos módulos particulares.

2.2.2. Variações estacionais

O ritmo estacional dos caudais constitui, em conjunto com os episódios mais espasmódicos, as cheias e as estiagens, o critério mais cómodo para definir os regimes fluviais porque permite a comparação directa com os regimes térmicos e pluviométricos presentes na bacia hidrográfica.

Em termos médios, os regimes estacionais comportam um certo grau de regularidade, neste caso traduzida pela tendência para uma distribuição de águas altas no Outono-Inverno e de águas baixas no Verão. Contudo, esta regularidade aparente não passa de uma abstracção que deve ser corrigida e completada com a análise das variações interanuais que, de facto, ilustram as irregularidades do regime.

Normalmente, estas variações analisam-se através das alturas da água, do volume dos caudais, dos valores dos coeficientes de caudal ou, ainda, dos caudais classificados.

A evolução mensal dos caudais médios ao longo de 1945/46 a 1986/87 (fig. 20) confirma a já referida variabilidade estacional e ilustra também a variabilidade interanual. Desprezando o último ano, nitidamente influenciado pela retenção das águas na albufeira das Fronhas, os contrastes interanuais evidenciam-se especialmente nos anos de 1975/76 e de 1976/77 que detêm, respectivamente, a menor (4,08 m³/s) e a maior (28,23 m³/s) abundância média anual do período em análise mais detalhada (1950/51-79/80).

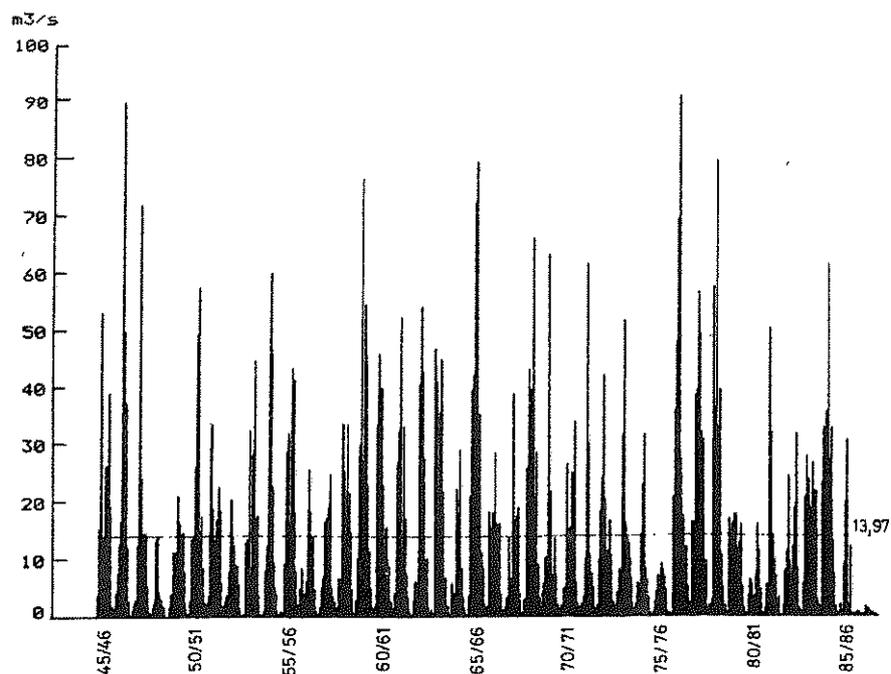


FIG. 20 — Evolução dos caudais médios mensais do Alva na Ponte da Mucela, de 1945/46 a 1986/87.

Durante estes três decénios são ainda os anos de 1976/77 e de 1975/76 que detêm, respectivamente, os valores máximos dos caudais médios mensais em Fevereiro e Agosto, e os valores mínimos dos caudais médios mensais em Janeiro, Fevereiro e Junho (fig. 21). Embora a sua variabilidade seja considerável, fica praticamente reduzida a 1/6 quando comparada com a dos caudais instantâneos.

No caso do Alva, na Ponte da Mucela, variaram entre 5,66 e 584,15 m³/s em Janeiro e entre 3,62 e 561,16 m³/s em Novembro (fig. 22), valores máximos que não parecem muito relevantes mas que na realidade o são, se atendermos à dimensão da bacia hidrográfica. Correspondem a caudais específicos da ordem dos 877 e 842,58 l/s/km², muito superiores aos observados no rio Mondego, na Ponte de Santa Clara em Coimbra, durante a maior ponta de cheia medida — 498,48 l/s/km² (2457 m³/s, em 2 de Janeiro de 1962) e mesmo aos dimensionados pela HIDROPROJECTO para a cheia centenária de 3700 m³/s, ou seja, 750,66 l/s/km².

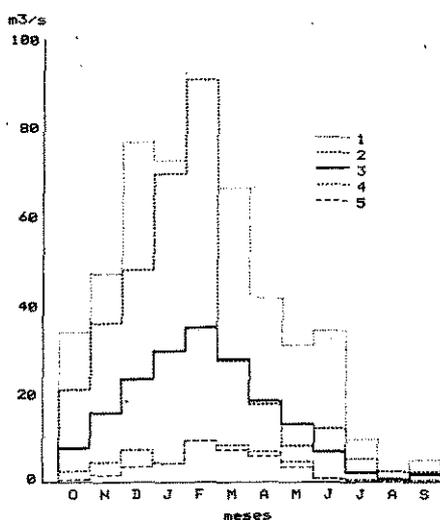


FIG. 21 — Distribuição dos caudais mensais do Alva na Ponte da Mucela (1950/51-1979/80). 1 — caudal máximo mensal; 2 — caudal em ano húmido (1976/77); 3 — caudal médio mensal; 4 — caudal em ano seco (1975/76); 5 — caudal mínimo mensal;

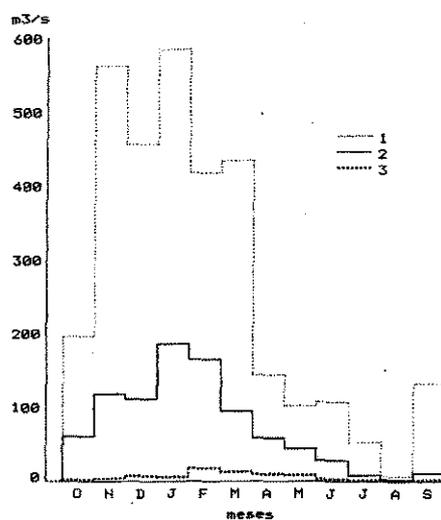


FIG. 22 — Variação mensal dos caudais máximos instantâneos do rio Alva na Ponte da Mucela (1960/61-1979/80). 1 — caudal instantâneo, máximo absoluto; 2 — média dos máximos; 3 — máximo menor.

A análise comparativa dos anos extremos, 1975/76 e 1976/77, mostra que as grandes diferenças são dos volumes do escoamento uma vez que o seu ritmo ao longo do ano se mantem praticamente constante (fig. 23)⁶, confirmado, à parte de

⁶ Atendendo às grandes diferenças dos volumes dos caudais, a representação gráfica referente a 1975/76 (fig. 23-A) quase se torna invisível, motivo porque ampliámos 15 vezes a escala vertical (fig. 24-B), de modo a que se pudesse visualizar a representação.

diferenças pontuais, diárias, pelo comportamento médio mensal, excepto no mês de Janeiro. A um gradual aumento dos caudais médios mensais, que culmina no mês de Fevereiro, segue-se um progressivo decréscimo até se atingir o ponto mais baixo, no mês de Agosto (1975/76) ou de Setembro (1976/77).

Mas, quando se pretendem comparar cursos de água que escoam volumes de caudais muito diferentes, a grande diversidade dos valores absolutos cria dificuldades que se superam utilizando, para o efeito, variáveis relativas, os coeficientes mensais de caudal, que relacionam os caudais médios mensais com o módulo normal ou com o global do período considerado. Deste modo, os valores superiores à unidade referem-se aos meses com águas altas, ao passo que os valores inferiores

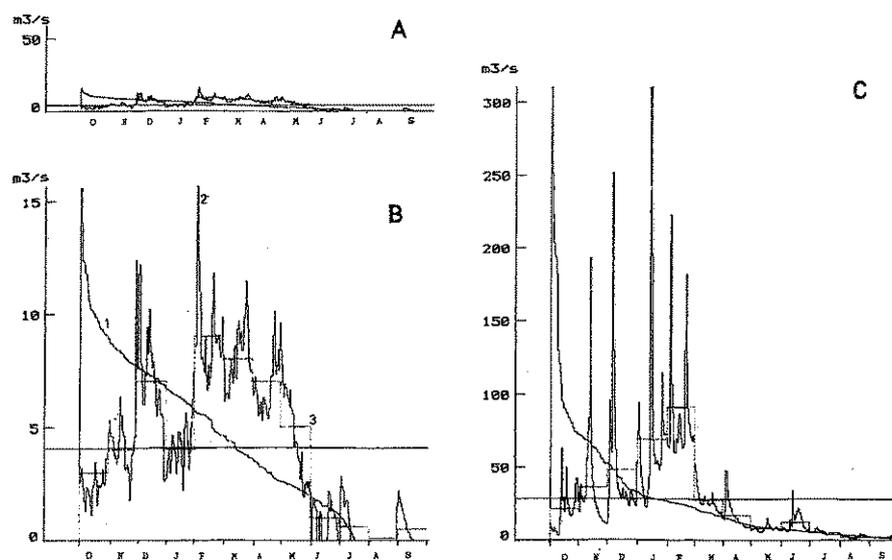


FIG. 23 — Evolução dos caudais do Alva na Ponte da Mucela.

A — 1975/76; B — 1975/76 (escala vertical $\times 15$); C — 1976/77. 1 — caudais classificados; 2 — caudais médios diários; 3 — caudais médios mensais.

se reportam aos meses com águas baixas. Por este motivo os coeficientes mensais de caudais são mais um elemento a ter em consideração na classificação dos regimes fluviais.

Os coeficientes mensais do rio Alva na Ponte da Mucela apresentam, logicamente, valores mais elevados na época fria e quantitativos mais baixos na época quente (fig. 24-A). O máximo mensal (2,27) corresponde ao mês de Fevereiro, ligeiramente afastado de Janeiro (1,93) e de Março (1,74) e o valor mínimo surge no mês de Agosto (0,04), próximo dos valores de Julho (0,13) e de

Setembro (0,10), coeficientes que cabem dentro dos normalmente atribuídos aos cursos de água mediterrâneos.

No entanto, os caudais médios mensais e os coeficientes médios mensais de caudais não são suficientes para caracterizar os regimes fluviais, em particular no que concerne às suas características de imoderação, pelo que se torna necessário recorrer aos caudais diários, a fim de se verificarem os seus possíveis valores bem como a probabilidade de ocorrência no tempo. Utilizam-se, para o efeito, tanto a duração como a frequência acumulada dos caudais diários.

A representação gráfica desses valores, através das curvas de caudais classificados, ilustra o número de dias do ano ou o número de dias de um determinado período durante os quais foi escoado um certo caudal (figs. 19-A, 23 e 25).

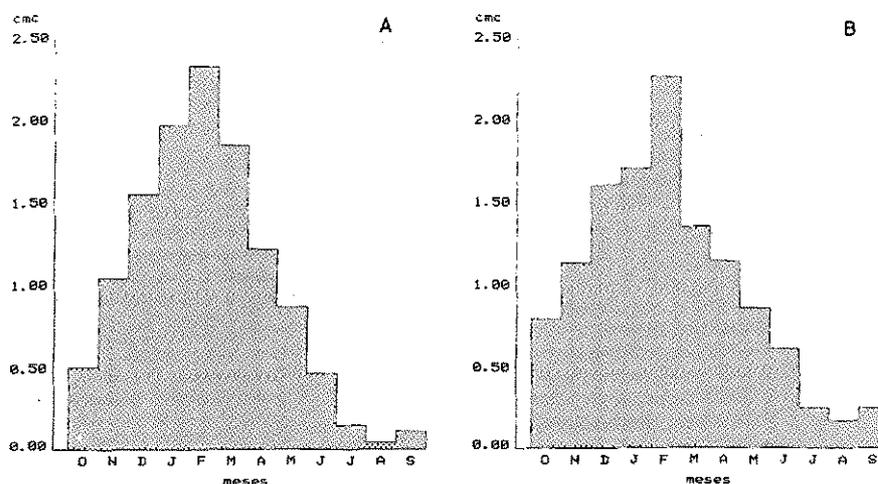


FIG. 24 — Análise comparativa dos coeficientes mensais de caudal na Ponte da Mucela (A) e no açude da Central de Vila Cova (B)

Os caudais característicos e classificados do Alva na Ponte da Mucela, durante o período de 1960/61 a 1979/80, apresentam, como seria de esperar depois do que já foi dito, uma grande variabilidade.

A partir dos valores anuais determinados pela Direcção-Geral dos Recursos Naturais, calculámos os valores médios e extremos do período que, como é óbvio, apresentaram as maiores variações nos caudais mais elevados.

O caudal máximo absoluto alcançado durante um único dia do ano (QM) foi, de todos, aquele que apresentou a maior variação, 310,94, 170,65 e 15,62 m³/s,

respectivamente os valores máximo, médio e mínimo registados durante o período.

O caudal característico máximo ou de cheia (QMC ou Q10), igualado ou excedido só em 10 dias do ano, já apresentou variações menos sensíveis mas ainda importantes, respectivamente, 127,98, 72,69 e 10,59 m³/s. Depois, à medida que o número de dias aumentou (30, 60, 90 ...) as variações passaram a ser cada vez menores até chegarem a ser imperceptíveis no caudal registado durante 300 e 330 dias, a saber, para Q300 - 3,63, 1,42 e 0,00 e para Q330 - 2,46, 0,84 e 0,00 m³/s.

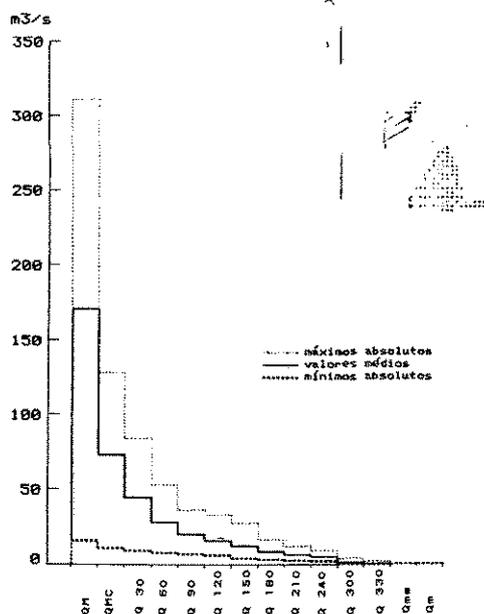


FIG. 25 — Variação dos caudais classificados do rio Alva na ponte da Mucela entre 1960/61 e 1979/80.

Relativamente ao caudal característico mínimo ou de estiagem (Qme ou Q355), igualado ou excedido durante 355 dias, apresentou uma variação entre 1,35, 0,31 e 0,00 m³/s, pouco superior à do caudal mínimo absoluto (Qm) registado durante os 365 dias do ano, cuja variação foi entre 0,81, 0,12 e 0,00 m³/s.

Estas distribuições mostram claramente como o comportamento dos caudais diários é bem mais variada do que a simples análise dos caudais médios mensais ou dos coeficientes mensais de caudal deixava antever.

Considerando, mais uma vez, os anos extremos de 1975/76 e de 1976/77 (fig. 23), constata-se que, em qualquer das situações, os caudais classificados extremos QMC e Qme se afastam consideravelmente tanto do módulo global como dos caudais médios mensais, o que traduz uma grande imoderação do regime.

O próprio comportamento das curvas dos caudais característicos referentes aos dois anos denota isso mesmo. A sua concavidade muito pronunciada indica que os caudais médios foram muito inferiores aos módulos globais, pois quanto maiores forem as diferenças entre eles mais concava será a curva, e ainda que foram os caudais diários reduzidos aqueles que duraram mais tempo.

Sendo assim, parecem não restar dúvidas de que uma das principais características do regime do rio Alva assenta na grande variabilidade interanual e interestacional do seu escoamento (fig. 26).

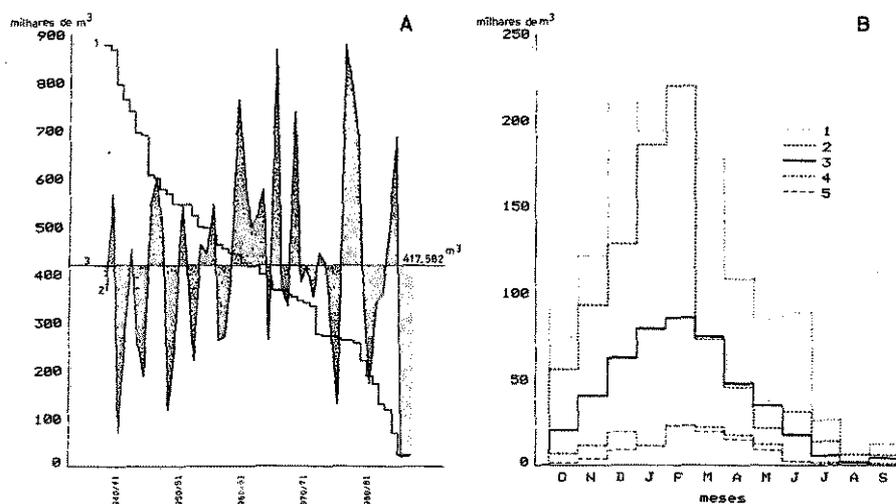


FIG. 26 — Comportamento do escoamento do rio Alva na Ponte da Mucela.

A — Evolução anual (1938/39-86/87); 1 — valores do escoamento, ordenados segundo a abundância; 2 — ordenados no tempo; 3 — escoamento médio anual; B — Distribuição mensal (1950/51-79/80); 1 — valor máximo registado; 2 — em ano húmido (1976/77); 3 — escoamento médio mensal; 4 — em ano seco (1975/76); 5 — valor mínimo observado.

2.2.3. Cheias e estiagens

As cheias e estiagens, por constituírem as situações extremas que o regime comporta, merecem análise detalhada. Em trabalho anterior dedicado à caracterização das cheias através dos registos na Ponte de Coja (L. LOURENÇO, 1984) apresentámos as suas principais particularidades. No entanto, num estudo hidrológico não faria sentido deixar de as referir.

Assim, sem entrar em grandes pormenores, tratámos estatisticamente todas as alturas de água registadas diariamente na Ponte de Coja para, através da sua frequência, caracterizarmos rapidamente as situações de cheia e de estiagem. Além disso, considerámos as cheias com ponta superior a 100 m³/s registadas de 1942/43 a 1986/87, na estação hidrométrica da Ponte da Mucela⁷.

Contrariamente ao que sucede com outros aspectos hidrológicos, pensamos que o estudo das cheias deve merecer uma análise simultânea de alturas de água e de volumes de caudais. As primeiras, dependentes do perfil da secção considerada, relacionam-se directamente com a possibilidade de inundação e, consequentemente, com o controlo e defesa contra cheias, enquanto que os caudais são particularmente importantes para a construção das necessárias estruturas de defesa e controlo, nomeadamente no dimensionamento das albufeiras.

Além disso, a relação biunívoca existente entre alturas hidrométricas e caudais, traduzida pela curva de vazão da secção considerada, altera-se em épocas de cheia, devido a um fenómeno de histerese (A. LENCASTRE *et al.*, 1984, p. 259), levando a que, para uma dada altura, o caudal seja maior durante a fase de subida, o nível a jusante é menor, facilitando o escoamento, ao passo que durante a descida é maior e, por isso, dificulta o escoamento.

A análise dos caudais de cheia com ponta superior a 100 m³/s mostrou uma grande variabilidade⁸ quer em número de ocorrências anuais quer em volume escoado (fig. 27). Após o início do enchimento da albufeira das Fronhas, em Novembro de 1985, essa variabilidade desapareceu na Ponte da Mucela pela eliminação, pelo menos até ao momento, das pontas superiores a 100 m³/s.

A análise estatística das alturas da água na Ponte de Coja mostrou com precisão tanto a dispersão como a irregularidade interanual do regime do

⁷ Escolhemos Ponte de Coja porque se alcançaram alturas bem superiores às registadas na Ponte da Mucela e porque os registos são mais minuciosos, particularmente em situações de cheia, com frequentes observações de 3 em 3 horas. Contudo preferimos Ponte da Mucela, no que se refere aos valores de caudais, porque está situada mais a jusante e porque os seus registos são bem mais antigos, cobrindo por isso um maior período de tempo.

⁸ Nos anos em que as pontas de cheia não atingiram esse valor considerou-se o máximo observado, 94,4 m³/s em 1957/58; 19,31 em 1975/76; 83,78 em 1980/81; 82,35 em 1982/83 e 15,30 em 1986/87.

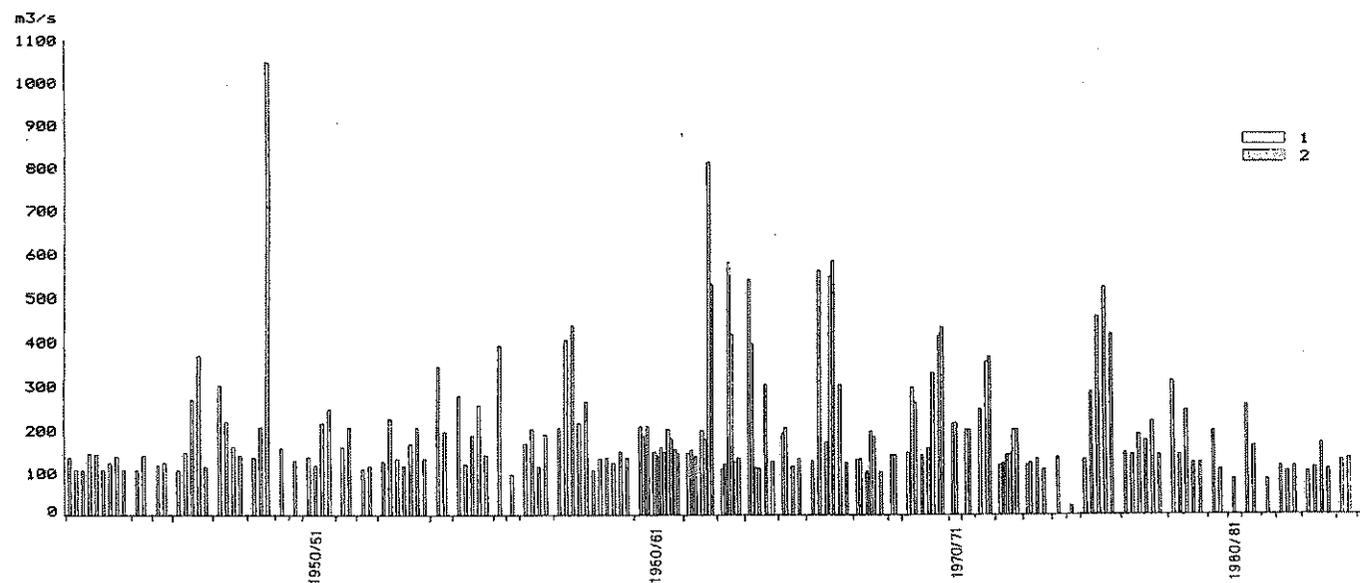


FIG. 27 — Variações dos caudais de cheia com ponta superior a 100 m³/s em Ponte da Mucela (1942/43 a 1986/87).
 1 — valores referentes ao período de 1942/43 a 1973/74, calculados pela Direcção Operacional do Equipamento Hidráulico da EDP (1976);
 2 — valores de 1960/61 a 1986/87, determinados pela Divisão de Hidrometria da DGRN.

Alva (fig. 28). Se os contrastes estacionais entre o Outono-Inverno e a Primavera-Verão pareceram nítidos, os desvios, em termos de valores absolutos, foram particularmente significativos no semestre mais frio, mas não deixaram de ser também consideráveis na estação quente. Assim, as cheias mais frequentes surgiram no Inverno, quando as precipitações foram também mais abundantes ao passo que as estiagens apareceram quase sempre no final do Verão, a estação do ano que apresentou verdadeiras características de *secura*.

No conjunto, as maiores disparidades observam-se, obviamente, nos valores mais elevados das alturas de água. Pelo contrário, na época quente, acentuam-se naturalmente as discrepâncias em relação aos valores mais baixos.

Gráficos deste tipo podem ser muito úteis na previsão e defesa contra as cheias que, periodicamente, originam situações dramáticas pois, através deles, é possível estimar a probabilidade de ocorrência de determinada altura de água num dado mês do ano e, assim, pode planejar-se atempadamente a evacuação de áreas ameaçadas bem como proteger áreas que possam vir a ser afectadas.

No que respeita às estiagens, embora também mereçam uma análise detalhada, as suas consequências têm sido em Portugal bem menos nefastas do que as das cheias, motivo porque certamente não terão merecido tanta atenção.

Enquanto que as cheias se devem a um excesso de alimentação, traduzido por aumentos bruscos da altura da água e, por conseguinte, do caudal, seguidos por uma lenta diminuição, as estiagens são devidas a uma alimentação deficiente. Iniciam-se por uma fase descendente lenta, apenas escassos centímetros por dia, cada vez menores quanto mais baixas estiverem as águas e o seu fim pode ser brusco, ao ponto do rio retomar o seu nível médio ou passar até a uma situação de cheia.

A definição de estiagem é, contudo, extremamente variável, consoante o modo de alimentação dos cursos de água. Os casos mais graves ocorrem quando o escoamento fluvial subaéreo se reduz a zero, ou seja, quando o rio deixa de correr, o que sucede frequentemente, por vezes durante meses consecutivos, nos cursos de água com características mediterrâneas como é o caso do rio Alva.

No entanto, a ausência de escoamento subaéreo poderá não significar a total ausência de escoamento, especialmente quando o leito é constituído por espessas aluviões ou quando, como por vezes sucede, os muros de suporte das soleiras dos descarregadores estão em mau estado de conservação e permitem a passagem de caudais pelas fendas neles existentes, falseando-se assim o rigor das medições.

Com base nos valores publicados, considerámos como situações de verdadeira estiagem aquelas em que os caudais eram iguais ou inferiores a $1,02 \text{ m}^3/\text{s}$ ($1,5 \text{ l/s/km}^2$). As situações extremas correspondem àquelas em que

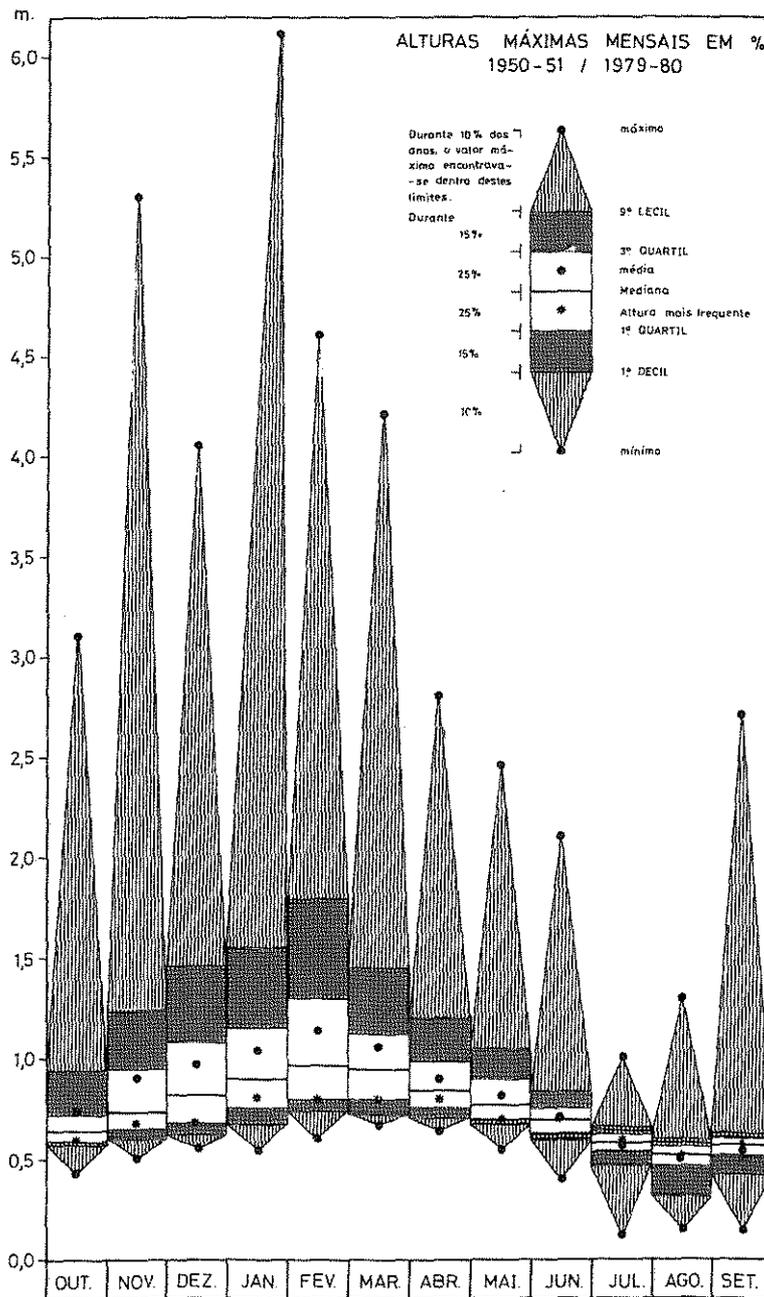


FIG. 28 — Distribuição das diferentes alturas que mensalmente alcançaram as águas na Ponte de Coja durante o período 1950/51 a 1979/80.

o rio deixou de correr, pelo menos aparentemente, ou seja, quando os caudais caíram para valores iguais a 0,0 m³/s.

Estendemos a análise das estiagens na Ponte da Mucela a todo o período para que dispunhamos de dados, 1945/46 a 1986/87, embora desprezando os dois últimos anos correspondentes a estiagens forçadas pela retenção das águas nas Fro-

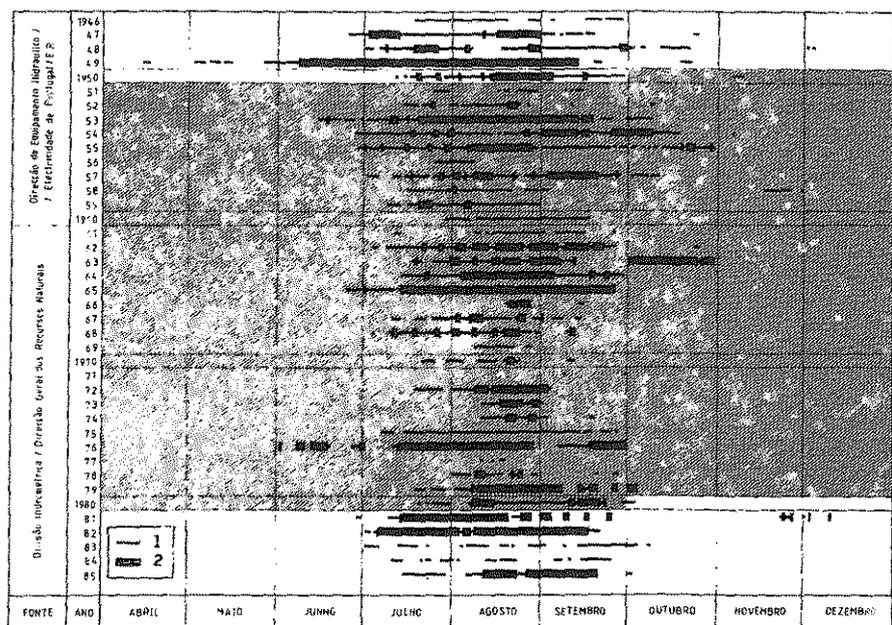


FIG. 29 — Distribuição temporal das estiagens na Ponte de Mucela.
Caudais: 1 — $\leq 1,02$ m³/s; 2 — igual a 0,0 m³/s.

nhas e posterior desvio para a Aguieira, na medida em que tanto antes como depois do período em estudo mais detalhado, 1950/51 a 1979/80, ocorreram estiagens cuja não consideração implicaria uma caracterização deficiente e deturpada da realidade. É que as estiagens podem iniciar-se muito antes ou prolongar-se até depois do período estival característico. Em termos meramente probabilísticos, iniciam-se no mês de Abril e podem estender-se até ao fim de Dezembro. No entanto, a maior propensão tende para o registo das estiagens no período estival, meses de Julho e de Agosto, com destaque para o mês de Julho, podendo prolongar-se alguns anos até Outubro ou iniciar-se, raramente, em Junho (fig. 29).

2.2.4. *Variações ao longo do curso, de montante para jusante*

As principais variações que o rio Alva apresenta ao longo do seu curso advêm essencialmente dos sucessivos aumentos de caudal que o rio vai sofrendo para jusante à medida que recebe as aflúncias transportadas pelos seus tributários.

Infelizmente, a rede hidrométrica é demasiado escassa para permitir estabelecer com segurança essa evolução. Contudo, a análise dos hietogramas e das áreas drenadas pelos principais tributários permite deduzir os aumentos bruscos sofridos a jusante das respectivas confluências.

Na Ponte das Três Entradas, o Alva recebe o Alvoco, com uma área 1,4 vezes superior à sua e, em grande parte, constituída por elementos da drenagem do Sul e Sudoeste da Serra da Estrela pelo que a situação será semelhante, em termos de caudal, embora este se apresenta menos regularizado devido à quase inexistência de barragens⁹.

Em Avô, recebe as aflúncias da ribeira de Pomares que drena uma área montanhosa com pouco mais de 44 km². Embora o caudal do Alva a montante da confluência em Avô seja recolhido numa área 7,5 vezes maior do que a da rib.^a de Pomares, esta pode contribuir para significativos aumentos de caudal no canal principal, particularmente em circunstâncias especiais de chuvadas concentradas, como sucedeu em Junho de 1988 (L. LOURENÇO, 1988).

Mais para jusante, as ribeiras de Coja e de Folques, com áreas de drenagem de 40,16 e 35,16 km², respectivamente, são os tributários mais importantes, tanto mais que as suas cabeceiras ainda drenam áreas com altitudes consideráveis, 797 metros na Aveleira, 947 no Alto do Carvalhinho, 870 na Catraia, 968 no Reguengo, 867 no Monte Frio e 781 na Chama.

Por fim, com área ainda superior a 15 km², recebe a ribeira da Aveia, com uma bacia de 17,58 km².

Considerando que o caudal escoado na Ponte da Mucela era fornecido uniformemente por toda a bacia, estimámos a evolução do caudal de montante para jusante (fig. 30, curva 1). Como, na realidade, essa situação não se verifica, por as maiores aflúncias procederem das serras da Estrela e do Açor, e com base nos registos do açude de Vila Cova (à-Coelheira), definimos uma segunda curva que se deve aproximar mais a situação real (fig. 30, curva 2).

Como vimos, é possível calcular os caudais afluentes a Vila Cova. Infelizmente, só depois de 1971 se passaram a medir os caudais descarregados nesse

⁹ Apenas uma pequena área das cabeceiras da rib.^a de Loriga se encontra regularizada pelas barragens do Covão do Boieiro e do Covão do Meio, que recebem aflúncias de 1,2 e 3,6 km² de superfície, respectivamente.

açude, motivo porque os valores que apresentamos se referem a módulos normais turbinados e a módulos globais de caudais descarregados.

Os seus valores são elevados, atendendo à exiguidade da bacia vertente, posto que o módulo ($3,75 \text{ m}^3/\text{s}$) corresponde a caudais específicos equivalentes a 51 l/s/km^2 , duplos dos medidos na Ponte da Mucela.

A distribuição mensal conjunta dos caudais descarregados no açude e turbinados na central de Vila Cova (fig. 31) não se afasta muito da verificada na Ponte

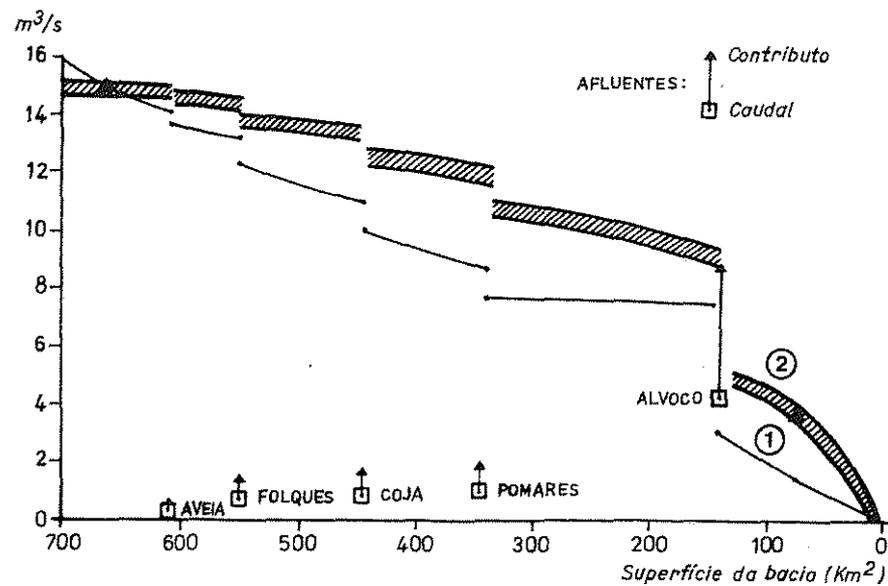
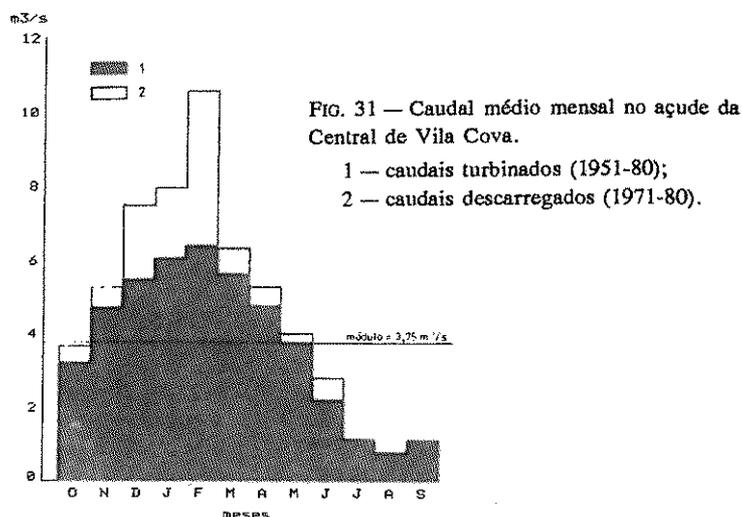


FIG. 30 — Evolução dos caudais ao longo do Alva. 1 — considerando uma distribuição aerolar homogênea. 2 — distribuição mais provável.

da Mucela. Contudo, nos caudais turbinados, é notória a redução dos desvios relativamente ao módulo que, no entanto, desaparece quando, naturalmente, se entra em linha de conta com os caudais descarregados.

Apenas é possível comparar os caudais afluentes ao açude de Vila Cova com os afluentes à Ponte da Mucela, uma vez que só muito recentemente dispomos dos valores diários para Coja e Secarias, logo com séries demasiado curtas e, por outro lado, os valores medidos na Ponte da Mucela nestes últimos anos, foram afectados pela construção da barragem das Fronhas, pelo que a sua comparação poderia conduzir a conclusões erróneas.

O açude de Vila Cova, drenando um área de 73,5 km², recebe aflúências correspondentes a cerca de 1/9 da área que escoia para Ponte da Mucela, 666 km².



Verificou-se que os valores dos coeficientes mensais de caudal se aproximam. As maiores diferenças verificam-se nos meses de Outubro, com valores mais elevados em Vila Cova porque tanto a constituição geológica como os acentuados declives dificultam a infiltração e facilitam o escoamento, comparativamente com as áreas mais baixas da bacia. Pelo contrário, em Dezembro registam-se coeficientes menores em Vila Cova, o que eventualmente se poderá explicar por uma considerável retenção de caudais nas albufeiras serranas, o mesmo acontecendo no mês de Março. Fevereiro apresenta os valores mais elevados dos coeficientes nas duas estações hidro-métricas, respondendo directamente à grande quantidade de precipitação característica deste mês e ao facto das reservas subterrâneas já se encontrarem plenamente reconstituídas.

Os meses seguintes, apresentam uma diminuição dos valores dos coeficientes mensais de caudal, mais suave em Vila Cova do que na Ponta da Mucela porque a água armazenada durante o Inverno vai sendo agora lenta e progressivamente libertada e também porque, apesar da constituição geológica não ser a mais favorável, as reservas subterrâneas entretanto constituídas vão sendo libertadas através das nascentes, contribuindo para que, no conjunto, os coeficientes mensais registados no Verão sejam bem mais elevados em Vila Cova (fig. 24).

Deste modo, as grandes diferenças de montante para jusante traduzem-se sobretudo pelos progressivos acréscimos de caudal no canal principal por inclusão das aflúências provindas dos seus tributários.

A mais importante das albufeiras, a Lagoa Comprida, tem uma capacidade de $13,85 \times 10^6 \text{ m}^3$ e, através dos túneis do Covão do Meio e dos Conchos,

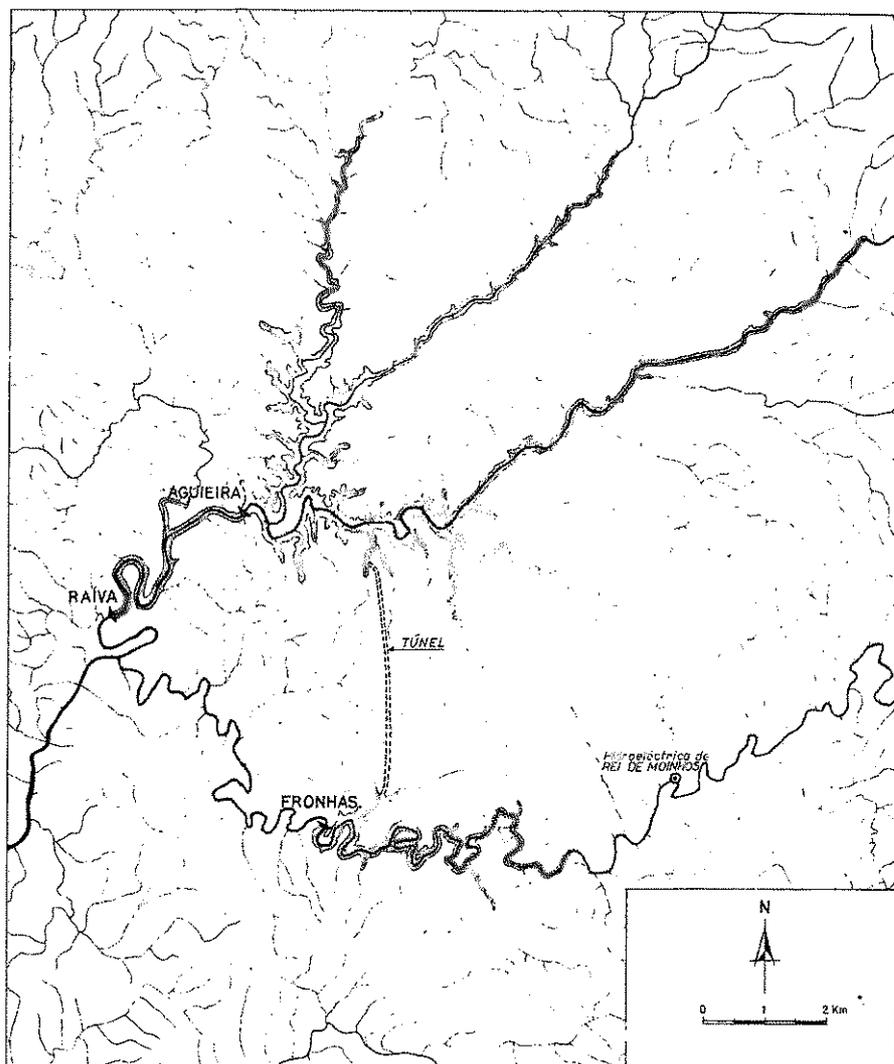


FIG. 34 — Aproveitamento hidroeléctrico do «Sistema do Mondego». Vista em planta.
(Adaptado de EDP, 1984, p. 17).

recebe as afluições das cabeceiras da ribeira de Loriga e da Nave Descida, respectivamente.

A albufeira do Covão do Meio, com uma capacidade de 1,14 milhões de metros cúbicos, é mais pequena do que a do Vale do Rossim, cuja capacidade é de $3,4 \times 10^6 \text{ m}^3$ e do que a do Covão do Lagoacho, em construção, com uma capacidade prevista para $1,29 \times 10^6 \text{ m}^3$. No total, as quatro albufeiras receberão aflúncias de uma área com $27,5 \text{ km}^2$ e terão capacidade para cerca de 20 milhões de metros cúbicos ($19,68 \times 10^6$).

2.3.1.2. O «Sistema do Mondego»

Este sistema produtor de energia está integrado num vasto plano de aproveitamento do rio Mondego, conhecido por Plano Geral de Aproveitamento Hidráulico da Bacia do Mondego e que, entre outros, comporta os empreendimentos já construídos da Agueira e da Raiva, no rio Mondego, e das Fronhas no rio Alva (figs. 34 e 35).

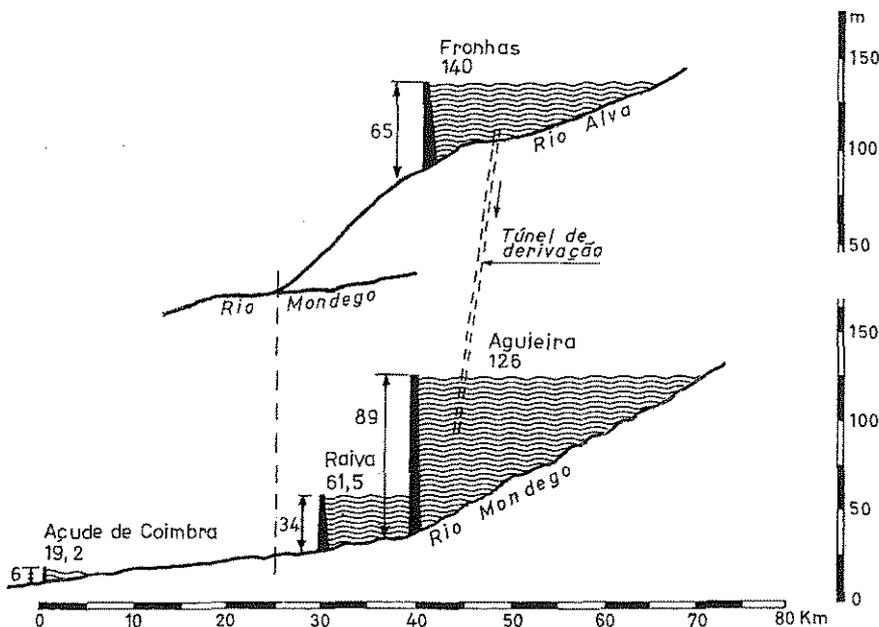


FIG. 35 — Empreendimentos do «Sistema do Mondego». Perfil esquemático.

(Adaptado de EDP, 1984, p. 17).

O aproveitamento das Fronhas é o que directamente nos diz respeito. Todavia, embora mereça especial realce, não pode ser tratado isoladamente, pois está em perfeita consonância com os da Agueira-Raiva, situados no rio Mondego.

Um dos principais objectivos da construção do conjunto barragem e túnel das Fronhas foi, sem dúvida, o de desviar a água do rio Alva para a albufeira da Agueira, vindo assim incrementar significativamente a produção de energia hidro-eléctrica tanto no aproveitamento da Agueira como no da Raiva.

2.3.1.3. *Contribuição para a regularização do regime a jusante*

Torna-se evidente que, se a capacidade das albufeiras for satisfeita nas épocas de maior abundância de pluviosidade e, posteriormente, na época de escassez, se libertar lentamente a água acumulada, os caudais acabarão por registar uma diminuição significativa a jusante dos empreendimentos nas épocas mais propensas à ocorrência de cheias e, ao invés, sofrerão um ligeiro aumento nas ocasiões tidas como de maior penúria.

Aliás, nada obriga a que essa regularização seja feita apenas em termos de épocas de abundância e épocas de escassez. É perfeitamente possível «controlar» em parte o regime do rio, mesmo em plena época de abundância, sempre que, quando chovê, a capacidade das albufeiras não esteja completamente satisfeita, como determinam as próprias normas de segurança do controle de cheias.

Nesses casos, é possível reter parte significativa do escoamento, ou mesmo a sua totalidade, e libertá-la, posteriormente, quando deixar de chover ou, conforme as circunstâncias assim o determinarem, quando se verificar a diminuição da intensidade da precipitação. Deste modo, contribui-se assim, decisivamente, para a regularização dos caudais, líquido e sólido.

Quando as albufeiras se localizam nas cabeceiras, como é o caso das existentes na Serra da Estrela, destinam-se essencialmente, em termos de regularização de caudais, a atenuar a torrencialidade característica das cabeceiras montanhosas, de acentuados declives, enquanto as situadas nos tramos médios e inferiores podem desempenhar papéis primordiais no controle ou, pelo menos, no amortecimento das pontas de cheias mais importantes.

Efectivamente, após a construção destes empreendimentos e de todas as obras de regularização levadas a cabo a jusante, nunca mais se registaram as temíveis cheias que periodicamente afectavam o Baixo Mondego e para que a Alva contribuía decisivamente, como veremos.

2.3.2. *Classificação do regime do rio Alva*

Como base nos registos feitos na Ponte da Mucela entre 1950/51 e 1979/80 verificámos que o regime se define por duas épocas bem nítidas, com características opostas. Uma, a da abundância, ocorre no período de precipitação mais elevada, enquanto a outra, de escassez, coincide com a de quase ausência de precipitação e de mais intensa evaporação. Neste período, a substancial diminuição da preci-

pitação e o grande incremento da evapotranspiração quase seriam suficientes para eliminar o escoamento, não fossem as águas subterrâneas que, por reduzidas que sejam, quase alimentam o escoamento em exclusivo.

Tendo em conta que a alimentação do rio é, como vimos, quase unicamente pluvial, pode considerar-se como tal o seu regime dados os paralelismos existentes entre o regime pluviométrico e o hidrológico.

Porque a bacia hidrográfica se localiza numa área de transição entre os climas mediterrâneos e os oceânicos, o regime fluvial encontra-se também numa situação de transição entre os de influências térmicas dominantes e os de influências pluviais.

Atendendo aos meses em que se registam os valores máximo e mínimo do caudal e às particularidades introduzidas pela localização da bacia numa situação de transição, como aliás sucede com a maior parte dos rios, mesmo por pequenos que sejam, pois poucos são aqueles que apresentam homogeneidade climática em toda a sua bacia e se situam em regiões com climas verdadeiramente típicos, a definição do regime merecerá ser perspectivada segundo os critérios expostos pelos principais autores.

Para MARTONNE (1953, p. 417), quando o caudal é sujeito a variações muito fortes e pode estar reduzido a zero durante uma parte do ano, o curso de água apresenta um regime torrencial. Trata-se de uma forma degradada do regime fluvial, do mesmo modo que o clima desértico é uma forma de degradação dos climas. Pode afectar todos os tipos de regime mas é, evidentemente, mais comum nas regiões com período seco bem nítido, como sucede nas regiões mediterrâneas.

Segundo a classificação de M. PARDÉ (1968), atendendo a que possui duas estações hidrológicas bem definidas, com um único máximo e um só mínimo, caberia dentro dos regimes simples e seria pluvial oceânico tendo em conta o facto de apresentar as águas altas na estação fria e as águas baixas na estação quente, máximo em Fevereiro e mínimo em Agosto.

Contudo não possui um único modo de alimentação, pese a importância esmagadora da pluviosidade e, mais do que isso o afastamento dos valores extremos dos coeficientes mensais de caudal é muito grande relativamente aos seus valores médios. Por estes motivos, ainda que a influência nival não passe de um retoque, insuficiente para originar um máximo secundário e mais contribuindo para exacerbar o principal, pensamos que se poderá incluir dentro das regimes complexos originais. Caberá dentro dos pluvio-nivais, variedade dos mediterrâneos, caracterizados pela subida das temperaturas no final do Inverno, pela acentuada secura estival e pela abundância e irregularidade das precipitações outonais. Assim, pelo menos a montante, tratar-se-à de um regime pluvio-nival mitigado; à medida que nos afastamos da nascente, as características nivais ir-se-ão diluindo.

Com esta classificação parecem estar de acordo J. LOUP (1974, p. 101) e R. FRÉCAUT *et al.* (1983), p. 146) ao caracterizarem o domínio mediterrâneo, com alimentação líquida predominante, pelo acentuar tanto da irregularidade do regime pluvial, sobretudo na estação fria, como da secura e estiagem estivais, ilustrando bem não só a irregularidade interanual das precipitações mas também a extrema variabilidade do escoamento nesta bacia mediterrânea.

H. VIVIAN (1966, p. 173) também acentuou as características particulares de alguns regimes dos rios portugueses, em particular do Centro e Sul, que definiu como muito contrastados, do género mediterrâneo excessivo que, durante o fim do Verão, lhe evocam muitos dos fenómenos magrebianos e quase desérticos.

Pelas razões apontadas, cremos que as características de variabilidade e irregularidade, interanuais e interestacionais, comandam o regime, que se caracteriza por águas altas no Inverno e águas baixas no Verão. Atendendo a que estas se devem mais à ausência de precipitação estival do que à acentuada evaporação, o regime traduz mais as influências mediterrâneas do que as oceânicas (atlânticas), resultante da sua localização de transição entre os exemplares mais típicos desses dois regimes.

2.3.3. *Influência do Alva sobre o regime do Baixo Mondego*

Desde há muito que é conhecida a extrema variabilidade dos caudais diários do rio Mondego em Coimbra, superiores a 3000 m³/s, em ponta de cheia e inferiores a 1 m³/s, em situações de estiagem. Mas já o mesmo não se poderá afirmar sobre o conhecimento da contribuição individual dos principais tributários para o acentuar dessa irregularidade, razão que nos levou a tentar descortiná-la.

Os rios Alva e Ceira que, como o Mondego, descem da Cordilheira Central, apresentam caudais proporcionalmente semelhantes ao deste, enquanto que o rio Dão e a ribeira de Mortágua, que drenam o Planalto da Beira Alta, detêm valores inferiores.

Tivemos alguma dificuldade para seleccionar o período durante o qual iríamos analisar comparativamente a respectiva contribuição de cada um desses afluentes para os caudais registados em Coimbra, provenientes de uma área de 4929 km², porquanto pretendíamos caracterizar individualmente cada uma das bacias na sua área total, o que não foi possível por não existirem estações hidrométricas junto às confluências ou porque, a partir do momento em que foram instaladas, os valores de Coimbra deixaram de ser significativos devido à construção da barragem da Aguieira.

Estas estações deveriam situar-se, tanto quanto possível, próximo das confluências dos diferentes tributários, para se poder deduzir a sua importância relativa para o conjunto dos caudais escoados em Coimbra.

Por outro lado, apenas considerámos os valores que se encontravam publicados relativos às diferentes estações e que deveriam ser anteriores a Junho de 1981, data do início do enchimento da albufeira criada pela construção da barragem da Agueira, a partir da qual os valores medidos em Coimbra deixaram de corresponder aos valores reais dos afluxos de montante. Por outro lado o enchimento da albufeira implicou o abandono de medições em algumas estações que ficaram submersas e a criação de outras novas, no sentido de uma adaptação da rede hidrométrica ao melhor controlo e defesa do Baixo Mondego contra as cheias.

Assim, algumas das estações possuem estes requisitos, como acontece com Ponte da Mucela, no rio Alva, que cobre 666 dos 722 km² da bacia e com Almaça, na ribeira de Mortágua, que recolhe afluência de 204 dos 209 km² de área de drenagem.

Em contrapartida, tanto o rio Ceira como o rio Dão se encontram em pior situação. Até 1975 o rio Dão também estava bem referenciado porque dispunha de uma estação no açude do Saimilo, que foi extinta, e cobria 1371 dos 1377 km² da sua bacia, mas os seus valores não se encontram publicados, pelo que tivémos de recorrer à de Ferreirós. Recebe afluências de 712 dos 1377 km², embora actualmente a do Sobral, distanciada poucos quilómetros e instalada em 1983, tenha uma bacia vertente de 1038 km², por inclusão dos afluentes Pavia e Dinha, deixando apenas excluído o rio Criz. Considerámos ainda as afluências do Mondego, a montante da confluência com o Dão, utilizando para o efeito os registos da Ponte de Tábua, com uma bacia de 1549 km².

No rio Ceira, a Ponte do Cabouco cobre 506 dos 737 km², deixando de fora o principal afluente, o rio Dueça que, desde 1986, passou a ficar incluído pela instalação de um limnógrafo na Ponte da Conraria que abarca praticamente toda a bacia do Ceira, 735 dos seus 737 km².

Posto isto, escolhemos o ano de 1978/79 porque registou caudais superiores ao módulo e porque, após 1976/77, início da publicação da série *Hidrometria*, e antes de 1981, início do enchimento da Agueira, permitia cobrir as maiores áreas relativas em cada bacia.

A análise mostra que não se verificou uma proporcionalidade directa entre caudais afluídos e respectivas áreas de drenagem, mas sim que houve uma maior contribuição nas bacias dos rios Alva e Ceira que, por isso, detêm caudais específicos mais elevados.

O mês de Outubro regista a particularidade de grande parte do escoamento provir do Alva (fig. 36-A), se bem que comparativamente a área seja pequena, apenas 13,5%. São particularmente significativas as pulsações rápidas do início de Outubro, como resposta directa do Alva às precipitações então caídas e que quase exclusivamente alimentado pelas áreas mais próximas drenadas pelos outros

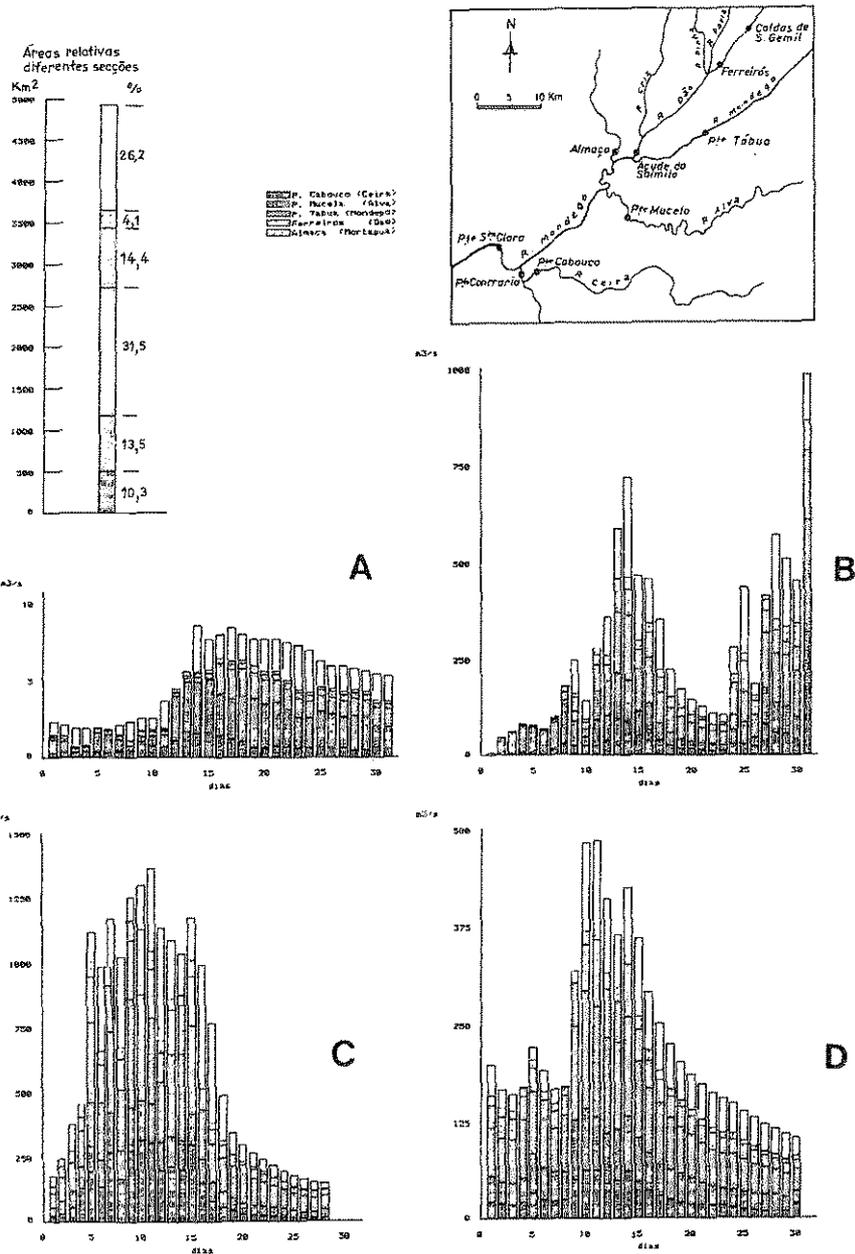


FIG. 36 — Evolução dos caudais na Ponte de Santa Clara em Coimbra. Contribuições relativas dos principais afluentes.

A — Outubro de 1978 (escala vertical × 60); B — Dezembro de 1978 (escala vertical × 1,5); C — Fevereiro de 1979 e D — Abril de 1979 (escala vertical × 3).

afluentes. É, no entanto, de ter em conta que estes caudais são diminutos e que, atendendo à largura do leito do Mondego em Coimbra bem como ao seu preenchimento por espessas aluviões, se diluem com facilidade.

Os caudais restantes distribuem-se primeiro pelo Ceira, com 10,3% da área da bacia afluente e, depois, pelo próprio Mondego, com 31,4% da área em Ponte de Tábua, cujas diferenças se poderão explicar em parte pelos diferentes tempos de concentração resultantes dos desiguais comprimentos dos canais principais.

As aflúncias, à parte do desfasamento de algumas horas que os caudais levam a percorrer as distâncias que separam as diferentes estações de medida da Ponte de Santa Clara, em Coimbra, mostraram no mês de Dezembro, quando grande parte das reservas subterrâneas já foram satisfeitas, um maior equilíbrio entre os diferentes tributários (fig. 36-B).

Em Fevereiro, quando os caudais atingiram os maiores volumes, foi o rio Ceira que tomou a dianteira, relativamente ao Alva (fig. 36-C), o que parece mostrar que o Ceira, com área inferior ao Alva, transmite maior torrencialidade ao Mondego do que aquele outro afluente, tanto mais que em Abril, quando as águas diminuíram parece repor-se a verdade, com o Alva a adiantar-se ao Ceira (fig. 36-D). Para confirmar até que ponto esta hipótese seria ou não verdadeira, considerámos apenas o contributo dos três principais afluentes, Alva, Ceira e Dão¹⁰, para o caudal medido em Coimbra nos primeiros meses do ano em que se registaram os maiores caudais, Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro de 1976/77, como vimos.

Verificou-se que, efectivamente, a bacia do Alva, com apenas mais 160 km² do que a do Dão, registou caudais diários bem superiores à do Ceira e, mais ainda, em relação à do rio Dão (fig. 37).

Comparativamente com a bacia do Mondego, na Ponte de Tábua, os caudais são muitas vezes semelhantes, por vezes com ligeira vantagem do Mondego, mas a sua bacia hidrográfica apresenta-se 2,3 vezes superior à do Alva, motivo porque esses valores se tornam reduzidos.

Pequenos são também, em particular nos dois primeiros meses, os contributos do resto da bacia (1588 km² — 32,2%) cuja precipitação terá sido gasta em grande parte, atendendo à constituição geológica e aos diferentes valores dos declives, na reconstituição das reservas subterrâneas. À medida que o tempo avança, as reservas vão ficando reconstituídas de tal modo que em Janeiro e Fevereiro, a contribuição destas áreas é, comparativamente, bem superior à dos outros meses.

¹⁰ Os caudais referem-se à Ponte das Caldas de São Gemil (bacia = 617 km), porque os referentes à Ponte de Ferreirós não foram publicados.

Após esta análise, confirmou-se a nossa hipótese de atribuir aos afluentes da Cordilheira Central um papel preponderante para o regime do Mondego, a jusante das suas confluências, e ressaltou a elevada contribuição do rio Alva para o regime do Baixo Mondego.

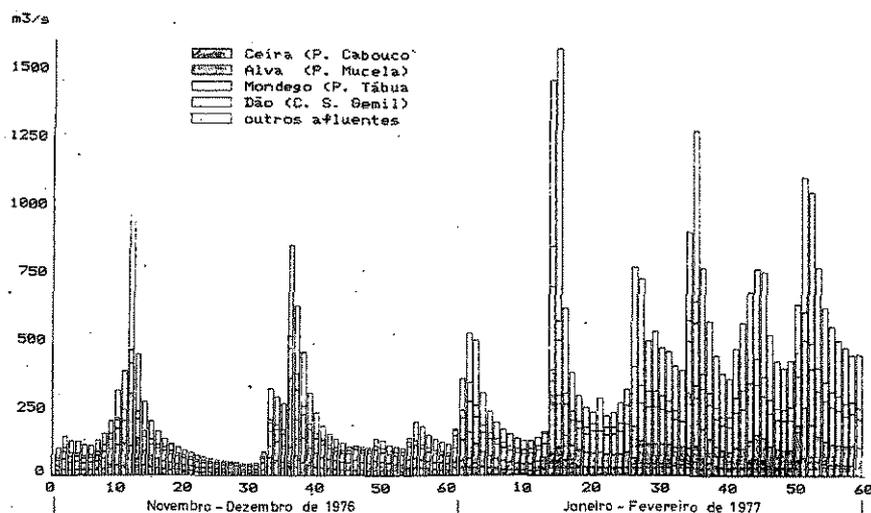


FIG. 37 — Evolução dos caudais médios diários em Coimbra (Ponte de Santa Clara), de Novembro de 1976 a Fevereiro de 1977, com indicação das contribuições relativas aos principais afluentes.

CONCLUSÃO

O comportamento hidrológico do rio Alva deve atribuir-se à existência de uma precipitação atmosférica considerável que, por sua vez, é influenciada não só pelas elevadas altitudes das cabeceiras, mas também pela exposição da bacia, voltada a Noroeste e com importantes relevos a fecharem-se a Sueste, e ainda, à proximidade do oceano e à sua localização nas médias latitudes.

Uma das principais características da precipitação é a irregularidade dos seus quantitativos anuais.

A distribuição ao longo do ano, do número de dias com precipitação, é também irregular se bem que, em termos médios, apenas seja evidente o contraste entre o período de Outubro a Maio, com muito maior número de dias com precipitação, de que o de Junho a Setembro, com um número menos significativo.

Assim, em termos climáticos, a bacia do Alva apresenta um clima cuja humidade aumenta com a altitude, sendo acompanhada por uma descida de temperatura do ar, características essas variáveis consoante a época do ano.

De modo geral, o clima varia de pouco húmido, nas cotas baixas, até super-húmido nos pontos mais elevados da serra da Estrela, de meso a microtérico, com pequena a moderada deficiência de água no Verão e pequena concentração estival. De Outubro a Maio, os meses apresentam-se frios e chuvosos, enquanto que os de Julho e Agosto são secos.

O regime do rio Alva responde directamente a estas características climáticas, pelo que apresenta duas estações hidrológicas bem definidas, águas altas no semestre frio e águas baixas no semestre quente.

A variabilidade e irregularidade das precipitações reflecte-se também no seu regime que comporta bruscas variações. As cheias e as estiagens são frequentes nas épocas de águas altas e águas baixas, respectivamente, mas a variabilidade do regime permite que, nalguns anos, possam não se fazer sentir.

Pelas suas características, pensamos que o regime se poderá definir como muito contrastado do tipo pluvial mediterrâneo.

BIBLIOGRAFIA

- AMARAL, I. (1968) — «As inundações de 25/26 de Novembro de 1967 na região de Lisboa», *Finisterra*, III, 5, Lisboa, p. 79-84.
- BETTENCOURT, M. L. (1979) — «Erosão hídrica na bacia do Mondego», *Revista do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica*, vol. 2, n.ºs 1-2, Lisboa, p. 91-129.
- BETTENCOURT, M. L. (1980) — Contribuição para o estudo das geadas em Portugal Continental», *O Clima de Portugal*, fasc. XX, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, Lisboa.
- BRIGADA DE HIDROMETRIA DO BAIXO MONDEGO (1978) — *Bacias do Mondego e Vouga. Índice Hidrográfico e classificação decimal dos cursos de água*, Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, Montemor-o-Velho.
- BRIGADA DE HIDROMETRIA DO BAIXO MONDEGO (1979) — *Características físicas das estações de medição de caudais das bacias hidrográficas do Vouga e Mondego*, Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, Montemor-o-Velho.
- BRIGADA DE HIDROMETRIA DO BAIXO MONDEGO — *Anuários Udometeorológicos das bacias hidrográficas dos rios Vouga e Mondego*, de 1970/71 a 1977/78, Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, Montemor-o-Velho.
- COBA, CONSULTORES PARA OBRAS, BARRAGENS E PLANEAMENTO (1979) — *Aproveitamento dos Recursos Hidráulicos do Maciço da Serra da Estrela (vertentes dos rios Mondego e Zêzere)*, A — *Inventário dos Recursos Hídricos*, Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, Lisboa (7 tomos).
- DAVEAU, S. (1971) — «La glaciation de la Serra da Estrela», *Finisterra*, VI-11, Lisboa, p. 5-40.
- DAVEAU, S. (1972) — «Répartition géographique des pluies exceptionnellement fortes au Portugal», *Finisterra*, VII-13, Lisboa, p. 5-28.
- DAVEAU, S. et col. (1977) — *Répartition et rythme des précipitations au Portugal*, Memórias do Centro de Estudos Geográficos, Lisboa.
- DIRECÇÃO DE EQUIPAMENTO HIDRÁULICO DA ELECTRICIDADE DE PORTUGAL EDP/EP (1976) — *Aproveitamento Hidráulico do rio Alva, Barragem das Fronhas, Anteprojecto*, Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, Lisboa.
- DIRECÇÃO-GERAL DOS RECURSOS E APROVEITAMENTOS HIDRÁULICOS (EX-DIRECÇÃO-GERAL DOS SERVIÇOS HIDRÁULICOS) — *Anuário dos Serviços Hidráulicos*, desde 1933 a 1971/72, Imprensa Nacional — Casa da Moeda, Lisboa.
- DIRECÇÃO-GERAL DOS RECURSOS E APROVEITAMENTOS HIDRÁULICOS — *Anuário dos Serviços Hidráulicos — Udometeorologia*, desde 1975-76 a 1977-1978, Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, Lisboa.
- DIRECÇÃO-GERAL DOS RECURSOS E APROVEITAMENTOS HIDRÁULICOS (1981) — *Anuário dos Serviços Hidráulicos — Hidrometria, 1976-1977*, Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, Lisboa.
- DIRECÇÃO-GERAL DOS RECURSOS E APROVEITAMENTOS HIDRÁULICOS (1986-a) — *Dados Pluviométricos (1900/01 a 1984/85)*, Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamento Hidráulicos, Lisboa.
- DIRECÇÃO-GERAL DOS RECURSOS E APROVEITAMENTOS HIDRÁULICOS (1986-b) — *Escoamentos até 1984/85*, Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, Lisboa.

- DIRECÇÃO-GERAL DOS RECURSOS E APROVEITAMENTOS HIDRÁULICOS (1986-c) — *Caudais Portugal (Continente)*, desde 1978-79 a 1985-86, Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, Lisboa.
- DIRECÇÃO-GERAL DOS RECURSOS NATURAIS (EX-DIRECÇÃO-GERAL DOS RECURSOS E APROVEITAMENTOS HIDRÁULICOS) — *Caudais, Portugal (Continente) 1986-87*, Direcção-Geral dos Recursos Naturais, Lisboa.
- DIRECÇÃO OPERACIONAL DE EQUIPAMENTO HIDRÁULICO DA ELECTRICIDADE DE PORTUGAL, DEPARTAMENTO DE ESTUDOS GERAIS, HIDROLOGIA — *Anuário Hidrológico, de 1977/78 a 1987/88*, Electricidade de Portugal EDP/Empresa Pública, Porto.
- DIVISÃO DE HIDROMETRIA (1985-a) — *Atlas hidrológico de Portugal Continental (Contribuição das águas de superfície)*, Direcção dos Serviços de Hidrologia, Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, Lisboa.
- DIVISÃO DE HIDROMETRIA (1985-b) — *Precipitação e escoamento anual em Portugal Continental, Plano Nacional da Água*, Direcção dos Serviços de Hidrologia, Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, Lisboa.
- DIVISÃO DE HIDROMETRIA (1985-c) — *Região Mondego/Vouga — Escoamentos, Plano Nacional da Água, Hidrologia — Águas de superfície*, Direcção dos Serviços de Hidrologia, Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, Lisboa.
- DIVISÃO DE HIDROMETRIA (1986) — *Monografia hidrológica do rio Mondego*, Direcção dos Serviços de Hidrologia, Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, Lisboa.
- ELECTRICIDADE DE PORTUGAL (1984) — *Centros produtores de energia eléctrica*, Electricidade de Portugal EDP/EP, Lisboa.
- FARIA, J. M. R., GODINHO, S. F. e MACHADO, M. J. S. (1978) — «Contribuição para o estudo hidroclimatológico da bacia hidrográfica do Rio Mondego», *Revista do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica*, vol. 1, n.º 1, Lisboa, p. 74-223.
- FAUCHON A. (1975) — «Hydrographie de la partie ouest du bassin de la rivière des Etchemins (Québec)», *Cahiers de Géographie de Québec*, vol. 19, n.º 47, p. 369-381.
- FERNANDES MARTINS (1940) — *O esforço do homem na bacia do Mondego*, Coimbra.
- FRÉCAUT, R. (1964) — *Éléments d'hydrologie continentale*, CDU, Paris.
- FRÉCAUT, R. (1972) — *La moselle et son bassin. Contribution à l'Hydrologie et à la Dynamique Fluviales en Milieu tempéré Océanique*, Thèse Etat Brest, 1971, Service de Reproduction des Theses, Université de Lille III, Lille.
- FRÉCAUT, R. et PAGNEY, P. (1983) — *Dynamique des climats et de l'écoulement fluvial*, Masson, Paris.
- GARCIA RUIZ, J. M. y MARTIN RANZ, M. C. (1984) — «Frecuencia y estacionalidad de crecidas en los afluentes riojanos del Ebro», *Actas del I Coloquio sobre Geografía de la Rioja*, Logroño, 18-20 de Junho, p. 107-118.
- GARCIA RUIZ, J. M., GOMEZ-VILLAR, A. y ORTIGOSA-IZQUIERDO, L. M. (1987) — *Aspectos dinámicos de un cauce fluvial en el contexto de su cuenca; el ejemplo del rio Oja*, Monografias del Instituto Pirenaico de Ecología, Jaca, Instituto de Estudios Riojanos, Logroño, n.º 3.
- GAUSSEN H. (1952) — L'indice xéothermique, *Bull. Assoc. géogr. français*, p. 10-16.

- GAZELLE, F. (1984) — «La crue de décembre 1981 dans le bassin de la Garonne», *Rev. Géog. des Pyr. et du Sud-Ouest*, t. 55, fasc. 1, p. 5-28.
- GODINHO, S. F. (1980) — «Contribuição para o estudo das cheias na bacia hidrográfica do Rio Mondego», *O Clima de Portugal*, fasc. XXI, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, Lisboa.
- GUILCHER, A. (1965) — *Précis d'hydrologie marine et continentale*, Masson, Paris.
- GUILLOT, P. et DUBAND, D. (1968) — «Estimation des valeurs extrêmes de crues a partir des précipitations», *Études hydrologiques et géographiques (melanges offerts par ses amis et disciples a MAURICE PARDÉ)*, Ed. Ophrys, p. 263-282.
- HDROPROJECTO (1977) — *Previsão de caudais no Alto Mondego — Modelo de hidrologia operacional. Estudo preliminar*, Direcção dos Serviços de Aproveitamentos Hidráulicos, Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, Lisboa.
- HIRSCH, F. (1962) — «Méthode pour la prévision des débits des cours d'eau par l'analyse morphométrique des réseaux fluviaux», *Rev. Géom. Dynamique*, t. XIII, 7-8-9, p. 97-106.
- KÖPPEN, W. (1948) — *Climatologia, con un estudio de los climas de la Tierra*, FCE, México.
- LAMBERT, R. et VIGNEAU, J.-P. (1981) — «Les inondations catastrophiques de juillet 1977 en Gascogne. Étude géographique d'une situation. Problèmes de prévision et de prévention», *Annales de Géographie*, n.º 497, p. 1-54.
- LENCASTRE, A. e FRANCO, F. M. (1984) — *Lições de Hidrologia*, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- LOPEZ BERMUDEZ, F. (1973) — *La Vega Alta del Segura. Clima, Hidrologia y Geomorfologia*, Departamento de Geografia, Universidade de Murcia, Murcia.
- LOUREIRO, J. M. e PINTO, M. S. (1979) — *Relação entre a intensidade da precipitação máxima anual em 24 horas e a intensidade da precipitação máxima anual para diferentes durações na bacia hidrográfica do Rio Mondego*, Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, Lisboa.
- LOURENÇO, L., CASTELA, M.E.C. e COSTA, M.J.A.C (1978) — *O rio Alva. Contribuição para um estudo de hidrologia fluvial*, Relatório inédito.
- LOURENÇO, L. (1979) — *O Alva a montante da Ponte das Três Entradas*, Relatório inédito.
- LOURENÇO, L. (1983) — *As bacias hidrográficas do rio Alvoco e da Ribeira de Pomares. Estudo geomorfológico*, Relatório inédito.
- LOURENÇO, L. (1984) — «As cheias do rio Alva. Contributo para o seu conhecimento através dos registos na Ponte de Coja», *Biblos*, vol. LX, Coimbra, p. 37-70.
- LOURENÇO, L. (1986-a) — «Aproveitamento hidráulico do Vale do Mondego», *Problemas do Vale do Mondego*, livro-guia da excursão do dia 24 de Setembro de 1986, IV Colóquio Ibérico de Geografia, Coimbra, p. 45-59.
- LOURENÇO, L. (1986-b) — «Rio Alva. Estudo hidrogeomorfológico», *Cadernos de Geografia*, n.º 5, Coimbra, p. 43-123.
- LOURENÇO, L. (1988) — «Efeitos do temporal de 23 de Junho de 1988 na intensificação da erosão das vertentes afectadas pelo incêndio florestal de Arganil/Oliveira do Hospital», *Actas do Seminário Técnico sobre Parques e Conservação da Natureza nos Países do Sul da Europa*, Faro, p. 43-77.
- LOUP, J. (1974) — *Les eaux terrestres*, Masson, Paris.

- MACHADO, M. J. S. S. (1973) — *Contribuição para o estudo hidrometeorológico da bacia do Mondego*, Lisboa.
- MARTONNE, E. de (1923) — «Une nouvelle fonction climatologique, l'indice d'aridité», *La Météo.*, p. 3-26.
- MARTONNE, E. de (1942) — «Nouvelle carte mondiale de l'indice d'aridité», *Ann. de Géogr.*, n.º 288, p. 241-250.
- MARTONNE, E. de (1953) — «Traité de Géographie Physique», trad. port. in *Panorama da Geografia*, vol. I, Cosmos, Lisboa.
- MENDES, J. C. e BETTENCOURT, M. (1980) — «Contribuição para o estudo do balanço climático de água no solo e classificação climática de Portugal Continental», *O Clima de Portugal*, fasc. XXIV, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, Lisboa.
- MOREIRA-LOPES, M. E. S. A. (1979) — *A bacia do rio Umbelúzi (Moçambique). Estudo Geomorfológico*, Dissertação de Geografia Física apresentada à Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa para obtenção do grau de Doutor, Lisboa.
- OLIVEIRA, J. M. PEREIRA de (1973) — *O espaço urbano do Porto. Condições naturais e desenvolvimento*, Centro de Estudos Geográficos, Coimbra.
- PARDÉ, M. (1968) — *Fleuves et rivières*, Armand Colin, Paris (5ème. ed.).
- PÉGUY, CH. P. (1970) — *Précis de Climatologie*, Masson, Paris (2ème. ed.).
- PÉREZ, E. P. (1988) — *Crónica de una cuenca sedienta*, CAM, Murcia.
- PLANA CASTELLVI, J. A. P. (1979) — «Una aportación al estudio del Llobregat», *Revista de Geografia*, vol. XII-XIII, Barcelona, p. 29-44.
- QUINTELA, A. (1967) — *Recursos de água superficiais em Portugal Continental*, Lisboa.
- REBELO, F. (1978) — «Os temporais de 25/26 de Fevereiro de 1978 no Centro de Portugal» in «Os temporais de Fevereiro/Março de 1978», *Finisterra*, XIII, 26, Lisboa, p. 244-253.
- REIS, L. (1964-a) — *Elementos de Hidrologia*, Sá da Bandeira.
- REIS, L. (1964-b) — *Hidrometria*, Sá da Bandeira.
- RÉMÉNIÉRAS, G. (1980) — *L'hydrologie de l'ingénieur*, Eyrolles, Paris (2ème. ed.).
- RIBEIRO, O., LAUTENSACH, H. e DAVEAU, S. (comentários e actualização) (1988) — *Geografia de Portugal II. O ritmo climático e a paisagem*. Edições João Sá da Costa, Lisboa.
- ROCHEFORT, M. (1969) — *Les fleuves*, Col. Que sais-je? n.º 1077, PUF, Paris.
- ROUX, J. C. (1964) — «Hidrogéologie du bassin de la Somme», *Rev. Géog. Phys. et de Géol. Dynamique*, (2), vol. VI, fasc. 3, p. 211-140.
- SOBRINHO A. S. (1980) — «As inundações e o Ordenamento do território em Portugal», *Comunicações do II Colóquio Ibérico de Geografia*, vol. I, Lisboa, p. 359-385.
- SOBRINHO, A. S. (1986) — «Ensaio de um modelo de avaliação de danos na agricultura. As inundações da ribeira da Meimoa (Cova da Beira)», *Revista da Faculdade de Letras, Geografia*, I, Porto, p. 65-93.
- STRAHLER, A. N. (1981) — *Geografia Física*, Omega, Barcelona, (5.ª ed.).
- VIVIAN, H. (1966) — «Les modalités de l'écoulement des eaux au Portugal», *Rev. Géog. Pyrén. et Sud-Ouest*, 37 (2), p. 145-176.
- WORD, R. (1979) — *Floods. A Geographical Perspective*, The Macmillan Press, Londres.