

TRANSPIRAÇÃO FOLIAR DE *Eucalyptus* sp SOB DIFERENTES CONDIÇÕES HÍDRICAS

Kelly Cristina Tonello¹ & José Teixeira Filho²

RESUMO --- Graças ao domínio tecnológico da silvicultura e às vantagens ambientais, as florestas plantadas de eucalipto no Brasil alcançam idade de corte de 5-7 anos, produzindo com menor custo, mais madeira/área quando comparado com demais países. Atualmente, atrelada à busca da produção florestal, o conhecimento sobre a hidrologia e meteorologia de florestas vem atraindo atenção considerável de pesquisadores do setor. A modelagem de sistemas complexos como a hidrologia de bacias hidrográficas exige um conhecimento detalhado da bacia e dos processos que interferem no movimento da água. Assim, este trabalho tem por objetivo a avaliação da transpiração de um clone de eucalipto sob diferentes disponibilidades hídricas, visando aprimorar modelos hidrológicos de balanço hídrico em bacias com florestas plantadas. Medições de potencial hídrico de base (Ψ_b) foram relacionadas à transpiração foliar (TR) em 5 indivíduos do clone de eucalipto aos 7 meses de idade. Os indivíduos foram agrupados em 3 classes de Ψ_b , cujos valores representativos são: -3,0, -1,6 e -1,0 MPa. Valores máximos de TR para estas classes foram, em média, 0,4, 2,7 e 6,0 $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, respectivamente. Indivíduos com menor Ψ_b mostraram menor variação de TR no período trabalhado, traduzindo uma situação crítica de déficit hídrico.

ABSTRACT --- Due to the technological domination of silviculture and the environmental advantages, the planted forests of eucalypt in Brazil reach the cut age in 5-7 years, producing with least cost, more wood/area when compared with most of the other countries. Currently, with the search of the forest production, the knowledge about hydrology and meteorology of forests has been attracting considerable attention of researchers of the sector. The modeling of complex systems such as the hydrology of basins demands a detailed knowledge of the basin and the processes that intervene with the movement of the water. In this way, this work undertakes the evaluation of one eucalypt clone transpiration under different water potential, aim to improve hydrological models of water balances in basins with planted forests. Measurements of water potential (Ψ_b) had been related to foliar transpiration (TR) in 5 individuals of eucalypts clone with 7 months. The individuals had been grouped in 3 classes of Ψ_b , whose representative values are: -3,0, -1,6 and -1,0MPa. Maximum values of TR for these classes were, on average, 0,4, 2,7 and 6,0 $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, respectively. An individual with less Ψ_b has shown less variation of TR in the worked period, exposing a critical situation of water deficit.

Palavras-chave: balanço hídrico, eucalipto, potencial hídrico

¹Doutoranda FEAGRI/UNICAMP. Cid. universitária Zeferino Vaz-Barão Geraldo, 13083970-Campinas,SP-CP 6011.e-mail: kelly.tonello@agr.unicamp.br

²Prof. Dr. FEAGRI/IG/UNICAMP. Cid. universitária Zeferino Vaz-Barão Geraldo,13083970-Campinas,SP-CP 6011. e-mail: jose@agr.unicamp.br

1 - INTRODUÇÃO

O eucalipto é uma espécie florestal nativa da Austrália e ilhas circunvizinhas, que em função de características como crescimento rápido e capacidade de resistir ao estresse hídrico tem sido introduzido em diversos países, dentre os quais o Brasil.

No Brasil, graças ao domínio tecnológico da silvicultura e às vantagens ambientais, as florestas plantadas alcançam idade de corte para o eucalipto de 5 a 7 anos, contra períodos em torno de 50 anos em clima temperado. Além de crescer mais rápido, o eucalipto produz ainda, com um menor custo, mais madeira por área quando comparado com os demais países. A produtividade média de madeira no Brasil alcança de 45-50 m³/ha/ano, enquanto para o Chile, Estados Unidos, Canadá e Finlândia, esta corresponde à 20, 10, 7 e 4 m³/ha/ano, respectivamente (Votorantim Celulose e Papel - VCP, 2004).

Nos dias atuais, atrelada à busca da produção florestal, têm-se a preocupação com as questões ambientais. O conhecimento sobre a hidrologia e meteorologia de florestas plantadas vem atraindo atenção considerável de diversos pesquisadores nas últimas décadas.

Sabe-se que o crescimento e o desenvolvimento dos vegetais é consequência de vários processos fisiológicos controlados pelas condições ambientais e características genéticas de cada espécie vegetal. Portanto, para melhor compreender o crescimento, o desenvolvimento e o impacto hidrológico de uma plantação de eucalipto, faz-se necessário conhecer os fatores que controlam o uso da água.

Recentemente, empresas têm aumentado esforços no sentido de investigar a contribuição dos componentes do balanço hídrico na produtividade do eucalipto, com a necessidade de integrar os efeitos do clima e práticas de manejo na produção de madeira de florestas plantadas de *Eucalyptus*.

A ecofisiologia vegetal é a ciência que trata dos processos e das respostas vitais das plantas em função das mudanças nos fatores ambientais (Larcher, 2000). Portanto, estão envolvidos em diferentes níveis de organização o estudo descritivo das respostas dos organismos em relação às condições do ambiente e a análise das causas de seus correspondentes mecanismos fisiológicos.

Robustos e versáteis, os modelos de simulação que estimam a transpiração de uma cobertura vegetal vêm sendo amplamente utilizados a fim de solucionar questões que envolvem o ciclo hidrológico em escalas local e regional (Jackson *et al.*, 2001). Além disso, esses modelos são cada vez mais utilizados para estimar o uso da água e resposta das plantas sob diferentes cenários climatológicos (Martinez-Vilalta *et al.*, 2002). Entretanto, segundo Zierl (2001), os modelos hidrológicos necessitam de uma estimativa ecofisiológica confiável onde se utilize a interação dos dados de entrada e otimização do tempo quando aplicados em escalas maiores.

Diversos estudos mostram que a transpiração está intimamente relacionada com fatores climáticos e meteorológicos, que por sua vez, terão influência no crescimento e desenvolvimento

vegetal, não devendo assim ser desprezada quando da realização de estudos ecofisiológicos e, principalmente, na modelagem hidrológica de bacias hidrográficas.

Desse modo, este trabalho tem por objetivo a avaliação do comportamento da transpiração de um clone de eucalipto a partir de diferentes disponibilidades hídricas.

2 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Para Kramer & Boyer (1995), a transpiração é o processo mais importante no balanço hídrico da planta, uma vez que pode envolver um grande volume de água, sendo liberada, principalmente, através dos estômatos. A transpiração ocorre através da perda de água da superfície das células do mesófilo através dos estômatos, ou através da cutícula, ou, ainda, em menor extensão, através das lenticelas e da casca.

De acordo com Larcher (2000), a transpiração como um processo físico, processa-se segundo as leis que regem a evaporação da água de superfícies úmidas. A água evapora de toda a superfície externa da planta e também de toda a superfície interna que está em contato com o ar. No interior dos órgãos do vegetal, o vapor de água origina-se das paredes das células e fica limitado pelos espaços intercelulares. Portanto, nos espaços intercelulares, a água primeiro passa da fase líquida para a fase gasosa e depois escapa para o exterior pelo aparato estomático (transpiração estomática). O vapor de água se difunde do corpo da planta em direção ao exterior, passando primeiro pela camada fronteira e, posteriormente, alcançando a atmosfera aberta.

A transpiração das plantas é função da temperatura foliar, área foliar, relação entre raízes e folhas, tamanho, forma e orientação das folhas e características anatômicas da folha como a densidade de estômatos (Kramer, 1983; Kramer & Boyer, 1995), além dos fatores ambientais como temperatura, umidade relativa e vento (Kramer, 1983); Lima, 1996; Larcher, 2000), sendo que o equilíbrio entre a absorção e perda de água pelas plantas pode ser alterado em função desses fatores.

O efeito da temperatura no movimento estomático varia nas diferentes espécies e também entre plantas de uma mesma espécie, adaptadas ou aclimatadas a ambientes diferentes. Temperaturas acima do ótimo da espécie estimulam o fechamento dos estômatos ao provocar aumentos na concentração de CO₂ na câmara subestomática, seja por aumento na respiração, ou seja pela redução na atividade fotossintética. Evidentemente, as espécies adaptadas a ambientes quentes toleram melhor os efeitos das altas temperaturas do que aquelas adaptadas a ambientes frios.

As altas temperaturas, observadas, sobretudo durante o dia, aumentam a demanda evaporativa da atmosfera ao provocar aumentos no déficit de pressão de vapor (DPV), o que tende a intensificar a transpiração. Entretanto, na ausência de um suprimento de água adequado, a transpiração excessiva gera um déficit hídrico na folhas, estimulando o fechamento dos estômatos, o que reduz a transpiração. Ainda que o fechamento dos estômatos seja estimulado pelas temperaturas elevadas, a transpiração total não diminui necessariamente na mesma proporção, devido ao efeito da

temperatura na transpiração cuticular. Por outro lado, baixas temperaturas afetam o funcionamento das membranas e, de forma geral, o metabolismo celular, limitando a disponibilidade de energia para o transporte de íons (K^+ , Cl^-), observando-se a redução na abertura dos estômatos.

O potencial hídrico foliar (Ψ_f) é o fator preponderante no controle do movimento estomático. Quando o Ψ_f diminui até certo limite crítico, os estômatos fecham-se, sendo este efeito predominante sobre os demais fatores do meio, mesmo em condições ótimas de luz, CO_2 e temperatura.

Em geral, o potencial hídrico da planta varia amplamente com a espécie, a época do ano e o horário do dia, sendo menor na época seca e em torno do meio dia quando a transpiração é mais intensa (Tobin *et al.*, 1999). Na ausência de reabastecimento do solo, com água que compense as perdas por evapotranspiração, o potencial hídrico dos tecidos da planta diminui com o tempo, podendo provocar a morte do vegetal por desidratação.

De acordo com Larcher (2000), a queda de potencial hídrico que ocorre ao meio-dia não é simultânea ao longo da copa, sendo que as folhas mais novas, do estrato superior, freqüentemente respondem depois. As folhas do estrato inferior da copa, parcialmente sombreadas, mantêm os estômatos abertos por mais tempo do que as folhas periféricas, expostas a radiações mais intensas.

A redução drástica do Ψ_f causada pelo déficit hídrico indica que a planta está numa condição em que suas células estão sofrendo desidratação do protoplasma, o que prejudica todos os seus processos vitais (Larcher, 1995; Kozłowski & Pallardy, 1996). Quando o Ψ_f diminui, a abertura estomática também diminui, reduzindo assim a transpiração e propiciando a recuperação das condições ideais de potencial hídrico. Com o aumento do potencial, a condutância estomática geralmente aumenta novamente.

Kramer (1983) considera que o Ψ_f é a medida mais simples do “status” hídrico da planta e que a determinação do potencial hídrico foliar do antemanhã (Ψ_b), comparado aos valores observados ao longo do dia, é uma importante ferramenta para se avaliar o seu “status” hídrico.

Embora muitas espécies de *Eucalyptus* sejam encontradas em condições secas, mudanças drásticas no status hídrico da planta podem ter influência no seu crescimento e fisiologia (Whitehead & Beadle, 2004).

Mielke (1997), analisando o Ψ_b , observou que árvores de *E. grandis* sofreram uma condição de déficit hídrico moderado na época de baixa disponibilidade hídrica. Por outro lado, Leite (1996) considerou que árvores de *E. grandis* conseguiram restabelecer seu “status” hídrico adequado durante à noite, sendo que as mesmas apresentaram valores semelhantes de Ψ_f logo após o amanhecer, nas épocas de alta e baixa disponibilidade hídrica. Gomes (1994), também, observou a recuperação do Ψ_f de plantas de eucalipto, após as 13:00 h, quando o potencial hídrico apresentou valores bastante reduzidos. Segundo o autor, plantas estabelecidas em espaçamentos mais amplos apresentaram maior redução do Ψ_f em razão de uma maior produção em área foliar, ocasionando

uma maior perda de água pela transpiração, comparadas àquelas estabelecidas em espaçamentos mais densos. Além da transpiração, a eficiência na absorção de água pelas raízes pode também alterar o Ψ_f (Larcher, 2000), uma vez que o transporte de água na planta envolve todos os componentes do sistema solo-planta-atmosfera (Kramer & Boyer, 1995).

A condutância estomática pode ser entendida como um importante mecanismo fisiológico que as plantas terrestres vasculares possuem para o controle da transpiração (Jarvis & McNaughton, 1986). Para Ludlow (1980) a taxa de transpiração e a taxa de fotossíntese líquida são proporcionais à condutância estomática e ao Ψ_f .

Oliva *et al.* (1984), avaliando a resistência à seca em eucalipto, observaram que o déficit hídrico moderado e severo provocaram aumento na resistência difusiva ao vapor de água em *E. grandis*, *E. camaldulensis* e *E. cloeziana*, sendo que as plantas de *E. grandis*, submetidas a uma mesma intensidade de estresse, aumentaram a resistência estomática à medida que se acumularam os ciclos de desidratação, mostrando que os estômatos se tornaram mais sensíveis ao ABA acumulado. Estes autores observaram ainda, que foram necessários níveis de estresse cada vez menores para promover fechamento dos estômatos. Os autores verificaram, também, diferenças quanto à resistência à seca entre as três espécies, sendo que *E. camaldulensis* e *E. grandis* foram consideradas como espécies preventivas, fechando os estômatos rápida e eficientemente, enquanto *E. cloeziana* manteve os estômatos mais abertos, mesmo sob déficit hídrico severo, apresentando, portanto, baixa resistência à seca.

Porém, os estômatos poderão abrir-se quando o fluxo de água para a folha for restituído e o estresse hídrico for superado. Na planta, dois fatores podem diminuir o Ψ_f : a baixa disponibilidade de água no solo (baixo Ψ_{solo}) e uma transpiração excessiva, o que pode ocorrer em certas horas do dia quando a taxa de transpiração excede a taxa de absorção e o transporte de água para a parte aérea.

A transpiração excessiva pode comprometer a disponibilidade de água para os processos vitais da planta, principalmente quando se trabalha em situações em que a quantidade de água disponível é reduzida. Reis *et al.* (1988) observaram um rápido murchamento foliar de mudas de eucalipto em tubetes quando foi suspensa a irrigação, em razão da elevada taxa de transpiração apresentada pelas plantas. Essa elevada transpiração promoveu redução do Ψ_f das plantas. Após vários ciclos de seca, houve adaptação das mudas à deficiência hídrica, em resposta ao rápido fechamento dos estômatos. Segundo os autores, o fechamento parcial dos estômatos foi eficiente para reduzir a transpiração e manter um “status” hídrico adequado, não comprometendo os processos vitais das plantas.

Pezzopane *et al.* (2002) encontraram diferentes respostas fisiológicas em diferentes plantas de uma mesma espécie em locais diferentes e entre espécies distintas no mesmo local. Estas diferenças foram atribuídas, em parte, à própria estrutura foliar e concentração de pigmentos nas folhas, além

da variabilidade microambiental existente. Estes autores afirmaram que um estudo anatômico das folhas mostraria diferenças marcantes entre as espécies, mas em uma análise externa foi possível detectar presença de pêlos e maior espessura das folhas de *Croton floribundus* (típico em folhas de sol) e maior quantidade de cera nas folhas de *Siparuna guianensis* localizadas em clareira quando comparadas com as mesmas espécies ocorridas em sub-bosque.

É também comum observar abscisão foliar na estação seca, reduzindo a perda de água pelas plantas em florestas decíduais e semidecíduais. Mesmo em regiões onde não se verificam períodos freqüentes de seca, as árvores podem perder boa parte de suas folhas em anos onde se observam veranicos acentuados (Pook, 1985). Chaves *et al.* (2004) ao estudar o déficit hídrico em cinco mudas de eucalipto, observaram que dois clones apresentaram intensa redução na área foliar em resposta ao déficit hídrico. Segundo os autores, apesar desses clones possuírem estômatos mais abertos, o consumo de água, após experimentar vários ciclos de seca foi menor ao final em razão de apresentarem menor superfície de transpiração, atribuindo a abscisão foliar de clones de eucalipto como uma estratégia de adaptação, possibilitando as plantas desses clones quando submetidas à acentuada deficiência hídrica, reduzirem rapidamente sua superfície de transpiração e, por conseqüência, o uso da água. A área foliar foi rapidamente recomposta assim que se realizou a reirrigação.

Como na maioria de outras espécies vegetais, as perdas de água por transpiração em plantas de eucalipto são determinadas principalmente por: demanda climática, que é a resultante das relações entre radiação, déficit de saturação de vapor da atmosfera, temperatura e velocidade do vento, mecanismos fisiológicos relacionados com a resposta estomática a fatores ambientais, estrutura da copa, particularmente pelo índice de área foliar e disponibilidade de água no solo (Calder *et al.*, 1992; Lima, 1996).

Ferreira *et al.* (1999) conduziram um trabalho no período de dezembro de 1994 a janeiro de 1995, no qual foram plantadas em tubetes, sementes de *Eucalyptus citriodora* Hook, em viveiro, e durante o período de aclimação (20 dias), as mudas receberam, 1, 2, 3, 4 ou 5 irrigações diárias. Neste período, foram avaliadas periodicamente a condutância estomática, transpiração (TR), déficit de pressão de vapor (DPV) e a radiação fotossinteticamente ativa (RFA), potencial hídrico foliar (Ψ_f) e teor relativo de água (TRA). As determinações foram realizadas com auxílio de um porômetro de difusão de estado estacionário, modelo Li-1600 da LICOR, sempre no mesmo horário solar entre 10 hs e 15 hs, na superfície abaxial das folhas superiores ($3^\circ/4^\circ$ par de folhas), totalmente expandidas, obedecendo sempre a mesma orientação cardeal em relação à luz solar incidente, às 11 hs (hora solar). O Ψ_f e o TRA foram medidos entre 5 hs e 7 hs (hora solar), em intervalos de 5 dias. Utilizou-se, para as determinações, uma câmara do tipo Scholander, lançando mão do 3° lançamento foliar. O TRA foi medido no mesmo dia e horário das avaliações do Ψ_f . O DPV foi determinado a partir das informações da umidade relativa e temperatura da cubeta obtidos

com o porômetro. Em seu trabalho Ferreira *et al.* (1999) concluíram que a aclimação por tratamentos hídricos influenciou significativamente a condutância estomática, TR e o Ψ_f das mudas de *Eucalyptus citriodora*, justificando-se a adoção dessa prática com 1 ou 2 irrigações diárias durante 15 dias. As mudas de *E. citriodora* promoveram o fechamento rápido dos estômatos em condições de altas taxas para o DPV e RFA, porém sempre mantendo um alto status hídrico do tecido. O Ψ_f apresentou-se como uma variável mais consistente para evidenciar as alterações fisiológicas.

Pezzopane *et al.* (2002) avaliaram os aspectos ecofisiológicos, tais como, transpiração (TR), condutância estomática (gs) e radiação fotossinteticamente ativa (RFA), pelo método de porometria de *Cróton floribundus* e *Siparuna guianensis* localizadas em dossel aberto e no interior de uma floresta estacional semidecidual secundária no município de Viçosa-MG, assim como medidas do Ψ_f de *Siparuna guianensis* obtidas pela bomba de pressão de Scholander. Os autores encontram que, para folhas de *Siparuna guianensis*, às 9 hs os valores de gs e TR foram semelhantes tanto no interior da floresta quanto para clareira, porém, as medições realizadas às 13 hs mostraram elevação de gs e T nos indivíduos localizados em dossel aberto devido ao aumento da PAR neste horário. Dados anteriores discutidos neste mesmo trabalho já evidenciaram que esta espécie apresenta maior potencial fotossintético em local de dossel aberto, e que a fotossíntese está associada à gs. A TR de *Siparuna guianensis* em condições de dossel aberto variou de 1,4 - 3,2 mmol.m⁻².s⁻¹ e de sub-bosque, sendo que a TR máxima ocorreu às 13 hs com PAR máxima de 377 mmol.m⁻².s⁻¹, aproximadamente. Já em condições de sub-bosque, essa variação foi de 1 - 2 mmol.m⁻².s⁻¹, onde o maior valor de TR ocorreu com RFA igual a 21 mmol.m⁻².s⁻¹, aproximadamente. Os autores concluíram que mesmo sob condições naturais de luz, as espécies sob dossel aberto apresentam maior TR e gs, existindo, no entanto, diferenças marcantes entre espécies no mesmo local.

Matos *et al.* (2003) compararam, em plântulas (seedling) de cajueiro, os níveis de resistência dos porta-enxertos CCP06 e CCP09, e das mudas enxertadas CCP76/06 e CCP76/09, submetidas a estresse hídrico ou salino, sob condições de casa de vegetação, através de algumas características bioquímicas e biofísicas. Todas as determinações biofísicas e bioquímicas foram realizadas no segundo par de folhas totalmente expandidas. As medições de condutância estomática (gs), temperatura (Tar), radiação fotossinteticamente ativa (RFA), e umidade relativa (UR) foram obtidas às 10 h. O Ψ_f foi medido subseqüentemente através do corte transversal do caule com medição da pressão do xilema com uso da bomba de Scholander. Os resultados da gs, TR e pressão osmótica (Ψ_o), analisados conjuntamente, evidenciaram a rápida diminuição da gs em resposta à deficiência hídrica ou estresse salino, documentada na literatura (Faquhar & Sharkey, 1982). A variação da TR apresentou a mesma tendência de redução em gs. O comportamento do Ψ_o mostrou resultados também similares com a progressão dos estresses. Porém, com a ocorrência de seca, a permeabilidade da membrana pode ter sido rompida e o turgor celular impedido, mascarando os

resultados. Neste estudo, as plantas submetidas à seca estabilizaram o Ψ_f em torno de -1,05 MPa a partir do 4º dia e apresentaram potenciais menos negativos do que daquelas sob estresse salino, nas quais os valores continuaram a decrescer, devido, provavelmente, a ajustamento osmótico. O comportamento estomático apresentou picos de máxima abertura pela manhã e início da tarde com depressão das trocas gasosas ao meio dia, embora o CCP09 tenha mostrado dois picos subseqüentes pela manhã. Estes resultados confirmam os obtidos por Ferreira (1992), cujo fechamento estomático foi induzido pelo aumento de CO_2 interno, decorrente da maior atividade respiratória em relação à fotossintética, ocasionada pelo aumento de temperatura foliar. O fechamento estomático evita a ocorrência de danos aos sistemas metabólicos, ajustando-os ao déficit de umidade na planta, resultando em aumento temporário do Ψ_f na folha (Larcher, 1987). Este fechamento persiste até após a diminuição da RFA no meio da tarde, ou seja, aproximadamente às 15 h ($450 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$). O Ψ_f das mudas de cajueiro sob estresse hídrico foi maior do que naquelas sob estresse salino, e os porta-enxertos do CCP06 apresentaram maior capacidade de ajustamento osmótico em presença de salinidade. Por fim, Matos *et al.* (2003) concluíram que a resistência nas mudas de cajueiro enxertadas com CCP76 é determinada pelas características do porta-enxerto, sendo que o CCP06 demonstra vantagens na manutenção do balanço hídrico com melhor ajuste da combinação CCP76/06 às condições de estresses hídrico e salino apresentadas.

Com o objetivo de avaliar o comportamento estomático e o Ψ_f em plantas jovens de *Mimosa caesalpinifolia*, *Enterolobium contortisiliquum* e *Tabebuia aurea* submetidas a estresse hídrico, Silva *et al.* (2003) desenvolveram um experimento em casa de vegetação no qual plântulas foram submetidas a dois tratamentos hídricos (50 % e 100 % da capacidade do pote). Aos 5, 7, 13 e 22 dias de estresse hídrico foram avaliadas a transpiração (TR), a resistência difusiva (R_s), a temperatura foliar (T_f) e do ar (T_a), umidade relativa (UR), radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e o déficit de pressão de vapor (DPV) às 7, 9, 12 e 15 hs. Após 30 dias de estresse, foi medido o potencial da água da folha (Ψ_f) entre 9-10 hs. De acordo com esses autores, os maiores valores de TR ocorreram entre 9-12 hs para todas as espécies, sendo menor nas plantas estressadas. O oposto foi verificado para R_s , com diferenças na magnitude dos valores entre espécies e horários de avaliação. A R_s das plantas estressadas de *E. contortisiliquum* foi influenciada pela T_a e de *M. caesalpinifolia* pela UR e PAR. O Ψ_f decresceu com o estresse, com reduções de até 155 %. A T_f não se mostrou bom indicador dos efeitos do estresse hídrico sobre as espécies.

Teixeira Filho (2005) conduziu em Campinas-SP, um experimento em cinco plantas de citros de mesma variedade (*Citrus sinensis* L. Osbeck), realizando medidas de transpiração (TR), condutância estomática (g_s), radiação fotossinteticamente ativa (RFA), radiação incidente total e déficit de pressão de vapor saturado (DPVS). No período considerado observou-se a maior média diária da transpiração $4,63 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ na PL4T2 e a menor de $1,53 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ na PL1EVP1. De forma geral, a transpiração foliar refletiu as variações tanto da RFA, da radiação incidente total,

quanto do DPVS. Verificou-se no outono as menores temperaturas do ar e umidades relativas, e em contrapartida, as menores transpirações foliares.

Na Península Ibérica, Cuevas *et al.* (2006) conduziram um estudo de 3 anos para examinar a resposta das trocas gasosas de folhas de videiras (*Vitis vinifera*) em função da umidade do solo. Foram medidos a taxa líquida da assimilação de CO₂ (A), a condutância estomática (gs) e a transpiração das folhas (TR) nas folhas situadas do leste (às 9 hs) e oeste (às 15 hs) da copa de uma linha de plantio orientada no sentido norte-sul. Trabalhou-se com três tratamentos de irrigação: 0.45, 0.30 e 0.15 do valor da evapotranspiração (Eto) obtida pelo método de Penman-Monteith, e de um quarto tratamento não irrigado. De acordo com os autores, aproximadamente 60 % da variação na gs sobre os 3 anos deveu-se às mudanças no índice de água do solo (uv). As taxas líquidas de assimilação de CO₂ foram correlacionadas significativamente com o gs. A gs diminuiu aproximadamente 25-30 % nas medições realizadas às 15 h (lado oeste das videiras) quando comparadas com às 9 hs (lado do leste das videiras); as reduções em A foram maiores do que aquelas na gs. As medições de E, realizadas nos dois horários mostraram um aumento de, aproximadamente, 15-25% da manhã ao final da tarde. A redução em A e gs da manhã à tarde foi observada mesmo nas videiras irrigadas, mas essas foram ainda acentuadas com a diminuição de água no solo. Isto ocorreu quando a gs diária máxima foi menor que 200 mmol.m.⁻²s⁻¹.

Estes resultados mostram que a transpiração está intimamente relacionada com fatores climáticos e meteorológicos, que por sua vez, terão influência no crescimento e desenvolvimento vegetal, não devendo assim ser desprezada quando da realização de estudos ecofisiológicos e, principalmente, na modelagem hidrológica de bacias hidrográficas.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

A análise do comportamento da transpiração do clone de eucalipto, foi realizada a partir de mudas em vasos. Nesses vasos foram plantadas mudas de eucalipto produzidas pelo método de estaquia no viveiro florestal da empresa Votorantim Celulose e Papel S.A. - VCP em Jacareí-SP.

Após atingir as condições de expedição para o campo, aproximadamente com 120 dias, as mudas foram transportadas para a área experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e transplantadas para vasos de 100 L (Figura 1), onde se utilizou o composto comercial BIOGROW como substrato.



Figura 1 - Mudanças do clone de *Eucalyptus* sp. no campo experimental da FEAGRI/ UNICAMP. Agosto, 2006.

3.1. Caracterização climática da área experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola

O clima da área experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) é classificado de acordo com Köppen, como tropical de altitude com inverno seco e verão úmido.

A temperatura média nos meses de outubro a março varia de 22 a 24 °C e nos meses de abril a setembro, de 18 a 22°C. A umidade relativa do ar é cerca de 77 % nos meses de outubro a março e 65 % nos meses de abril a setembro (CAMPINAS, 2000).

De acordo com dados do posto de prefixo D4-044 de nome Campinas, localizado no município de Campinas, integrante do Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo, a chuva média anual é 1372,4 mm (valor calculado com as séries anuais dos anos de 1941 a 1997). O período chuvoso estende-se do mês de outubro ao mês de março, sendo que o mês de maior concentração de chuvas é janeiro (238,4 mm, valor médio) e o mês mais seco é agosto (31,4 mm, valor médio) (SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E OBRAS, 1997).

3.2. Potencial hídrico de base nas mudas em vaso (Ψ_b)

Para o acompanhamento das disponibilidades hídricas no solo, foram realizadas medidas de Ψ_b utilizando-se uma câmara de pressão de Scholander (Scholander *et al.*, 1965), modelo 3035 (Soil Moisture Equipment Corp., USA) antes do nascer do sol, em folhas saudáveis totalmente expandidas. O Ψ_b mantém uma relação de equilíbrio com o potencial hídrico do substrato, em razão das baixas taxas de transpiração apresentadas pelas plantas durante a noite.

Para isso, coletaram-se três ramos de cinco vasos simultaneamente para cada indivíduo, os quais foram mantidos em potenciais hídricos diferentes, com a finalidade de obter condições de disponibilidades de água diferentes para o monitoramento dos valores de transpiração.

As medições foram realizadas colocando-se uma folha de cada vez na câmara de pressão imediatamente selada de modo a impedir a passagem de ar. A superfície cortada do pecíolo permaneceu do lado externo da câmara para permitir a observação da exudação da seiva em resposta à pressão exercida na superfície da folha no interior da câmara. Uma válvula permitiu o controle do fluxo de ar comprimido ou N₂ para a câmara enquanto o manômetro acoplado ao sistema permitiu a medição da pressão exercida durante todo o processo. A pressão foi aplicada até que a seiva do xilema começasse a exudar pela superfície do pecíolo foliar. Nesse momento fechou-se a válvula de controle da pressão e registrou-se a leitura do manômetro. Como a seiva exudada é praticamente água pura, derivada de osmose reversa devido à pressão, o valor negativo da pressão aplicada para forçar a saída de água do xilema correspondeu ao potencial hídrico das células foliares.

3.3. Transpiração das mudas em vaso (TR)

As medidas de transpiração foram realizadas na escala foliar aos 7 meses de idade e com auxílio do equipamento portátil porômetro de difusão de estado estacionário, modelo LI-1600 da LI-COR. Para obter os valores de transpiração, as medições foram realizadas ao longo do dia 06/03/2007, das 7 às 18 horas com três repetições, em intervalos horários. O monitoramento da TR foi realizado em cinco indivíduos, simultaneamente, os quais foram mantidos em diferentes condições de disponibilidade água ou potenciais hídricos.

3.4. Radiação fotossinteticamente ativa (RFA)

A radiação fotossinteticamente ativa (RFA) foi determinada simultaneamente às medições de TR, utilizando-se o sensor acoplado na câmara do porômetro (modelo LI-1600 da LI-COR), perpendicular à luz solar incidente na superfície foliar ao longo do dia de trabalho.

3.5. Relação entre Ψ_b , TR, RFA

A relação entre Ψ_b e TR ao longo do período de medição será realizada por meio da representação gráfica, assim como a verificação do comportamento de TR de cada indivíduo com relação à RFA.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A medida do potencial de base dos cinco indivíduos monitorados são apresentados no Quadro 1. Os cinco indivíduos apresentaram três faixas distintas de Ψ_b . Os valores mais críticos de Ψ_b mostraram-se abaixo do que valores apresentados por outros autores, com plantas de *Eucalyptus*.

Quadro 1 - Valores de potenciais hídricos de base (Ψ_b) para os indivíduos estudados.

Indivíduos	Ψ_b (MPa)
1	-3,15
2	-3,17
3	-1,05
4	-1,03
5	-1,69

Para *E. urophylla* com idade de 26 meses, Gomes (1994) encontrou valores de -0,3 e -0,7 MPa nos períodos de elevada e de baixa disponibilidade de água no solo, respectivamente. Oliveira Neto (1996) observou valores médios de -0,4 MPa na época de maior precipitação e de -0,7 MPa na época de menor precipitação em plantas de *E. camaldulensis*, aos 21 meses de idade. Mielke *et al.* (1999) encontraram uma variação de -0,4 a -1,3 MPa em plantio clonal de *E. grandis* em Aracruz-ES. Chaves *et al.* (2004), verificaram que clones de eucalipto submetidos à irrigação plena apresentaram Ψ_b entre -0,25 a -0,35 MPa, ao passo que para aqueles sob deficiência hídrica, os valores variaram de -0,8 a -1,98 MPa.

De acordo com diversos trabalhos encontrados na literatura, os valores de Ψ_b apresentados neste trabalho são característicos de plantas em estresse hídrico, sendo que, os indivíduos 1, 2 e 5 encontram-se em estresse severo ($> -1,5$ MPa) e 3 e 4 em estresse moderado (-0,5 a -1,5 MPa).

Segundo Larcher (2000), uma boa parte dos processos vitais em plantas é afetada pelo declínio do potencial hídrico.

No período do ensaio, verificou-se uma tendência de menor transpiração nas plantas com menor potencial hídrico. Valores de transpiração média e máxima são apresentados no Quadro 2, enquanto que o comportamento de TR para os 5 indivíduos pode ser observado na Figura 2.

Quadro 2. Valores médios e máximos de transpiração foliar ao longo do dia 06/03/2007.

Indivíduo	TR máxima ($\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	TR média ($\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)
1	0,43	0,25
2	0,39	0,21
3	5,76	4,47
4	6,29	4,01
5	2,70	1,72

Às 7 hs observou-se que a TR dos indivíduos 1 e 2, 4 e 5 tiveram valores semelhantes (0,40 e 0,38; 2,71 e 2,60, respectivamente).

Contudo, ocorre às 8hs um aumento de 23% na TR do indivíduo 4 quando comparado ao 5, apresentando este último, queda de TR com relação ao valor inicial. O distanciamento entre esses dois indivíduos é acentuado a partir das 9 hs, quando o indivíduo 4 atinge um valor de 31 % superior à TR de 5.

Às 10 hs o indivíduo 4 alcança o 3, observando –se comportamentos semelhantes entre esses dois até o fim do dia. Em virtude da defasagem entre a perda de água pela transpiração e a taxa de absorção das raízes, por volta das 9 hs e 10 hs ocorre um decréscimo da TR. Nessa fase, quase sempre ocorre uma diminuição da abertura dos estômatos que, ao recuperarem o potencial hídrico foliar, retornaram a abri-los às 11 hs, iniciando um fechamento constante a partir das 13 hs. Além disso, a alta radiação e elevado déficit de pressão de vapor atmosférico podem estar contribuindo para reduzir o potencial hídrico da folha ao longo do dia.

De uma forma geral, os indivíduos 1 e 2 mostraram-se mais conservativos, mantendo seus estômatos parcialmente fechados ao longo do dia, vindo a apresentar menor consumo de água, podendo ser uma estratégia para evitar a rápida desidratação da planta. Comportamento semelhante foi verificado por Chaves *et al.* (2004). O fechamento parcial dos estômatos das plantas submetidas à deficiência hídrica promove a diminuição da perda de água por transpiração (Schulze, 1986; Kozlowsky & Pallardy, 1996) no caso da limitação de água no solo. Os valores transpiracionais máximos obtidos para esses indivíduos foram 0,43 e 0,39 $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, respectivamente.

Os indivíduos 3 e 4 apresentaram menor restrição da TR com relação aos demais, o que indica um maior consumo de água por eles. Os valores de TR máximos para os indivíduos 3 e 4 foram registrados às 13 hs, com 5,76 e 6,29 $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, respectivamente, cerca de 14 vezes maior que 1 e 2 e 220 % maior que 5, aproximadamente.

Comportamento intermediário foi observado para o indivíduo 5, o qual apresentou TR máxima de 2,70 $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ às 9 hs.

Ao final do dia, por volta das 16 hs, ocorre picos de RFA (Figura 3) que são acompanhados por leves incrementos nos valores de TR. Pode-se observar que conforme ocorre uma queda na RFA, a TR também decresce. Dois exemplos claros desse comportamento são verificados para os indivíduos 1 e 3. Neste momento, à um incremento de 50 % de RFA para o indivíduo 1 acompanhado pelo aumento da TR de 0,18 para 0,39 $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. No caso do indivíduo 3, ocorreu uma suavização da queda da RFA acompanhado da TR. A mesma situação foi observada para o indivíduo 2 às 17 hs, onde também houve um leve incremento da RFA (3 %) mantendo TR do mesmo.

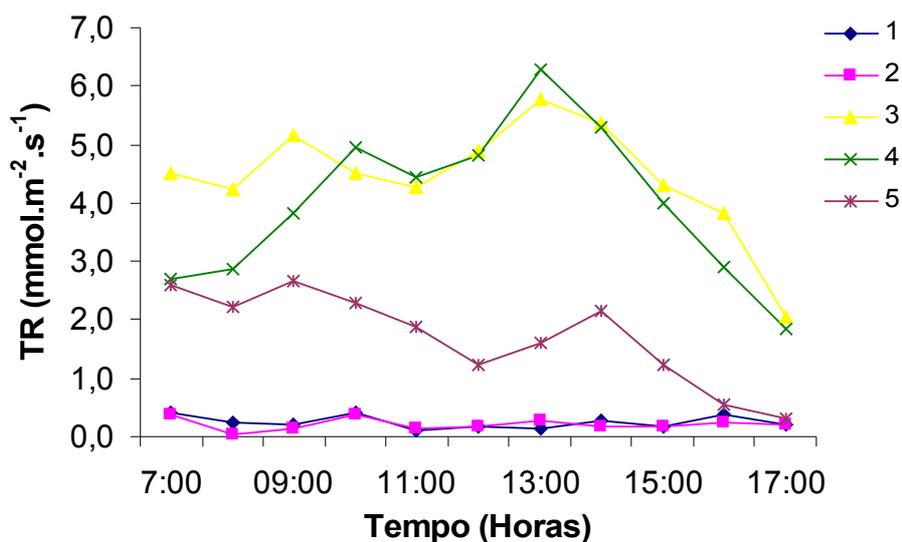


Figura 2 - Transpiração ($\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) dos clones ao longo do dia (06/03/2007).

A RFA apresentou variações de 51 a $2.123 \mu\text{mol.s}^{-1} \text{m}^{-2}$ ao longo do dia de trabalho. Os maiores valores foram registrados no período das 10 às 13 hs.

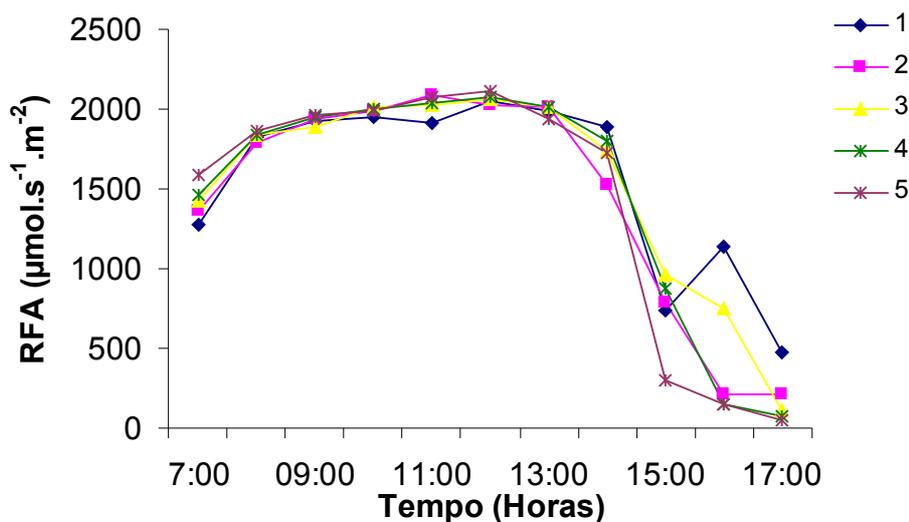


Figura 3 - Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) ao longo do dia (06/03/2007).

As plantas sempre recuperam o potencial hídrico ao final da tarde. Segundo Schulze (1986), o restabelecimento completo ou parcial da turgescência, no final da tarde e à noite, é importante em plantas lenhosas, porque, entre outros aspectos, se a água extraída durante o dia não for repostada à noite, o volume de elementos condutores funcionais poderá ser progressivamente reduzido.

A Figura 4 mostra a relação entre a TR e a RFA. Para os indivíduos 3, 4 e 5 é possível observar aumento da TR com o aumento da RFA. Os indivíduos 1 e 2, no entanto, mostraram-se praticamente indiferentes ao aumento da RFA, mantendo baixa TR, em torno de $0,23 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$.

Possivelmente, essa resposta de indiferença ocorreu porque, com o aumento da radiação solar incidente e, conseqüentemente, da demanda evaporativa da atmosfera, não houve praticamente abertura dos estômatos para evitar maiores perdas de água por transpiração, evidenciando o caráter conservador do clone.

Dessa forma, a manutenção dos estômatos fechados nos indivíduos 1 e 2, mesmo com aumento da RFA, foi uma resposta mais afetada pelas condições hídricas do solo. Nos indivíduos 3, 4 e 5, com um maior suprimento de água, observa-se a tendência de aumento na TR com aumento da RFA, mas com grandes variações na resposta, as quais também devem ter sido resultantes de interações com fatores meteorológicos.

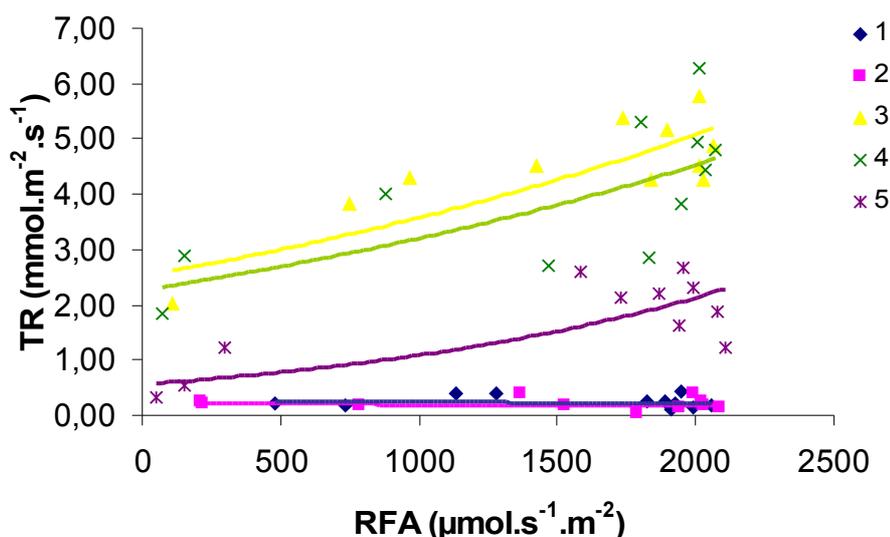


Figura 4 - Relação entre transpiração e radiação fotossinteticamente ativa ao longo do dia (06/03/2007).

Comportamento similares em *Eucalyptus* sp foram verificados em outros trabalhos (Ferreira *et al.*,1999; Chaves, 2001; Chaves *et al.*, 2004).

5 - CONCLUSÃO

O padrão da transpiração em função da radiação fotossinteticamente ativa foi afetado pelo déficit hídrico, de forma que plantas sob estresse mantiveram baixas taxas de transpiração mesmo com o aumento da demanda de evaporação, que neste trabalho foi considerado como indicativo a radiação fotossinteticamente ativa. Isso mostra que o conhecimento do limite de transpiração condicionada ao potencial hídrico foliar, é fundamental para a modelagem deste componente do balanço hídrico das bacias hidrográficas. Notadamente, na faixa de potencial -3MPa os indivíduos de eucalipto mostraram ser insensíveis às alterações da demanda de evaporação. Na faixa de -3MPa a -1,6MPa, a transpiração mostra sensibilidade à demanda de evaporação desaparecendo essa sensibilidade ao longo do dia. Em torno de -1MPa os indivíduos mostraram sensibilidade à

demanda de evaporação em todo o período de medição. Isto não significa que o déficit hídrico também não seja limitante. Nesse experimento, não foi possível determinar em qual faixa de potencial hídrico que a demanda de clima é preponderante à transpiração de eucalipto.

O comportamento da transpiração do clone estudado refere-se somente a um dia de medição. Esses resultados preliminares devem ser comprovados em estudos de períodos mais longos com variabilidade de potencial hídrico e demanda de evaporação. Assim, se torna importante o estudo da transpiração de clones de *Eucalyptus* sp, pois este parâmetro permite elucidar dúvidas sobre diversos componentes inseridos na elaboração de balanço hídrico de bacias hidrográficas com florestas plantadas. O conhecimento da transpiração permitirá a elaboração de modelos de transpiração para esse tipo de vegetação e o conhecimento do funcionamento de um importante componente de saída de água da bacia hidrográfica.

AGRADECIMENTOS

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos e à Votorantim Celulose e Papel pelo apoio.

BIBLIOGRAFIA

- CALDER, I.R. (1992). *Water use of eucalyptus – a review*. In: CALDER, I.R., HALL, R.L., ADLARD, P.G. (Eds.), *Growth and Water Use of Forest Plantations*. Wiley, Chichester, p167-179.
- CAMPINAS. *Prefeitura Municipal de Campinas*. <<http://www.campinet.sp.gov.br/infocida.htm>>, 07/01/2000.
- CHAVES, J.H.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; NEVES, J. C. L.; PEZZOPANE, J. E. M.; POLLI, H. Q. (2004). *Seleção precoce de clones de eucalipto para ambientes com disponibilidade diferenciada de água no solo: relações hídricas de plantas em tubetes*. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.28, n.3, p. 333-341.
- CUEVAS,E.; BAEZA, P.; LISSARRAGUE, J.R. (2006). *Variation in stomatal behaviour and gas exchange between mid-morning and mid-afternoon of north-south oriented grapevines (Vitis vinifera L. cv. Tempranillo) at different levels of soil water availability*. Scientia Horticulturae, 108, p.173–180.
- FAQUHAR, G.D.; SHARKEY, T.D. (1982). *Stomatal conductance and photosynthesis*. Annual Review of Plant Physiology, Palo Alto, v. 33, p. 317-345.
- FERREIRA, L.G.R. (1992). *Fisiologia vegetal: relações hídricas*. Fortaleza: edições UFC, 131p.
- FERREIRA, C.A.G.; DAVIDE, A.C.; CARVALHO, L.R. de. (1999). *Relações hídricas em mudas de Eucalyptus citriodora Hook., em tubetes, aclimatadas por tratamentos hídricos*. CERNE, v.5, n.2, p.95-104.

- GOMES, R.T. (1994). *Efeito do espaçamento no crescimento e nas relações hídricas de Eucalyptus spp. na região de cerrado de Minas Gerais*. 1994. 85f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG.
- JACKSON, R.B.; CARPENTER, S.R.; DAHM, C.N.; MCKNIGHT, D.M.; NAIMAN, R.J.; POSTEL, S.L.; RUNNING, S.W. (2001). *Water in a changing world*. *Ecological Applications* 11:1027-1045.
- JARVIS, P.G.; McNAUGHTON, K.G. (1986). *Stomatal control of transpiration: scaling up from leaf to region*. *Advances in Ecological Research*, 15, p.1-49.
- KOZLOWSKI, T.T.; PALLARDY, S.G. (1996). *Physiology of wood plants*. 2ed. San Diego:[s.n.], 411p.
- KRAMER, P.J. (1983). *Water relations of plants*. San Diego: Academic Press, 419p.
- KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. (1995). *Water relations of plants and soils*. San Diego: Academic Press, 495p.
- LARCHER, W. (1987). *Ecofisiologia vegetal*. 2.ed. São Paulo: EPU, 319p.
- LARCHER, W. (2000). *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos: RIMA, 531p.
- LEITE, F.P. (1996). *Crescimento, relações hídricas, nutricionais e lumínicas em povoamento de Eucalyptus grandis em diferentes densidades populacionais*. 1996. 90f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG.
- LIMA, W.P. (1996) *Impacto Ambiental do eucalipto*. São Paulo: Universidade de São Paulo, 301p.
- LUDLOW, M.M. (1980). *Adaptative significance of stomatal responses to water stress*. In: TURNER & KRAMER (Eds). *Adaptation of Plants to water and high temperature stress*. John-Wiley, p.123-138.
- MANSUR, R.J.C.N.; BARBOSA, D.C.A. (2000). *Comportamento fisiológico em plantas jovens de quatro espécies lenhosas da caatinga submetidas a dois ciclos de estresse hídrico*. *Phyton* 68: p.97-106.
- MARTINEZ-VILALTA, J.; PINOL, J.; BEVEN, K. (2002). *A hydraulic model to predict drought-induced mortality in woody plants: an application to climate change in the Mediterranean*. *Ecological Modelling*, 155 (2–3), p.127–147. 2002.
- MATOS, N.N.; TEXEIRA JUNIOR, A.C.; SILVEIRA, J.A.G. (2003). *Influência do porta-enxerto no comportamento fisiológico de mudas de cajueiro (Anacardium occidentale) submetidas a estresses*. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal - SP, v.25, n.1, p.27-31.
- MIELKE, M.S. (1997). *Regulação fisiológica e ambiental das trocas gasosas num plantio clonal de híbridos de Eucalyptus grandis Hill ex-Maiden*. 1997. 92p. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG.
- NOGUEIRA, R.J.M.C.; MELO FILHO, P.A.; SANTOS, R.C. (1998). *Curso diário do potencial hídrico foliar em cinco espécies lenhosas da caatinga*. *Revista ecossistema*, 23: p.73-77.

- NOGUEIRA, R.J.M., SILVA JR, C.J.F., SILVA, E.C., LEDERMAN, I.E. (2002). *Curso diário das perdas de vapor d'água, da temperatura e do potencial da água da folha em germoplasma de carambola (Averrhoa carambola L.)*. Acta bot. bras. 16(2): p.217-223.
- OLIVA, M.A., LOPES, N.F., FAÇANHA, J.G.V. (1984). *Avaliação da resistência à seca de Eucalyptus spp., mediante termometria a infravermelho*. Revista Árvore, Viçosa, v.8, n.2, p.112-122. 1984.
- PEZZOPANE, J.E.M.; REIS, G.G., REIS, M.G.F., HIGUCHI, P.H., POLLI, H.Q. (2002). *Aspectos ecofisiológicos de algumas espécies arbóreas em uma floresta estacional semidecidual secundária*. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.10, n.2, p.273-281.
- POOK, E.W. (1985). *Canopy dynamics of Eucalyptus maculata Hook. Effects of drought*. Australian Journal of Botany, Victoria, v.33, n.1, p.65-79.
- REIS, G.G., REIS, M.G.F., MAESTRI, M. (1988). *Crescimento e relações hídricas de mudas de Eucalyptus grandis e E. camaldulensis em tubetes sob três regimes de irrigação*. Revista Árvore, Viçosa, v.12, n.2, p.183-195.
- SCHOLANDER, P.F.; HAMMEL, H.T.; BRASDTREET, E.D.; HEMMINGSEN, E.A. (1965). *Sap pressure in vascular plants*. Science, v.148, p.339-346.
- SCHULZE, E.D. (1986). *Whole-plant responses to drought*. Australian Journal Plant Physiology. v.13, n.2, p.127-141.
- SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E OBRAS. Departamento De Águas E Energia Elétrica (DAEE) (1997). *Banco de dados pluviométricos do estado de São Paulo – DAEE*. São Paulo: CD-Rom.
- SILVA, E.C.; NOGUEIRA, R.J.M.C.; NETO, A.D.A.; SANTOS, V.F. (2003). *Comportamento estomático e potencial da água da folha em três espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico*. Acta botanica brasileira, 17(2), p.231-246.
- TEIXEIRA FILHO, A. de J. (2005). *Fluxos de água em espécie de citro (Citrus sinensis L. Osbeck – Laranja Pêra)*. 2005. 322f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, SP.
- TOBIN, M.F.; LOPEZ, O.R.; KURSAR, T.A. (1999). *Responses of tropical understory plants to a severe drought: tolerance and avoidance of water stress*. Biotropica, v.31, p.570–578.
- VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R. (1991). *Meteorologia básica e aplicações*. Viçosa: Imprensa Universitária da UFV, 449p.
- VOTORANTIM CELULOSE E PAPEL – VCP. (2004). *Sustainable growth with value creation and solid returns*. São Paulo: VCP, January-December, 28p.
- WHITEHEAD, D.; BEADLE, C.L. (2004). *Physiological regulation of productivity and water use in Eucalyptus: a review*. Forest Ecology and Management, v.193, p.113-140.

ZIERL, B. (2001). *A water balance model to simulate drought in forested ecosystems and its application to the entire forested area in Switzerland*. Journal of Hydrology, v.242, p.115-136.