

## **Transpiração em Povoamentos Adultos de Eucalipto e de Pinheiro Bravo**

**Fernando Leite Pereira**

Professor Adjunto

Escola Superior Agrária de Castelo Branco. Departamento de Silvicultura e Recursos Naturais. Quinta da Senhora de Mércules, 6001-909 CASTELO BRANCO

**Jorge Soares David**

Professor Associado

Instituto Superior de Agronomia. Departamento de Engenharia Florestal, Tapada da Ajuda, 1349-017 LISBOA

**Manuel Valeriano Madeira**

Professor Catedrático

Instituto Superior de Agronomia. Departamento de Ciências do Ambiente, Tapada da Ajuda, 1349-017 LISBOA

**Sumário.** Foi realizado um estudo com o objectivo de quantificar os consumos de água por transpiração em dois povoamentos adultos de eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labbill) e de pinheiro bravo (*Pinus pinaster* Aiton), respectivamente.

A estimativa destes consumos foi feita recorrendo a dois métodos distintos: o *balanço de água no solo* e o *modelo de Penman-Monteith* (aplicado numa versão unilaminar).

Os resultados obtidos indicam que, em qualquer dos povoamentos, a transpiração está sobretudo dependente da disponibilidade de água no solo, tendo-se verificado que a transpiração acumulada ao longo dos anos de 1992 e 93 é muito próxima do valor da precipitação efectiva no mesmo período.

A realização de medições de condutância estomática revelou que ambas as espécies apresentam padrões de variação horária e sazonal, que traduzem a capacidade destas espécies em controlarem eficazmente as perdas de água por transpiração, quer quando aumenta a secura do ar, quer quando se reduz a humidade no solo.

A comparação directa das estimativas da transpiração fornecidas pelos dois métodos utilizados revelou algumas diferenças que, no entanto, parecem aceitáveis tendo em conta que estes métodos são concebidos para aplicações em escalas temporais distintas.

**Palavras-chave:** evapotranspiração; condutância estomática; *Eucalyptus globulus* Labbill; *Pinus pinaster* Aiton.

**Abstract.** The study reported in this paper aimed the estimation of transpiration losses from *Eucalyptus globulus* Labill and *Pinus pinaster* Aiton stands in central Portugal.

Water losses through transpiration were estimated by two different methods: the *soil water balance* and the *Penman-Monteith equation*.

Results show that in both stands, and under the existing climatic conditions, the transpiration is mainly restricted by soil water availability and that, during 1992 and 1993, the cumulative transpiration follows closely the cumulative net rainfall for the same period.

Measurements of stomatal conductance on both species showed that they have similar

hourly and seasonal variations, revealing an effective control of transpiration losses as the soil dries up and the air humidity decreases.

Comparative analysis of the estimates obtained by both methods revealed some differences, which can be considered acceptable since these methods are meant to be used on different time scales.

**Key words:** evapotranspiration; stomatal conductance; *Eucalyptus globulus* Labbill; *Pinus pinaster* Aiton.

**Résumé.** Dans le but d'évaluer les consommations d'eau par transpiration on a fait une étude en deux peuplements adultes d'eucalyptus (*Eucalyptus globulus* Labbill) et de pin maritime (*Pinus pinaster* Aiton), respectivement.

Pour arriver à la valeur d'estimation on a utilisé deux méthodes différentes: le bilan de l'eau dans le sol et le modèle de Penman-Monteith (appliqué d'après une version uni laminaire).

Les résultats obtenus montrent que, quels que soient les peuplements, la transpiration dépend surtout de la disponibilité en eau du sol, et on a vérifié que la transpiration accumulée pendant les années de 1992 et 1993 a une valeur proche de celle de la précipitation observée dans le même espace de temps.

La réalisation des mesures de conductance stomatique a montré que les deux espèces ont des patrons de variation horaire et saisonnière qui traduisent leur capacité pour contrôler efficacement les pertes d'eau par transpiration, aussi bien lorsque la sécheresse atmosphérique augmente, que lorsque l'humidité du sol est réduite.

La comparaison directe des valeurs d'estimation de la transpiration, fournie par les deux méthodes utilisées, a montré quelques différences qui, malgré tout paraissent acceptables quand on pense que ces méthodes sont conçues pour des applications à des échelles temporaires différenciées.

**Mots clés:** évapotranspiration; conductance stomatique; *Eucalyptus globulus* Labbill; *Pinus pinaster* Aiton.

## Introdução

O papel das florestas ao nível do balanço hidrológico local tem sido objecto de intenso trabalho de investigação ao longo das últimas décadas, tendo-se revelado de grande importância toda a informação daí decorrente. No entanto, as ideias prevaletentes na actualidade sobre as influências hidrológicas das florestas têm suscitado alguma controvérsia, tendo-se assistido, entre nós, a acesa discussão motivada pelo impacte da arborização com espécies de rápido crescimento, nomeadamente, com eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill), sobre os recursos hídricos das regiões arborizadas. Ainda no contexto dos impactes hidrológicos da floresta, não podemos esquecer a importância que o pinheiro

bravo (*Pinus pinaster* Aiton) assume pela área que ocupa no País uma vez que se trata da principal espécie florestal, ocupando 1 252 300 ha, ou seja, cerca de 40,3% da área florestal nacional (D.G.F., 1993). Se considerarmos ainda que, à semelhança do que se verifica em todo o Sul da Europa, extensas áreas agrícolas marginais têm vindo a ser abandonadas pela agricultura, surgindo a possibilidade da sua arborização, facilmente se compreende a necessidade de aprofundar os conhecimentos actuais sobre as influências hidrológicas exercidas pelos povoamentos de duas das principais espécies florestais do País, permitindo a correcta avaliação dos impactes ambientais das arborizações e uma adequada gestão dos recursos hídricos e do uso do solo (DAVID, 1995).

Por outro lado, as questões relacionadas com o consumo de água pela agricultura e pelas florestas têm vindo a assumir uma importância crescente face ao possível agravamento das restrições hídricas em consequência de alterações climáticas que possam estar a verificar-se (LOUSTAU *et al.*, 1996). Saliente-se ainda que o interesse de que estas questões se revestem se estende a outros países - entre os quais se contam a Austrália, a Espanha, o Brasil, a Índia e a África do Sul - onde diversas espécies de eucaliptos e pinheiros foram introduzidas como exóticas e utilizadas em sistemas intensivos de produção (DAVID *et al.*, 1994).

Tendo em conta que, por um lado, as influências hidrológicas das florestas se relacionam, sobretudo, com os consumos de água por evapotranspiração e que, por outro lado, em cobertos vegetais enxutos a transpiração constitui a principal componente daqueles consumos, torna-se óbvio o interesse e a importância

de que se reveste o estudo do processo transpiratório em cobertos florestais, em particular o estudo e a quantificação das taxas de transpiração.

O presente artigo relata um ensaio experimental desenvolvido com os objectivos de quantificar aquelas taxas em povoamentos de eucalipto e pinheiro bravo e, simultaneamente, comparar as estimativas obtidas através de dois métodos independentes: o *balanço hidrológico do solo* e o *modelo de Penman-Monteith*. Este estudo decorreu, em ambos os povoamentos, ao longo de 1992 e 93.

### As parcelas experimentais

Para a realização deste estudo foram escolhidos dois povoamentos adultos de eucalipto e pinheiro bravo localizados na região de Pegões/Porto Alto, respectivamente, na Herdade da Espirra (38°38'N, 8°36'W; propriedade da PORTUCEL, S.A.) e no Pinhal da Carrasqueira (38°50'N, 8°51'W; propriedade da Companhia das Lezírias) (Figura 1).

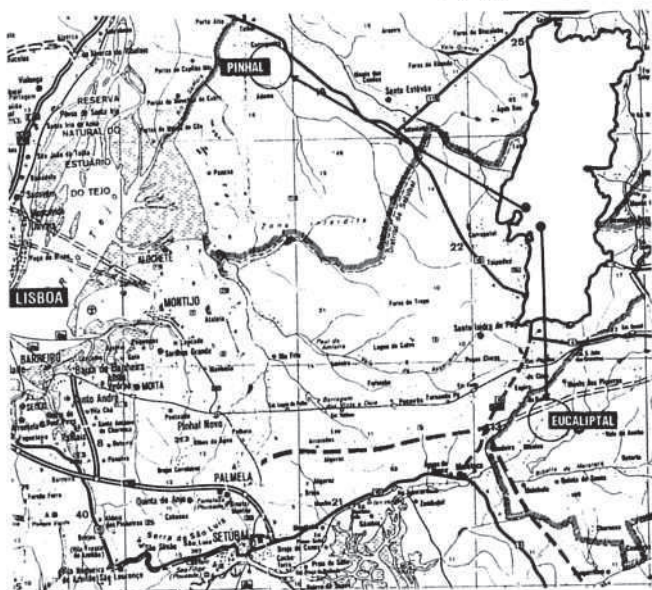


Figura 1 - Localização das parcelas experimentais

Estes povoamentos, cujas principais características se apresentam no Quadro 1, ocupam extensas áreas contínuas e planas, proporcionando um *fetch* adequado (pelo menos 500 m) à aplicação dos métodos micrometeorológicos utilizados.

O clima local é de tipo mediterrânico, embora sob influência atlântica. A precipitação média anual é de cerca de 600 mm concentrada principalmente nos meses de Outubro a Abril, enquanto que a evaporação atinge, aproximadamente, os 1400 mm ano<sup>-1</sup>. A temperatura média anual é de cerca de 16°C, sendo a temperatura média nos meses de Verão de aproximadamente 21°C (INMG, 1991).

Tanto no eucaliptal como no pinhal, foram continuamente medidos em intervalos de tempo de 10 minutos, ao longo do período de estudo, diversas variáveis micrometeorológicas, nomeadamente, a precipitação bruta no topo dos cobertos ( $P_g$ ), a radiação solar global ( $R_s$ ), a radiação líquida ( $R_n$ ), o fluxo de calor sensível para o solo ( $G$ ), a temperatura ( $T$ ) e a velocidade do vento ( $u$ ). Com base nos valores de temperatura registados pelos psicrómetros utilizados, procedeu-se ainda à determinação do défice de pressão de vapor ( $\delta_e$ ) da atmosfera conforme descrito por BRUTSAERT (1991) e BEER (1990).

**Quadro 1** – Principais características dos povoamentos estudados

| Instalação   | Eucaliptal                        | Pinhal                      |
|--|-----------------------------------|-----------------------------|
|  | Tipo                              | Plantação                   |
| Compasso   | 3 m x 3 m                         | Irregular                   |
| Preparação do terreno                                    | Lavoura contínua a cerca de 0,6 m |                             |
| <b>Regime de exploração</b>                              | Talhadia                          | Alto fuste                  |
| <b>Características dendrométricas</b> <sup>(1) (2)</sup> |                                   |                             |
| Idade (anos) <sup>(3)</sup>                              | 6<br>(1ª rotação)                 | 55<br>(povoamento equiénio) |
| Número de árvores por hectare                            | 885                               | 320                         |
| Diâmetro à altura do peito (cm)                          | 13,6                              | 33,7                        |
| Altura (m)   | 14,6                              | 24,0                        |
| Altura da base da copa (m)                               | 4,9                               | -----                       |
| Diâmetro na base da copa (cm)                            | 9,7                               | -----                       |
| <b>Índice de área foliar</b> <sup>(1)</sup>              |                                   |                             |
| Povoamento   | 3,2                               | 2,3 <sup>(4)</sup>          |
| Estrato superior   | 0,8                               |                             |
| Estrato médio  | 1,4                               |                             |
| Estrato inferior   | 0,9                               |                             |
| Sub-bosque   | Não ocorre                        | Disperso                    |

(1) Os valores referidos para o eucaliptal foram fornecidos pelo Eng. José Tomé (DEF-ISA).

(2) Os valores referidos para o pinhal foram cedidos pelos Eng.ªs Fernanda Valente e Manuel Osório Henriques (DEF-ISA).

(3) Idade dos povoamentos à data de início do estudo (1992).

(4) Valor referido por GASH *et al.* (1989) para um povoamento da mesma espécie, com uma altura média de 20,3 m e uma densidade de 430 árvores por hectare.

A medição destas variáveis foi realizada, em qualquer dos povoamentos, por estações meteorológicas automáticas constituídas por uma unidade de aquisição de dados e por um conjunto adequado de instrumentos (Quadro 2). À excepção das placas de fluxo de calor utilizadas na medição de  $G$  e instaladas imediatamente abaixo da superfície do solo, os restantes sensores foram montados no topo de torres metálicas (Figura 2) com uma altura de 26 e 30 m, respectivamente, no eucaliptal e no pinhal. As torres foram instaladas no centro de parcelas experimentais com 35x35 m<sup>2</sup> no eucaliptal e 40x40 m<sup>2</sup> no pinhal e permitiram o acesso à copa de algumas árvores para a realização de medições de condutância estomática recorrendo a porómetros de difusão de equilíbrio por compensação (LI-COR Inc., Lincoln, Nebraska, USA, mod. LI - 1600).

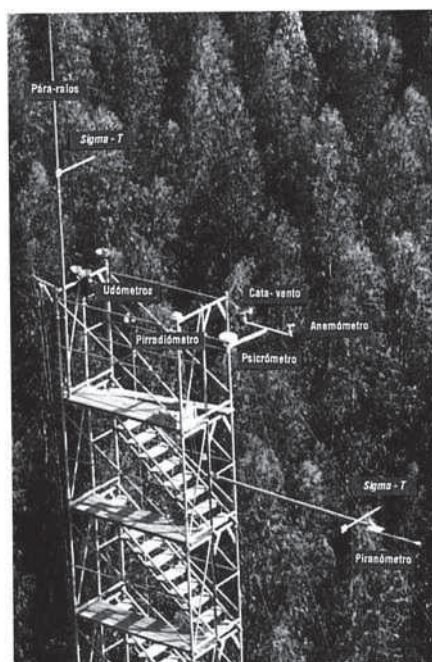


Figura 2 - Instrumentos instalados no topo das torres metálicas (exemplo do eucaliptal)

**Quadro 2** – Instrumentos e aparelhos instalados nas parcelas experimentais, no topo das torres metálicas. As placas de fluxo de calor foram instaladas 1 cm abaixo da superfície do solo

| Instrumento   | Utilização   |
|---|--|
| Unidade de aquisição de dados (Data-logger) (CR10, Campbell Scientific, Shephard, U.K.) | Registo, processamento e armazenamento dos dados recolhidos pelos diversos instrumentos de medição |
| Udógrafo (ARG100, Campbell Scientific, Shephard, U.K.)                                  | Medição e registo da precipitação bruta no topo do coberto   |
| Pirradiómetro (CM6B, Kipp & Zonen, Delft, The Netherlands)                              | Medição da radiação solar global   |
| Pirradiómetro (Q6, REBS, Seattle, U.S.A.)   | Medição da radiação líquida  |
| Anemómetro e cata-vento (Vector Instruments, Rhyl, U.K.)                                | Medição da velocidade e direcção do vento  |
| Psicrómetro aspirado (H301, Vector Instruments, Rhyl, U.K.)                             | Medição da temperatura e humidade do ar  |
| Placas de fluxo de calor (FTH1, REBS, Seattle, U.S.A.)                                  | Medição do fluxo de calor entre o solo e a atmosfera   |

**Quadro 3** – Valores médios relativos ao período de 1951 a 1980 (INMG, 1991) e valores observados de precipitação bruta e evaporação nas áreas de estudo em 1992 e 1993 (valores expressos em mm)

| Ano         | Precipitação       |                    | Evaporação          |                     |
|-------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
|             | Eucaliptal         | Pinhal             | Eucaliptal          | Pinhal              |
| Média anual | 708 <sup>(1)</sup> | 594 <sup>(2)</sup> | 1347 <sup>(1)</sup> | 1621 <sup>(2)</sup> |
| 1992        | 506                | 431                | 1391 <sup>(3)</sup> | 1413 <sup>(3)</sup> |
| 1993        | 666                | 570                | 1267 <sup>(3)</sup> | 1344 <sup>(3)</sup> |

(1) Registos da estação climatológica de Pegões.

(2) Registos da estação climatológica de Salvaterra de Magos.

(3) Valores relativos à evapotranspiração de referência.

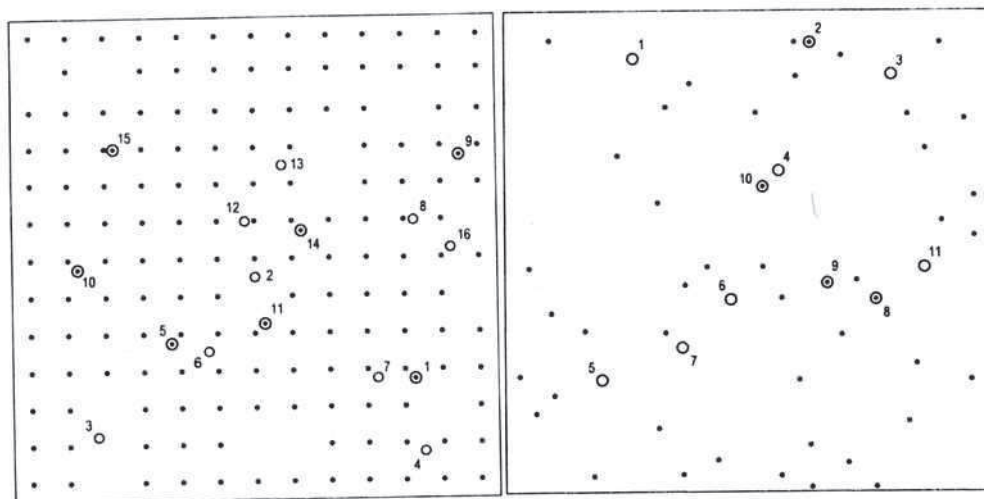
Para além da precipitação bruta medida no topo dos cobertos foi ainda estimada a precipitação efectiva ( $P_e$ ) a partir de um conjunto de valores relativos à precipitação sob-coberto e ao escorrimento ao longo dos troncos. No período de estudo (1992/93),  $P_e$  foi inferior a 300  $\text{mm ano}^{-1}$  em qualquer dos povoamentos, enquanto que a evapotranspiração de referência ( $E_{10}$ ), estimada pela equação de Penman modificada por DOOREMBOS e PRUITT (1992), foi de 1329 e 1379  $\text{mm ano}^{-1}$ , para os dois locais de estudo, isto é, eucaliptal e pinhal respectivamente (valores médios anuais para o período 1992-1993). No Quadro 3 confrontam-se os valores observados para  $P_g$  e  $E_{10}$  em 1992 e 1993 com os valores médios estimados pelos serviços de meteorologia para os locais de estudo.

O solo do eucaliptal é um *Çambissolo Dístico* (FAO/UNESCO, 1974) com uma profundidade entre 0,30 a 0,40 m, abaixo do qual se encontra um arenito. A sua textura é franco-argilo-arenosa com um teor de argila entre 20 a 40%. A densidade aparente varia entre cerca de 1,6  $\text{g cm}^{-3}$  nos 0,60 m mais superficiais e 1,7 a 1,8  $\text{g cm}^{-3}$  abaixo desse nível, enquanto que o pH é de aproximada-

mente 5. No pinhal o solo é um *Podzol* (FAO/UNESCO, 1974) com uma profundidade de 0,60 a 0,80 m originado a partir de areias aluvionares, com uma textura arenosa, densidade aparente variando entre 1,3 e 1,6  $\text{g cm}^{-3}$  e pH próximo de 6. Subjacentemente ao *Podzol* encontra-se um arenito com um teor total de argila e limo de cerca de 22% e densidade aparente de 1,7 a 1,8  $\text{g cm}^{-3}$ .

Em ambos os povoamentos foram feitos furos com o objectivo de verificar a eventual ocorrência de lençóis freáticos próximo da superfície e de identificar a natureza dos materiais constituintes dos estratos limitados inferiormente por esses lençóis e, a nível superior, pelas camadas já identificadas. Assim, foi possível verificar a ocorrência, no eucaliptal, de um lençol freático confinado à profundidade de 12 m.

A escassa distância da parcela onde a torre metálica foi instalada e em ambos os povoamentos, procedeu-se à demarcação de uma segunda área experimental, com 40x40  $\text{m}^2$ , destinada ao estabelecimento da rede de tubos de acesso que permitiu o controlo da variação do teor de água no solo ( $\Delta S$ ) através do método neutrónico (Figura 3).



**Figura 3** - Esquema representativo das redes de tubos de acesso instaladas nas parcelas experimentais do eucaliptal (A) e do pinhal (B) (\* árvores; O tubo de acesso para medição regular de  $\Delta S$ ; ⊙ tubo de acesso reservado para calibração da sonda de neutrões)

A instalação de uma nova parcela para proceder a este controlo resultou da necessidade de evitar que quaisquer outras acções pudessem alterar as condições naturais do local, em particular as condições do solo que afectam a sua capacidade de infiltração e o movimento da água no seu interior. As redes de tubos de acesso para a aplicação do método neutrónico não foram estabelecidas nas mesmas parcelas em que foram instalados todos os restantes dispositivos experimentais, de modo a evitar, quer o impacto causado pela circulação de pessoas e pela instalação de equipamentos directamente sobre o solo, quer a alteração do regime hidrológico do solo induzida pela amostragem de  $P_e$  que deveria atingir o solo e era recolhida pelos próprios dispositivos de medição.

### Métodos

A quantificação das perdas de água por transpiração, em particular das taxas transpiratórias, foi feita recorrendo a dois

métodos distintos e independentes: o balanço de água no solo e o modelo de Penman-Monteith.

#### *O balanço de água no solo*

Este método baseia-se na equação da continuidade que, para a região superficial do solo, pode ser representada pela equação (1), sendo os valores das variáveis envolvidas usualmente expressos em mm

$$\Delta S = P_e - (Q_s + D + E) \quad (1)$$

em que:  $\Delta S$  é a variação da quantidade de água armazenada no solo;  $P_e$  é a precipitação efectiva;  $Q_s$  é o escoamento superficial;  $D$  é a drenagem em profundidade;  $E$  é a perda de água por evapotranspiração.

As perdas por evapotranspiração compreendem a evaporação de água interceptada, a evaporação directa da superfície do solo e a transpiração. Ao considerar como *input* ao solo a precipitação efectiva  $P_e$ , está-se automática-

mente a descontar a componente relativa à evaporação da água interceptada. Assim,  $E_t$  corresponde à soma das perdas de água do solo por evaporação directa a partir da sua superfície e pela transpiração das plantas ( $E_t$ ). Uma vez que, em povoamentos de certa densidade, se pode considerar relativamente insignificante a perda de água por evaporação directa a partir da superfície do solo,  $E_t$  coincidirá com  $E_t$ . Deste modo e sendo possível a medição independente das restantes variáveis em jogo, a transpiração pode ser estimada aproximadamente rescrevendo a equação (1) sob a forma

$$E_t = P_e - AS - Q_s - D \quad (2)$$

Contudo, quer o escoamento superficial quer a drenagem em profundidade poderão ser desprezados neste caso, atendendo às características particularmente secas do período de estudo (PEREIRA, 1994).  $Q_s$  foi considerado sem significado dadas as características topográficas dos locais de estudo. A decisão de desprezar  $Q_s$  e  $D$ , considerando que tal não implicaria a introdução de erros assinaláveis, baseou-se ainda em informação veiculada por DAVID *et. al.* (1994) e DAVID e HENRIQUE (comunicação pessoal) que referem, para os anos hidrológicos de 91/92 92/93 e em 3 bacias hidrográficas experimentais florestadas com eucalipto e pinheiro bravo (localizadas no Cercal, 60 km a Norte de Lisboa), a ocorrência de escoamentos totais (que incluem a componente superficial e subterrânea) inferiores a 1% da precipitação bruta registada naqueles períodos. Deste modo e considerando que:

a) naquelas bacias a precipitação bruta foi da mesma ordem de grandeza (513 mm em 91/92 e 623 mm em 92/93) à observada no presente estudo em

qualquer dos povoamentos;

b) o relevo das bacias do Cercal é muito mais marcado do que no caso dos povoamentos estudados em que o terreno é praticamente plano;

c) os solos das bacias experimentais do Cercal são semelhantes aos que ocorrem no eucalipto e muito menos permeáveis do que os da parcela de pinhal;

admitiu-se que no período de estudo (particularmente seco) o escoamento superficial não teve qualquer significado. Pelas mesmas razões foi também desprezada a componente do balanço hidrológico correspondente à drenagem em profundidade.

Tendo-se considerado que, tanto  $Q_s$  como  $D$ , têm um significado reduzido ou mesmo nulo, a equação (2) ficou reduzida a

$$E_t = P_e - AS \quad (3)$$

$P_e$  corresponde à quantidade de água que realmente atinge a superfície do solo através, por um lado, dos espaços livres do copado e do gotejo a partir das folhas (*precipitação sob-coberto*,  $P_s$ ) e, por outro lado, através do escoamento ao longo dos troncos (*escoamento ao longo do tronco*,  $T_e$ ). A precipitação efectiva resulta então da soma daquelas duas componentes, tendo a sua determinação sido feita com base em medições de  $P_s$  e de  $T_e$  realizadas pela Eng<sup>a</sup> Fernanda Valente recorrendo, para o efeito, a redes de udómetros e/ou udógrafos e de colectores de escoamento ao longo do tronco instalados junto ao solo, no interior do coberto, de acordo com um processo adequado de amostragem (para a descrição detalhada dos dispositivos e processos utilizados na determinação de

$P_s$  e  $T_e$  ver VALENTE *et al.* (1997) e VALENTE (1999)).

A medição da variação do teor de água armazenada no solo foi feita através da utilização de uma sonda de neutrões (CPN Corp., Martinez, California, USA, mod. 503 HYDROPROBE). Na fase inicial de instalação dos dispositivos experimentais, procedeu-se ao estudo do perfil do solo em ambos os povoamentos com os objectivos de caracterizar os solos locais e identificar a região do solo explorada, em profundidade, pelos sistemas radiculares quer do eucalipto, quer do pinheiro. Assim e tendo em conta o padrão de distribuição das raízes identificado no reconhecimento prévio dos perfis do solo e a presença de camadas mais compactas a partir de, aproximadamente, 1,85 m no eucaliptal e 1,70 m no pinhal, os perfis considerados para a aplicação da equação do balanço hidrológico referem-se à região 0-1,80 m e 0-1,65 m, para o eucaliptal e para o pinhal, respectivamente.

No sentido de confirmar esta hipótese de trabalho, foi recolhida informação qualitativa sobre a variação do teor de humidade do solo até à profundidade máxima de 4,5 m num período posterior. Para o efeito foram instalados novos tubos de acesso até àquela profundidade (2 no eucaliptal e 1 no pinhal), tendo-se procedido apenas ao registo das contagens normalizadas ( $C_N$ ) fornecidas pela sonda de neutrões ao longo do período de 31/08/93 a 30/12/93. Estes registos foram analisados em conjugação com os valores da precipitação ocorrida no mesmo período, tendo-se verificado que, tal como inicialmente previsto, as variações mais significativas de  $C_N$  ocorriam de facto na zona do perfil do solo para a qual se procedeu, durante o

estudo, à monitorização do teor de humidade. No pinhal verificou-se uma variação pontual mais significativa de  $C_N$  nos níveis 1,7 - 2,4 m na sequência de um período particularmente húmido e nada representativo das condições verificadas anteriormente ao longo dos dois anos em que o estudo decorreu. Estes resultados confirmaram as suposições e pressupostos inicialmente considerados quanto às exigências para uma adequada predição de  $\Delta S$ , particularmente durante períodos secos como foi o caso do período de estudo.

As medições de  $\Delta S$  foram realizadas semanalmente nos períodos em que se poderia esperar uma variação rápida e significativa do teor de humidade do solo enquanto que, fora destes períodos, a frequência de medição foi alargada para períodos quinzenais ou mensais (para consulta de informação detalhada sobre as datas de medição e os respectivos teores de humidade do solo ver PEREIRA, 1994).

A calibração do método neutrónico foi feita relacionando as contagens normalizadas fornecidas pela sonda de neutrões com os correspondentes valores de humidade do solo determinados gravimetricamente, tendo sido estabelecida com base em valores do teor volumétrico de água no solo nos intervalos de 0,01 a 0,16  $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$  e 0,04 a 0,36  $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ , respectivamente no pinhal e no eucaliptal.

De acordo com as características do perfil do solo, em particular com a variação da densidade aparente em profundidade, foram estabelecidas, para as diferentes regiões do perfil do solo, curvas de calibração distintas, tendo sido ajustadas curvas de calibração para as regiões do solo correspondentes aos níveis de 0 a 0,225 m, 0,225 a 0,825 m e

0,825 a 1,875 m, no caso do eucaliptal e de 0 a 0,225 m e 0,225 a 1,725 m, para o pinhal.

#### O modelo de Penman-Monteith

O modelo de Penman-Monteith permite estimar o fluxo de calor latente associado à evapotranspiração quando aplicado a cobertos vegetais. Para a estimativa das taxas de transpiração de cobertos enxutos o modelo incorpora variáveis micrometeorológicas e fisiológicas, podendo ser traduzido pela equação (JONES, 1992).

$$\lambda E_t = \frac{\Delta'(R_n - G) + \rho c_p \delta_e g_a}{\Delta' + \gamma \left(1 + \frac{g_a}{g_c}\right)} \quad (4)$$

em que:  $E_t$  é a taxa de transpiração do coberto ( $\text{kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$ );  $\lambda$  é o calor latente de vaporização da água ( $\text{Jkg}^{-1}$ );  $R_n$  é energia líquida disponível por unidade de área ( $\text{Wm}^{-2}$ );  $G$  é o fluxo de calor por unidade de área entre a atmosfera e o solo, convencionalmente positivo quando ocorre da atmosfera para o solo ( $\text{Wm}^{-2}$ );  $\rho$  é a densidade do ar ( $\text{kgm}^{-3}$ );  $c_p$  é o calor específico do ar a pressão constante (considerado igual a  $1005,553 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$  para a temperatura do ar de  $20^\circ\text{C}$ );  $\delta_e$  é o défice de pressão de vapor da atmosfera (Pa);  $\gamma$  é a constante psicrométrica (considerada igual a  $66,770 \text{ PaK}^{-1}$ );  $\Delta'$  é o declive da curva que relaciona a pressão de vapor saturante com a temperatura ( $\text{PaK}^{-1}$ ), em que:  $g_a$  é a condutância aerodinâmica ( $\text{ms}^{-1}$ );  $g_c$  é a condutância do coberto ( $\text{ms}^{-1}$ )

De acordo com este modelo o coberto vegetal é representado como uma fina camada verde (modelo da *folha gigante* ou *big leaf*) localizada a uma altura característica acima do solo na qual tem origem

o fluxo de vapor de água associado à transpiração. O modelo considera que a *folha gigante* possui propriedades análogas às propriedades fisiológicas das folhas individuais, estando-lhe associados valores médios de temperatura e pressão de vapor representativos das condições a que estas folhas estão sujeitas, admitindo-se então que o conjunto das condutâncias estomáticas e aerodinâmicas associado às folhas individuais (respectivamente  $g_{si}$  e  $g_{bi}$ ) é adequadamente representado por uma única condutância do coberto ( $g_c$ ) (considerando-se como condutância aerodinâmica da folha individual a condutância da camada limite da folha).

Dado que se considera que as condutâncias associadas às folhas individuais que constituem o coberto vegetal actuam em paralelo, podemos escrever

$$g_s = \sum_i g_{si} \quad (5)$$

$$g_b = \sum_i g_{bi} \quad (6)$$

em que  $g_s$  corresponde à condutância estomática do coberto e  $g_b$  à condutância da camada limite da *folha gigante* que representa aquele coberto. Considerando não a condutância mas o seu inverso, ou seja, a resistência, estas equações podem ser rescritas sob a forma

$$\frac{1}{r_s} = \sum_i \frac{1}{r_{si}} \quad (7)$$

$$\frac{1}{r_b} = \sum_i \frac{1}{r_{bi}} \quad (8)$$

Dado que, por um lado,  $r_b$  é bastante pequena face à resistência oferecida pelos estomas quando se consideram folhas com uma dimensão característica reduzida segundo a direcção do vento (como acontece quer com o eucalipto, quer com o pinheiro bravo) (JONES, 1992) e que, por outro lado,  $r_s$  e  $r_b$  actuam em

série, é usual, nestas condições, desprezar-se  $r_b$ .

Assim,  $g_c$  traduzirá fundamentalmente a influência da condutância estomática do coberto podendo ser então determinada com base na condutância estomática média do coberto ( $\bar{g}_s$ ,  $m\ s^{-1}$ ) e no índice de área foliar ( $IAF$ ,  $m^2m^{-2}$ ) dos povoamentos estudados através de (JONES, 1992).

$$g_c = \bar{g}_s IAF \quad (9)$$

Esta aproximação para a estimativa de  $g_c$  é normalmente aceitável e correcta em povoamentos rugosos e ou esparsos (ALVES *et al.*, 1998; BERBIGIER *et al.*, 1997). Para a aplicação da equação (9),  $\bar{g}_s$  foi estimada a partir de medições realizadas com um porómetro de difusão num conjunto de 12 folhas no eucaliptal e de 18 grupos de 4 agulhas no pinhal. As folhas/agulhas medidas foram seleccionadas tendo em conta a sua posição na copa e/ou a sua idade (PEREIRA, 1994).

O valor utilizado para o  $IAF$  no eucaliptal foi de 3,17, tendo sido determinado por Tomé (comunicação pessoal). No pinhal, dada a inexistência de qualquer estudo que pudesse fornecer valores apropriados, considerou-se o valor de 2,30 referido por GASH *et al.* (1989) para um povoamento da mesma espécie, embora com características algo diferentes. Num estudo realizado recentemente, LOUSTAU *et al.* (1996) determinaram um valor de 2,66 para o  $IAF$  do pinhal estudado.

A condutância aerodinâmica ( $g_a$ ,  $ms^{-1}$ ) foi estimada por (JONES, 1992)

$$g_a = \frac{k^2 u_z}{\left[ \frac{\ln(z-d)}{z_0} \right]^2} \quad (10)$$

em que  $u_z$  ( $m\ s^{-1}$ ) é a velocidade do vento medida ao nível  $z$  (m),  $k$  é a constante de

von Karman (considerada igual a 0,41) e  $z_0$  (m) e  $d$  (m) são, respectivamente, a altura de rugosidade e a altura de deslocamento do plano de referência, determinadas com base na altura média dos povoamentos ( $h$ ) a partir das relações apresentadas no Quadro 4.

**Quadro 4** – Valores adoptados para as relações entre os parâmetros de rugosidade ( $z_0$  e  $d$ ) e a altura ( $h$ ) dos povoamentos de eucalipto (CAMPBELL, 1977, cit. por JONES, 1992) e de pinheiro bravo (JARVIS *et al.*, 1976)

|         | Eucaliptal | Pinhal |
|---------|------------|--------|
| $z_0/h$ | 0,13       | 0,075  |
| $d/h$   | 0,64       | 0,78   |

A equação (10) resulta da combinação das equações de transporte de quantidade de movimento e perfil logarítmico do vento, devendo, em rigor, ser utilizada na determinação da condutância aerodinâmica para a quantidade de movimento. No entanto, de acordo com a hipótese da semelhança para a transferência turbulenta na camada limite de calor, vapor de água ou  $CO_2$ , por exemplo, aquela equação é também frequentemente utilizada para estimar as condutâncias aerodinâmicas para qualquer daquelas entidades (JONES, 1992). Por outro lado, no caso de cobertos florestais (altos e aerodinamicamente rugosos) a condutância aerodinâmica é muito superior (cerca de uma ordem de grandeza) à condutância do coberto pelo que a transpiração, nesse tipo de cobertos, é pouco sensível a possíveis erros na estimativa de  $g_a$ . Em florestas, a condutância do coberto assume assim um papel predominante no controlo das perdas de água por transpiração (BEVEN, 1979; STEWART, 1988; GASH *et al.*, 1989; ROBERTS *et al.*,

1993). Possíveis erros no cálculo de  $g_a$ , como os eventualmente envolvidos no processo referido, nunca se repercutem pois em incorrecções significativas das estimativas da transpiração em povoamentos florestais.

As restantes variáveis do modelo de Penman-Monteith foram medidas directamente ( $R_n$  e  $G$ ) ou calculadas, conforme descrito por BRUTSAERT (1991) e BEER (1990).

## Resultados e discussão

### Balanço de água no solo

De modo a traduzir a disponibilidade efectiva de água no solo para as plantas, função não apenas da precipitação e da utilização pelas plantas, mas também das características do próprio solo, recorreu-se ao conceito de *teor relativo de água disponível no solo* (TRD, adimensional), definido por (GRANIER, 1987) como:

$$TRD = \frac{\theta - \theta_m}{\theta_{cc} - \theta_m} \quad (11)$$

em que  $\theta$  é o teor actual de humidade do solo,  $\theta_m$  é o teor mínimo de humidade do solo registado em todo o período de observação e  $\theta_{cc}$  é o valor considerado representativo do teor de humidade à capacidade de campo.  $\theta_{cc}$  é representado, tanto no eucaliptal como no pinhal, pelo teor de humidade do solo observado em 30/12/93, ou seja, no fim de um período pluvioso ( $\theta$ ,  $\theta_m$  e  $\theta_{cc}$  representam teores volumétricos de água no solo, sendo geralmente expressos em  $m^3m^{-3}$ ).

A Figura 4 pretende visualizar as grandes tendências de variação e de interdependência entre a transpiração, a

precipitação e a humidade do solo ao longo do período de estudo. As taxas médias diárias de transpiração determinadas através do balanço hidrológico manifestam uma variabilidade temporal acentuada, verificando-se a ocorrência de respostas directas à precipitação e à humidade do solo.

As taxas máximas diárias de transpiração verificaram-se na Primavera, embora se tenham igualmente observado valores mais elevados no final do Verão, após a ocorrência das primeiras chuvas. Os valores mínimos da transpiração diária ocorreram nos meses de Julho e Agosto, quando as taxas diárias se reduziram a 0,006 e 0,02  $mmdia^{-1}$  para o eucalipto e para o pinheiro, respectivamente.

Os valores máximos absolutos de  $E_t$  observados revelaram diferenças assinaláveis entre o pinhal e o eucaliptal, com uma taxa máxima no eucaliptal de 4,004  $mmdia^{-1}$ , aproximadamente 1,5 vezes o valor observado no pinhal (2,608  $mmdia^{-1}$ ).

Contudo, numa escala anual, a transpiração acumulada toma valores muito próximos da precipitação efectiva anual (Figura 5), o que parece tanto mais evidente quanto mais seco é o ano como aconteceu em 1992, comparativamente a 1993. Resultados semelhantes foram obtidos por CALDER *et al.* (1993) que, em estudos realizados em eucaliptais na Índia, verificaram que as perdas totais por evapotranspiração podem ser consideradas iguais à precipitação, com um erro inferior a cerca de 10%. Nestas condições, os estomas desempenham então um papel fundamental no controlo fisiológico das perdas transpiratórias (PEREIRA *et al.*, 1986, 1987; LOUSTAU *et al.*, 1990; BERBIGIER *et al.*, 1991; ROBERTS e ROSIER, 1993).

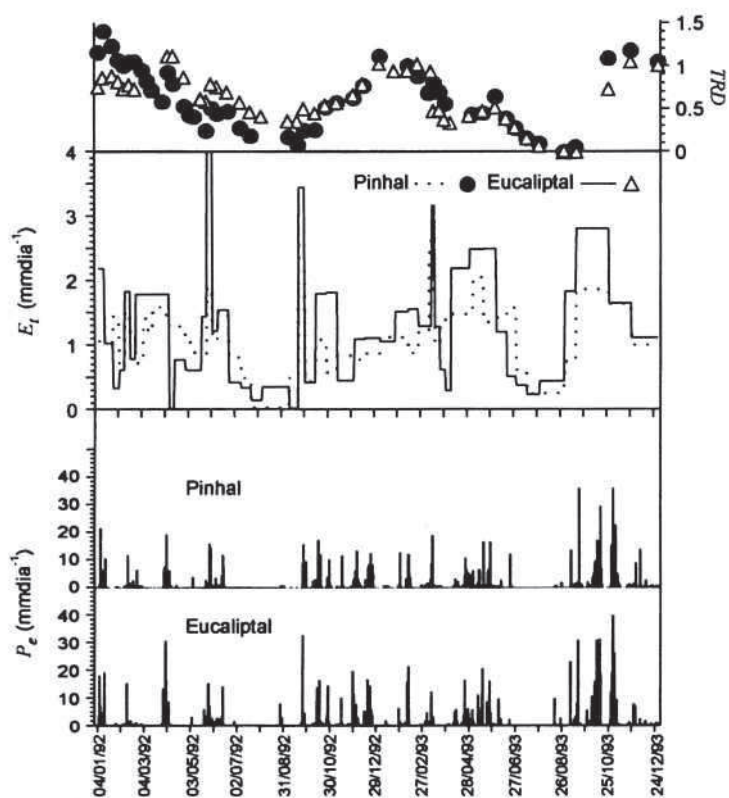


Figura 4 – Evolução temporal da precipitação efectiva ( $P_e$ ), do teor relativo de água disponível no solo (TRD) e das taxas de transpiração ( $E_t$ ) estimadas pelo método do balanço hidrológico em ambos os povoamentos

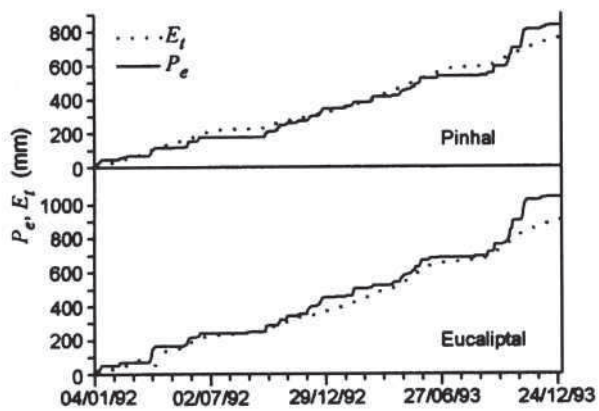
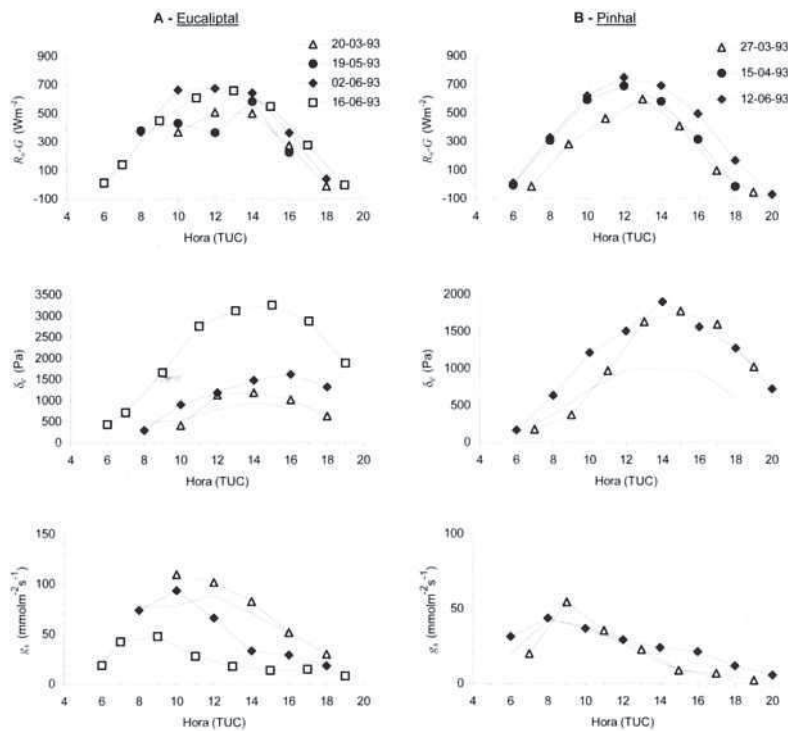


Figura 5 - Transpiração ( $E_t$ ) e precipitação efectiva ( $P_e$ ) – valores acumulados ao longo dos anos de 1992 e 1993

### Modelo de Penman-Monteith

Tendo em conta o eficaz controlo estomático que qualquer destas espécies evidencia, torna-se compreensível que, com o decorrer do tempo ao longo da Primavera e até ao final do Verão quando se verificam condições meteorológicas favoráveis à evaporação (disponibilidades energéticas elevadas e alto poder evaporante do ar), a transpiração sofra um decréscimo mais ou menos acentuado consoante a severidade das restrições hídricas impostas ao nível do solo. Este decréscimo das taxas de transpiração é o

reflexo da alteração do padrão diário de variação da condutância estomática, observada em ambos os povoamentos, à medida que se verifica o avanço da estação seca (Figura 6). Com efeito, tanto no pinhal como no eucaliptal os valores máximos e mínimos diários da condutância estomática reduzem-se com o decorrer do tempo. Dado que a redução sofrida pelos valores mínimos diários de  $g_s$  é menor do que a que se verifica para os máximos diários, o padrão de variação horária da condutância estomática tende a esbater-se (Figura 6).



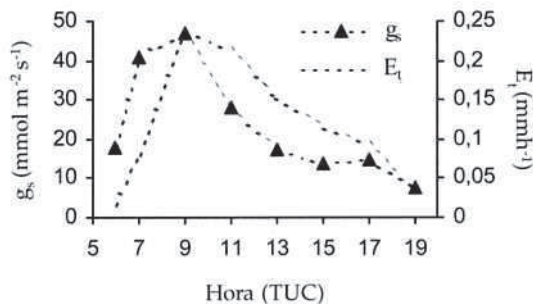
**Figura 6** - Evolução do padrão diário da condutância estomática ( $g_s$ ), no eucaliptal (A) e no pinhal (B), ao longo da Primavera de 1993. Para traduzir esta evolução, foram seleccionados, de entre os vários dias de observações, os momentos considerados mais representativos daquela evolução. Para as mesmas datas são igualmente representados os valores da energia líquida disponível ( $R_n - G$ ) e do défice de pressão de vapor do ar ( $\delta_v$ )

Embora enquadrados nos intervalos de valores referidos na bibliografia (ver PEREIRA, 1994 e DAVID, 1995) e relativos quer a estas duas espécies, quer a outras espécies de pinheiros e eucaliptos, os valores observados de  $g_s$  podem ser considerados relativamente baixos, em particular aqueles que se observaram no caso do pinheiro bravo. Este facto certamente se deve às condições de secura que prevaleceram durante todo o período de estudo, tanto mais que DAVID (1995) obteve, pelo mesmo processo e no mesmo povoamento de eucalipto, valores máximos de  $g_s$  da ordem de  $220 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$  na sequência de um período de precipitação intensa (125,2 mm) entre os dias 10 e 13 de Maio de 1994. O mesmo se terá passado no caso do pinhal bravo onde LOUSTAU *et al.* (1996) observaram valores máximos de  $g_s$  de cerca de  $170 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$  alguns dias após a queda de aproximadamente 132 mm de precipitação no período de 17 a 23 de Maio de 1994. Este autor refere ainda a obtenção de valores da mesma ordem de grandeza ( $150$  a  $170 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) até ao início de Julho (05/07), enquanto que, em meados do mesmo mês (12/07), a condutância máxima diária havia já sofrido uma queda acentuada para

valores de cerca de  $60 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

Uma vez que, neste estudo, a aplicação do modelo de Penman-Monteith se baseou em estimativas da condutância do coberto obtidas com base em valores médios de  $g_s$ , seria admissível a existência de algum tipo de relação entre os valores observados de condutância estomática e as estimativas de  $E_t$  fornecidas por este modelo. Esta relação parece particularmente evidente no caso do eucaliptal (Figura 7), verificando-se que o curso diário da transpiração, quando estimada pelo modelo de Penman-Monteith, segue um padrão muito semelhante ao da condutância estomática.

Os valores estimados pelo modelo de Penman-Monteith para as taxas horárias e diárias de transpiração, apresentam-se no Quadro 5, verificando-se que as taxas máximas diárias não ultrapassaram os  $0,8$  e  $1,7 \text{ mmdia}^{-1}$ , respectivamente para o pinheiro bravo e para o eucalipto. Apesar de apresentarem taxas diárias máximas de  $E_t$  significativamente diferentes, os dois tipos de coberto estudados manifestam valores mínimos diários de transpiração muito semelhantes de cerca de  $0,3 \text{ mmdia}^{-1}$ .



**Figura 7** - Evolução horária da condutância estomática ( $g_s$ ) e da transpiração ( $E_t$ ), no eucaliptal, ao longo do dia 16/06/93

**Quadro 5** – Taxas de transpiração no eucaliptal e no pinhal estimadas pelo modelo de Penman-Monteith. Para as taxas horárias apresentam-se os valores médios diários, assim como os valores máximos e mínimos estimados em cada dia

| Povoamento | Data     | Taxas de Transpiração         |        |        |                                |
|------------|----------|-------------------------------|--------|--------|--------------------------------|
|            |          | Horárias (mmh <sup>-1</sup> ) |        |        | Diárias (mmdia <sup>-1</sup> ) |
|            |          | Média                         | Máxima | Mínima |                                |
| Eucaliptal | 20/03/93 | 0,175                         | 0,300  | 0,034  | 1,545                          |
|            | 03/04/93 | 0,054                         | 0,062  | 0,038  | 0,329                          |
|            | 19/05/93 | 0,134                         | 0,170  | 0,090  | 1,126                          |
|            | 02/06/93 | 0,153                         | 0,261  | 0,048  | 1,704                          |
|            | 16/06/93 | 0,114                         | 0,224  | 0,016  | 1,734                          |
|            | 26/06/93 | 0,860                         | 0,136  | 0,016  | 1,316                          |
| Pinhal     | 27/03/93 | 0,036                         | 0,076  | 0,003  | 0,501                          |
|            | 15/04/93 | 0,026                         | 0,059  | 0,002  | 0,364                          |
|            | 05/06/93 | 0,028                         | 0,051  | 0,012  | 0,364                          |
|            | 12/06/93 | 0,031                         | 0,088  | 0,006  | 0,804                          |

As taxas de transpiração fornecidas por este modelo para o eucaliptal, embora relativamente baixas, enquadram-se no intervalo de valores que DAVID (1995) obteve em estudos realizados no mesmo local aplicando, quer o modelo de Penman-Monteith, quer o método do fluxo de seiva.

No caso do pinheiro bravo, as estimativas das taxas de transpiração são bastante reduzidas, reflectindo os baixos valores de condutância estomática observados. LOUSTAU *et al.* (1996), através do método do fluxo de seiva e em trabalho igualmente realizado no pinhal da Carrasqueira, observou taxas diárias variando entre, aproximadamente, 0,8 e 3 mmdia<sup>-1</sup>, respectivamente no final do Verão, em condições de solo seco, e num período caracterizado por boas disponibilidades hídricas. Estes valores mínimos referidos por LOUSTAU *et al.* (1996) assim como as taxas mínimas diárias de transpiração medidas por LOUSTAU *et al.* (1990) (0,12 mmdia<sup>-1</sup>) e DIAWARA *et al.* (1991) (0,87 mmdia<sup>-1</sup>) em

povoamentos da mesma espécie no Sul de França, são da mesma ordem de grandeza que os valores obtidos no presente estudo, embora tenham sido registados numa fase bastante adiantada do período estival.

Nestas circunstâncias, poderão ser colocadas hipóteses alternativas, para além das acentuadas e excepcionais condições de secura edáfica, que permitam explicar os reduzidos valores das estimativas da transpiração diária fornecidas pelo modelo de Penman-Monteith no caso do pinhal. Entre essas hipóteses assume relevo especial a que se relaciona com o facto de o processo de amostragem adoptado no pinhal para a realização das medições de  $g_s$  não ter abrangido toda a copa, centrando-se na sua região média o que poderá ter conduzido a subestimativas de  $g_c$  (JARVIS *et al.*, 1976; LEVERENZ *et al.*, 1982; ROBERTS *et al.*, 1982; BEADLE *et al.*, 1985) e, necessariamente, a valores mais reduzidos das taxas de  $E_t$  quando estimadas por este modelo.

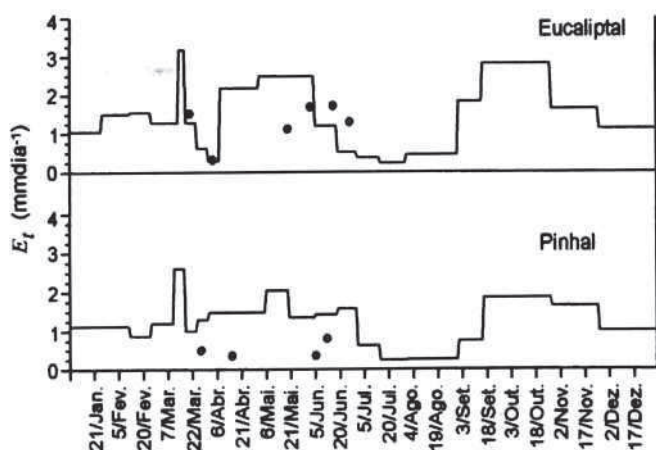
**Balanço de água no solo vs. modelo de Penman-Monteith**

A comparação das taxas de transpiração estimadas quer pelo modelo de Penman-Monteith, quer pelo balanço de água no solo, revelou algumas diferenças que a Figura 8 põe em evidência.

No caso do eucaliptal e embora as taxas diárias estimadas pelos dois métodos sejam semelhantes para os dias 20/3 e 3/4/93, para os restantes dias já se verificam diferenças mais ou menos acentuadas. No entanto, as diferenças observadas entre as estimativas de  $E_t$  dadas por estes dois métodos ocorrem em dois tipos distintos de situações. A 19/5 e 2/6 o balanço hidrológico forneceu estimativas superiores ao modelo de Penman-Monteith, enquanto que a 16 e 26/6 verificou-se uma situação inversa.

No primeiro caso as discrepâncias observadas poderão resultar, como refere

CALDER *et al.* (1993), do facto destes dois métodos se aplicarem normalmente numa escala temporal distinta, ou seja, enquanto que o balanço hidrológico fornece estimativas das taxas de evapotranspiração para períodos mais ou menos longos ou de taxas "médias" diárias nesses períodos, o modelo de Penman-Monteith é usualmente utilizado numa base horária no sentido de obter taxas horárias ou diárias de transpiração que, necessariamente, reflectem as condições ambientais prevalentes nesses períodos limitados de tempo. Com efeito, naqueles dois dias verificou-se um progressivo aumento da nebulosidade que determinou a queda acentuada dos valores de  $g_s$  a partir do fim da manhã com a consequente redução das taxas de transpiração estimadas pelo modelo de Penman-Monteith, relativamente às taxas médias diárias estimadas pelo balanço hidrológico para os períodos de 1/5 a 19/5 e 19/5 a 4/6.



**Figura 8** - Transpiração ( $E_t$ ), no eucaliptal e no pinhal estimada pelos métodos do balanço hidrológico (linhas) e de Penman-Monteith (pontos) durante 1993

Por outro lado, o afastamento entre as estimativas de  $E_t$  obtidas por estes dois métodos para os dias 16 e 26/6 poderá resultar da possibilidade de os eucaliptos explorarem a água armazenada no solo a uma profundidade superior a 1,8 m e/ou terem acesso directo a uma toalha freática. Com efeito e apesar do *E. globulus* desenvolver um sistema radicular relativamente superficial (decrecendo abruptamente a densidade de raízes abaixo dos 0,7 a 0,9 m de profundidade, FABIÃO, 1986 cit. por ALVES et al., 1990), em que as raízes que atingem profundidades maiores apenas assumem um papel importante durante o Verão permitindo, nessa altura, assegurar a sobrevivência das plantas (ROSE e SHARMA, 1984; Pereira e PALLARDY, 1989 cit. por ALVES et al., 1990) através da utilização de água do solo armazenada a níveis inferiores, têm sido referidas situações várias que sugerem ou indicam que as plantas terão acesso directo a lençóis freáticos localizados a profundidade variável (CARBON et al., 1981; GREENWOOD et al., 1985 cit. por CALDER, 1992; PEREIRA et al., 1989 cit. por ALVES et al., 1990) tornando possível que, numa base anual, as perdas de água por transpiração possam exceder a precipitação. Esta hipótese parece ser corroborada pelos resultados obtidos por DAVID (1995) que, no mesmo povoamento, mediu taxas diárias de transpiração em pleno Verão de 0,50 mmdia<sup>-1</sup>, dificilmente explicáveis se não se aceitar a possibilidade de o eucaliptal aceder a algum tipo de reservatório subterrâneo de água.

Relativamente ao pinhal as diferenças entre os dois métodos são mais significativas e poderão resultar fundamentalmente dos aspectos já

referidos relacionados com o procedimento de amostragem utilizado para as medições de condutância estomática para além do efeito da escala temporal mais adequada à aplicação de cada um dos métodos conforme se referiu para o caso do eucaliptal.

### Conclusões

Os resultados obtidos nos estudos realizados revelaram a ocorrência de taxas de transpiração reduzidas, tanto no eucaliptal como no pinhal, certamente em consequência das severas restrições hídricas que se verificaram ao longo do período de estudo.

Os métodos utilizados na estimativa das taxas de transpiração conduziram a valores não totalmente coincidentes o que se deverá em grande parte ao facto destes métodos se adequarem a situações baseadas em escalas temporais distintas fornecendo, portanto, resultados que reflectem condições ambientais e fisiológicas igualmente diferentes. Com efeito, o modelo de Penman-Monteith é um processo mais adequado para a obtenção de estimativas numa base horária ou diária, tornando-se difícil a sua utilização ao longo de períodos de tempo mais prolongados, em particular devido às dificuldades na estimativa da condutância dos cobertos. O balanço hidrológico do solo adequa-se a estudos ao longo de períodos de tempo mais extensos exigindo, contudo, uma cuidadosa avaliação da importância que as várias componentes do balanço assumem em cada caso. No pinhal este método parece ter fornecido estimativas correctas de  $E_t$  tendo em conta o valor relativo dessas estimativas face aos resultados referidos na bibliografia, em

especial os referidos por LOUSTAU *et al.* (1996). No eucaliptal as estimativas obtidas através do balanço hidrológico poderão não corresponder inteiramente às taxas efectivas de transpiração, em especial no período mais seco do ano, como sugerem os resultados obtidos por DAVID (1995) que permitem admitir que os eucaliptos terão, neste caso, algum acesso directo a um lençol freático permitindo-lhes manter, naqueles períodos, taxas diárias de transpiração relativamente elevadas. Em situações como esta, as taxas de transpiração fornecidas pelo modelo de Penman-Monteith deverão ser mais rigorosas relativamente ao balanço hidrológico dado que este modelo estima o fluxo total de vapor de água entre o coberto e a atmosfera, independentemente das plantas utilizarem água armazenada no solo, a maior ou menor profundidade, ou água armazenada em reservatórios subterrâneos.

Para além das diferenças entre as estimativas de  $E_t$  obtidas por qualquer dos métodos utilizados, este estudo permitiu confirmar a ideia de que, em condições climáticas como as que se verificam em Portugal Continental, a transpiração é fortemente condicionada pela disponibilidade de água no solo, desempenhando o controlo estomático um papel fundamental na regulação do processo transpiratório. Nestas condições, os resultados obtidos parecem indicar que qualquer destas duas espécies deverá utilizar completamente a água disponível no solo, dando origem a perdas de água por transpiração que, numa base anual, se aproximam dos quantitativos anuais da precipitação efectiva. Este aspecto, por si só, reveste-se de grande importância tendo consequências directas na definição dos

critérios de ocupação do território e na gestão dos recursos hídricos.

### Agradecimentos

Os autores expressam o seu sincero reconhecimento a todos aqueles que, de algum modo, contribuíram para a realização destes estudos, destacando entre eles a Eng. Fernanda Valente, o Prof. João Santos Pereira, o Eng<sup>o</sup> José Tomé, o Dr. John H. C. Gash, o Eng<sup>o</sup> Manuel O. Henriques e o Sr. Joaquim Mendes. Agradecemos ainda à *Companhia das Lezírias* e à *Portucel* pela disponibilização das matas onde decorreram os ensaios cuja realização só foi possível através do financiamento concedido pela Comunidade Económica Europeia, através da Direcção Geral XII no âmbito do contrato n<sup>o</sup> STEP - CT90 - 0041, e pelo Governo Português através da Junta Nacional de Investigação Científica, no âmbito do projecto n<sup>o</sup> PMCT/C/AGR/138/90.

### Bibliografia

- ALVES, A.A.M., PEREIRA, J.S., BORGES, J.G.C., BORGES, G.C., CARVALHO, P.O., DAVID, J.S., GONÇALVES, J.H.C., MADEIRA, M., ONOFRE, N., VALENTE, F., 1990. *Impactes ambientais e sócio-económicos do eucaliptal em Portugal*. Departamento de Engenharia Florestal, UTL-Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.
- BEADLE, C.L., NEILSON, R.E., TALBOT, H., JARVIS, P.G., 1985. Stomatal conductance and photosynthesis in a mature scots pine forest - I. Diurnal, seasonal and spatial variation in shoots. *J. Appl. Ecology* **22** : 557-571.
- BEER, T., 1990. *Applied environmetrics meteorological tables*. Applied Environmetrics, Victoria.

- BERBIGIER, P., DIAWARA, A., LOUSTAU, D., 1991. Étude microclimatique de l'effect de la sécheresse sur l'évaporation d'une plantation de pins maritimes et du sous-bois. *Ann. Sci. For.* **22** : 157-177.
- BEVEN, K., 1979. A sensitivity analysis of the Penman-Monteith actual evapotranspiration estimates. *J. Hydrology* **44** : 169-190.
- BRUTSAERT W., 1991. *Evaporation into the atmosphere*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.
- CALDER, I.R., 1992. Water use of eucalypts - a review. In: *Growth and water use of forest plantations*. Calder, I.R.; Hall, I.R.; Adlar, P.G. (eds.), John Wiley and Sons, Chichester, pp. 167-179
- CALDER, I.R., HALL, R.L., PRASANNA, K.T., 1993. Hydrological impact of *Eucalyptus* plantation in India. *J. Hydrology* **150** : 635-648.
- CARBON, B.A., BARTLE, G.A., MURRAY, A.M., 1981. Patterns of water stress and transpiration in Jarrah (*Eucalyptus marginata* Don ex Sm) forests. *Aust. For. Res.* **11** : 191-200.
- DAVID, J.S., HENRIQUES, M.O., DAVID, T.S., TOMÉ, J., LEDGER, D.C., 1994. Clearcutting effects on streamflow in coppiced *Eucalyptus globulus* stands in Portugal. *J. Hydrology* **162** : 143-154.
- DAVID, T.S., 1995. *Transpiração num povoamento adulto de Eucalyptus globulus Labill.* Tese de Mestrado em Produção Vegetal, Instituto Superior de Agronomia, U.T.L., Lisboa.
- D.G.F., 1993. *Distribuição da floresta em Portugal Continental*. Direcção Geral das Florestas - Estudos e Informação 303. Lisboa.
- DIAWARA, A., LOUSTAU, D., BERBIGIER, P., 1991. Comparison of two methods for estimating the evaporation of a *Pinus pinaster* (Ait.) stand: sapflow and energy balance with sensible heat flux measurements by an eddy covariance method. *Agric. For. Meteorol.* **54** : 49-66.
- DOOREMBOS, J.E., PRUITT, W.O., 1992. *Crop water requirements*. Irrigation and drainage paper n° 24, F.A.O., Roma.
- FAO/UNESCO, 1974. *Soil map of the World (1:5000000)*. Vol. I - Legend. UNESCO. Paris.
- GASH, J.H.C., SHUTTLEWORTH, W.J., LLOYD, C.R., ANDRÉ, J.C., GOUTORBE, J.P., GELPE, J., 1989. Micrometeorological measurements in Les Lands forest during HAPEX-MOBILHY. *Agric. For. Meteorol.* **46** : 131-147.
- GRANIER, A., 1987. Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements. *Tree Physiology* **3** : 309-320.
- INMG, 1991. *Normais climatológicas da Região do Ribatejo e Oeste correspondentes a 1951-1980*. O Clima de Portugal. Fascículo XLIX, Vol. 2 - 2ª Região. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica. Lisboa.
- JARVIS, P.G., JAMES, G.B., LANDSBERG, J.J., 1976. Coniferous Forest. In: *Vegetation and the atmosphere*. Vol. 2 - Case Studies. Monteith, J.L. (ed.), Academic Press, London, pp. 171-240.
- JONES, H.G., 1992. *Plants and microclimate*. Cambridge University Press. Cambridge.
- LEVERENZ, J., DEANS, J.D., FORD, E.D., JARVIS, P.G., MILNE, R., WHITEHEAD, D., 1982. Systematic spatial variation of stomatal conductance in a Sitka Spruce plantation. *J. Appl. Ecology* **19** : 835-851.
- LOUSTAU, D., GRANIER, A., MOUSSA, F., 1990. Evolution saisonnière du flux de sève dans un peuplement de pins maritimes. *Ann. For. Sci.* **21** : 599-618.
- LOUSTAU, D., BERBIGIER, P., ROUMAGNAC, P., PACHECO, C.A., DAVID, J.S., FERREIRA, M.I., PEREIRA, J.S., TAVARES, R., 1996. Transpiration of a 64-year-old Maritime Pine stand in Portugal: 1. Seasonal course of water flux through maritime pine. *Oecologia* **107** : 33-42.
- PEREIRA, F.L., 1994. *Estudo das perdas de água por transpiração em povoamentos adultos de Eucalyptus globulus Labill. e de Pinus pinaster Aiton*. Tese de Mestrado em Produção Vegetal, Instituto Superior de Agronomia, U.T.L., Lisboa.
- PEREIRA, J.S., TENHUNEN, J.D., LANGE, O.L., BEYSCHLAG, W., MEYER, A., DAVID, M.M., 1986. Seasonal and diurnal patterns in leaf gas exchange of *Eucalyptus globulus* trees growing in Portugal. *Can. J. For. Res.* **16** : 177-184.

- PEREIRA, J.S., TENHUNEN, J.D., LANGE, O.L., 1987. Stomatal control of photosynthesis of *Eucalyptus globulus* Labill. trees under field conditions in Portugal. *J. Exp. Bot.* **38**(195) : 1678-1688.
- ROBERTS, J., PITMAN, R.M., WALLACE, J.S., 1982. A comparison of evaporation from stands of scots pine and corsican pine in Thetford Chase, East Anglia. *J. App. Ecology* **19** : 859-872.
- ROBERTS, J.E., ROSIER, P.T.W., 1993. Physiological studies in young Eucalyptus stands in southern India and derived estimates of forest transpiration. *Agric. Water Managem.* **24** : 103-118.
- ROBERTS, J., CABRAL, O.M.R., FISH, G., MOLION, L.C.B., MOORE, C.J., SHUTTLEWORTH, W.J., 1993. Transpiration from an Amazonian rainforest calculated from stomatal conductance measurements. *Agri. For. Meteorol.* **65** : 175-196.
- ROSE, C.W.E., SHARMA, M.L., 1984. Summary and recommendations of the workshop on "Evapotranspiration from plant communities". *Agric. Water Managem.* **8** : 325-342.
- STEWART, J.B., 1988. Modelling surface conductance of pine forest. *Agri. For. Meteorol.* **43** : 19-35.
- VALENTE, F., DAVID, J.S.E., GASH, J.H.C., 1997. Modelling interception loss for two sparse eucalypt and pine forests in central Portugal using reformulated Rutter and Gash analytical models. *J. Hydrology* **190** : 141-162.
- VALENTE, F., 1999. *Intercepção da precipitação em povoamentos florestais esparsos - - Modelação do processo e características aerodinâmicas dos cobertos molhados*. Dissertação apresentada para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Florestal, Instituto Superior de Agronomia, UTL, Lisboa.

*Submetido para publicação em Dezembro de 2000*  
*Aceite para publicação em Fevereiro de 2001*