

Intercepção da Precipitação em Árvores Isoladas de *Quercus rotundifolia* Lam¹

Teresa Soares David

Investigadora Auxiliar

Estação Florestal Nacional. Departamento de Ecofisiologia e Melhoramento Florestal.
Quinta do Marquês, Av. da República, 2780-159 OEIRAS

Sumário. O processo de intercepção da precipitação foi analisado, durante cerca de dois anos, numa árvore isolada de *Quercus rotundifolia* Lam. integrada num montado de baixa densidade da região de Évora. A perda por intercepção foi de 21,7% da precipitação bruta e 28% da evapotranspiração da componente arbórea. A redistribuição da precipitação sob a copa traduziu-se em aumentos nos quadrantes virados a Sul e Oeste (ventos dominantes) e depleções nos quadrantes Norte e Este. A acumulação de precipitação em certas zonas sob a copa é certamente determinante para a interpretação da heterogeneidade da vegetação herbáceo-arbustiva em montados.

Palavras-chave: montados; perda por intercepção; redistribuição da precipitação; evapotranspiração

Abstract. Rainfall interception was monitored for two years in an isolated *Quercus rotundifolia* Lam. tree, in a low-density oak woodland (*montado*) near Évora. Interception loss was 21.7% of gross rainfall and 28% of tree evapotranspiration. Rainfall redistribution under the crown resulted in rainfall increases in upwind directions (South and West) and depletions downwind (North and East). Rainfall concentration in some areas beneath the crown is certainly of importance in explaining the spatial heterogeneity of the understory.

Key words: *montado*; interception loss; rainfall redistribution; evapotranspiration.

Resumé. On a étudié, pendant deux années, l'interception de la pluie sur un arbre isolé de *Quercus rotundifolia* Lam. situé dans un peuplement de basse densité de chêne (*montado*) auprès de Évora. La perte par interception a été 21.7% de la pluie et 28% de l'évapotranspiration de l'arbre. L'analyse de la redistribution de la pluie au niveau du sol a mis en évidence une concentration de précipitation sur les quadrants Sud et Ouest (vents dominants) et une diminution à Nord et Est. La concentration de la pluie peut certainement devenir fondamentale pour expliquer la hétérogénéité du sous-couvert en *montados*.

Mots clés: *montado*; perte par interception; redistribution de la précipitation; evapotranspiration.

¹ O presente trabalho resume os aspectos essenciais da 1ª parte da Dissertação intitulada "Intercepção da precipitação e transpiração em árvores isoladas de *Quercus rotundifolia* Lam.", apresentada no ISA (UTL) para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Florestal, em Abril de 2001.

Introdução

Os montados de sobreiro (*Quercus suber* L.) e de azinheira (*Quercus rotundifolia* Lam.) existentes em Portugal inserem-se numa mancha mais vasta de bosques de Quercíneas perenifólias que se estende pela parte ocidental da Bacia Mediterrânica, do Sul da Europa ao Norte de África. Correspondem ao sistema prevalecente de ocupação do solo do Alentejo apresentando baixa densidade arbórea, com grau de cobertura do solo pelas copas normalmente inferior a 50% (DGF, 1999). Estas formações vegetais são em geral caracterizadas pela coexistência de duas sub-componentes ecológicas bem diferenciadas espacialmente: uma componente herbáceo-arbustiva e uma componente arbórea dispersa.

Os montados, principalmente os de azinheira, ocupam as zonas mais críticas do território nacional em termos de recursos hídricos disponíveis, *i.e.*, de baixa pluviosidade e elevado potencial evaporativo. O factor água adquire inevitavelmente nestas zonas um papel limitativo crucial. Balanços hidrológicos normalmente desfavoráveis condicionam a sustentabilidade e o desenvolvimento, quer das comunidades vegetais, quer da actividade humana. Esta situação poder-se-á agravar a médio-longo prazo face aos cenários climáticos para os próximos 80 anos: aumentos de temperatura para a região alentejana, de 1,7 a 5,5°C e reduções médias de precipitação de Primavera, Verão e Outono de 13, 31 e 19%, respectivamente (HULME *et al.*, 1999).

A quantificação cada vez mais correcta dos vários elementos do balanço hidrológico constitui uma das bases de

informação mais determinantes para um planeamento sustentado do desenvolvimento local e regional.

Neste contexto, adquire particular relevo o estudo da evapotranspiração em montados, *i.e.*, da parte da precipitação que, localmente, é reenviada para a atmosfera e que constitui uma *perda* para as reservas hídricas de superfície e subterrâneas.

Em ecossistemas florestais as componentes mais importantes da evapotranspiração são a perda por intercepção e a transpiração (WARD e ROBINSON, 2000). A perda por intercepção, *i.e.*, a evaporação directa a partir das copas molhadas em períodos de chuva, é com frequência negligenciada em aplicações práticas, embora seja uma componente da evapotranspiração muito importante em termos relativos, principalmente em povoamentos aerodinamicamente rugosos (RUTTER, 1975). A sua quantificação (em % da precipitação bruta e da evapotranspiração) em montados do Sul de Portugal foi uma das lacunas que se pretendeu colmatar com a realização deste trabalho.

A análise do processo de intercepção da precipitação pelas copas das árvores engloba a estimativa do valor da perda por intercepção e a redistribuição espacial da precipitação junto ao solo induzida pela sua presença física. Relativamente a este aspecto, estudos realizados por CALABUIG (1992) em *dehesas* e por DANCETTE e POULAIN (1969) em savanas africanas revelaram que a intercepção da precipitação inclinada pela copa de árvores isoladas induz a ocorrência de zonas de concentração de precipitação sob a copa.

O presente estudo foi realizado ao nível de uma árvore isolada (caso

extremo de povoamentos esparsos), e não do povoamento, admitindo que os montados são mais bem representados por um "somatório" de elementos arbóreos individuais, mais ou menos independentes, do que por uma superfície homogênea representativa do povoamento.

Parcela experimental e instrumentação

O ensaio experimental decorreu num montado de sobre e azinho localizado na zona SW da Herdade da Mitra (38° 32' N, 8° 01' W, 243 m de altitude) pertencente à Universidade de Évora.

O clima da região é de tipo Mediterrânico, caracterizado por Verões quentes e secos e por Outonos e Invernos chuvosos. A precipitação média anual é de cerca de 660 mm, a temperatura média anual de 15,4°C e a evaporação média anual de 1760 mm (INMG, 1991).

A árvore estudada

Para o estudo do impacto de árvores isoladas na perda por intercepção e na redistribuição da precipitação induzida pela copa seleccionou-se um indivíduo adulto de *Quercus rotundifolia* Lam., situado numa zona exposta da parcela experimental (Quadro 1). Deste modo, procurou garantir-se a livre penetração do vento e precipitação, provenientes dos diversos rumos.

A proporção da área de coberto da copa (c) corresponde a (1-proporção da área de vazios da copa). Este último valor foi estimado em 0,20 (CARREIRAS 1998, dados não publicados) com base num método de análise de fotografias hemisféricas tiradas pouco antes do pôr do sol (RICH, 1989; RICH *et al.*, 1995).

Quadro 1 - Principais características da árvore em que incidiram os estudos de intercepção

Diâmetro médio à altura do peito	0,59 m
Altura média	7,2 m
Raio médio da copa	7,8 m
Área de projecção da copa	191,04 m ²
Profundidade média da copa	3,3 m
Altura média da base da copa	3,6 m
Proporção da área de coberto da copa (c)	0,8

Variáveis meteorológicas

Uma estação meteorológica automática, instalada 5 m acima do nível médio das copas, no topo de uma torre metálica de 12 m de altura, permitiu obter séries temporais das principais variáveis meteorológicas.

Num sistema de aquisição de dados registaram-se, em intervalos de 10 minutos e durante todo o período experimental, a radiação solar global, as temperaturas dos termómetros seco e molhado de um psicrómetro aspirado, a velocidade e direcção do vento e a precipitação bruta medida acima do coberto.

Distribuição espacial da precipitação junto ao solo

Foi instalada uma rede de udómetros e udógrafos basculantes disposta segundo dois eixos ortogonais centrados no tronco da árvore, com orientações Norte-Sul e Este-Oeste.

Em cada semi-eixo colocaram-se 5 udómetros e 2 udógrafos regularmente distribuídos entre o tronco da árvore e uma distância de cerca de 15 m, valor que excede largamente o raio médio da copa (Quadro 1). A rede de medição da

precipitação junto ao solo englobou um total de 28 colectores, 16 sob a copa e 12 fora da área da sua projecção.

Os udómetros e udógrafos foram instalados com o bordo do funil de captação ao nível do solo, de modo a minimizar subestimativas de precipitação decorrentes da turbulência (RODDA, 1968; RODDA *et al.*, 1976; LEE, 1980). Toda a zona envolvente foi protegida por um sistema de redes de malha fina de forma a evitar erros de contaminação por salpico (sobrestimativa).

A medição da precipitação na rede de udómetros foi realizada semanalmente. Os udógrafos foram ligados ao sistema de aquisição de dados instalado na torre meteorológica, programado de modo a integrar o número total de básculas (cada báscula = 0,2 mm) em períodos de 10 minutos.

Junto à base do tronco montou-se um udógrafo coberto, ligado por mangueira a uma caleira de borracha colocada em espiral em volta do tronco, para medição do escoamento ao longo do tronco.

As medições decorreram, continuamente, de 9 de Outubro de 1996 a 17 de Setembro de 1998.

Transpiração

A transpiração (F) foi estimada com base no fluxo de seiva admitindo condições de regime permanente (DAVID, 2000).

A densidade de fluxo de seiva foi medida numa árvore vizinha através do método de *Granier* (GRANIER, 1985, 1987a, 1987b). Os fluxos totais de seiva foram calculados por integração das densidades de fluxo de seiva na área condutora efectiva de xilema, estimada através do método de impulsos de calor de *Cohen* (COHEN *et al.*, 1981, 1985;

COHEN, 1994), com base na distribuição radial da densidade de fluxo de seiva.

Métodos

Definição de chuvadas

Os quantitativos de precipitação recolhidos semanalmente nos udómetros foram distribuídos em intervalos de 10 minutos, de acordo com a repartição temporal do udógrafo mais próximo.

Procedeu-se à individualização das chuvadas admitindo como termo de separação um período sem precipitação de, pelo menos, seis horas. Deste modo garantiu-se que o copado estivesse enxuto no início de cada chuvada considerada (ROGERSON, 1967; VALENTE *et al.*, 1997; VALENTE, 1999).

Durante o período experimental individualizaram-se 237 chuvadas.

Perda por intercepção

Em povoamentos florestais densos, a perda por intercepção (I_c) é normalmente estimada através da resolução da equação de conservação de massa:

$$I_c = P_g - Th - St \quad (1)$$

onde P_g é a precipitação bruta, medida acima do nível médio do coberto ou em clareiras junto ao solo, Th é a precipitação sob-coberto, obtida em geral por medição da precipitação sob-coberto com grande intensidade de amostragem e St é o escoamento ao longo do tronco, medido através de sistemas colectores que envolvem os troncos.

A equação (1) é normalmente resolvida à escala do povoamento (HELVEY e PATRIC, 1965; WARD e ROBINSON, 2000), quantificando-se os vários elementos em milímetros e pressupondo a verticali-

dade da precipitação. Esta simplificação não tem consequências graves ao nível da estimativa da perda por intercepção, em povoamentos fechados, dado que há uma compensação espacial dos vários elementos do copado (*i.e.*, em termos médios, quer a precipitação seja vertical, quer seja inclinada, a quantidade de precipitação que atinge o solo é sensivelmente a mesma).

Em árvores isoladas e povoamentos muito esparsos, o pressuposto de verticalidade da precipitação não é aceitável face ao contributo directo, sob a copa, de precipitação inclinada. Daí que, nestes casos, a aplicação textual da equação (1) e o cálculo de Th como o valor médio da precipitação sob a projecção da copa não sejam correctos. Face ao exposto, a perda por intercepção (I_c) da árvore estudada foi calculada por um procedimento diferente do convencional.

Reconhecendo que as áreas de solo onde se vai observar depleção/concentração, provocadas pelo processo de intercepção, variarão em cada chuvada consoante a direcção e o ângulo de inclinação da precipitação, considerou-se uma área de referência de solo suficientemente abrangente que englobasse todos os efeitos de acumulação e depleção de precipitação.

A rede udométrica e udográfica instalada, ao abarcar uma área muito superior à da projecção da copa, garantiu no seu conjunto a quantificação destes efeitos.

O volume de precipitação que atinge o solo, na totalidade da rede de amostragem, foi calculado integrando as várias medições pontuais no espaço, *i.e.*, multiplicando o valor de precipitação medido em cada udómetro/udógrafo pela respectiva área de influência e adicionando o volume de escoamento ao longo do tronco. O volume de água

que cairia nessa mesma zona de solo, na ausência da árvore, foi quantificado multiplicando a precipitação bruta (não afectada) pela totalidade da área de amostragem.

A diferença entre esses dois volumes (*i.e.*, o que chegaria ao solo na ausência da árvore e o que efectivamente chega) permite obter uma estimativa da única perda possível justificativa: a perda por intercepção (em volume).

A perda por intercepção foi expressa em altura equivalente (mm) dividindo o valor volumétrico pela área de contribuição, *i.e.*, pela área de projecção da copa. Este foi o procedimento usado para estimar I_c , quer chuvada a chuvada, quer para a totalidade das chuvadas. A abordagem anterior possibilitou ainda o cálculo do valor médio da precipitação sob-coberto que ocorreria se as chuvadas tivessem sido verticais - precipitação sob-coberto equivalente (The):

$$The = P_g - I_c - St \quad (2)$$

sendo The , P_g , I_c e St expressos em mm tendo como área de referência a projecção da copa. The é um valor teórico, sem correspondência real no caso de árvores isoladas, mas constitui um valor "comparativo" importante. Pode ser considerado como uma estimativa do valor de Th , *i.e.*, da precipitação sob-coberto que ocorreria num povoamento fechado (sem espaços entre copas ou com copas tocando-se) de *Quercus rotundifolia*.

Parâmetros estruturais da copa

Os valores de P_g , St , I_c e The , obtidos para todas as chuvadas analisadas, permitiram estimar ainda alguns parâmetros estruturais da copa relevantes para a análise e interpretação,

enquadrada, da perda por intercepção. Admitiu-se que grande parte dos conceitos e formulações das versões original (RUTTER *et al.*, 1971, 1975; GASH e MORTON, 1978) e esparsa (VALENTE *et al.*, 1997; VALENTE, 1999) do modelo de Rutter fossem, no essencial, aplicáveis ao caso de uma árvore individual, desde que se considerassem as chuvadas como verticais, *i.e.*, usando The em vez de Th . Calculou-se a capacidade de armazenamento dos troncos (S_t), a partir da ordenada na origem de regressões entre o escoamento ao longo dos troncos (St) e a precipitação bruta (P_g), no caso da versão original, e entre St e $(The - (1 - c)P_g)$, no caso da versão esparsa, para um conjunto de chuvadas de duração inferior a seis horas.

A capacidade de armazenamento da copa (S) foi estimada a partir da ordenada na origem de regressões envolventes estabelecidas entre The e P_g para um conjunto de chuvadas com precipitação bruta superior a 1,5 mm. O valor de S estimado pelas duas versões foi idêntico. Para mais detalhes ver

VALENTE (1999) e DAVID (2000).

Resultados

Perda por intercepção e parâmetros estruturais da copa

Do Quadro 2 constam os valores acumulados, em todo o período de observações (9 de Outubro de 1996 a 17 de Setembro de 1998), de P_g e St medidos, e de I_c e The estimados, expressos em mm tendo como referência a área de projecção da copa.

De ressaltar o baixo valor de escoamento ao longo do tronco (0,26% de P_g) e a estimativa da perda por intercepção de cerca de 21,7% da precipitação bruta. A variação sazonal da perda por intercepção está obviamente relacionada com a distribuição da precipitação: 43,1% de I_c ocorreu em períodos de Outono, 20,7% no Inverno, 33,6% em períodos de Primavera e 2,6% no Verão.

No Quadro 3 sumarizam-se as estimativas dos diversos parâmetros de estrutura da copa.

Quadro 2 - Valores acumulados de P_g e St medidos e de I_c e The estimados durante o período de observações.

Precipitação bruta (P_g) (mm)	Precipitação sob-coberto Equivalente (The)		Escoamento ao longo do tronco (St)		Perda por Intercepção (I_c)	
	(mm)	(% P_g)	(mm)	(% P_g)	(mm)	(% P_g)
1736,35	1355,63	78,07	4,44	0,26	376,28	21,67

Quadro 3 - Valores dos parâmetros estruturais da copa, alguns dos quais estimados com base nas versões original e esparsa do modelo de *Rutter*

Parâmetros estruturais da copa	
proporção da área de coberto da copa (c)	0,80
proporção da área de vazios da copa ($1 - c$)	0,20
capacidade de armazenamento da copa (S) (mm)	0,282
capacidade de armazenamento dos troncos (S_t) (mm)	0,0199 (v. original)
capacidade de armazenamento dos troncos (S_t) (mm)	0,155 (v. esparsa)

As estimativas da perda por intercepção (I_c) e da transpiração (F) das árvores isoladas possibilitaram a quantificação aproximada da evapotranspiração ($F + I_c$) da componente arbórea durante o período de estudo. Na Figura 1 representam-se os valores acumulados da precipitação bruta (P_g) e das duas referidas componentes da evapotranspiração, expressas por unidade de área de projecção da copa. O peso relativo de I_c e F em ($F + I_c$) foi de, respectivamente, 28 e 72%. De salientar que os acréscimos dos valores acumulados da perda por intercepção foram especialmente significativos durante o Outono/Inverno enquanto os aumentos de transpiração se observaram essencialmente na Primavera/Verão. Estas variações dessincronizadas no tempo traduziram-se num aumento quase linear do valor acumulado de ($F + I_c$).

Redistribuição da precipitação junto ao solo

Das 237 chuvadas individualizadas, 32 corresponderam a uma orientação média de Norte, 94 de Sul, 30 de Este e 81 de Oeste. Na Figura 2 apresenta-se a

distribuição da precipitação bruta observada no período de análise, ao nível do solo, por classes de orientação média de 15° de amplitude.

Face à dominância das precipitações de orientação Sul e Oeste, é natural que a redistribuição verificada para essas chuvadas condicione fortemente o padrão correspondente a todo o período de observações (Figura 3).

Nos quadrantes Sul e Oeste, são de assinalar aumentos de concentração de precipitação sob a copa, quer relativamente à precipitação bruta (+ 11,6% a Sul e + 6,6% a Oeste), quer em relação à situação admitida como representativa de um povoamento fechado equivalente (+ 42,9% a Sul e + 36,5% a Oeste). Na metade da copa virada a Sul e Oeste observaram-se ganhos de precipitação sob a copa da ordem dos 38,8% em relação a um povoamento fechado.

A depleção nos quadrantes mais frequentemente situados na zona de ensombramento da precipitação, Norte e Este, correspondeu em média a captações sob a copa de 77,3% da precipitação bruta global, valor muito próximo do estimado para o hipotético povoamento fechado (78,07% de P_g).

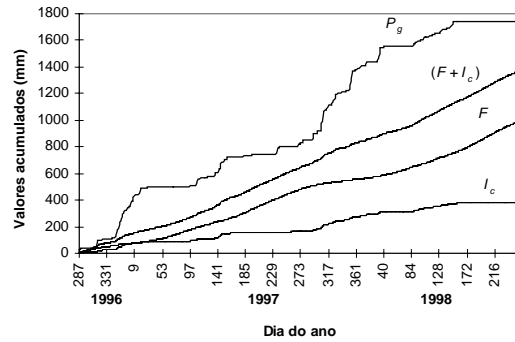


Figura 1 - Valores acumulados da precipitação bruta (P_g), da perda por interceptação (I_c), da transpiração (F) e da soma destas duas últimas componentes ($F + I_c$) durante o período experimental

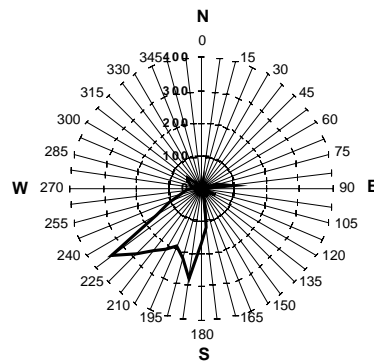


Figura 2 - Distribuição da precipitação bruta por classes de orientação média de 15° de amplitude. As ordenadas representam a precipitação acumulada (mm)

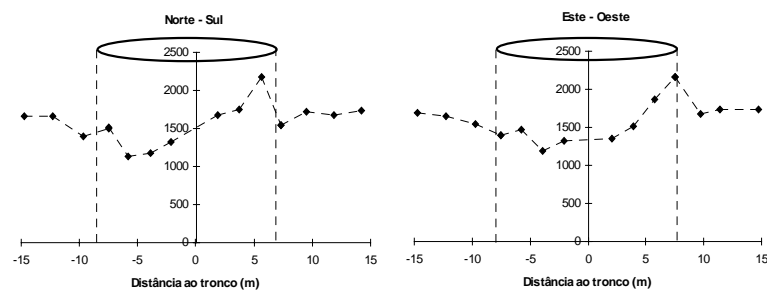


Figura 3 - Padrão de redistribuição da precipitação junto ao solo, para a totalidade das 237 chuvadas observadas no decurso do período experimental. As ordenadas representam a precipitação acumulada (mm)

A concentração de precipitação sob a copa foi máxima nos udómetros virados aos ventos com maior pluviosidade e situados sob a copa ou próximo dos limites da sua projecção. Nos pontos de máxima concentração, o valor global da precipitação registada em dois anos foi de 125,3% e 124,3% da precipitação bruta, respectivamente.

Discussão e conclusões

O processo de intercepção da precipitação em árvores isoladas tem sido analisado, classicamente, considerando apenas a vertente da redistribuição da precipitação junto ao solo não se quantificando, em geral, a perda por intercepção (DANCETTE e POULAIN, 1969; KING e HARRISON, 1998). Este facto resulta certamente da impossibilidade de aplicação e generalização dos procedimentos de cálculo da perda por intercepção (bem definidos para povoamentos densos) ao caso de árvores isoladas (situação limite de povoamentos extremamente esparsos). CALABUIG (1992), ignorando esta impossibilidade e usando registos de precipitação bruta de uma estação meteorológica próxima, em vez de dados locais, estimou a perda por intercepção, em povoamentos muito esparsos de azinheira da região de Salamanca (Espanha), em 32 a 41% de P_g . Estes resultados parecem excessivos para as características climáticas da região e são altamente questionáveis face à metodologia usada.

No entanto e à semelhança do que foi feito no estudo presente, a perda por intercepção pode ser calculada, em árvores isoladas, recorrendo a um novo método de análise: através da diferença entre os valores integrados da

precipitação bruta e da precipitação junto ao solo, numa área suficientemente abrangente que englobe todos os efeitos induzidos pela presença da árvore na redistribuição da precipitação.

O cálculo de um valor de precipitação sob-coberto equivalente (The), admitindo a verticalidade da precipitação, e a utilização da base conceptual das versões original e esparsa do modelo de *Rutter* (RUTTER *et al.*, 1971, 1975; VALENTE *et al.* 1997) permitiram estimar os diversos parâmetros estruturais da copa relevantes para o processo de intercepção. Esta informação constitui um primeiro passo para a tentativa de conceptualização quantificada do processo de intercepção em árvores isoladas de montado.

A perda total por intercepção (I_c) estimada para a árvore isolada de *Quercus rotundifolia*, de 21,7% da precipitação bruta, foi aparentemente superior às referidas por VALENTE *et al.* (1997) para povoamentos de *Pinus pinaster* (17% de P_g) e de *Eucalyptus globulus* (10,8 % de P_g) em Portugal e da mesma ordem de grandeza das referidas por COMÍN *et al.* (1987) e BELLOT *et al.* (1999) para povoamentos densos de *Quercus ilex* em Espanha (18,2% e 21,9% de P_g , respectivamente). Estes resultados não são, todavia, directamente comparáveis dado que I_c foi calculado, no caso da árvore isolada, por unidade de área de projecção da copa e, no caso dos povoamentos mencionados, por unidade de área de solo. A comparação directa pressupõe que todas as estimativas sejam reportadas a uma área de referência comum, que só poderá ser a área efectiva de coberto. Assim, os valores anteriores foram divididos pela proporção da área

de coberto (c) relativa a cada uma das situações consideradas. Dado que se desconhece o valor de c para o caso dos povoamentos de *Q. ilex* de Espanha, apenas se puderam estabelecer comparações entre os valores correspondentes à árvore isolada de *Quercus rotundifolia* e os relativos aos povoamentos de pinheiro e eucalipto referidos. Através deste procedimento obtiveram-se estimativas de perda por intercepção de 27,1% de P_g em *Quercus rotundifolia*, de 26,6% de P_g em *Pinus pinaster* e de 17,9% em *Eucalyptus globulus*. De acordo com estes dados, I_c na árvore isolada aproximou-se bastante dos valores calculados para o pinhal e foi superior aos estimados para o eucaliptal.

Considerando que nesta comparação as perdas por intercepção se referem à área efectiva de coberto, e atendendo à análise de sensibilidade de parâmetros da versão esparsa do modelo de Rutter apresentada em VALENTE *et al.* (1997), I_c dependerá essencialmente, para idênticos regimes de precipitação, da capacidade de armazenamento do copado (S) e das condicionantes da taxa de evaporação durante a chuvada. Os valores de S , por unidade de área efectiva de coberto, da azinheira ($0,282 \text{ mm}/0,8 = 0,35 \text{ mm}$) foram menores que os do pinhal ($0,64 \text{ mm}$) e idênticos aos do eucaliptal ($0,35 \text{ mm}$). A semelhança entre a perda por intercepção em *Quercus rotundifolia* e em *Pinus pinaster* poderá, pois, ser atribuída a maiores taxas de evaporação, no primeiro caso, que compensem os menores valores de capacidade de armazenamento do copado.

As maiores taxas de evaporação durante as chuvadas poderão reflectir a diferença de condições climáticas, de energia advectiva disponível ou ainda de

rugosidade aerodinâmica. Provavelmente, no caso da azinheira, serão essencialmente devidas à maior condutância aerodinâmica decorrente de maior turbulência atmosférica associada ao isolamento da árvore, apesar da sua menor altura. TEKLEHAIMANOT e JARVIS (1991) e TEKLEHAIMANOT *et al.* (1991) verificaram, de facto, um incremento da condutância aerodinâmica por árvore com o espaçamento, em povoamentos de *Picea sitchensis* na Escócia. Para além disso, a evaporação da água interceptada é comandada pelo défice de saturação do ar mantido, quer por advecção horizontal, quer por um influxo vertical de ar mais quente e mais seco (McNAUGHTON e JARVIS, 1983; CALDER, 1990; TEKLEHAIMANOT e JARVIS, 1991). Este aspecto poderá também concorrer para as maiores taxas de evaporação em árvores isoladas de *Quercus rotundifolia*, onde serão mais importantes os processos de advecção ao nível da micro-escala.

A estimativa conjunta da perda por intercepção e da transpiração em indivíduos arbóreos isolados integrados em montados, realizada pela primeira vez neste trabalho, poderá contribuir para uma mais correcta quantificação da evapotranspiração destes ecossistemas. Assim, poder-se-ão melhorar as técnicas de previsão e gestão dos recursos hídricos a nível local e regional, tornando mais rigoroso o cálculo da recarga a aquíferos e albufeiras. Os resultados evidenciam de forma clara que a perda por intercepção é uma fracção não negligenciável (28%) da evapotranspiração da componente arbórea.

Quanto à redistribuição da precipitação junto ao solo, induzida pela presença física da árvore, os resultados obtidos são do mesmo tipo dos referidos noutros

estudos realizados em *dehesas* de Espanha (CALABUIG, 1992), em savanas africanas (DANCETTE e POULAIN, 1969) e em árvores isoladas de climas temperados (KING e HARRISON, 1998). No entanto, este trabalho tem a vantagem de quantificar com muito mais rigor a precipitação pontual nos vários locais de amostragem, evitando erros de subestimativa da precipitação por turbulência (colocando a boca dos funis ao nível do solo) e de sobrestimativa por salpico (usando sistema anti-salpico).

Os resultados revelam aumentos globais de precipitação sob a copa nos quadrantes virados aos ventos dominantes (de + 11,6 a Sul e + 6,6% a Oeste em relação a P_g , respectivamente) e depleções nos quadrantes protegidos do vento (Norte e Este), idênticas às que se verificariam num povoamento fechado. As concentrações de precipitação são consideráveis quando comparadas com uma situação hipotética de referência correspondente a um povoamento fechado (+ 42,9% a Sul e + 36,5% a Oeste), em que se admite uma depleção generalizada com a precipitação sob a copa igual à precipitação sob-coberto equivalente ($The = 0,78 P_g$). Em povoamentos fechados de *Quercus ilex* de Espanha, COMÍN *et al.* (1987) e BELLOT *et al.* (1999) observaram valores de precipitação sob-coberto de, respectivamente, 68,7 e 75,5% de P_g . Os aumentos de precipitação nos quadrantes Sul e Oeste resultaram do facto da direcção dominante do vento em períodos de chuva ser oriunda desses quadrantes, situação observada também por ESCUDERO *et al.* (1991), CALABUIG (1992) e KING e HARRISON (1998). Os acréscimos de precipitação sob a copa foram maiores próximo da sua periferia,

à semelhança do já verificado por REYNOLDS e LEYTON (1963, cit. em KING e HARRISON, 1998), ESCHNER (1967) e JOHNSON (1990).

A redistribuição da precipitação, associada a uma melhoria das condições tróficas do solo sob a copa (BARRANTES *et al.*, 1986), decorrente de um aumento da concentração de alguns nutrientes na precipitação (GONZÁLEZ-BERNÁLDEZ *et al.*, 1969; BÉRIAN, 1992; NUNES, 1998, BELLOT *et al.*, 1999; NUNES *et al.*, 1999), terá certamente influência ao nível da variação espacial da vegetação herbáceo-arbustiva, por contribuir para a criação de zonas com diferentes características ambientais sob e fora da influência da copa. O impacto de árvores isoladas parece, de facto, reflectir-se em modificações da diversidade florística e da produção da componente herbáceo-arbustiva, existente sob a copa (GONZÁLEZ-BERNÁLDEZ *et al.*, 1969; MARAÑÓN, 1985, 1986, 1991; BARRANTES *et al.*, 1986; JOFFRE e LOS LLANOS, 1986; OVALLE e AVENDANO, 1987a, 1987b).

A variação da vegetação em zonas situadas sob e fora de influência das copas é, no entanto, um processo que depende de múltiplos factores: além da redistribuição da precipitação e dos nutrientes por ela transportados, é também condicionada pelo ensombreamento (MARAÑÓN, 1986), pelos valores extremos de temperatura sob a copa (DANCETTE e POULAIN, 1969; FERNANDEZ e BARRANTES, 1986), pelo teor de matéria orgânica (quase duplica sob a copa) (DANCETTE e POULAIN, 1969; BREMAN e KESSLER, 1995), pela folhada e pelas características físicas do solo (capacidade de retenção para a água) (JOFFRE e RAMBAL, 1988). É também por vezes referido o efeito de

permanência do gado sob as copas com enriquecimento local em dejectos (CAPELO, com. pessoal) e consequente desenvolvimento de espécies nitrófilas (MARAÑON, 1986).

JOFFRE e LOS LLANOS (1986), BARRANTES *et al.* (1986), JOFFRE e RAMBAL (1993) e YOUNG (1997), referem melhorias consistentes e significativas do estado hídrico do solo sob as copas. JOFFRE e RAMBAL (1988, 1993) atribuem este efeito a uma melhor estrutura local do solo com incremento da capacidade de retenção para a água e da taxa de infiltração. Parece de certa forma surpreendente que estes autores não tenham contemplado também a influência do processo de redistribuição da precipitação pela copa no balanço hídrico do solo. A melhoria dos níveis hídricos e tróficos sob a copa, para além de incrementar a qualidade e a produção de pasto (MARAÑON, 1986; YOUNG, 1997) com enriquecimento em gramíneas perenes e de carácter mesotrófico (JOFFRE e LOS LLANOS, 1986; CASTRO *et al.*, 1998), reflecte-se ainda no prolongamento do período vegetativo (FERNANDEZ e BARRANTES, 1986; JOFFRE e LOS LLANOS, 1986; CASTRO *et al.*, 1998). Assim, a diferenciação espacial do pasto repercute-se também em distintos comportamentos temporais.

Este estudo, ao proceder a uma quantificação rigorosa da redistribuição da precipitação junto ao solo, poderá contribuir para uma melhor interpretação de alguns dos factores que condicionam essas zonas espaciais. Face à frequente ocorrência de escassez de água e défices hídricos em regiões de montado, a acumulação de precipitação em certas zonas sob a copa é certamente relevante para explicar a heterogeneidade espacial da humidade do solo e

da vegetação. O impacto deste fenómeno será provavelmente mais significativo durante as precipitações de Primavera.

A influência de árvores isoladas nos ecossistemas de que fazem parte integrante dependerá muito da densidade e heterogeneidade dos povoamentos, tendendo a atenuar-se com o aumento de densidade da componente arbórea (YOUNG, 1997). Povoamentos densos apresentarão situações ambientais muito mais homogéneas sob o copado, com depleção generalizada da precipitação em todo o solo coberto. Daí que, a gestão destes ecossistemas deva ter sempre presente a influência ecológica da árvore e contemplar a densidade óptima da componente arbórea.

Agradecimentos

Agradeço aos Professores Isabel Ferreira, Jorge Soares David, João Santos Pereira e Fernanda Valente (ISA) e ao Dr. John Gash (Center of Ecology and Hydrology, U.K.) a orientação e incentivo. Ao Professor Luiz Gazarini e à Universidade de Évora agradeço as facilidades concedidas. Aos técnicos Joaquim Mendes e Henrique Miguel (ISA) expresso a minha gratidão pela ajuda nas tarefas de campo.

Este trabalho foi financiado pelos projectos PAMAF 4005 e PRAXIS XXI/AGR/3/3.2/2187/95.

Bibliografia

- BARRANTES, O., FERNÁNDEZ, R., JOFFRE, R., ORTEGA, F., 1986. Influencia del arbolado sobre el pasto en las dehesas. In *I Congreso Florestal Nacional*, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 2 a 6 de Dezembro de 1986, pp. 280-285.

- BELLOT, J., ÀVILA, A., RODRIGO, A., 1999. Throughfall and stemflow. In F. Rodà, J. Retana, C.A. Gracia e J. Bellot (ed.), *Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests*, Ecological Studies 137, Springer-Verlag, Heidelberg, pp. 209-222.
- BÉRIAN, A.E., 1992. Intervencion del arbolado de la dehesa en los ciclos de los nutrientes. In *El Libro de las Dehesas Salamantinas*. Programa de creacion de recursos para la educacion ambiental, Junta de Castilla y León, Gráficas Ortega, Salamanca, pp. 241-257.
- BREMAN, H., KESSLER, J.J., 1995. *Woody plants in agro-ecosystems of semi-arid regions*. Advanced Series in Agricultural Sciences 23, Springer-Verlag, Berlin, 340 pp.
- CALABUIG, E.L., 1992. Bioclima. In *El Libro de las Dehesas Salamantinas*. Programa de creacion de recursos para la educacion ambiental, Junta de Castilla y León, Gráficas Ortega, Salamanca, pp. 125-178.
- CALDER, I.A., 1990. *Evaporation in the uplands*. John Wiley and Sons, Chichester, 148 pp.
- CASTRO, E.B., GONZÁLEZ, M.A.C., TENORIO, M.C., BOMBIN, R.E., ANTÓN, M.G., FUSTER, M.G., MANZANEQUE, A.G., MANZANEQUE, F.G., SAIZ, J.C.M., JUARISTI, C.M., PAJARES, P.R., H.S. OLLERO, 1998. *Los bosques ibéricos. Una interpretación geobotánica*. M.C. Tenorio, C.M. Juaristi e H.S. Ollero (ed.), Editorial Planeta, España, 597 pp.
- COHEN, Y., KELLIHER, F.M., BLACK, T.A., 1985. Determination of sap flow in Douglas-fir trees using the heat pulse technique. *Canadian Journal of Forest Research*, **15**: 422-428.
- COHEN, Y., 1994. Thermoelectric methods for measurement of sap flow in plants. In G. Stanhill (ed.), *Advances in Bioclimatology*, **3**: 63-89.
- COHEN, Y., FUCHS, M., GREEN, G.C., 1981. Improvement of the heat pulse method for determining sap flow in trees. *Plant, Cell and Environment*, **4**: 391-397.
- COMÍN, M.P., ESCARRÉ, A., GRACIA, C.A., LLEDÓ, M.J., RABELLA, R., SAVÉ, R., TERRADAS, J., 1987. Water use by *Quercus ilex* L. in forests near Barcelona, Spain. In J.D. Tenhunen *et al.* (ed.), *Plant Response to Stress. Functional analysis in mediterranean ecosystems*, NATO ASI Series, Vol. G15, Springer-Verlag, Berlin, pp. 259-266.
- DANCETTE, C., POULAIN, J.F., 1969. Influence of *Acacia albida* on pedoclimatic factors and crop yields. *African Soils*, **XIV** (1-2): 143-184.
- DAVID, T.S., 2000. *Intercepção da precipitação e transpiração em árvores isoladas de Quercus rotundifolia* Lam. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Florestal, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, 155 pp.
- DGF, 1999. *Inventário Florestal Nacional. Distribuição da Floresta em Portugal Continental. Resumo*. Direcção Geral das Florestas, Lisboa, Abril de 1999, 7 pp.
- ESCHNER, A.R., 1967. Interception and soil moisture distribution. In W.E. Sopper e H.W. Lull (ed.), *International Symposium on Forest Hydrology*, Pergamon, Oxford, pp 191-200.
- ESCUDEIRO, A., HERNANDEZ, M.M., DEL ARCO, J.M., 1991. Spatial patterns of soil composition around isolated trees. *Dev. Geochemistry*, **6**: 507-517.
- FERNANDEZ, R., BARRANTES, O., 1986. Protecção de la encina (*Quercus rotundifolia* Lam.) sobre la germinacion e instalacion del pasto. In *I Congresso Florestal Nacional*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 2 a 6 de Dezembro de 1986, pp. 290-294.
- GASH, J.H.C., MORTON, A.J., 1978. An application of the Rutter model to the estimation of the interception loss from Thetford Forest. *Journal of Hydrology*, **38**: 49-58.

- GONZÁLEZ-BERNALDEZ, F., MOREY, M., VELASCO, F., 1969. Influences of *Quercus ilex* on the herb layer at the El Prado forest (Madrid). A multivariate approach to community structure, diversity and environmental factors. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Biol.)*, **67** : 265-284.
- GRANIER, A., 1985. Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. *Annales des Sciences Forestières*, **42**(2) : 193-200.
- GRANIER, A., 1987a. Mesure du flux de sève brute dans le tronc du Douglas par une nouvelle méthode thermique. *Annales des Sciences Forestières*, **44** (1) : 1-14.
- GRANIER, A., 1987b. Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements. *Tree Physiology*, **3** : 309-320.
- HELVEY, J.D., PATRIC, J.H., 1965. Canopy litter interception of rainfall by hardwoods of eastern United States. *Water Resources Research*, **1** : 193-206.
- HULME, M., SHEARD, N., MARKHAM, A., 1999. *Global Climate Change Scenarios*, Climatic Research Unit, Norwich, UK, 2pp.
- INMG, 1991. *O Clima de Portugal. Normais climatológicas da região de Alentejo e Algarve, correspondentes a 1951-1980, Fascículo XLIX, vol. 4-4ª região*. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, Lisboa, Portugal, 98 pp.
- JOFFRE, R., LOS LLANOS, C., 1986. Systèmes d'élevage et mise en valeur du milieu: étude des dehesas de la Sierra Norte de Seville. In *1º Encontro sobre montados de sobro e azinho*, Évora, Maio de 1986, pp. 193-214.
- JOFFRE, R., RAMBAL, S., 1988. Soil water improvement by trees in the rangelands of southern Spain. *Acta Oecologica, Oecologia Plantarum*, **9** (4) : 405-422.
- JOFFRE, R., RAMBAL, S., 1993. How tree cover influences the water balance of mediterranean rangelands. *Ecology*, **74** (2): 570-582.
- JOHNSON, R.C., 1990. The interception, throughfall and stemflow in a forest in highland Scotland and the comparison with other upland forests in the UK. *Journal of Hydrology*, **118** : 281-287.
- KING, B.P., HARRISON, S.J., 1998. Throughfall patterns under an isolated oak tree. *Weather*, **53** (4) : 111-121.
- LEE, R. 1980. *Forest Hydrology*. Columbia University Press, New York, 349 pp.
- MARAÑÓN, T., 1985. Diversidad florística y heterogeneidad ambiental en una dehesa de Sierra Morena. *Anales de Edafología y Agrobiología, II. Biología Vegetal-Agrobiología*, **44** :1183-1197.
- MARAÑÓN, T., 1986. Plant species richness and canopy effect in the savanna-like dehesa of SW Spain. *Ecologia Mediterranea*, **XII** (1-2) : 131-141.
- MARAÑÓN, T. 1991. Diversidad en comunidades de pasto mediterráneo: modelos y mecanismos de coexistencia. *Ecologia*, **5**: 149-157.
- McNAUGHTON, K.G., JARVIS, P.G., 1983. Predicting effects of vegetation changes on transpiration and evaporation. In T.T. Koslowski (ed.), *Water Deficits and Plant Growth*. Vol. VII, Academic Press, New York, pp. 1-47.
- NUNES, J.M.S.D., 1998. *Sistema de ciclo de nutrientes em árvores isoladas de Quercus rotundifolia Lam.* Dissertação de Mestrado, Universidade de Évora, Évora, 79 pp.
- NUNES, J., SÁ, C., DAVID, T.S., MADEIRA, M.M., GAZARINI, L., 1999. Interação entre o ciclo de nutrientes em montados de *Quercus rotundifolia* Lam. e as características do solo. *Revista de Biologia (Lisboa)*, **17** (1-4) : 311-325.
- OVALLE, C., AVENDANO, J., 1987a. Interactions de la strate ligneuse et de la strate herbacée dans les formations d'*Acacia caven* (Mol.) Hook. et Arn. au Chili. I. Influence de l'arbre sur la composition floristique, la production et la phénologie de la strate herbacée. *Oecologia Plantarum*, **8** : 385-404.

- OVALLE, C., AVENDANO, J., 1987b. Interactions de la strate ligneuse et de la strate herbacée dans les formations d'*Acacia caven* (Mol.) Hook. et Arn. au Chili. II. Influence de l'arbre sur quelques éléments du milieu: microclimat et sol. *Oecologia Plantarum*, **9** : 113-135.
- RICH, P.M., 1989. *A manual for analysis of hemispherical canopy photography*. Los Alamos National Laboratory Report LA-11733-M.
- RICH, P.M., CHEN, J., SULATYCKI, S.J., VASHIST, R., WACHPRESS, W.S., 1995. *Calculation of leaf area index and other canopy indices from gap fraction: a manual for the LAICALC software*. Kansas Applied Remote Sensing Program Open File Report.
- RODDA, J.C., 1968. The rainfall measurement problem. *IASH Publications*, **78**: 215-231.
- RODDA, J.C., DOWNING, R.A., LAW, F.M., 1976. *Systematic Hydrology*. Butterworth & Co. Publishers Ltd, London, 399 pp.
- ROGERSON, T.L., 1967. Throughfall in pole-sized loblolly pine as affected by stand density. In W.E. Sopper e H.W. Lull (ed.), *International Symposium on Forest Hydrology*, Pergamon Press, Oxford, pp 187-190.
- RUTTER, A.J., 1975. The hydrological cycle in vegetation. In J.L. Monteith (ed.), *Vegetation and the Atmosphere, vol. 1-Principles*, Academic Press, London, pp 111-154.
- RUTTER, A.J., KERSHAW, K.A., ROBINS, P.C., MORTON, A.J., 1971. A predictive model of rainfall interception in forests. 1. Derivation of the model from observations in a Corsican pine plantation. *Agricultural Meteorology*, **9** : 367-384.
- RUTTER, A.J., MORTON, A.J., ROBINS, P.C., 1975. A predictive model of rainfall interception in forests. II. Generalization of the model and comparison with observations in some coniferous and hardwood stands. *Journal of Applied Ecology*, **12** : 367-380.
- TEKLEHAIMANOT, Z., JARVIS, P.G., 1991. Direct measurement of evaporation of intercepted water from forest canopies. *Journal of Applied Ecology*, **28** : 603-618.
- TEKLEHAIMANOT, Z., JARVIS, P. G., LEDGER, D.C., 1991. Rainfall interception and boundary layer conductance in relation to tree spacing. *Journal of Hydrology*, **123** : 261-278.
- VALENTE, F.M.R.T., 1999. *Intercepção da precipitação em povoamentos florestais esparsos. Modelação do processo e características aerodinâmicas dos cobertos molhados*. Dissertação de Doutoramento, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, 172 pp.
- VALENTE, F., DAVID, J.S., GASH, J.H.C., 1997. Modelling interception loss for two sparse eucalypt and pine forests in central Portugal using the reformulated Rutter and Gash analytical models. *Journal of Hydrology*, **190** : 141-162.
- WARD, R.C., ROBINSON, M., 2000. *Principles of Hydrology*. 4ª Ed., McGraw-Hill, Berkshire, England, 450 pp.
- YOUNG, A., 1997. *Agroforestry for soil management*. 2ª Ed., International Centre for Research in Agroforestry, Cab International, Wallingford, 320 pp.

Submetido para publicação em Maio de 2002

Aceite para publicação em Junho de 2002