

## TRANSPIRAÇÃO E CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA DE *Eucalyptus sp* EM RESPOSTA À RADIAÇÃO GLOBAL E DIFERENTES CONDIÇÕES HÍDRICAS

KELLY CRISTINA TONELLO<sup>1</sup> E JOSE TEIXEIRA FILHO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Prof. Dr. Eng. Florestal, Depto Ciências Ambientais, UFSCar, Rodovia João Leme dos Santos, Km 110 - SP-264, Bairro do Itinga, Sorocaba-SP – Brasil, CEP 18.052-80, [kellytonello@ufscar.br](mailto:kellytonello@ufscar.br);

<sup>2</sup>Prof. Dr. Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Cidade Universitária Zeferino Vaz, Campinas-SP, Brasil. CEP: 13083-875, [jose@feagri.unicamp.br](mailto:jose@feagri.unicamp.br).

### 1 RESUMO

Este trabalho objetivou avaliar a transpiração e condutância estomática de dois clones comerciais de *Eucalyptus sp* associados à radiação global e em diferentes disponibilidades hídricas. Os indivíduos encontravam-se sob a mesma faixa de potencial hídrico foliar antemanhã (0 a -3,0 MPa). Os resultados apontam diferenças de comportamento entre os clones avaliados, sendo que o clone C041 possui um maior controle da transpiração. O clone P4295 apresentou um maior decréscimo da relação da transpiração e condutância estomática por unidade de radiação e os valores foram sistematicamente superiores ao do clone C041. Entretanto, estatisticamente, a relação  $E_{total}/R_{g_{total}}$  mostrou-se diferente somente em potenciais hídricos antemanhã  $< -1,0$  Mpa. O conhecimento da transpiração permitirá a elaboração de modelos de transpiração para essa cultura e o conhecimento do funcionamento de um importante componente de saída de água da bacia hidrográfica.

**Palavras-chaves:** ecofisiologia vegetal, potencial hídrico foliar, trocas gasosas

TONELLO, K.C.; TEIXEIRA FILHO, J.

### LEAF TRANSPIRATION AND STOMATAL CONDUCTANCE OF *Eucalyptus sp* IN RESPONSE TO GLOBAL RADIATION AND DIFFERENT SOIL WATER CONDITIONS

### 2 ABSTRACT

This study had as objective to evaluate transpiration and stomatal conductance of two commercial clones of *Eucalyptus sp* in periods between February and June of 2010. Leaf scale was associated with global radiation ( $R_G$ ) and different levels of water availability. Data on transpiration ( $E$ ) and stomatal conductance ( $GS$ ) of the clones were obtained by porometry and were associated with global radiation. The clones were under the same range of predawn leaf water potential (0 to -3,0 MPa). The results showed significant differences between clones, and the C041 clone had greater control of transpiration. The P4295 clone had a higher decrease of the relation transpiration and stomatal conductance per radiation unity, and the values were consistently higher than those of the C041 clone. However, statistically significant differences were found in the relation  $E_{total}/R_{g_{total}}$  only for predawn water potentials  $< -1.0$  MPa. The understanding of how transpiration works, will enable the construction of transpiration models for this crop and the understanding of an important water leaving component of the watershed.

**Keywords:** vegetal ecophysiology, gas exchange, leaf scale, predawn leaf water potential, *Eucalyptus* hybrid

### 3 INTRODUÇÃO

O gênero *Eucalyptus* é nativo da Austrália e de ilhas da Oceania e em função de características como crescimento rápido e capacidade de resistir ao estresse hídrico têm sido introduzido em diversos países. Devido ao domínio tecnológico da silvicultura e às vantagens ambientais, as florestas plantadas brasileiras alcançam idade de corte para o eucalipto de 5 a 7 anos no setor de celulose, contra períodos em torno de até 50 anos em países de clima temperado (Mendes, 2005).

O crescimento e o desenvolvimento dos vegetais dependem de vários processos fisiológicos controlados pelas condições ambientais, características genéticas de cada espécie vegetal e práticas de manejo. Recentemente são observadas crescentes avaliações na investigação da contribuição dos componentes do balanço hídrico na produtividade do eucalipto, integrando os efeitos do clima e práticas de manejo na produção de madeira de florestas plantadas de eucalipto.

A ecofisiologia vegetal é a ciência que trata dos processos e das respostas vitais das plantas em função das mudanças nos fatores ambientais descrevendo as respostas dos organismos em relação às condições do ambiente e a análise das causas de seus correspondentes mecanismos fisiológicos. Embora muitas espécies do gênero *Eucalyptus* sejam encontradas em condições secas, mudanças drásticas no status hídrico da planta podem influenciar o seu crescimento e respostas fisiológicas (Whitehead & Beadle, 2004). A disponibilidade de radiação solar é um dos fatores que mais limitam o crescimento e desenvolvimento das plantas. Toda energia necessária para a realização da fotossíntese, processo que transforma o CO<sub>2</sub> atmosférico em energia metabólica, é proveniente da radiação solar (Taiz & Zieger, 2004).

A transpiração é influenciada por diversos fatores tais como: clima, espécie, idade da floresta, solo, etc.. Para uma dada espécie, a transpiração depende da resistência superficial dada entre a resistência estomatal e o índice de área foliar (Roberts et al., 1982). A resistência superficial, por sua vez, varia ao longo do dia, e de dia para dia (Stewart, 1981; Whitehead et al., 1981). Pezzopane et al. (2002) avaliaram os aspectos ecofisiológicos de *Siparuna guianensis* localizadas em dossel aberto e no interior de uma floresta estacional semidecidual secundária no município de Viçosa-MG e constataram que para essas espécies, as medições realizadas às 13 hs mostraram elevação de transpiração nos indivíduos localizados em dossel aberto em função do aumento da radiação fotossinteticamente ativa neste horário. Teixeira Filho (2005) observou que a transpiração foliar de *Citrus sinensis* L. Osbeck refletiu as variações tanto da radiação fotossinteticamente ativa foliar, da radiação incidente total, quanto do déficit de pressão de vapor saturado e ainda que, no outono ocorrem as menores temperaturas e umidades relativas do ar, e em contrapartida, as menores transpirações foliares.

Desse modo, este estudo objetivou avaliar influência da radiação global e disponibilidade hídrica com a transpiração e condutância estomática de dois clones comerciais de *Eucalyptus* sp. na escala foliar, como subsídio à modelagem ecofisiológica em bacias hidrográficas com florestas plantadas.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi conduzido na área experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (FEAGRI/UNICAMP), localizada no município de Campinas, Estado de São Paulo, Brasil, entre as coordenadas 22°53'20 "S e 47°04'40" W e altitude média de 640 m. Segundo a classificação de Köppen, a região possui clima de transição entre os tipos Cwa e Cfa, caracterizado como clima tropical de altitude com inverno seco e verão úmido..

Foram utilizadas mudas de 120 dias de idade dos clones C041 e P4295 de eucalipto de uma empresa comercial. O transplante foi realizado para vasos de 100 dm<sup>3</sup> com orifícios circulares em suas faces laterais e inferior, de modo a permitir melhor aeração das raízes e escoar o excesso de água. Como substrato, utilizou-se o composto comercial Biogrow.

As avaliações da transpiração, condutância estomática e potencial hídrico foliar antemanhã tiveram início 120 dias após o transplante. Foram realizadas sete medições, em três indivíduos de cada clone, nas seguintes datas do ano de 2007: 15/02, 05/03, 06/03, 11/04, 12/04, 27/06 e 28/06.

As restrições de água no substrato foram definidas por cinco classes de potencial hídrico (-0,50 a -1,0 MPa, -1,01 a -1,50 MPa, -1,51 a -2,0 MPa, -2,01 a -2,50 MPa e -2,51 a -3,0 MPa).

### 4.2 Potencial hídrico foliar antemanhã ( $\Psi_{pd}$ )

Para o acompanhamento das disponibilidades hídricas no solo, foram realizadas medidas de potencial hídrico antemanhã ( $\Psi_{pd}$ ) utilizando-se uma câmara de pressão de Scholander (Scholander et al., 1965), modelo 3035 (Soil Moisture Equipment Corp., USA) antes do nascer do sol (5h00), em folhas sadias totalmente expandidas. Segundo Chaves et al. (2004), o  $\Psi_{pd}$  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 simultaneamente, três ramos por indivíduo, e para evitar a perda de água por transpiração, as folhas foram cortadas na inserção do pecíolo, envolvidas em filme plástico e acondicionadas sob refrigeração, sendo imediatamente levadas ao Laboratório de Hidráulica da FEAGRI/UNICAMP, onde se procederam as medidas.

### 4.3 Transpiração (E) e condutância estomática (Gs)

As medições da transpiração (E) e condutância estomática (Gs) dos clones de *Eucalyptus* sp. foram realizadas com auxílio de um porômetro portátil de difusão de estado estacionário, modelo LI-1600 da LI-COR. Para tanto, foram coletadas para cada indivíduo três folhas sadias e totalmente expandidas, localizadas no terço médio da copa, expostas à radiação solar por todo período de avaliação. As leituras procederam entre 7h00 e 17h00, em intervalos horários.

#### 4.4 Variáveis meteorológicas

Para avaliação do comportamento da E e Gs dos dois clones em diferentes condições climáticas, definiu-se trabalhar em três estações do ano: verão (caracterizado pelos meses de fevereiro e março), outono (abril) e inverno (junho).

As características climáticas específicas dos dias de medição também foram obtidas da estação meteorológica do CEPAGRI/UNICAMP, localizada a 100 metros dos clones monitorados. A radiação solar global ( $R_G$ ) neste período foi obtida a partir da estação climática automática dotada de um sistema de aquisição de dados Microlloger Campbell Scientific, Inc., modelo CR23X onde a transferência dos dados foi realizada por meio de um módulo de memória SM192, também da Campbell, com interface SC532 para microcomputador operado pelo software PC 208W. Os registros foram obtidos em intervalos de 10 minutos.

#### 4.5 Análises Estatísticas

As respostas dos clones C041 e P4295, em função da E, Gs,  $\Psi_{pd}$  e  $R_G$  foram submetidos à análise de variância, e quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, utilizando *software* Minitab 14.0, desenvolvido pela Universidade da Pensilvânia – Estados Unidos.

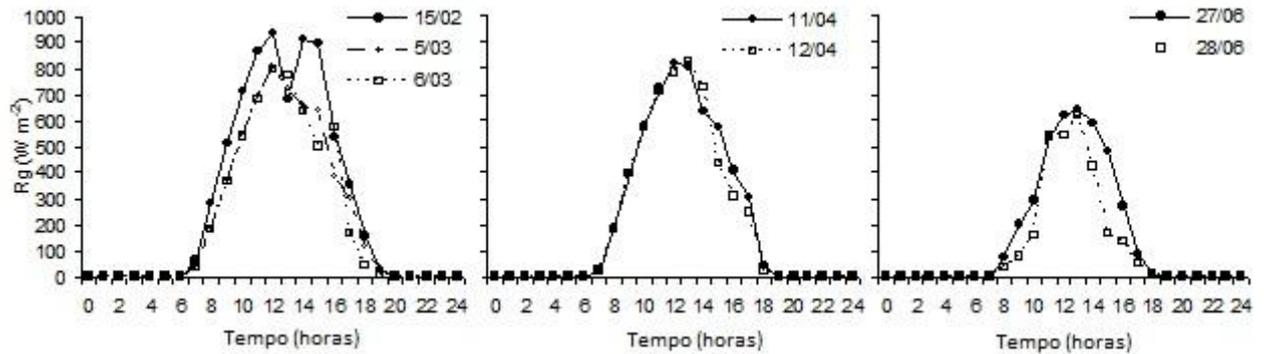
#### 4.6 Relação entre E, Gs, $R_G$ e $\Psi_{pd}$

Com o auxílio do *software* Minitab 14.0, foram elaborados modelos de regressão para estimativas de E e Gs em função da disponibilidade energética ( $R_G$ ) por classe de  $\Psi_{pd}$  e para cada clone. Com as curvas geradas por cada modelo definiu-se o ponto de saturação lumínica para cada situação.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Caracterização climática

A radiação global ( $R_G$ ) apresentou um padrão bem definido, com valores máximos entre 12:00 e 13:00 h (Figura 1). Observa-se ainda a distinção das estações do ano, com a diminuição da quantidade de energia ao longo dos dias de avaliação. Os maiores valores de  $R_G$  foram obtidos nos dias 15 de fevereiro, 5 e 6 de março de 2007, onde os valores máximos ( $R_{G_{max}}$ ) para estes dias foi de aproximadamente  $850 \text{ W.m}^{-2}$ . Na região de Campinas, este período é caracterizado por altos índices de radiação, dias longos e quentes. Tem-se nos dias 11 e 12 de abril de 2007 dias mais curtos e com temperaturas amenas típicas do outono tropical, onde a  $R_{G_{max}}$  registrada foi de  $823 \text{ W.m}^{-2}$ . Já em 27 e 28 de junho, início de inverno, a  $R_{G_{max}}$  observada foi de  $637 \text{ W.m}^{-2}$ , a menor dentre os dias analisados.



**Figura 1.** Evolução diurna da radiação global ( $R_G$ ) incidente no campo experimental da FEAGRI/UNICAMP nos sete dias avaliados.

Os meses de fevereiro e março apresentaram os maiores valores de  $R_{Gtotal}$ , com média de  $0,51 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ , ao passo que no mês de junho, o  $R_{Gtotal}$  foi menor em aproximadamente 45% (média de  $0,28 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ ) (Quadro1).

**Tabela1.** Radiação global total ( $R_{Gtotal}$ ) por dia de avaliação, FEAGRI/UNICAMP. Fevereiro a junho, 2007.

Dia	$R_{Gtotal} (\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1})$
15/02/2007	0,60
05/03/2007	0,48
06/03/2007	0,46
11/04/2007	0,47
12/04/2007	0,45
27/06/2007	0,33
28/06/2007	0,24

## 5.2 Curso diário da E e Gs

De uma forma geral, a  $G_s$  acompanhou a  $E$  (Figuras 2 e 3). Observa-se em várias situações que os maiores valores de  $E$  e  $G_s$  ocorrem no início da manhã, com declínio no decorrer do dia, podendo, em alguns casos, se elevar ao final do período solar. Para  $\Psi_{pd} \geq -1,0 \text{ MPa}$ , foram observados para o clone P4295 os maiores fluxos de transpiração ( $E_{max}$ ) e condutância estomática ( $G_{s,max}$ ), obtendo-se valores até 100% maiores para este clone quando comparado ao clone C041. Cabe destacar o dia 28 de Junho (Figura 2k e 3k) que mostra o comportamento dos dois clones sob a mesma condição de  $\Psi_{pd}$  ( $-0,6 \text{ MPa}$ ). O clone P4295 apresentou valor de  $E_{max}$  próximo de  $4,6 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  às 12:00 h, ao passo que, o clone C041 apresentou  $E_{max}$  de  $2,4 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  às 15:00 h. No entanto, a  $G_{s,max}$  foi obtida em momentos diferentes da  $E_{max}$ , para este mesmo dia. Para o clone P4295,  $G_{s,max}$  ocorreu com  $0,3 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  às 10:00 h, enquanto que para o clone C041, a  $0,1 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  às 8:00 h. Ainda para esta mesma faixa de  $\Psi_{pd}$ , situação semelhante pode ser visualizada no dia 27 de Junho (Figura 2i e 3i), onde o clone P4295 ( $\Psi_{pd} = -0,5 \text{ MPa}$ ) atinge a  $E_{max}$  às 13:00 h e o clone C041 ( $\Psi_{pd} = -0,6 \text{ MPa}$ ) às 15:00 h, com valores de  $5,6$  e  $3,1 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , respectivamente. Ao mesmo tempo, a  $G_{s,max}$  permanece nos mesmos horários do dia 28 de junho, entretanto, com  $0,4$  e  $0,2 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  respectivamente para clone P4295 e clone C041. A maior  $E_{max}$  para o clone P4295 foi observada no dia 5 de março (Figura 2c) às 13:00 h com  $7,4 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  e para o

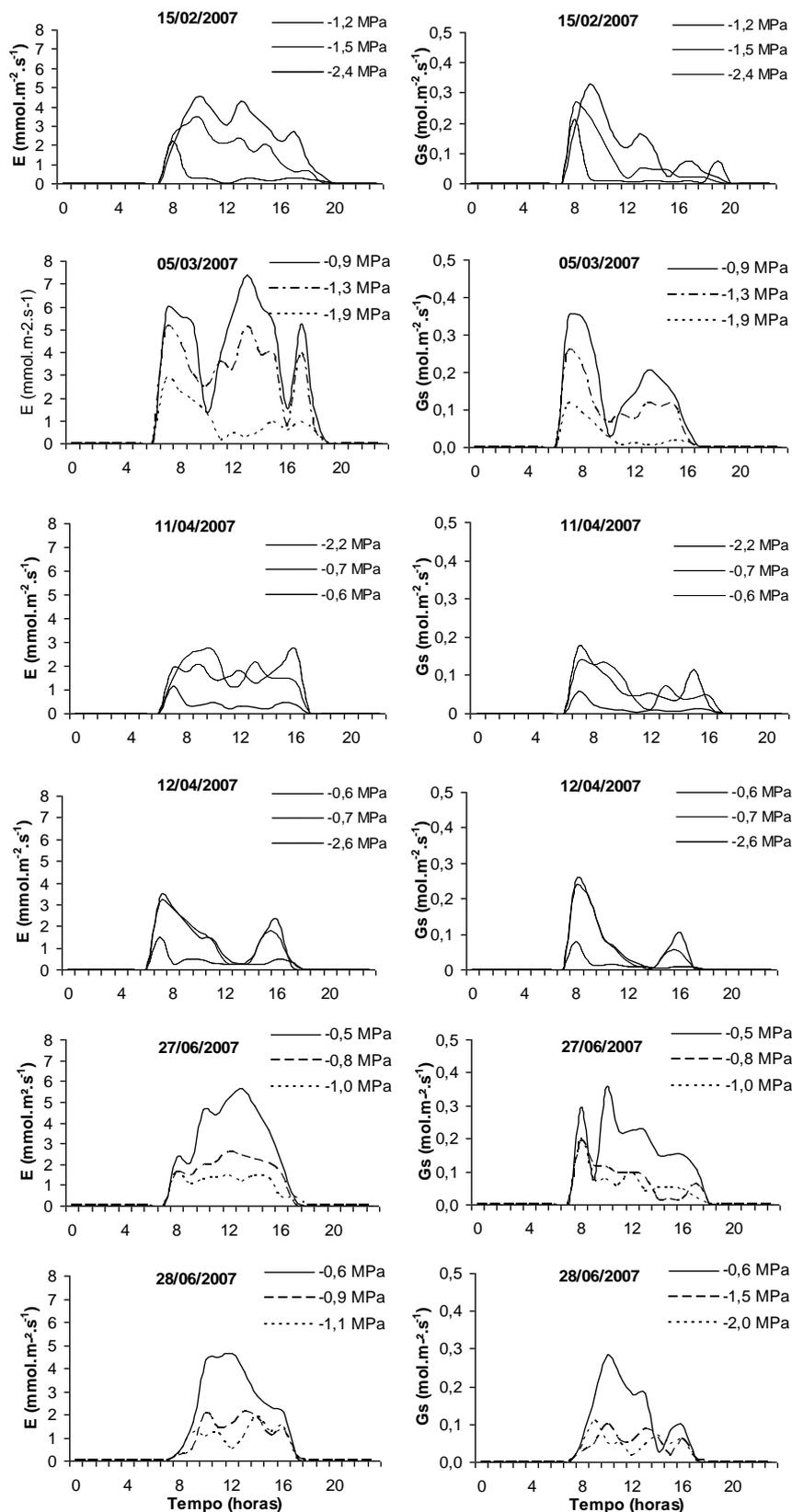
clone C041, no dia 6 de março (Figura 3c) com  $5,8 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , também às 13:00 h. Contudo, observou-se que a  $G_{s_{\max}}$  para ambos foi de  $0,3 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  ocorridos também no início da manhã. Vale ressaltar que mesmo sendo as avaliações em dias diferentes, os valores de  $R_G$  são semelhantes (Figura 1 e Quadro 1).

Quando o  $\Psi_{pd}$  encontrou-se próximo de  $-2,0 \text{ MPa}$ , os valores de  $E_{\max}$  para os clones P4295 e C041 apresentaram-se muito próximos. Esse foi o caso dos dias 5 (clone P4295 =  $-1,9 \text{ MPa}$ ) e 6 de Março (clone C041 =  $-1,7 \text{ MPa}$ ), onde a  $E_{\max}$  foi obtida no início da manhã, com  $2,8$  e  $2,7 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  para P4295 e C041, respectivamente. A menor  $E_{\max}$  foi de  $0,5 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (clone P4295 em 15 de fevereiro e 5 de março de 2007 e clone C041 em 15 de fevereiro) quando o  $\Psi_{pd}$  encontrava-se próximo de  $-2,4 \text{ MPa}$ .

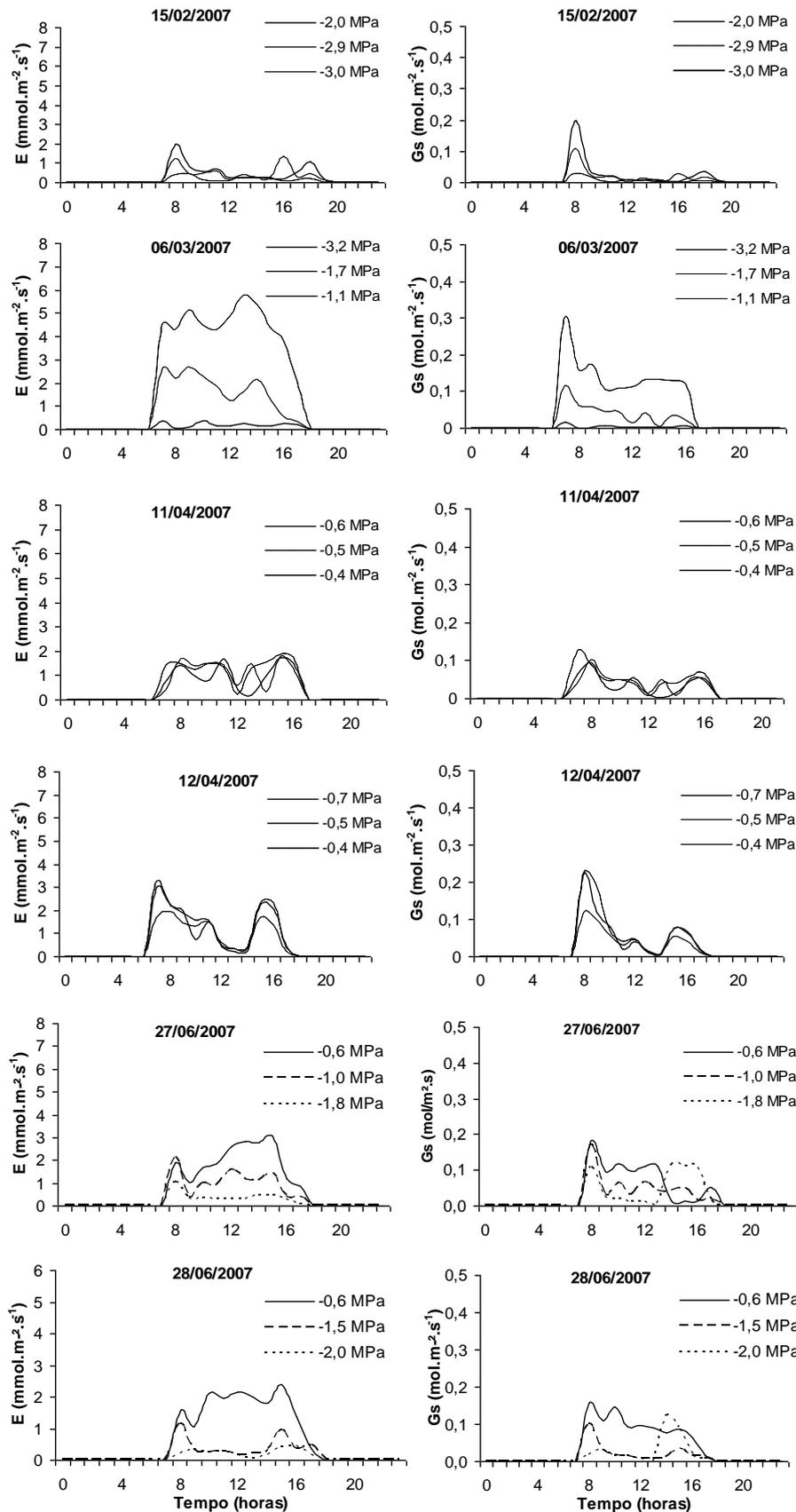
O Quadro 2 permite visualizar a relação diretamente proporcional da transpiração integral ( $E_{\text{total}}$ ) e condutância média diária ( $G_{s_{\text{med}}}$ ) com o  $\Psi_{pd}$ . A maior  $E_{\text{total}}$  foi observada para o clone P4295 no dia 5 de março de 2007, quando este encontrava-se sob  $\Psi_{pd} = -0,9 \text{ MPa}$ , totalizando  $54,9 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ . Para o clone C041, este total foi observado em 6 de março de 2007, quando em  $\Psi_{pd} = -1,1 \text{ MPa}$ , com  $48,8 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ . O menor valor de  $E_{\text{total}}$  foi obtido para o clone C041, nos dias 15 de fevereiro e 6 de março a  $\Psi_{pd} = -3,0 \text{ MPa}$ . Interessante observar a  $E_{\text{total}}$  nos dias 15 de fevereiro e 5 de março para o clone P4295. Nestes dias, o clone apresentou 2 situações semelhantes de  $\Psi_{pd}$ ,  $-1,2$  e  $-1,3 \text{ MPa}$ . Contudo, a  $E_{\text{total}}$  para a condição hídrica mais confortável ( $\Psi_{pd} = -1,2 \text{ MPa}$ ), apresentou valor inferior ( $34,6 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}/\text{dia}$ ) ao dia 5 de Março ( $39,9 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}/\text{dia}$ ). Ainda no dia 28 de Junho, tem-se o clone P4295 com  $\Psi_{pd} = 1,1 \text{ MPa}$ , registrando  $E_{\text{total}}$  de  $9,9 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ , aproximadamente 75% inferior aos valores acima. Esse fato pode estar associado às características climáticas dos respectivos dias, onde ao verificar o Quadro 1, o dia 15 de fevereiro, seguido do dia 28 de Junho apresentaram decréscimo da quantidade de radiação incidente. Não diferente, pode-se observar o mesmo comportamento para o clone C041 nos dias 6 de março (Figura 3c) e 27 de junho (Figura 3i) nos  $\Psi_{pd}$  de  $-1,1$  e  $-1,0 \text{ MPa}$ , respectivamente.

**Tabela 2.** Transpiração integral diária ( $E_{total}$ ) e condutância média diária ( $G_{s_{med}}$ ) para três indivíduos dos clones C041 e P4295 nos dias de avaliação. FEAGRI/UNICAMP, fevereiro a junho 2007.

Data	Clone	$\Psi_{pd}$ (MPa)	$E_{total}$ ( $mmol.m^{-2}.s^{-1}.dia^{-1}$ )	$G_{s_{med}}$ ( $mol.m^{-2}.s^{-1}.dia^{-1}$ )
15 Fevereiro 2007	C041	- 2,0	7,1	0,03
		- 2,9	5,8	0,02
		- 3,0	2,3	0,01
	P4295	- 1,2	34,6	0,13
		- 1,5	21,6	0,08
		- 2,4	4,5	0,03
5 Março 2007	P4295	- 0,9	54,9	0,16
		- 1,3	39,9	0,11
		- 1,9	12,5	0,03
6 Março 2007	C041	- 1,1	48,8	0,13
		- 1,7	18,8	0,04
		- 3,0	2,3	0,00
11 Abril 2007	C041	- 0,5	13,5	0,06
		- 0,5	11,7	0,05
		- 0,6	10,5	0,04
	P4295	- 0,6	18,0	0,08
		- 0,7	17,9	0,07
		- 2,2	4,2	0,02
12 Abril 2007	C042	- 0,4	16,2	0,07
		- 0,5	12,3	0,05
		- 0,7	15,1	0,07
	P4295	- 0,6	16,9	0,08
		- 0,7	15,9	0,07
		- 2,6	4,71	0,02
27 Junho 2007	C041	- 0,6	19,8	0,08
		- 1,0	10,3	0,05
		- 1,8	3,7	0,05
	P4295	- 0,5	35,2	0,20
		- 0,8	18,0	0,08
		- 1,0	11,4	0,07
28 Junho 2007	C041	- 0,6	16,8	0,09
		- 1,5	4,3	0,03
		- 2,0	2,4	0,02
	P4295	- 0,6	26,9	0,13
		- 0,9	12,3	0,05
		- 1,1	9,9	0,05



**Figura 2.** Curso diurno da transpiração (E) e condutância estomática (Gs) em diferentes potenciais hídricos antemanhã ( $\Psi_{pd}$ ) para o clone P4295. Campinas-SP-Brasil, fevereiro a junho de 2007.



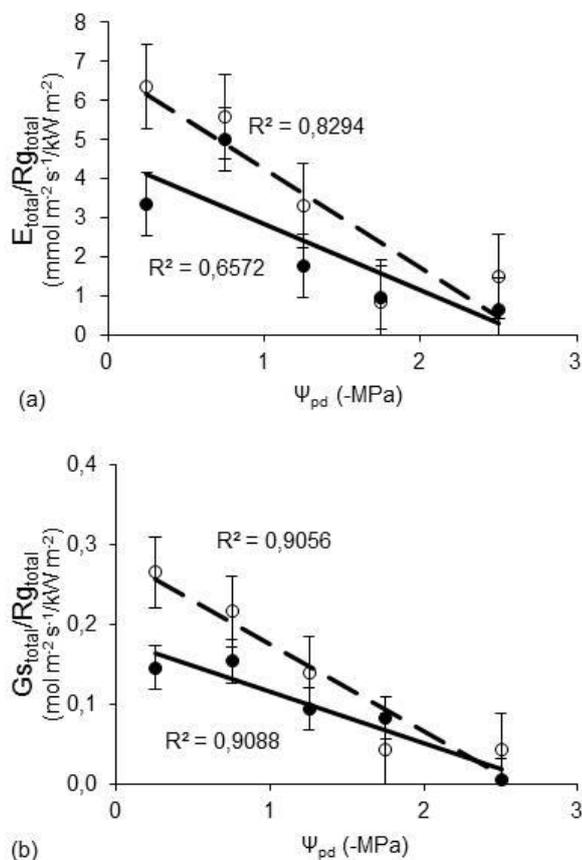
**Figura 3.** Curso diurno da transpiração (E) e condutância estomática (Gs) em diferentes potenciais hídricos antemanhã ( $\Psi_{pd}$ ) para o clone C041. Campinas-SP-Brasil, fevereiro a junho de 2007.

A  $G_{s_{med}}$  acompanhou o declínio do  $\Psi_{pd}$ , obtendo-se até valores nulos, como por exemplo no dia 6 de março. Para a  $G_{s_{med}}$ , o valor máximo foi obtido em 0,20 e 0,13  $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$  para o clone P4295 e C041, respectivamente.

### 5.3 Relação entre $\Psi_{pd}$ , $E_{total}$ , $G_{s_{total}}$ e $R_{G_{total}}$

O potencial hídrico foliar antemanhã variou significativamente por dia de avaliação e clone, obtendo-se situações que variaram de -0,5 a -3,0 MPa.

Para melhor compreender a interdependência entre as variáveis fisiológicas ( $E$  e  $G_s$ ),  $\Psi_{pd}$  e  $R_G$ , foi estabelecida uma razão entre a  $E_{total}$  e  $G_{s_{total}}$  dos valores horários observados e a  $R_{G_{total}}$  do respectivo dia de avaliação dentro de cada classe de  $\Psi_{pd}$ . Com essa razão média, buscou-se excluir a influência da variação do gradiente de concentração de água e  $R_{G_{total}}$  e dessa forma, caracterizar as diferenças de comportamento de difusão em função somente da estrutura e da fisiologia dos clones avaliados. Desse modo,  $E_{total}/R_{G_{total}}$  assim como a  $G_{s_{total}}/R_{G_{total}}$  variaram em função do clone e  $\Psi_{pd}$ . Os indivíduos com menor  $\Psi_{pd}$  apresentaram menores taxas de trocas gasosas (Figura. 4), o que reforça a padrão de comportamento verificado nas Figuras 2 e 3 e Quadro 1. Para ambos os clones, obteve-se uma correlação positiva entre o potencial hídrico foliar antemanhã e  $E_{total}/R_{G_{total}}$  ( $r^2=0,66$  e  $r^2=0,83$  e, clone C041 e P4295, respectivamente). A razão média  $G_{s_{total}}/R_{G_{total}}$  também mostrou correlação positiva com o  $\Psi_{pd}$  ( $r^2=0,91$  para ambos os clones).



**Figura 4.** Relação entre  $E_{total}/R_{G_{total}}$  (a) e  $G_{s_{total}}/R_{G_{total}}$  (b) por centro de classe de ( $\Psi_{pd}$ ) para os clones. ( $P < 0,05$ ). Campo experimental, FEAGRI/UNICAMP, fevereiro a junho, 2007. Média  $\pm$  S.E.

Como pode ser visualizado no Quadro 3, para  $E_{total}/R_{Gtotal}$ , os dois clones são estatisticamente diferentes apenas na faixa de -0,5 a -1,0 MPa. Contudo, não houve diferença estatística entre os clones para  $G_{s_{total}}/R_{Gtotal}$  em qualquer que fosse a faixa de  $\Psi_{pd}$ . Este fato pode estar relacionado à não representatividade do número de observações.

**Tabela 3.** Média  $\pm$  S.E. da  $E_{total}/R_{Gtotal}$  e  $G_{s_{total}}/R_{Gtotal}$  para os clones C041 e P4295 cultivados em vaso em diferentes classes de  $\Psi_{pd}$ . Fevereiro a Junho de 2007.

$\Psi_{pd}$ (MPa)	$E_{total}/R_{Gtotal}$ ( $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}/\text{kW.m}^{-2}$ )		$G_{s_{total}}/R_{Gtotal}$ ( $\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}/\text{kW.m}^{-2}$ )	
	Clone C041	Clone P4295	Clone C041	Clone P4295
-0,5 a -1,0	3,5 $\pm$ 0,5 *	6,5 $\pm$ 1,1 *	0,15 $\pm$ 0,03 <sup>ns</sup>	0,26 $\pm$ 0,05 <sup>ns</sup>
-1,01 a -1,5	5,0 $\pm$ 1,7 <sup>ns</sup>	5,5 $\pm$ 0,9 <sup>ns</sup>	0,15 $\pm$ 0,01 <sup>ns</sup>	0,22 $\pm$ 0,01 <sup>ns</sup>
-1,51 a -2,0	1,8 $\pm$ 0,5 <sup>ns</sup>	3,3 $\pm$ 0,5 <sup>ns</sup>	0,09 $\pm$ 0,01 <sup>ns</sup>	0,14 $\pm$ 0,0 <sup>ns</sup>
-2,01 a -2,5	0,9 $\pm$ 0,08 <sup>ns</sup>	0,9 $\pm$ 0,03 <sup>ns</sup>	0,08 $\pm$ 0,02 <sup>ns</sup>	0,04 $\pm$ 0,01 <sup>ns</sup>
-2,51 a -3,0	0,6 $\pm$ 0,2 <sup>ns</sup>	1,5 $\pm$ 0,6 <sup>ns</sup>	0,00 $\pm$ 0,01 <sup>ns</sup>	0,04 $\pm$ 0,01 <sup>ns</sup>

Dados representam a média  $\pm$  S.E., \* =  $P < 0,05$ , ns = diferença não significativa

Data represent the mean  $\pm$  SE, \* =  $P < 0.05$ , ns = difference not significant

#### 5.4 Relações entre E, G<sub>s</sub>, R<sub>G</sub> e $\Psi_{pd}$

É evidente a correlação entre o mecanismo de E e G<sub>s</sub> com R<sub>G</sub> e  $\Psi_{pd}$ . Para ambos os clones, a E e a G<sub>s</sub> são impulsionadas pelo incremento da R<sub>G</sub> e apresentam os maiores valores quando água disponível no solo está mais facilmente acessível às raízes para sua absorção.

Na comparação do efeito da R<sub>G</sub> sobre a E e G<sub>s</sub>, a Figura 5 registra que a amplitude de resposta entre os clones diminui com a restrição de água, dificultando até mesmo a separação gráfica das curvas, o que reforça as análises apresentadas no Quadro 3. No entanto, nesta mesma Figura, observa-se que o clone P4295 apresenta pontos de saturação lumínica superiores ao clone C041 (Quadro 4), com exceção das faixas de -1,01 a -1,50 e -2,51 a -3,0 MPa, onde a E do clone C041 é impulsionada por maiores níveis de R<sub>G</sub>.

No intervalo de -0,5 a -1,5 MPa, os clones apresentaram um mesmo padrão de resposta da E em função da R<sub>G</sub>, no entanto, diferentes em amplitude.

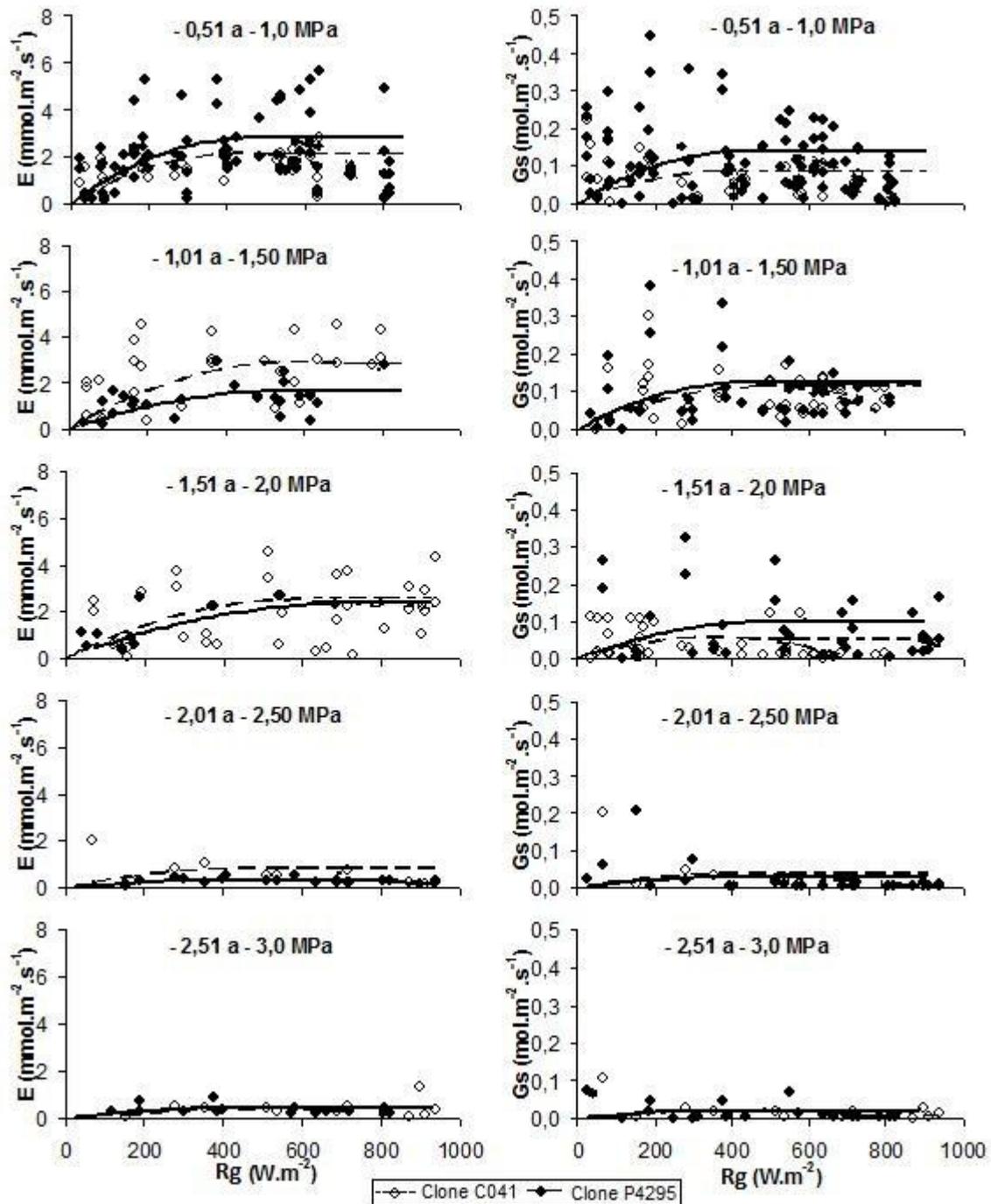
Com relação à G<sub>s</sub>, o Quadro 5 mostra que o clone C041 mantém o ponto de saturação lumínica na média de 587 W.m<sup>-2</sup> no intervalo de  $-1,01 \geq \Psi_{pd} \geq -2,0$  MPa. Outra ocorrência interessante é no intervalo de -1,51 a -3,0 MPa, onde verifica-se que ambos clones possuem respostas semelhantes, não somente da G<sub>s</sub>, mas também da E, dificultando até mesmo a distinção gráfica entre as curvas.

**Tabela 4.** Modelo de regressão para estimar a transpiração (E) em função da radiação global ( $R_G$ ) e ponto de saturação lumínica para os clones C041 e P4295.

$\Psi_{pd}$ (- MPa)	Clone	Modelo de regressão	Ponto de saturação ( $W.m^{-2}$ )
-0,5 a -1,0	C041	$E = -0,000011 * R_G^2 + 0,0097 * R_G$	434
	P4295	$E = -0,000013 * R_G^2 + 0,0120 * R_G$	464
-1,01 a -1,5	C041	$E = -0,0000084 * R_G^2 + 0,0099 * R_G$	589
	P4295	$E = -0,00000508 * R_G^2 + 0,0058 * R_G$	574
-1,51 a -2,0	C041	$E = -0,0000072 * R_G^2 + 0,0085 * R_G$	586
	P4295	$E = -0,0000044 * R_G^2 + 0,0064 * R_G$	730
-2,01 a -2,5	C041	$E = -0,0000036 * R_G^2 + 0,0035 * R_G$	476
	P4295	$E = -0,0000013 * R_G^2 + 0,0014 * R_G$	533
-2,51 a -3,0	C041	$E = -0,0000007 * R_G^2 + 0,0012 * R_G$	858
	P4295	$E = -0,000002 * R_G^2 + 0,0020 * R_G$	513

**Tabela 5.** Modelo de regressão para estimar a condutância estomática ( $G_s$ ) em função da radiação global ( $R_G$ ) e ponto de saturação lumínica para os clones C041 e P4295.

$\Psi_{pd}$ (- MPa)	Clone	Modelo de regressão	Ponto de saturação ( $W.m^{-2}$ )
-0,5 a -1,0	C041	$G_s = -0,0000005 * R_G^2 + 0,0004 * R_G$	421
	P4295	$G_s = -0,000001 * R_G^2 + 0,0006 * R_G$	320
-1,01 a -1,5	C041	$G_s = -0,0000005 * R_G^2 + 0,0005 * R_G$	452
	P4295	$G_s = -0,0000007 * R_G^2 + 0,0006 * R_G$	419
-1,51 a -2,0	C041	$G_s = -0,0000004 * R_G^2 + 0,0003 * R_G$	394
	P4295	$G_s = -0,00000038 * R_G^2 + 0,0004 * R_G$	514
-2,01 a -2,5	C041	$G_s = -0,0000002 * R_G^2 + 0,0002 * R_G$	429
	P4295	$G_s = -0,00000016 * R_G^2 + 0,0001 * R_G$	426
-2,51 a -3,0	C041	$G_s = -0,00000009 * R_G^2 + 0,00009 * R_G$	499
	P4295	$G_s = -0,0000001 * R_G^2 + 0,0001 * R_G$	541



**Figura 5.** Relação entre transpiração (E), condutância estomática (Gs), radiação global ( $R_G$ ) e potencial hídrico foliar antemanhã ( $\Psi_{pd}$ ) para os clones C041 e P4295. Fevereiro a Junho de 2007.

## 6 DISCUSSÃO

O potencial hídrico foliar reflete as condições da dinâmica do processo de transporte no sistema solo-planta-atmosfera, constituindo o principal componente responsável pelo fluxo de água na planta. Desse modo, verificou-se para os dois clones reduções significativas de E e

Gs conforme a restrição de água foi imposta. Os resultados apresentados para o potencial hídrico foliar antemanhã estiveram dentro da faixa de estudo de outros trabalhos. Lima (1993) e Chaves et al. (2004), trabalhando com mudas de espécies de *Eucalyptus* spp. sob estresse hídrico, encontraram valores variando de -0,30 MPa a -2,1 MPa. Poni et al. (2009) observaram que, em videiras na Itália, o  $\Psi_{pd}$  dos indivíduos submetidos a uma certa restrição de água apresentaram valores de -0,28 a -0,37 MPa, sendo estes, significativamente menores quando comparados aos indivíduos sob excedente hídrico. Na Austrália, O'Grady et al. (2008) também encontraram alta correlação da transpiração e condutância máxima e média da copa com o potencial hídrico foliar antemanhã em *Eucalyptus globulus*. Os valores de E e Gs obtidos neste estudo condizem com Ferreira et al. (1999), Lima et al. (2003), Chaves et al. (2004), Tatagiba et al. (2007) e Carneiro (2008).

De acordo com Lima (1996), para plantas que crescem em condições de estresse hídrico moderado, ou mesmo em condições de estação seca do ano, o efeito combinado de vários fatores influem na E e Gs, resultam em geral na ocorrência de um padrão diurno de variação da E e Gs, como o observado na maioria das situações apresentadas nas Figuras 2 e 3. Este padrão diário caracteriza-se pela ocorrência de valores máximos da Gs de manhã cedo e ao final da tarde, com uma característica de diminuição ao redor do meio-dia. Em condições de déficit hídrico severo, a abertura estomática máxima ocorre apenas de manhã cedo, fechando-se ao meio-dia e reabrindo ligeiramente durante a tarde. De acordo com Tenhunen et al. (1987), esse padrão característico de trocas gasosas pelas folhas têm sido observado em uma quantidade considerável de espécies vegetais e bem difundido em espécies florestais tropicais, neste caso, independentemente da disponibilidade de água no solo (Medina, 1983). Como relatado por Costa & Marengo (2007), as oscilações diurnas em E e Gs estão de acordo com Passos et al. (2005) que em *Cocus nucifera* (L.) observaram que os valores de Gs foram maiores nos horários da manhã, o que sugere um efeito do potencial hídrico na condutância estomática. Os resultados deste trabalho também concordam com os relatados por Ferreira et al. (1999) que, em *Eucalyptus citriodora* (Hook), observaram que os maiores valores de condutância estomática ocorrem quando a radiação solar é máxima e o potencial hídrico da folha ainda não atingiu os valores mínimos passíveis de induzir o fechamento estomático. Paralelamente, Cascardo et al. (1993) também constataram que a condutância estomática da seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell.) é máxima quando o teor de água da folha é alto, o que ocorre nas primeiras horas da manhã. O excesso de radiação absorvido pela planta promove um aumento de sua temperatura, proporcionando um incremento no fluxo transpiratório. Quando esse fluxo for maior que o fluxo hídrico da folha, ocorre o fechamento dos estômatos, a fim de evitar que a planta entre em déficit hídrico, o que caracteriza um efeito negativo da radiação na transpiração e na fotossíntese (Taiz & Zieger, 2004).

Como diagnosticado no Quadro 2 e Figura 4, o clone P4295 apresentou as maiores taxas de E e Gs em resposta à  $R_G$ , principalmente em  $\Psi_{pd} \geq -1,5$  MPa, indicando que as atividades fisiológicas são mais bem relacionadas com a  $R_G$  quando comparado ao clone C041. Por outro lado, o clone C041 aparenta ser um clone mais conservador, com maior controle das taxas de trocas gasosas, ou seja, menor perda de água, embora somente tenha sido observado diferença estatística entre os clones nos fluxos de transpiração e no intervalo  $-0,5 \geq \Psi_{pd} \geq -1,0$  MPa (Quadro 3). Este comportamento pode estar relacionado à uma estratégia genética do clone C041 de fuga à seca. Espécies tolerantes à seca apresentam uma tolerância plasmática abaixo do potencial total de água e frequentemente abaixo do potencial osmótico. No entanto, espécies com características de fuga à seca apresentam a faculdade de ultrapassar períodos críticos de déficit hídrico sem necessariamente reduzir significativamente o potencial de água, faculdade esta alcançada por diversos mecanismos, tais como sistema

radicular profundo, eficiente controle estomático da transpiração, derrama das folhas, dentre outros (Medina, 1983). Dessa forma, nas espécies dotadas de ajuste estomático, as perdas de água são reduzidas, mas não evitadas, pelo fechamento parcial dos estômatos à medida que o déficit hídrico se desenvolve, o qual pode atingir valores elevados. Ainda, como os estômatos permanecem parcialmente abertos, a assimilação de gás carbônico não cessa, especialmente de manhã cedo e no final da tarde, quando o déficit de saturação é baixo e a eficiência do uso da água é alto.

## 7 CONCLUSÃO

Os maiores fluxos de transpiração e condutância estomática foram observados no verão, onde também ocorreram os maiores índices de radiação global nos grupos de mesmo potencial hídrico foliar antemanhã. O clone P4295 apresentou um maior decréscimo da relação da transpiração e condutância estomática por unidade de radiação ( $E_{total}/R_{G\ total}$  e  $G_{S\ total}/R_{G\ total}$ , respectivamente) e os valores foram sistematicamente superiores ao do clone C041. Entretanto, estatisticamente, os valores da relação  $E_{total}/R_{G\ total}$  mostraram-se diferentes somente em potenciais hídricos antemanhã  $< -1,0$  MPa e semelhantes na condutância estomática/ $R_{G\ total}$  em qualquer situação hídrica. Os modelos de regressão mostraram que os fluxos de transpiração do clone P4295 possuem saturação lumínica superiores ao clone C041 em potenciais hídricos  $< -1,0$  MPa e entre  $-1,51$  a  $-2,50$  MPa, indicando ser mais sensível à radiação global sob essas condições. Os clones apresentaram comportamentos distintos em algumas condições de radiação global e potencial hídrico foliar antemanhã.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARNEIRO, R. L. C. et al. Consumo de água em plantios de eucalipto: parte 1 determinação da condutância estomática em tratamentos irrigado e não-irrigado. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 1-10, 2008.
- CASCARDO, J. C. M.; OLIVEIRA, L. E. M.; SOARES, A. M. Disponibilidade de água e doses de gesso agrícola nas relações hídricas da seringueira. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 5, p. 31-34, 1993.
- CHAVES, J. H. et al. Seleção precoce de clones de eucalipto para ambientes com disponibilidade diferenciada de água no solo: relações hídricas de plantas em tubetes. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 333-341, 2004.
- COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazônica**, Manaus, v. 37, n. 2, p. 229-234, 2007.
- FERREIRA, C. A. G.; DAVIDE, A. C.; CARVALHO, L. R. Relações hídricas em mudas de *Eucalyptus citriodora* Hook., em tubetes, aclimatadas por tratamentos hídricos. **CERNE**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 95-104, 1999.

LIMA, W. P. **Impacto Ambiental do eucalipto**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1996. 301 p.

LIMA, W. P.; JARVIS, P.; RHIZOPOULOU, S. Stomatal responses of *Eucalyptus* species to elevated CO<sub>2</sub> concentration and drought stress. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 2, p. 231-238, 2003.

MEDINA, E. Adaptations of tropical trees to moisture stress. In.: GOLLEY, F. B. (Ed.). **Tropical rain forest ecosystems: structure and function**. Elsevier Amsterdam, 1983. p. 225-237.

O'GRADY, A. P.; WORLEDGE, D.; BATTAGLIA, M. Constraints on transpiration of *Eucalyptus globulus* in southern Tasmania, Australia. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 148, n.3, p.453-465, 2008.

PASSOS, C. D.; PASSOS, E. E. M.; PRADO, C. H. B. A. Comportamento sazonal do potencial hídrico e das trocas gasosas de quatro variedades de coqueiro-anão. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 248-254, 2005.

MENDES, J. O. **Estratégias e mecanismos financeiros para florestas plantadas**. Roma: FAO, 2005. 68 p.

PEZZOPANE, J. E. M. et al. Ecophysiological characterization of some tree species in a secondary seasonal semideciduous forest in the domain of the Atlantic Forest. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 273-281, 2002.

PONI, S. et al. Performance and water-use-efficiency (single-leaf vs. Whole-canopy) of well-watered and half-stressed split-root Lambrusco grapevines grown in Po Valley (Italy). **Agriculture, Ecosystem and Environment**, v.128 , n.1-3 , p.97-106 , 2009.

ROBERTS, J. M. et al. Physiological studies in young eucalypts stands in Southern India and their use in estimating forest transpiration. In: CALDER, I. R.; HALL, R. L.; ADLARD, P.G. (Ed.). **Growth and water use of forest plantations**. Chichester: John Wiley & Sons, 1982. p. 226-243.

SCHOLANDER, P. F. et al. Sap pressure in vascular plants. **Science**, Washington, v. 148, n. 3, p. 339-346, 1965.

STEWART, J. B. Evaporation from forest. In: IUFRO WORLD CONGRESS, 17., 1981, Japan. **Proceedings...** Japan: IUFRO, 1981. p. 130-138.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artemed, 2004. 719 p.

TATAGIBA, S. D. et al. Comportamento fisiológico de dois clones de *Eucalyptus* na época seca e chuvosa. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 149-159, 2007.

- TEIXEIRA FILHO, A. J. **Fluxos de água em espécies de citrus (*Citrus sinensis* L. Osbeck – Laranja Pêra)**. 2005. 322 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.
- TENHUNEN, J. D.; PEARCY, R. W.; LARANCE, O. L. Diurnal variation in leaf conductance gas exchange in natural environments. In: ZEIGER, E., FARQUHAR, G; COWAN, I. (Ed.). **Stomatal function**. Stanford: Stanford University Press, 1987. p. 323-351.
- WHITEHEAD, D.; BEADLE, C. L. Physiological regulation of productivity and water use in *Eucalyptus*: a review. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 193, n.1 , p.113-140, 2004.
- WHITEHEAD, D.; OKALI, D. U. U.; FASEHUN, F. E. Stomatal response to environmental variables in two tropical forest species during the dry season in Nigeria. **Journal of Applied Ecology**, London, v.18, n.2 , p. 571-87, 1981.