

Influência de uma árvore isolada de freixo (*Fraxinus angustifolia* Vahl) no microclima num lameiro em Trás-os-Montes

Modification of microclimate by an isolated ash-tree (*Fraxinus angustifolia* Vahl) in natural pastures of Northeastern Portugal

E. Pereira¹, F. G. Abreu² & M. Madeira²

RESUMO

Estudaram-se as alterações microclimáticas decorrentes da presença de árvores isoladas de freixo (*Fraxinus angustifolia* Vahl) num lameiro próximo de Alfaião (41° 46' 55'' N; 6° 24' 51'' W; 510m de altitude), no distrito de Bragança (Nordeste de Portugal), em que o clima é do tipo Csb de Köppen. O lameiro localiza-se no fundo de um pequeno vale, cujos solos correspondem a Fluvissolos éutricos. Durante três anos mediu-se a radiação solar global incidente em campo aberto e a transmitida através da copa da árvore, a temperatura do ar e do solo sob e fora do coberto e a precipitação incidente sob a copa e em campo aberto. Em todas as estações do ano a presença da árvore alterou significativamente o microclima sob a mesma devido à interceptação de radiação solar (cerca de 25 a 35% no Inverno e de 55 a 65% no Verão) e de cerca de 40% do total anual da precipitação bruta (52-56% no período de Maio-Setembro e 35% no período de ausência de folhagem). As temperaturas médias do ar sob a influência da copa (SIC) da árvore

foram superiores às observadas fora da influência da copa (FIC), com as diferenças máximas ocorrendo durante o período nocturno e sendo da ordem de 3°C no Verão e de 5°C no Inverno. Os valores médios da temperatura do solo foram superiores na área SIC durante o Inverno (1,1°C à profundidade de 20 cm) e no Verão na área FIC (1°C à profundidade de 2 cm). As amplitudes térmicas no ar e no solo da área SIC foram inferiores às observadas na FIC. As condições microclimáticas observadas sob coberto poderão favorecer o desenvolvimento da vegetação herbácea no fim do Inverno, o que pode afectar a produção de biomassa das herbáceas.

ABSTRACT

Changes in microclimate caused by an isolated ash tree (*Fraxinus angustifolia* Vahl) were assessed in a pasture land close to Bragança (41° 46' 55'' N; 6° 24' 51'' W; 510m de altitude), in Northeastern Portugal, where climate is Csb according to Köppen. The experimental site was located

¹ Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300 Bragança, e-mail epereira@iph.pt

² Instituto Superior de Agronomia, Departamento de Ciências do Ambiente, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa, e-mail fgabreu@isa.utl.pt

in the bottom of a small valley, and soils mostly fit the Eutric Fluvisols. Solar radiation, rainfall, and air and soil temperature were measured during three years beneath the tree canopy and in the open. Results showed that the microclimate conditions under the tree canopy were significantly different from those in the open. This is due to solar radiation interception (about 25 a 35% in winter and 55 a 65% in summer) and the interception of about 40% of the gross rainfall (52-56% during May-October, and 35% when the foliage was absent). Mean air temperatures under the canopy were higher than those in the open, with the differences being greater at night, reaching about 3°C in summer and 5°C in winter. Compared to the open, mean soil temperatures in winter were higher (about 1°C at 20 cm depth) beneath the canopy, but were smaller (1°C at 2 cm depth) in summer. Amplitudes of soil and air temperature were lower under the tree canopy than in the open. These microclimate conditions under the canopy may favour both the herbaceous biomass production and the earlier development of herbaceous at the end of winter.

INTRODUÇÃO

Estudos realizados em sistemas agroflorestais de várias regiões do globo mostram que a presença de árvores espaçadas determina forte heterogeneidade espacial das condições microclimáticas (Montoya & Méson, 1982; Belsky *et al.*, 1989; Jackson *et al.*, 1990, Young, 1997). A essa presença atribui-se a modificação da quantidade de precipitação que atinge o solo, a redução da velocidade do vento, a redução da radiação solar disponível sob a copa e a moderação das amplitudes térmicas do ar e do solo. A magnitude destes efeitos depen-

de sobretudo da densidade e arquitetura do coberto arbóreo, bem como da altura da copa das árvores e portanto da respectiva espécie. A interceptação da radiação é bastante variável (25-90%), dependendo das espécies consideradas e da época do ano (Montoya, 1982; Montoya & Méson, 1982; Belsky *et al.*, 1989; Jackson *et al.*, 1990). Segundo Montoya (1982) e Young (1997), a redução de radiação contribui para a diminuição da temperatura do ar, sobretudo nas áreas próximas do solo, e para a redução da evapotranspiração do estrato herbáceo. A interceptação de precipitação reduz a quantidade de água que atinge o solo (Valente *et al.*, 1996; David, 2002), podendo afectar a água disponível para a evapotranspiração. Além disso, o escoamento ao longo do tronco pode determinar, em torno do mesmo, um acesso de água superior à precipitação incidente (Levia, 2003).

As modificações microclimáticas induzidas pela interceptação da radiação solar e da precipitação pelas copas das árvores, devido a modificações do regime hídrico e térmico, poderão influenciar a quantidade e qualidade da vegetação herbácea (Belsky, 1994; Scholes & Archer, 1997; Sá, 2001), a distribuição espacial das espécies (Rico & Puerto, 1988-1989; Puerto & Rivero, 1997), as características físicas e químicas do solo (Montoya & Méson, 1982; Joffre & Rambal, 1988; Young, 1997), bem como a quantidade de biomassa microbiana e a taxa de mineralização da matéria orgânica do solo (Gallardo *et al.*, 2000).

No Nordeste Transmontano os lameiros têm grande expressão e são utilizados para apascentamento de gado bovino e para a produção de feno. Nesses lameiros é frequente encontrar árvores de freixo espaçadas, cuja folhagem é utilizada como complemento alimentar do gado em Verões secos de limitada produção herbácea. Dado

que as alterações microclimáticas devido à presença dessas árvores não foram ainda estudadas na região do Nordeste de Portugal, desenvolveu-se num lameiro representativo da mesma um estudo com vista a avaliar a interceptação da radiação e da precipitação pela árvore, assim como a sua influência no regime térmico do ar e do solo.

LOCAL DE ESTUDO E METODOLOGIAS

O estudo experimental foi efectuado num lameiro localizado junto à aldeia de Alfaião (41° 46' 55'' N; 6° 24' 51'' W; 510m de altitude), pertencente ao concelho de Bragança, no Nordeste de Portugal. Este lameiro tem uma área aproximada de 3 hectares e situa-se num pequeno vale assente em formações silúricas (complexo vulcano silicioso), de relevo bastante ondulado. Os solos da área do lameiro correspondem a Fluvisolos éutricos (Driessen *et al.*, 2001), desenvolvidos em materiais finamente estratificados, com textura franca e com teores de carbono orgânico da ordem de 30,6 g kg⁻¹ até 8 cm de profundidade e 13,0 g kg⁻¹ entre 8 e 17 cm de profundidade (Pereira, 2004). Cerca de 20 árvores (freixos) encontram-se distribuídas de forma espaçada no interior do lameiro cuja bordadura é delimitada por outras árvores.

O clima da região é caracterizado por Verões quentes e secos e por Outonos e Invernos frios e chuvosos. Em Bragança, que dista cerca de 7 km do local de estudo, a precipitação média anual é de 741,1 mm e a temperatura média anual de 11,9°C (INMG, 1991), sendo um clima temperado com verão seco, longo e pouco quente (tipo Csb de Köppen).

A árvore sob e em torno da qual foi realizado o presente estudo apresentava uma

altura total de 17,0 m, uma altura da copa de 14,7 m, um diâmetro do tronco à altura do peito de 0,4 m e uma área de projecção vertical da copa de 104,9 m². Para a monitorização do ambiente físico na área da proximidade da árvore instalaram-se duas estações meteorológicas automáticas em Fevereiro de 1999, uma sob a copa da árvore (a cerca de 1 m de distância do tronco) e outra a Sul da árvore, a uma distância suficiente para evitar a influência da mesma (cerca de 12 m do tronco da árvore). Mediu-se a radiação solar global e a radiação transmitida sob coberto, a temperatura do ar e do solo e a precipitação.

A quantificação da precipitação sob e fora da copa da árvore foi efectuada com udómetros de pratos basculantes, modelo ARG 100 da *Environmental Measurements*, fixos a um estrado de madeira e com a boca a 60 cm do solo. A precipitação sob coberto (PSC) foi medida com 4 udómetros colocados sob a copa a uma distância do tronco de cerca de 1,50 m, distribuídos segundo os eixos cardeais principais (N, S, E, W); fora da influência da copa da árvore colocou-se um outro para medir a precipitação bruta (PB).

A colheita do escorrimento ao longo do tronco (ELT) foi efectuada através de uma caleira helicoidal de borracha colocada à volta do tronco da árvore de forma que a água escorrida ao longo do tronco fosse conduzida para um recipiente, com uma capacidade de 50 L. O volume de água assim medido foi reportado à área da projecção vertical da copa para ser quantificado em altura (mm) de água.

A interceptação da precipitação pelo coberto (IC), que corresponde à quantidade de precipitação bruta que não atinge o solo, ou porque é evaporada ou porque é absorvida pelas folhas, foi calculada como (Aussenac, 1968, Badri *et al.*, 1994)

$$IC = PB - (PSC + ELT),$$

onde a PSC é expressa como valor médio da precipitação medida nos 4 udômetros sob a copa.

A radiação solar global incidente (RG) foi medida com um piranômetro tipo *Kipp & Zonen*, modelo CM 6B/7B, colocado a 1,30 m do solo, fora da influência da copa da árvore. Nesta área instalou-se também um tubo solarímetro, apoiado em 2 suportes de ferro, a uma altura aproximada de 75 cm do solo, para medir a radiação solar global incidente fora da copa e servir de referência aos outros tubos solarímetros, colocados sob a copa da árvore. A radiação transmitida pelo coberto (RC) foi medida através de tubos solarímetros colocados sob a copa da árvore a uma distância fixa do tronco (aproximadamente 1,5 m) e a uma altura aproximada de 75 cm do solo dispostos radialmente segundo os eixos cardeais. A fração de radiação interceptada (f) foi calculada pelo quociente entre a radiação interceptada (RG-RC) e a RG. A fração de radiação transmitida é o complemento de f para a unidade.

A temperatura do ar sob e fora do coberto arbóreo foi medida com termômetros secos aspirados, modelo H301 da *Vector Instruments*. A temperatura do solo foi medida com termopares tipo T colocados às profundidades de 2, 5, 10 e 20 cm, num perfil sob a copa da árvore e noutro fora da influência da mesma.

Os instrumentos atrás referidos encontravam-se ligados a dois dispositivos de leitura e armazenamento de dados, modelo CR10 da marca *Campbell Scientific*, um em cada estação meteorológica, programa-

dos para registar os valores médios horários e diários medidos pelos sensores, bem como a precipitação acumulada horária e diária.

Onde apropriado, a análise estatística foi feita através de uma ANOVA e as comparações de médias através do teste t de Student.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Precipitação

Os valores anuais em 2000 e 2001 da precipitação bruta (PB), da precipitação sob coberto (PSC) e do escoamento ao longo do tronco (ELT) e os valores estimados da intercepção pelo coberto (IC) estão reportados no Quadro 1. A PSC apresentou valores anuais bastante mais baixos do que a precipitação bruta, correspondendo a uma proporção da PB de 61,7 % em 2000 e 58,8 % em 2001. Como o ELT representou uma fração de PB inferior a 0,2 %, a proporção de precipitação anual interceptada pelo coberto arbóreo em 2000 e em 2001 foi de 38,1 % e de 41,0 %, praticamente complementar da PSC (Quadro 1). No entanto, esta proporção variou ao longo do ano consoante o estado vegetativo da árvore. Assim, no período em que a árvore apresentava folhagem (meados de Maio a finais de Setembro) a IC foi muito elevada, atingindo 52,0 e 56,2 % da PB, respectivamente em 2000 e 2001 (Quadro 2); no período sem folhas essas percentagens foram mais

QUADRO 1 - Valores acumulados de precipitação bruta (PB), precipitação sob coberto (PSC) e escoamento ao longo do tronco (ELT) e intercepção pelo coberto arbóreo (IC), em 2000 e em 2001

ANO	PB mm	PSC		ELT		IC	
		mm	% PB	mm	% PB	mm	% PB
2000	995,2	613,7	61,7	1,9	0,18	379,7	38,1
2001	960,6	565,2	58,8	1,4	0,15	394,0	41,0

QUADRO 2 - Valores acumulados de precipitação bruta (PB), precipitação sob coberto (PSC), escoamento ao longo do tronco (ELT) e intercepção pelo coberto arbóreo (IC), em 2000 e em 2001, no período com folhas e sem folhas na árvore

ANO	PB mm	PSC		ELT		IC	
		mm	% PB	mm	% PB	mm	% PB
Árvore sem folhas							
2000	766,4	504,2	65,8	1,6	0,21	260,6	34,0
2001	682,0	443,3	65,0	1,3	0,19	237,4	34,8
Árvore com folhas							
2000	228,8	109,5	47,8	0,2	0,09	119,2	52,1
2001	278,6	121,9	43,8	0,2	0,07	156,6	56,2

baixas, mas similares nos dois anos de estudo, respectivamente 34,0 % e 34,8 % da precipitação bruta (Quadro 2).

A proporção da precipitação anual interceptada, no presente estudo, foi muito superior à observada, em Portugal, por Portela & Pires (1995) em soutos (estruturalmente idênticos a pomares) de *Castanea sativa* (cerca de 11 % em parcelas não fertilizadas e cerca de 6% em parcelas fertilizadas), por David (2002) em árvores espaçadas num montado de *Q. rotundifolia* (21,7 %), bem como por Valente *et al.* (1996) em povoamentos de *Pinus pinaster* (17 %) e de *Eucalyptus globulus* (10,8 %). As diferenças face a soutos de *C. sativa* e povoamentos florestais de *P. pinaster* e *E. globulus* devem-se em parte ao facto da cobertura do terreno pelas copas do coberto ser inferior à unidade, enquanto no presente estudo foi considerada igual. As características inerentes a cada uma das espécies, tal como refere Aussenac (2000), nomeadamente a altura e arquitectura da árvore, a morfologia dos ramos e das folhas e a densidade de área foliar poderão também justificar a disparidade dos valores de precipitação sob coberto entre as diferentes espécies. A árvore utilizada no presente estudo apresentava uma copa cilíndrica, com um raio de cerca de 6 m e uma altura de copa de cerca de 15 m - bastante superior à de *Q. rotundifolia* estudada por

David (2002) - e elevada densidade de folhas, ramos e raminhos, permitindo, mesmo no período sem folhas, uma intercepção da precipitação bruta superior à determinada em árvores de folhagem perene (*Q. rotundifolia*, *P. pinaster* e *E. globulus*). Finalmente, sublinha-se que os diferentes regimes de precipitação (Msika, 1993) e de evaporação entre diferentes locais de estudo serão factores a considerar na comparação dos resultados em discussão. Árvores altas, como a do estudo presente, com uma elevada densidade de ramos e folhas também deverão favorecer a intercepção, sobretudo com precipitação do tipo chuvisco em condições de forte evaporação.

A precipitação sob coberto em determinada direcção deverá depender da arquitectura heterogénea da árvore em termos de densidade de folhas e ramos, e também da direcção dominante do vento durante os episódios de precipitação. À maior densidade de folhas e ramos deverá corresponder uma maior intercepção e menor PSC. A Figura 1 mostra que em 2000 a maior quantidade de precipitação sob a árvore ocorreu na direcção Oeste (70 % da PB) e a menor na direcção Este (55 % da PB); em 2001, a redistribuição junto ao solo da precipitação sob coberto foi praticamente idêntica entre direcções, observando-se no entanto uma maior quantidade de precipitação na direcção Norte (61,9 % da PB),

seguida da Oeste (58,5 % da PB) e menores quantidades nas restantes direcções (57,5 % da PB). Estes maiores valores de PSC estão em correspondência com menores quantidades de folhada colhida em cestos de quantificação da mesma (Pereira, 2004) nas direcções Oeste em 2000 e Oeste e Norte em 2001. Do mesmo modo, as direcções onde se observaram maiores quantidades de folhada, Norte e Este em 2000 e Este em 2001, corresponderam a valores mais baixos de precipitação sob a copa.

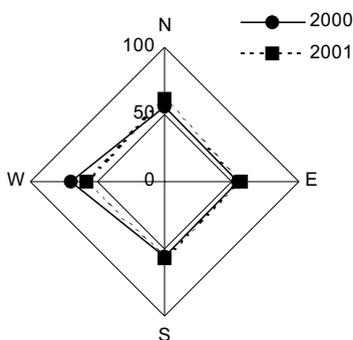


Figura 1 - Redistribuição junto ao solo da precipitação sob coberto em percentagem da precipitação bruta nas quatro direcções (N, S, E, W), em 2000 e 2001

Por outro lado, a precipitação influenciada pelo vento penetrará mais profundamente no interior da copa e sob a mesma, aumentando a PSC relativamente à direcção oposta ao vento. As normais climatológicas de 1951-1980 indicam que os ventos dominantes em Bragança no semestre chuvoso (Outubro a Março) são de oeste, o que é concordante com os maiores valores de PSC medidos nesta direcção. Esta correspondência é corroborada pelas observações de David (2002) num estudo com *Q. rotundifolia* realizado na região de Évora,

em que este autor verificou maiores valores de PSC nos quadrantes Sul e Oeste, direcções correspondentes aos ventos dominantes naquela região.

A quantidade do escoamento ao longo do tronco nos dois anos de estudo foi muito baixa, representando menos de 0,2 % da PB (Quadro 1). No período em que a árvore não apresentava folhas a proporção do ELT em relação à PB foi cerca de 2,5 vezes mais elevada do que no período com folhagem (Quadro 2). A proporção do escoamento obtida anualmente no presente estudo é da mesma ordem de grandeza da reportada por Portela & Pires (1995) em souts de *C. sativa* e aproximam-se das observadas por David (2002) em árvores espaçadas de *Q. rotundifolia* (0,26 %) e por Valente et al. (1996) para povoamentos de *P. pinaster* (0,30 %). Porém é muito inferior à reportada por estes últimos autores para plantações de *E. globulus* (1,7 %) e por Moreno et al. (2001) para *Q. rotundifolia* (0,6 a 0,9 %). As características inerentes a cada uma das espécies, tal como foi referido anteriormente, bem como características da própria árvore, nomeadamente disposição, densidade e inclinação dos ramos e, ainda, as próprias condições locais (regimes de precipitação e evaporação) poderão justificar a disparidade de valores de escoamento ao longo dos troncos entre espécies e dentro da mesma espécie.

A contribuição da copa da árvore para o ELT é reduzido, dado que razão de afunilamento do ELT (stemflow funneling ratio, *sensu* Levia, 2003), determinado como a razão entre o volume de ELT medido e o produto da área basal da árvore com a altura da precipitação bruta, foi apenas da ordem de 1,3 e que é muito mais baixo do que os valores reportados por Levia (2003) para outras espécies florestais de folha caduca. Não obstante, na área mais próxi-

ma da base do tronco da árvore, ao contrário do que acontece na área apenas afectada pela PSC, a quantidade de precipitação que atinge o solo deverá ser, ainda assim, bastante superior à precipitação bruta.

Radiação solar global e transmitida através do coberto

A radiação solar global e a transmitida através do coberto até ao solo foram medidas nos anos de 1999, 2000 e 2001. Para simplificar a apresentação dos resultados mostram-se apenas os dados referentes a 1999, cujo padrão de variação é semelhante aos dos anos 2000 e 2001.

A quantidade de radiação solar global que chega ao solo sob coberto depende entre muitos factores da época do ano, da nebulosidade, da altura da árvore e da densidade do coberto arbóreo. Com efeito, num dia de céu limpo no Verão (árvore com folhas), quando domina a radiação solar directa, o coberto arbóreo interceptou cerca de 64 % da radiação global (Quadro 3), correspondendo a uma proporção 2,5 vezes maior do que o verificado num dia de Inverno (árvore sem folhas) para idênticas condições atmosféricas, em que a interceptação foi de apenas 26 %. Porém,

num dia de céu nublado, quando a radiação solar difusa predomina, o efeito da folhagem revelou-se menos importante, interceptando o coberto arbóreo apenas cerca de 56 % da radiação solar global num dia de Verão, proporcionalmente apenas 1,6 vezes mais do que a interceptação num dia de Inverno (35 % da radiação global).

As fracções de radiação interceptada pelo coberto de freixo no período em que a árvore apresentou folhas (Verão) são da mesma ordem de grandeza dos 45-65 % referidos por Belsky *et al.* (1993) com *Acacia tortilis* e *Adansonia digitata* em savanas no Quênia (2° 45' S).

No Inverno, num dia de céu limpo as direcções que receberam uma maior quantidade de radiação solar sob coberto foram as de Sul e Oeste (Figuras 2a e 3a), correspondendo a uma fracção de radiação transmitida respectivamente de 89,0 % e 89,9 % em relação à RG; a direcção que recebeu menor radiação foi a Norte (56,1 % em relação à RG). A maior quantidade de radiação recebida a Sul e Oeste verificou-se praticamente durante todo o dia, enquanto que a Norte correspondeu ao período entre as 11 e as 15 horas, coincidindo com o período de máxima radiação (Figura 3a).

QUADRO 3 - Valores de radiação solar acumulada sob coberto (RC) e incidente (RG) e fracção de radiação interceptada (f) num dia de céu limpo e num dia de céu nublado, no Inverno (dias 69 e 72) e no Verão (dias 192 e 196)

Estado do tempo	Dia Juliano	RC	RG	f
		-----MJ m ⁻² dia ⁻¹ -----		%
Céu nublado	69	1,2	1,8	35,2
Céu limpo	72	10,5	14,2	25,6
Céu nublado	192	3,0	6,9	56,2
Céu limpo	196	9,7	26,7	63,7

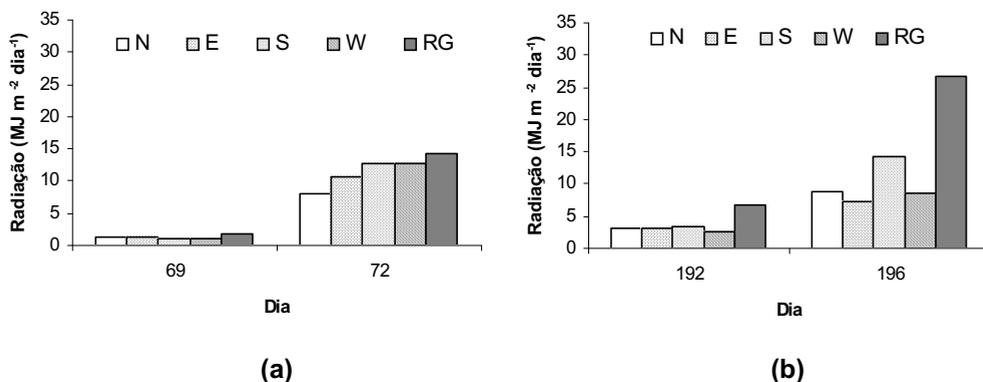


Figura 2 - Radiação solar acumulada nos quatro rumos (N, E, S, W) sob a influência da copa e fora da influência da árvore (RG) nos dias (a) 69 e 72 e (b) 192 e 196, com céu nublado e limpo, respectivamente

No Verão, para um dia de céu limpo observou-se um valor de radiação acumulada sob coberto acentuadamente mais elevado na direcção Sul, cerca de 53 % em relação à radiação global, e valores mais baixos, mas muito próximos, nas restantes direcções (Figuras 2b e 3b). A maior quantidade de radiação recebida pela direcção Sul verificou-se maioritariamente, durante a manhã (Figura 3b). A partir do meio-dia solar a sombra da copa atingiu o tubo solarímetro a Sul, ao contrário do verificado no

Inverno (Figura 3a), devido ao facto de no Verão o Sol se encontrar mais alto no horizonte, projectando a sombra da copa quase na vertical ao meio-dia solar. Na direcção Norte a maior quantidade de radiação verificou-se no início da manhã e fim da tarde (Figura 3b). Assinale-se, porém, que os quadrantes Este e Sul eram ligeiramente sombreados no início da manhã pelas árvores de bordadura do lameiro, que afectaram, assim, os valores de radiação solar acumulada nestas direcções.

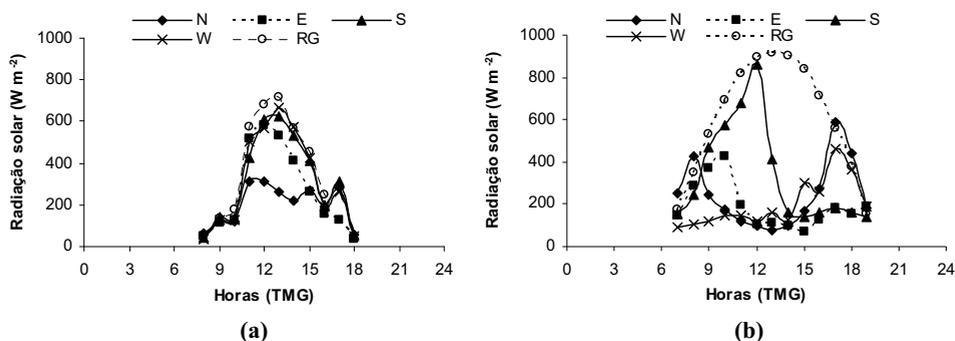


Figura 3 - Médias horárias da radiação solar global incidente (RG) e transmitida através do coberto nos quatro rumos nos dias 72 (a) e 196 (b), ambos de céu limpo

Em dias de céu nublado, tanto no Inverno como no Verão não há diferenças marcadas entre as quantidades de radiação solar recebidas sob a copa em cada uma das direcções (Figura 2).

Temperatura do ar

A temperatura do ar sob e fora da copa da árvore foi medida nos anos de 1999, 2000 e 2001. Para simplificar a apresentação dos resultados consideram-se apenas os dados referentes a 1999 por serem representativos de todo o período de estudo.

A Figura 4a mostra o curso das temperaturas médias horárias do ar durante a semana de 9 a 15 de Julho de 1999. Nesta semana os valores da temperatura do ar foram mais elevados na área sob a influência da copa (SIC), registando-se uma temperatura média semanal de cerca de 25°C, sendo esse valor significativamente mais elevado ($p < 0,05$) do que os 23°C observados na área fora da influência da copa (FIC). As maiores diferenças entre os dois locais ocorreram na ausência de radiação solar, no período das 20 às 6 horas, sendo essa diferença de cerca de

3°C (Figura 4b); provavelmente o coberto arbóreo cria uma protecção radiativa que reduz o arrefecimento nocturno, por comparação com a área FIC. Durante o período diurno as diferenças foram pequenas entre os dois locais, sendo praticamente nulas entre as 11 e as 13 horas. Este facto poderá estar relacionado com a elevada circulação do ar nas horas mais quentes do dia, que reduz assim parcialmente o efeito refrescante exercido pelo sombreamento da árvore, e com a maior penetração de radiação sob a copa através da direcção Sul no fim da manhã de um dia de Verão.

No mês de Dezembro (Figura 5), quando a árvore não apresentava folhas, a temperatura média semanal foi mais elevada na área SIC (4,4°C) do que na área FIC (1,4°C), sendo as diferenças entre os dois locais significativas ($p < 0,001$). As maiores diferenças entre as áreas FIC e SIC ocorreram no período da tarde (a partir das 15 horas) e no nocturno, oscilando entre 2,8 e 5,4°C (Figura 5b). Enquanto que na área SIC se observou no final da tarde e durante a noite um arrefecimento gradual da temperatura, pelo contrário na

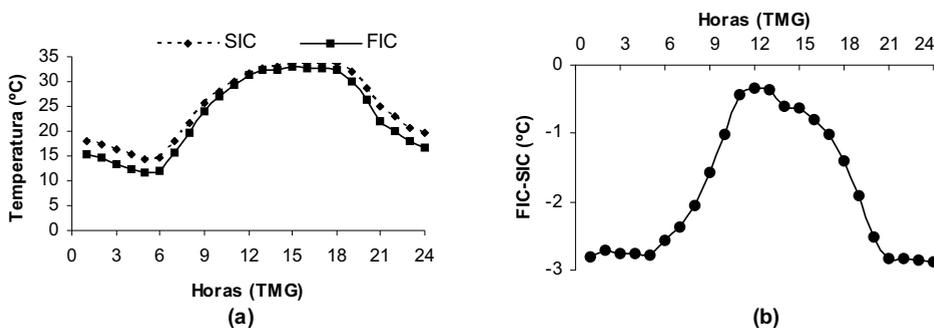


Figura 4 - Valores médios horários (a) da temperatura do ar e (b) da diferença da temperatura média horária do ar entre a área fora da influência da copa da árvore (FIC) e sob a copa (SIC), durante a semana de 9 a 15 Julho

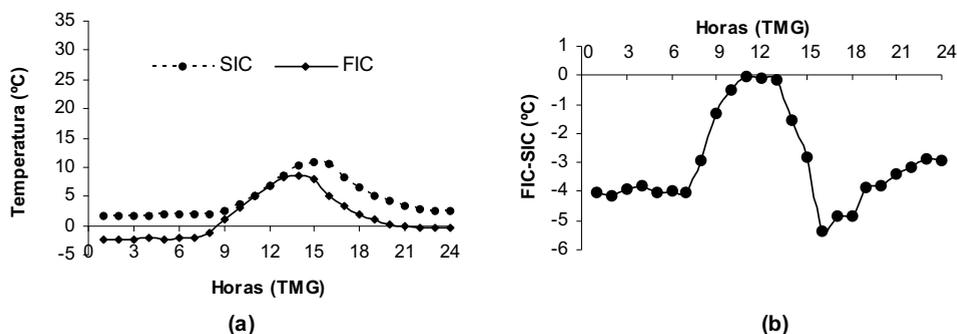


Figura 5 - Valores médios horários (a) da temperatura do ar e (b) da diferença da temperatura média horária do ar entre a área fora da influência da copa da árvore (FIC) e sob a copa (SIC), durante a semana de 17 a 22 de Dezembro

área FIC o decréscimo da temperatura foi acentuado a partir das 15 horas, observando-se durante a noite valores negativos da temperatura. A partir do nascer do Sol, em consequência do aquecimento provocado pela radiação, ocorreu um acréscimo da temperatura do ar nos dois locais, que se iniciou mais cedo na área FIC, até um valor de 10,8°C na área SIC (15 horas) e de 8,6°C na área FIC (14 horas). Portanto, apesar da árvore não possuir folhas neste período, a cobertura dos ramos e raminhos foi suficiente para criar um efeito protector sob coberto, reduzindo substancialmente o arrefecimento nocturno.

Temperatura do solo

A temperatura do solo também foi medida nos anos de 1999, 2000 e 2001. Como o padrão de variação também foi semelhante entre os vários anos, apenas se apresentam no Quadro 4 os resultados referentes ao ano de 2000.

Os valores médios da temperatura do solo registados no trimestre de Inverno de 2000 sob a copa da árvore foram cerca de 1°C superiores aos valores medidos fora

da influência daquela (Quadro 4). No entanto, as diferenças foram apenas significativas às profundidades de 10 e 20 cm. Esta tendência realça o efeito protector do coberto na redução do arrefecimento radiativo.

QUADRO 4 - Valores (média \pm erro padrão) da temperatura média trimestral de Janeiro a Março, Inverno, e de Julho a Setembro, Verão, na área SIC e FIC. Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas ($p < 0,05$); n é o número de dias

Profundidade (cm)	SIC (°C)	FIC (°C)
Inverno (n=74)		
2	7,1 \pm 0,39 a	6,5 \pm 0,39 a
5	7,1 \pm 0,36 a	6,4 \pm 0,36 a
10	7,3 \pm 0,32 a	6,3 \pm 0,32 b
20	7,5 \pm 0,28 a	6,4 \pm 0,28 b
Verão (n=88)		
2	16,7 \pm 0,19 a	17,7 \pm 0,19 b
5	16,7 \pm 0,17 a	17,3 \pm 0,17 b
10	16,6 \pm 0,15 a	16,9 \pm 0,15 a
20	16,4 \pm 0,13 a	16,5 \pm 0,13 a

No Verão, os valores médios da temperatura do solo foram significativamente mais elevados fora da copa da árvore, a 2 e 5 cm de profundidade (Quadro 4), do

que na área SIC, provavelmente devido ao forte aquecimento radiativo diurno da camada superficial do solo fora da influência do coberto. A 10 e 20 cm, apesar dos valores de temperatura do solo serem ligeiramente mais elevados fora da influência da árvore, as diferenças não foram porém significativas.

No período de Verão verificou-se nas duas áreas de estudo uma diminuição ligeira dos valores de temperatura do solo com o aumento de profundidade, enquanto que no Inverno a temperatura aumentou ligeiramente com o aumento de profundidade na área SIC.

Haworth & McPherson (1995), num estudo efectuado em savanas de áreas semi-áridas (31° 29'N e 110° 20' W) com *Quercus emoryi*, em que foi monitorizada a temperatura do solo à profundidade de 15 cm nas áreas sob a copa, no limite da projecção da copa, a 2 m do limite da projecção da copa e fora do efeito do coberto das árvores, observaram resultados com tendência semelhante aos do presente estudo, i.e. no período de Março a Agosto observaram temperaturas do solo mais baixas sob coberto de *Quercus emoryi* do que fora do coberto e no período de Outubro a Fevereiro valores de temperatura do solo mais elevadas sob coberto.

CONCLUSÕES

A presença da árvore de freixo no lameiro influenciou o ambiente físico sob coberto, traduzindo-se na forte redução da precipitação (cerca de 40 % do total anual incidente) e da radiação (26-64 % da radiação solar global), bem como na redução das amplitudes térmicas do solo e do ar. A árvore exerceu um efeito protector sob coberto, reduzindo substancialmente o arrefecimento nocturno. Sob a copa da

árvore as temperaturas do solo foram mais elevadas no Inverno e mais baixas no Verão. Estas modificações microclimáticas observadas sob coberto arbóreo poderão influenciar a quantidade, a diversidade e a qualidade da vegetação herbácea relativamente àquela que ocorre nas áreas em campo aberto, bem como favorecer o desenvolvimento das herbáceas sob coberto no fim do Inverno devido à redução do efeito negativo do frio.

AGRADECIMENTOS

O presente estudo foi realizado no âmbito do Projecto PAMAF 8047 (Influência das interações solo - vegetação herbácea - árvore na valorização de sistemas agroflorestais no Nordeste Transmontano) e do Projecto AGRO 207 (O freixo como elemento valorizador dos sistemas agroflorestal e florestal no Nordeste Transmontano). Os autores agradecem às Eng.^{as} Ana Mafalda Ferreira, Ana Pinto e Sónia Beito a colaboração nas diversas actividades experimentais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, J.A.V. 2001. *Temperatura do Solo (e Análise de Fourier), Humidade do Solo e Desenvolvimento Inicial de Várias Culturas em Solos Pmg e Cb*. Dissertação de Doutoramento. Universidade de Évora, Évora.
- Arianoutsou, M. 1993. Leaf litter decomposition and nutrient release in a maquis (evergreen sclerophyllous) ecosystem of North-Eastern Greece. *Pedobiologia*, **37**: 65-71.
- Aussenac, G. 1968. Interception des précipitations par le couvert forestier. *Ann. Sci. For.*, **25** (3): 135-156.

- Aussenac, G. 2000. Interactions between forest stands and microclimate: Eco-physiological aspects and consequences for silviculture. *Ann. For. Sci.* **57**: 287-301
- Badri, W., Gauquelin, T. & Savoie, J.M. 1994. Interception des précipitations, écoulement et écoulement dans une formation à genévrier thurifère du Haut Atlas de Marrakech (Maroc). In *Arbre & Développement*. Actes des deuxièmes journées de l'arbre, 20-21 Avril 1994, pp. 41-47. Marrakech.
- Belsky, A.J. (1994). Influences of trees on savanna productivity: tests of shade, nutrients, and tree-grass competition. *Ecology*, **75**(4):922-932.
- Belsky, A.J., Amundson, R.G., Duxbury, J. M., Riha, S.J. & Mwonga, S.M. 1989. The effects of trees on their physical, chemical, and biological environments in a semi-arid savanna in Kenya. *J. Appl. Ecology*, **26**:1005-1024.
- Belsky, A.J., Mwonga, S.M., Amundson, R.G., Duxbury, J.M. & Ali, A.R. 1993. Comparative effects of isolated trees on their undercanopy environments in high-and low-rainfall savannas. *J. Appl. Ecology*, **30**:143-155.
- David, T.S. 2002. Intercepção da precipitação em árvores isoladas de *Quercus rotundifolia* Lam.. *Silva Lusitana*, **10**(1): 1-15.
- Driessen, P., Deckers, J., Nachtergaele, F. & Spaargaren, O. 2001. *Lecture Notes on the Major Soils of The World*. World Soil Resources Reports 94. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Gallardo, A. 2003. Effect of tree canopy on the spatial distribution of soil nutrients in a Mediterranean Dehesa. *Pedobiologia*, **47**: 117-125.
- Gallardo, A. Rodríguez-Saucedo, J.J., Covelo, F. & Fernández-Alés, R. 2000. Soil nitrogen heterogeneity in a Dehesa ecosystem. *Plant and Soil*, **222**: 71-82.
- Haworth, K. & McPherson, G.R. 1995. Effects of *Quercus emoryi* trees on precipitation distribution and microclimate in a semi-arid savanna. *Journal of Arid Environments*, **31**: 153-170.
- INMG. 1991. *Normas Climatológicas da Região de «Trás-os-Montes e Alto Douro e Beira Interior», Correspondentes a 1951-1980. O Clima de Portugal*. Fascículo XLIX, vol. 3 - 3ª Região. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, Lisboa.
- Jackson, L.E., Strauss, R.B., Firestone, M.K. & Bartolome, J. W. 1990. Influence of tree canopies on grassland productivity and nitrogen dynamics in deciduous oak savanna. *Agric. Ecosystems Environ.*, **32**:89-105.
- Joffre, R. & Rambal, S. 1988. Soil water improvement by trees in rangelands of Southern Spain. *Acta Oecologica*, **9**(4):405-422.
- Levia, D.F. 2003. Winter stemflow leaching of nutrient-ions from deciduous canopy trees in relation to meteorological conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, **117**: 39-51.
- Montoya, J.M. & Mesón, M.L. 1982. Intensidad y efectos de la influencia del arbolado de las dehesas sobre la fenología y composición específica del sotobosque. *An. INIA/Ser. Forestal*, **5**: 43-59.
- Montoya, J.M. 1982. Efectos del arbolado de las dehesas sobre los factores ecológicos que actúan al nivel del sotobosque. *An. INIA/Ser. Forestal*, **5**:61-85.
- Moreno, G., Gallardo, J.F. & Bussotti, F. 2001. Canopy modification of atmospheric deposition in oligotrophic *Quercus pyrenaica* forests of an unpolluted region (central-western Spain), *For. Ecol. Manage.*, **149**: 47-60.

- Msika, B. 1993. *Modélisation des Relations Herbe-Arbre sous Peuplements de Quercus pubescens Willd. et Pinus austriaca Hoss. dans les Préalpes du Sud. Un Outil d'Aide à la Décision en Aménagement Sylvopastoral*. Thèse de Spécialité. INRA/SAD, Avignon.
- Pereira, E.L. 2004. *Influência do Freixo no Microclima, nas Características do Solo e Disponibilidade de Nutrientes, e na Vegetação Herbácea de Lameiros do Nordeste de Portugal*. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Agronómica. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.
- Portela, E. & Pires, A.L. 1995. Nutrient deposition and leaching by rainwater in low and intensively managed chestnut groves. *Proceedings of the Conference on Erosion and Land Degradation in the Mediterranean*, Universidade de Aveiro, 14 a 18 de Junho, pp. 307-317.
- Puerto A. & Rivero, M. 1997. Influencia sobre el pasto de tres especies de árboles con altos requerimientos de humedad edáfica. *Ecología*, **11**:277-288.
- Rico, M. & Puerto, A. 1988-1989. Estructura básica generada por el arbolado en pastos semiáridos (ecosistemas de dehesa). *Pastos*, **18-19 (1-2)**: 13-28.
- Scholes, R.J. & Archer, S.R. 1997. Tree-grass interactions in savannas. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, **28**:517-544.
- Valente, F., David, J.S. & Gash, J.H.C., 1996. 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.
- Young, A. 1997. *Agroforestry for Soil Management* (2nd ed) CAB International, Wallingford.