

# VARIABILIDADE DIURNA E SAZONAL DAS TROCAS GASOSAS E DO POTENCIAL DE ÁGUA DAS FOLHAS DE CLONES DE EUCALYPTUS

Sandro Dan Tatagiba<sup>1</sup>, José Eduardo Macedo Pezzopane<sup>2</sup>, Ricardo Miguel Penchel<sup>3</sup>, Edvaldo Fialho dos Reis<sup>4</sup>

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar as variações diurnas e sazonais das trocas gasosas e do potencial de água de dois clones de eucalipto. O experimento foi realizado no município de Mucuri, localizado no Estado da Bahia. Os valores da fotossíntese, da transpiração e do potencial de água nas folhas foram reduzidos durante a época seca em decorrência da deficiência de água no solo, nos dois clones estudados. Durante a época seca, o clone 39 apresentou maior valor de fotossíntese líquida, condutância estomática, eficiência instantânea do uso de água e potencial de água das folhas, em comparação ao clone 15, indicando ser o clone que provavelmente pode alcançar maior crescimento. A temperatura e o déficit pressão de vapor foram as principais variáveis climáticas que contribuíram para a redução da fotossíntese durante a época de seca. A transpiração foi significativamente reduzida pelo déficit pressão de vapor, pela temperatura e pela umidade relativa do ar, e este efeito foi mais evidente na época seca, comparado com a época chuvosa.

**Palavras-chave:** fotossíntese, condutância estomática, transpiração, potencial hídrico foliar.

## ABSTRACT

### Diurnal and seasonal variations in gaseous exchange and leaf water potential of cloned eucalyptus

This study aimed to evaluate the diurnal and seasonal fluctuations in gaseous exchange, and water potential of two eucalyptus clones. The experiment was conducted in the district of Mucuri in the Bahia state. In both clones the photosynthesis, transpiration and leaf water potential decreased during dry season due to low soil water. During the dry period, clone-39 had higher photosynthesis, stomatal conductance, and instant water use efficiency and leaf water potential, compared to the clone-15, indicating the clone this could reach the maximum growth potential. Temperature and insufficient water vapor were the main climatic variables, which contributed to reduced photosynthesis during the dry season. Transpiration was reduced significantly by temperature, relative humidity and the lack of water vapor pressure; these variables were more evident in the dry period, compared to the rainy period.

**Keywords:** photosynthesis, stomatal conductance, transpiration, leaf water potential.

---

Recebido para publicação em 23.01.2007

<sup>1</sup>Engenheiro Agrônomo, MS. em Produção Vegetal (CCA-UFES), Alegre, ES, CEP:29500-000, sandrodantatagiba@yahoo.com.br.

<sup>2</sup>Engenheiro Florestal, Ds., Prof. Adjunto II Deptº de Engenharia Rural (CCA-UFES), Alegre, ES, CEP:29500-000, jemp@cca.ufes.br.

<sup>3</sup>Engenheiro Agrônomo, Ds., Pesquisador, Aracruz Celulose S/A, Aracruz, ES, CEP: 29197-000, rp@aracruz.com.br.

<sup>4</sup>Engenheiro Agrícola, Ds., Prof. Adjunto IV Deptº de Engenharia Rural (CCA-UFES), Alegre, ES, CEP:29500-000, edreis@cca.ufes.br

## INTRODUÇÃO

A caracterização do estado de turgência dos vegetais está intimamente relacionada ao teor de água nos tecidos. Uma maneira de expressar a deficiência de água nesses tecidos, particularmente em folhas, consiste em medir seu potencial de água, ou seu potencial total. Inúmeras variáveis fisiológicas tais como o nível de ácido abscísico, a fotossíntese líquida, a transpiração, a condutância estomática, entre outros, são correlacionáveis com o potencial total de água na planta ou seus componentes; daí, o interesse na avaliação desta variável, em estudos de relações hídricas de plantas (Hsiao, 1973). Segundo Millar et al. (1971), muitos pesquisadores têm dado preferência às determinações do potencial total da água na planta, pois ele influencia mais diretamente os processos metabólicos que qualquer outro parâmetro de avaliação do déficit hídrico. Entretanto, Acevedo et al. (1979) relatam que as medições do potencial de água, isoladamente, não fornecem informações suficientes sobre o impacto do estresse hídrico nos processos fisiológicos, cuja determinação baseia-se no conteúdo de água dos tecidos.

Estudos recentes sobre trocas gasosas em florestas de eucalipto foram realizados por Mielke et al. (1997), Silberstein et al. (2003) e Lane et al. (2004). Também Leuning et al. (2005), estudando o fluxo de carbono e de água em uma floresta de *Eucalyptus* na Austrália, avaliaram a importância da produtividade de uma floresta. Comparando a assimilação anual de carbono na estação chuvosa e na estação seca, verificaram a ocorrência de queda de  $1060 \text{ g C m}^{-2}\text{ano}^{-1}$  para  $360 \text{ g C m}^{-2}\text{ano}^{-1}$ , respectivamente. O baixo fluxo de carbono ocorreu nos meses de menor precipitação pluviométrica.

Mielke (1997), Li et al. (2000) e Lane et al. (2004) reportam que a maioria das espécies de eucalipto, utilizadas em plantios comerciais, apresentam um elevado consumo de água quando este recurso está, facilmente, disponível. Entretanto, à medida que a disponibilidade de água no solo diminui, ocorre controle expressivo da transpiração, a qual é mediada pelo fechamento parcial ou total dos estômatos

(Pereira et al., 1986; Gonçalves, 1992; Roberts et al., 1992).

Este trabalho teve como objetivo avaliar a variação diurna e sazonal das trocas gasosas e potencial de água das folhas de dois clones de eucalipto.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na área de plantios florestais da Aracruz Celulose S.A, na região litorânea de Costa Dourada, localizada no município de Mucuri, extremo sul do

Estado da Bahia. Segundo a classificação climática de Köppen, a região é do tipo As, apresentando precipitações no outono e inverno, que ocorrem em parte do litoral nordestino. Esta região apresenta clima quente e úmido, com valores de temperatura e de precipitação média anual de  $25,5^\circ\text{C}$  e  $1413,3 \text{ mm}$ , respectivamente. Os meses chuvosos estão concentrados no período compreendido entre janeiro e abril (Aracruz Celulose, 2005).

As mudas foram produzidas em tubetes plásticos de aproximadamente 54 ml, pelo método da estaquia. Aos 90 dias de idade, após a produção das mudas, estas foram selecionadas quanto à uniformidade e, posteriormente, plantadas em condições de campo. Foram utilizados dois clones comerciais, produzidos pela Aracruz Celulose S.A, obtidos através do cruzamento de *E. grandis* e *E. urophylla* de diferentes procedências parentais, sendo classificados como 15 e 49. O plantio desses clones foi realizado em maio de 2001. Utilizou-se o espaçamento  $3 \times 3 \text{ m}$ , totalizando  $1.111 \text{ plantas adultas ha}^{-1}$  aproximadamente. As práticas silviculturais de condução da floresta foram realizadas anualmente.

O solo utilizado para o plantio dos clones é classificado como Espodossolo (Embrapa, 1999), sendo originário de rochas do Grupo Barreiras. São muito claros, arenosos, com presença de lençol freático elevado durante períodos de chuvas intensas e são mal drenados devida à presença de uma camada de impedimento (horizonte B espódico) situada à profundidade de 1 m, aproximadamente.

Utilizou-se o delineamento estatístico inteiramente casualizado e estruturado em esquema fatorial 2 x 2, sendo os fatores clones (15 e 39) e as épocas de crescimento (seca e chuvosa). Em todas as campanhas de medição, foram utilizadas vinte e quatro repetições para as trocas gasosas e doze para potencial hídrico foliar.

Para obtenção das variáveis microclimáticas, foi instalada uma estação meteorológica automática em uma torre com aproximadamente 37 m de altura, situada no interior da floresta plantada. Na estação, estavam acoplados sensores de temperatura e umidade relativa do ar (modelo HMP35C; Campbell Scientific), sensores de radiação solar global (modelo SP-Lite; Kipp & Zonen), e sensores de precipitação pluviométrica (modelo TE 5255MM; Texas Eletronics).

O déficit de pressão de vapor do ar ( $\Delta e$ ) foi calculado, com base na diferença entre a pressão de saturação de vapor d' água ( $e_s$ ) e a pressão parcial de vapor ( $e_a$ ) (Pereira et al., 2002), conforme a equação :

$$\Delta e = e_s - e_a \quad (1)$$

A pressão de saturação de vapor ( $e_s$ ) foi calculada, empregando-se a Equação 2, de Tetens:

$$e_s = 0,6108 \times 10^{(7,5 t_a) / (237,3 + t_a)} \quad (2)$$

em que,  $t_a$  é a temperatura do ar, em °C, e  $e_s$  expressa em kPa.

A pressão parcial de vapor ( $e_a$ ) foi calculada por meio da Equação 3 (Pereira et al., 2002), ou

$$e_a = UR\% \times e_s / 100 \quad (3)$$

em que, UR é a umidade relativa do ar, em %.

Foi calculado o balanço hídrico da região de Costa Dourada, segundo Pereira et al. (2002), proposto por Thornthwaite & Mather (1955), a fim de determinar a variação da disponibilidade hídrica no solo ao longo do ano, caracterizando duas épocas, uma seca e outra chuvosa. Para este cálculo, inicialmente considerou-se uma capacidade de água disponível (CAD) de 150 mm, recomendada para espécies florestais.

Desta forma, foi possível identificar os períodos de déficit e excedente hídrico, durante as campanhas de medição das trocas gasosas e do potencial de água nas folhas. A evapotranspiração potencial, para o cálculo do balanço hídrico, foi estimada pelo método simplificado de Camargo (1962).

Durante o período experimental, foram realizadas duas campanhas de medição das trocas gasosas e do potencial de água nas folhas, nas épocas seca e chuvosa, para os dois clones (15 e 39).

Durante a época seca, foi realizada a primeira campanha de medições das trocas gasosas e do potencial de água nas folhas, especificamente nos dias 25 e 26 de junho de 2003, para os clones 39 e 15, respectivamente. No ano seguinte, na época chuvosa, a segunda campanha de medições foi realizada em fevereiro de 2004, especificamente no dia 04 para o clone 15 e no dia 05 para o clone 39.

A fotossíntese líquida e a transpiração foram obtidas com um analisador de gases a infravermelho (modelo Li-6400; LICOR), utilizando-se uma fonte luminosa fixa em  $1500 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  de intensidade de radiação fotossinteticamente ativa.

Valores de fotossíntese líquida, condutância estomática, a transpiração e a eficiência instantânea do uso de água foram obtidos, a partir de medições realizadas na superfície de seis folhas totalmente expandidas, situadas na parte externa do terço superior da copa de quatro árvores. A eficiência instantânea do uso de água foi estimada pelo quociente entre fotossíntese líquida e transpiração, para cada leitura realizada. As leituras foram realizadas ao longo de cinco horários, durante o dia, às 8:00, 10:00, 12:00, 14:00 e 16:00 horas.

Para determinação do potencial de água das folhas, utilizou-se uma bomba de pressão

PMS 1003 (modelo PMS 1003; Instruments Co.), segundo Sholander et al. (1965), em três folhas totalmente expandidas, localizadas na parte externa do terço superior de quatro árvores. O potencial de água das folhas foi avaliado, somente, às 4:30 horas (antemanhã).

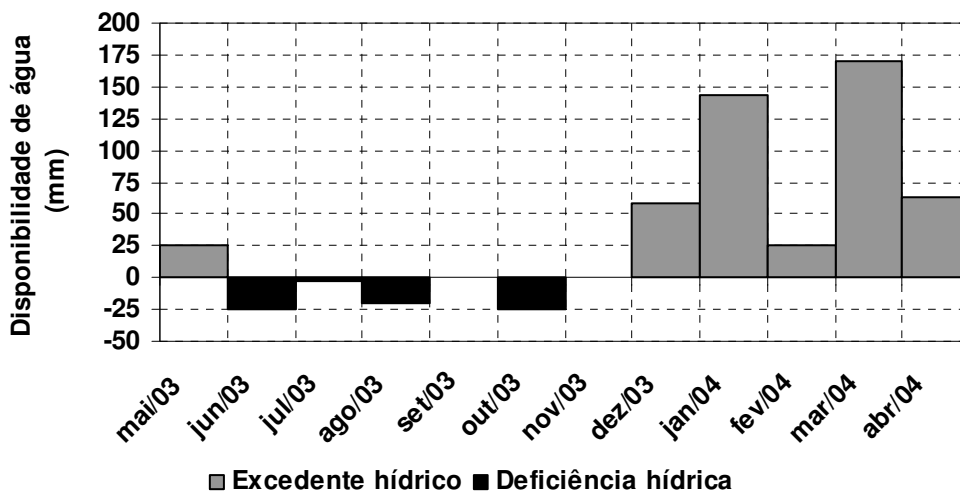
Os dados experimentais das trocas gasosas, obtidas às 10:00 horas e do potencial de água das folhas medido às 4:30 horas, foram submetidos à análise de variância. Posteriormente, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o software SAEG. Esse horário foi escolhido porque a maioria das plantas apresenta maior eficiência na fixação de carbono pela manhã, acentuando as respostas de acordo com a disponibilidade de água no solo. Por outro lado, o potencial de água das folhas medido antemanhã é um indicativo do estado de turgidez das plantas, o qual varia de acordo com a condição hídrica do solo. Finalmente, utilizou-se a correlação linear simples, a fim de estimar o grau de relação entre os pares de variáveis.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

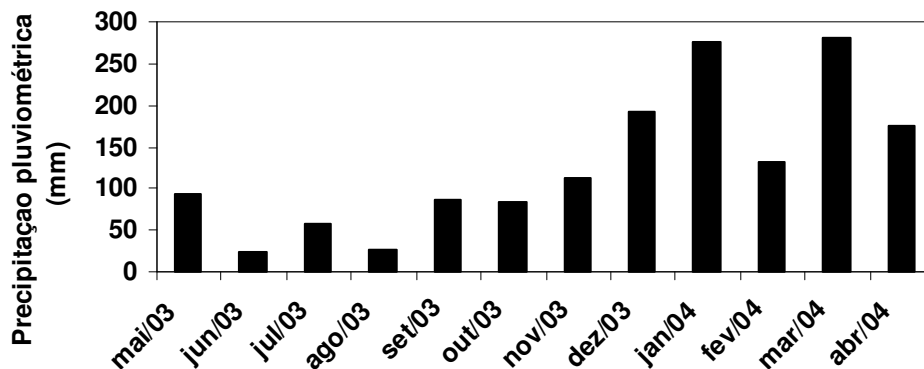
No período de maio de 2003 a abril de 2004, a disponibilidade de água no solo foi

monitorada por meio do balanço hídrico climatológico (Figura 1), sendo caracterizada a precipitação pluviométrica (Figura 2) para a região litorânea de Costa Dourada. Nesta região, encontra-se a floresta formada pelos dois clones em estudo.

Observa-se a ocorrência de deficiência hídrica no solo, no período de junho a novembro de 2003, caracterizando a época seca, em decorrência da baixa precipitação pluviométrica, enquanto nos meses de dezembro de 2003 a maio de 2004 foi verificado um excedente hídrico, devido ao maior índice de chuvas caracterizando, portanto, a época chuvosa. Percebe-se, então, a ocorrência de variação na disponibilidade hídrica do solo ao longo do ano, o que caracteriza duas épocas bastante distintas, sendo uma época seca e outra chuvosa.



**Figura 1.** Balanço hídrico climatológico da região litorânea de Costa Dourada no extremo sul do Estado da Bahia, no período de maio de 2003 a abril de 2004.



**Figura 2.** Precipitação pluviométrica da região litorânea de Costa Dourada no extremo sul do Estado da Bahia, no período de maio de 2003 a abril de 2004.

Na época seca, foram verificadas diferenças estatísticas na taxa fotossintética, na condutância estomática, na eficiência instantânea do uso de água e no potencial de água das folhas, medido na antemanhã, entre os dois clones (Quadro 1). Em relação ao clone 15, o clone 39 apresentou os maiores valores quanto a estas variáveis, mostrando-se mais tolerante à deficiência hídrica. A maior abertura estomática, encontrada no clone 39, pode ter contribuído para maior assimilação de CO<sub>2</sub>, proporcionando maior taxa fotossintética em relação ao clone 15, uma vez que possuía maior turgidez. Em contraste, a transpiração não apresentou diferenças estatísticas entre os clones avaliados.

O clone 39 apresentou maior eficiência instantânea no uso de água na época seca, em relação ao clone 15, devido à maior assimilação do CO<sub>2</sub> durante o período de realização da fotossíntese, apesar de as taxas transpiratórias serem semelhantes nos dois clones. A taxa fotossintética do clone 15 foi cerca de 19,02% menor que a encontrada para o clone 39.

Durante a época chuvosa, foram verificadas diferenças estatísticas na condutância estomática e na transpiração entre os clones. A maior abertura estomática, encontrada no

clone 39, pode ter contribuído para maior perda de água pelas plantas, em comparação com o clone 15. Nessa época, a fotossíntese, a eficiência instantânea no uso de água e o potencial de água nas folhas não apresentaram diferenças estatísticas.

Para ambos os clones, a fotossíntese apresentou diferença estatística entre as épocas estudadas. Aumentos nas taxas fotossintéticas de 44,52 e 54,26% na época chuvosa em relação à época seca, respectivamente para os clones 39 e 15, podem ser atribuídos à maior disponibilidade de água para as plantas. O mesmo aconteceu para a transpiração e para o potencial de água das folhas, no período antemanhã. Na época chuvosa, os clones 39 e 15 apresentaram valores de transpiração cerca de 48,57% e 31,44% maiores aos encontrados durante a época seca. O potencial de água das folhas também foi reduzido em cerca de 55,42% e 62,42% para os mesmos clones durante a época seca. Mielke (1997), analisando o potencial de água das folhas no período antemanhã, observou que árvores de *E. grandis* sofreram uma condição de déficit hídrico moderado, na época de baixa disponibilidade hídrica, coincidindo com os resultados obtidos para os clones 39 e 15.

**Quadro 1** . Valores médios obtidos para fotossíntese líquida (A), condutância estomática (Gs), transpiração (E), eficiência instantânea do uso de água (EUA) e potencial de água nas folhas na antemanhã ( $\psi_h$ ), em dois clones de eucalipto (39 e 15), cultivados sob condições de campo, nas épocas seca e chuvosa

| Fatores              | A  | Gs                                    | E                                      | EUA                           | $\psi_h$ |
|----------------------|--|---------------------------------------|--|-------------------------------|----------|
|                      | ( $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) | ( $\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) | ( $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) | ( $\mu\text{mol.mmol}^{-1}$ ) | (MPa)    |
| <b>Época seca</b>    |  |                                       |  |                               |          |
| Clone 39             | 12,72a                                   | 0,139a                                | 2,34a                                  | 5,47a                         | -5,99b   |
| Clone 15             | 10,30b                                   | 0,093b                                | 2,66a                                  | 3,91b                         | -8,41a   |
| <b>Época chuvosa</b> |  |                                       |  |                               |          |
| Clone 39             | 22,93a                                   | 0,142a                                | 4,55a                                  | 5,03a                         | -2,67a   |
| Clone 15             | 21,52a                                   | 0,118b                                | 3,88b                                  | 5,55a                         | -3,17a   |
| <b>Clone 39</b>      |  |                                       |  |                               |          |
| Época seca           | 12,72b                                   | 0,139a                                | 2,34b                                  | 5,47a                         | -5,99a   |
| Época chuvosa        | 22,93a                                   | 0,142a                                | 4,55a                                  | 5,03a                         | -2,67b   |
| <b>Clone 15</b>      |  |                                       |  |                               |          |
| Época seca           | 10,30b                                   | 0,093b                                | 2,66b                                  | 3,91b                         | -8,41a   |
| Época chuvosa        | 21,52a                                   | 0,118a                                | 3,88a                                  | 5,55a                         | -3,16b   |
| C.V.(%) =            | 12,72                                    | 20,62                                 | 16,87                                  | 13,70                         | 27,05    |

\*Médias seguidas das mesmas letras não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A condutância estomática e a eficiência instantânea no uso de água não apresentaram diferenças estatísticas entre as épocas, para o clone 39 (Quadro 1). É interessante notar que este clone manteve a eficiência de uso da água sob condições de deficiência hídrica no solo. Em contraste, a condutância estomática e a eficiência instantânea no uso de água do clone 15 apresentaram diferenças estatísticas entre as épocas, sendo que a maior abertura estomática e a maior eficiência instantânea no uso de água foram encontradas na época chuvosa. Resultados semelhantes foram obtidos por Pereira et al. (1986), em um plantio de *E. globulus*, sendo observados maiores valores da eficiência instantânea no uso da água durante a época de maior suprimento hídrico no solo, enquanto Mielke (1997) verificou uma tendência de aumento na eficiência instantânea no uso da água à medida que diminuía a disponibilidade hídrica do solo, em um plantio de *E. grandis*.

Li et al. (2000) observaram que mudas de *Eucalyptus microtheca*, procedentes de regiões mais secas, exibiram taxas transpiratórias menores que aquelas de regiões mais úmidas. Para realização do estudo de eficiência no uso de água, o autor utilizou mudas de sítios com diferentes disponibilidades hídricas, situados na Austrália. Este fato sugere a existência de adaptação dos genótipos à variação na disponibilidade hídrica.

A radiação solar apresentou variações diurnas de 171 a 620  $\text{w.m}^{-2}$ , na época seca e de 419 a 941  $\text{w.m}^{-2}$  na época chuvosa (Figuras 3 e 4). Os maiores valores na época seca foram registrados às 14:00 horas e, na chuvosa, entre 12:00 e 14:00 horas. Ressalta-se que, na região litorânea de Costa Dourada, podem ocorrer períodos diurnos totalmente sem nuvens, principalmente durante a época seca.

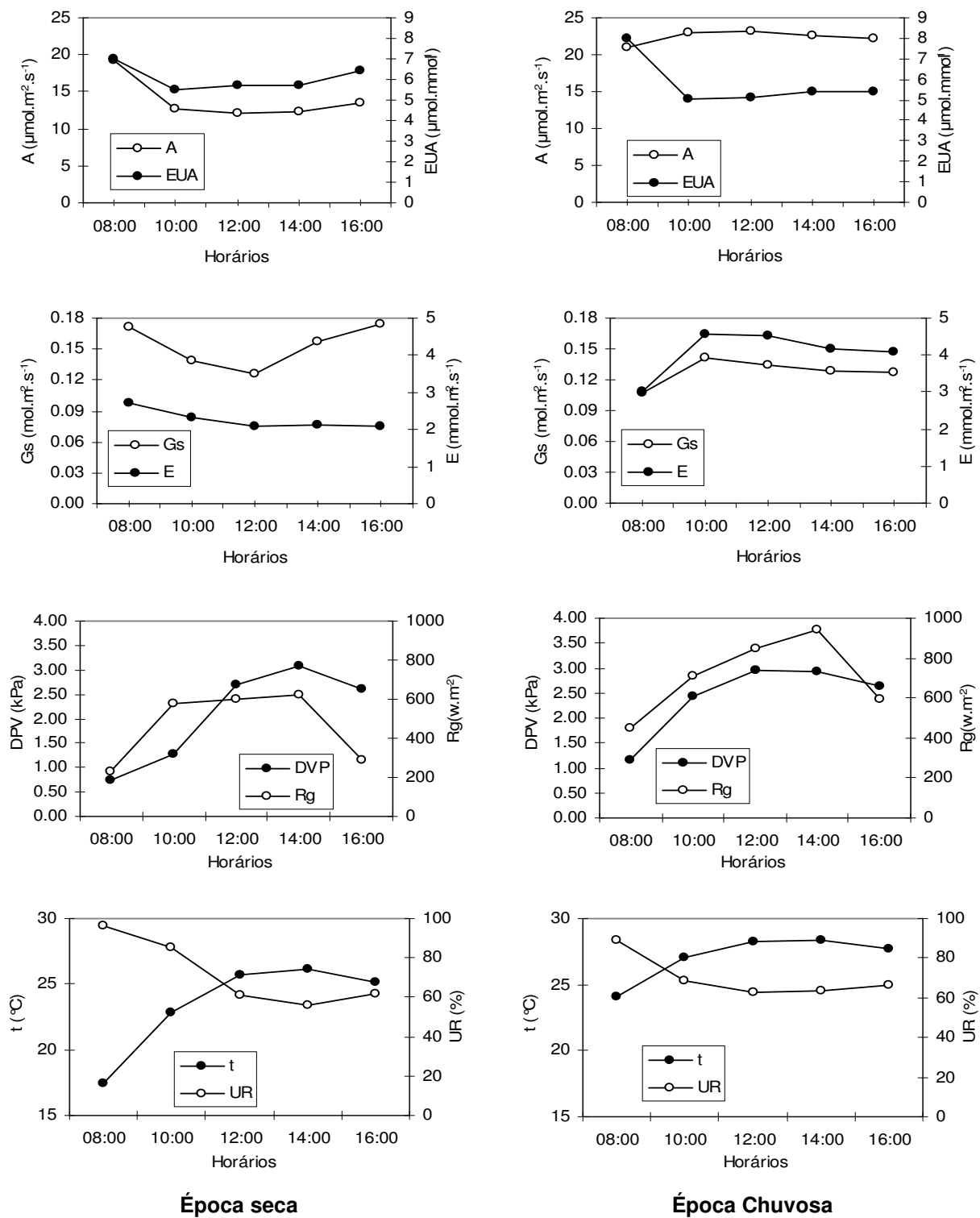
O déficit de pressão de vapor d' água (DPV) variou de acordo com a sazonalidade e ao longo do período

diurno. Os valores médios foram de 0,74 a 3,50 kPa na época seca e de 1,16 a 2,95 kPa na época chuvosa, sendo que os maiores déficits ocorreram nas horas mais quentes do dia.

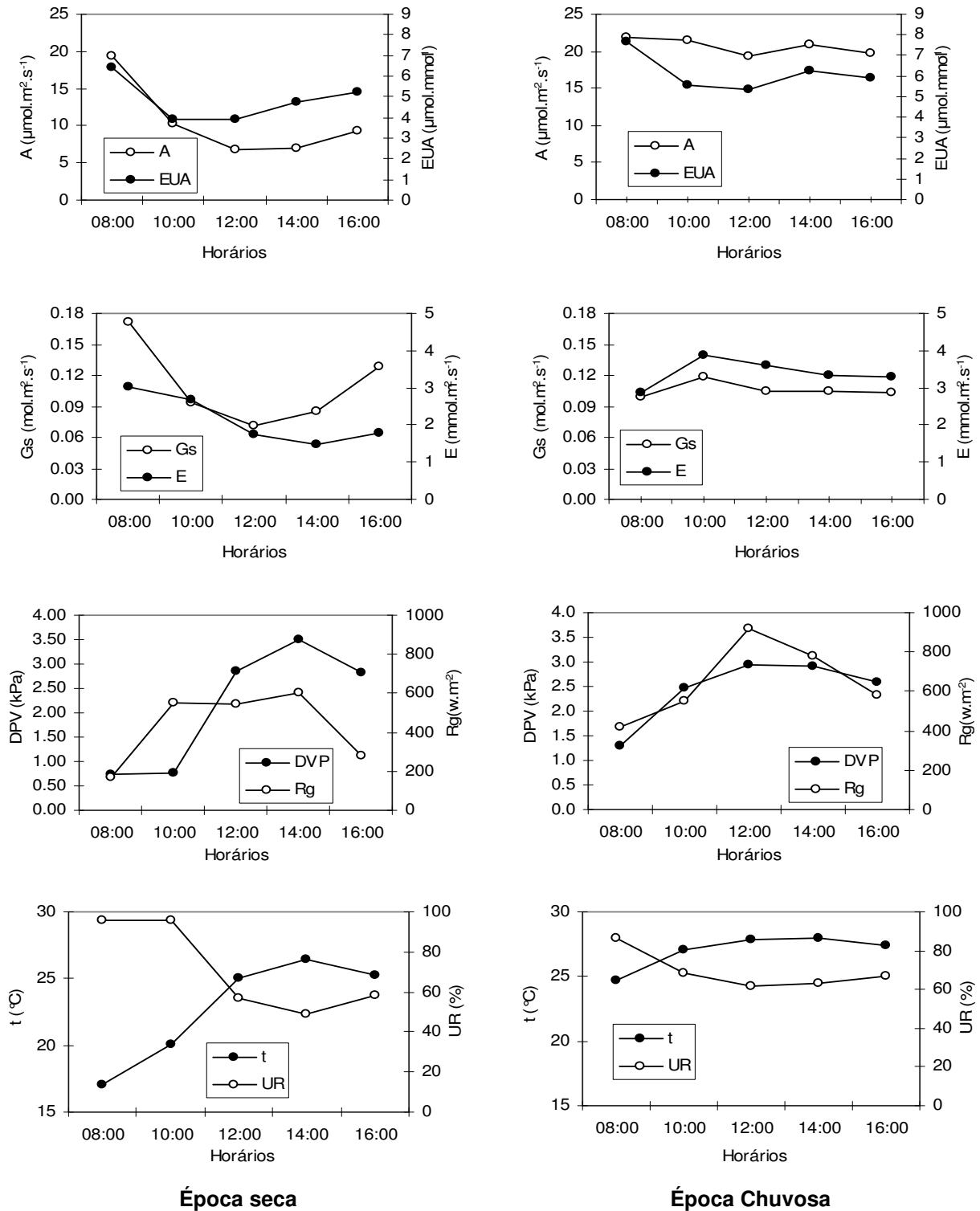
No dia 25/06/2003, representativo da época seca, a temperatura do ar variou de 17,0 a 26,4°C ao longo do período diurno. No dia 05/02/2003, representativo da época chuvosa, os valores situaram-se entre 24,1 a 28,4°C, sendo as máximas temperaturas do ar observadas às 14:00 horas em ambas as épocas.

A umidade relativa mostrou um declínio a partir das 8:00 h, culminando com os baixos valores ao meio do dia e uma recuperação a partir das 14:00 horas. Os valores medidos na época seca situaram-se entre 46% e 96% e, na época chuvosa, entre 62% e 89%. Os altos valores de umidade relativa, encontrados durante a época seca, podem ser atribuídos à proximidade da área experimental com o mar.

Os clones 39 e 15 apresentaram padrões de comportamento diferentes nas duas épocas. Na análise do curso diurno da fotossíntese líquida e da eficiência instantânea no uso de água, durante a época seca, os maiores valores dessas variáveis foram observados para o clone 39 em comparação com o clone 15 (Figuras 3 e 4). As maiores taxas fotossintéticas foram encontradas às 8:00 horas para ambos os clones. Entretanto, nota-se uma queda acentuada na fotossíntese, para o clone 15, a partir desse horário, registrando 6,76  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  às 12:00h. Nesse horário, foram medidos os maiores valores de todas as variáveis climáticas em estudo. Em contraste, a taxa fotossintética do clone 39 manteve-se próxima nos demais horários, registrando o menor valor 12,01  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  também às 12:00 horas. Os maiores valores da eficiência instantânea no uso de água, na época seca, foram registrados às 8:00 horas para ambos os clones, sendo 7,01  $\mu\text{molmmol}^{-1}$  para o clone 39 e 6,40  $\mu\text{molmmol}^{-1}$  para o clone 15.



**Figura 3.** Curso diurno da fotossíntese líquida (A), da eficiência instantânea do uso de água (EUA), da condutância estomática (Gs), da transpiração (E), do déficit de pressão de vapor d' água (DPV), da radiação solar global (Rg), da temperatura do ar (t) e da umidade relativa (UR). Os valores referem-se ao clone 39 e foram obtidos durante as épocas seca (25/06/2003) e chuvosa (5/02/2004).



**Figura 4.** Curso diurno da fotossíntese líquida (A), da eficiência instantânea do uso de água (EUA), da condutância estomática (Gs), da transpiração (E), do déficit de pressão de vapor d' água (DPV), da radiação solar global (Rg), da temperatura do ar (t) e da umidade relativa (UR). Os valores referem-se ao clone 15 e foram obtidos durante as épocas seca (26/06/2003) e chuvosa (4/02/2004).



Na época seca, o curso diurno da abertura estomática, para o clone 39, foi superior ao encontrado para o clone 15. Ao longo da manhã, a transpiração foi semelhante entre os clones. Entretanto, a partir das 12:00 horas, o clone 15 apresentou queda na taxa transpiratória em função do fechamento parcial dos estômatos (Figuras 3 e 4).

A maior abertura estomática, apresentada pelo clone 39 na época seca, pode ter contribuído para o aumento da fotossíntese e da transpiração nesse período. No entanto, a maior assimilação de CO<sub>2</sub> através dos estômatos, em relação à perda de vapor d' água, pode ser uma estratégia que possibilite o maior desempenho desse clone no campo, sob condições de deficiência hídrica. O clone 15 apresentou valores de eficiência instantânea no uso de água inferiores aos encontrados para o clone 39.

Na época chuvosa, os cursos diurnos da fotossíntese e da eficiência instantânea no uso de água, para ambos os clones, apresentaram-se similares. No entanto, a condutância estomática e a transpiração do clone 39 foram maiores que as do clone 15 (Figuras 3 e 4).

A sazonalidade teve grande influência no comportamento das trocas gasosas das plantas, estudadas, sendo bem mais acentuada na época seca. Por outro lado, os clones apresentaram maiores valores das taxas fotossintéticas na época chuvosa, em relação à época seca. Na época chuvosa, os valores mínimos e máximos da fotossíntese líquida para o clone 39 foram 21,10 e 23,12  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  às 8:00 horas e 12:00h, respectivamente. Em contraste, valores de 19,18 e 12,01  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$  foram encontrados na época seca às 8:00 e 12:00h, respectivamente. Observa-se, portanto, o efeito da sazonalidade nas taxas fotossintéticas. Mielke (1997) detectou queda nas taxas fotossintéticas de um plantio de clones de *Eucalyptus grandis*, submetidos a déficit hídrico moderado, a qual esteve relacionada, à variação sazonal das taxas de precipitação pluviométrica.

Nas épocas seca e chuvosa, as eficiências no uso instantâneo de água de ambos os clones alcançaram os maiores valores às 8:00h. Nesse horário, a demanda evaporativa da atmosfera estava menos estressante sobre as plantas. A partir desse horário, o aumento do déficit de pressão de vapor d' água, da radiação solar, da temperatura e o declínio na umidade relativa do ar contribuíram para redução na eficiência do uso

instantâneo de água para as plantas dos dois clones (Figuras 3 e 4).

A condutância estomática apresentou comportamento distinto, nas diferentes épocas, para cada clone. Na época seca, o clone 39 apresentou maior abertura estomática durante o curso diurno, em relação à época chuvosa, embora a perda de água por transpiração tenha sido menor. Para o clone 15 houve grande variação na abertura estomática ao longo do período diurno, durante a época seca, com menor valor registrado às 12:00 horas, enquanto, durante a época chuvosa, a condutância estomática foi semelhante durante o período diurno.

A transpiração foi maior na época chuvosa que na época seca, possivelmente, em decorrência do excedente hídrico encontrado no solo. Na época chuvosa, o clone 39 apresentou transpiração máxima às 12:00 horas, com 4,51  $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$  e o clone 15 às 10:00 horas, com 3,88  $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Na época seca, as transpirações máximas dos clones 39 e 15 foram observadas às 10:00 horas, sendo 2,34  $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$  e 2,66  $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , respectivamente. A maioria das espécies de eucalipto, utilizada em plantios comerciais, apresenta elevado consumo hídrico. Entretanto, à medida que a disponibilidade de água no solo diminui, ocorre controle da transpiração por meio do fechamento parcial ou total dos estômatos (Pereira et al., 1986; Gonçalves, 1992; Roberts et al., 1992; Chaves et al., 2004).

Análises de regressão linear simples foram realizadas entre as variáveis climáticas e as variáveis representativas das trocas gasosas nas épocas seca e chuvosa (Quadro 2 e 3). A fotossíntese líquida dos clones 39 e 15 esteve associada à temperatura do ar, segundo correlações negativas ( $r = - 0,91^*$  e  $r = - 0,95^{**}$ , respectivamente), durante a época seca. Observou-se que a fotossíntese foi reduzida, com o aumento do déficit de pressão de vapor do ar.

Percebe-se, também, efeito marcante da temperatura do ar e do déficit pressão de vapor sobre a transpiração, nos clones de eucalipto, durante as épocas seca e chuvosa. Na época chuvosa, a correlação foi positiva para ambas as variáveis e clones, pois, o aumento da temperatura do ar e do déficit de pressão nesta época contribuiu para aumentos significativos na transpiração, já que o suprimento de água no solo era adequado para as plantas.

Inúmeras publicações têm indicado um efeito significativo do déficit de pressão de vapor sobre a condutância estomática (Pereira et al., 1987; Baldochi et al., 1991; Whitehead & Hinckley, 1991). A modulação da condutância estomática pelo déficit de pressão de vapor é, particularmente, importante para que as plantas possam evitar uma perda excessiva de água, em condições de alta demanda evaporativa da atmosfera. De modo

geral, aparentemente, os efeitos individuais do déficit de pressão de vapor sobre a condutância estomática dos clones de eucalipto demonstraram baixa significância. Este fato pode ser explicado pela alta umidade relativa do ar durante o período experimental, devido à proximidade do mar, proporcionando valores máximos de DPV de 3,50 KPa e 2,95 KPa correspondentes às épocas seca e chuvosa, respectivamente.

**Quadro 2.** Equações de regressão linear e os respectivos coeficientes de correlação (r) entre as variáveis climáticas e a fotossíntese líquida (A), a condutância estomática (Gs), a transpiração (E) e a eficiência instantânea do uso de água (EUA). As análises de regressão foram realizadas com dados obtidos em condições de campo, nas épocas seca e chuvosa, referentes ao clone 39

| Variáveis | Clone 39   |  |
|-----------|--|--|
|           | Época seca   | Época chuvosa  |
| T x A     | A = 31,95 - 0,77T<br>r = - 0,91*                         | A = 12,19 + 0,37T<br>r = 0,78 ns   |
| T x Gs    | Gs = 0,21 - 0,23 x 10 <sup>-2</sup> T<br>r = - 0,44 ns   | Gs = -0,27 x 10 <sup>-1</sup> + 0,56 x 10 <sup>-2</sup> T<br>r = 0,90*   |
| T x E     | E = 3,97 - 0,73 x 10 <sup>-1</sup> T<br>r = -0,97**      | E = -4,32 + 0,31T<br>r = 0,94**  |
| T x EUA   | WUE = 8,95 - 0,12T<br>r = - 0,71 ns                      | WUE = 23,56 - 0,65 T<br>r = - 0,97**                                     |
| UR x A    | A = 4,79 + 0,12UR<br>r = 0,72 ns                         | A = 27,09 - 0,66 x 10 <sup>-1</sup> UR<br>r = - 0,89*                    |
| UR x Gs   | Gs = 0,13 + 0,33 x 10 <sup>-3</sup> UR<br>r = 0,29 ns    | Gs = 0,19 - 0,97 x 10 <sup>-3</sup> UR<br>r = - 0,94**                   |
| UR x E    | E = 1,30 + 0,13 x 10 <sup>-1</sup> UR<br>r = 0,85 *      | E = 7,62 - 0,51 x 10 <sup>-1</sup> UR<br>r = - 0,97**                    |
| UR x EUA  | WUE = 4,89 + 0,16 x 10 <sup>-1</sup> UR<br>r = 0,46 ns   | WUE = -1,79 + 0,11UR<br>r = 0,99**                                       |
| DPV x A   | A = 33,43 - 12,66DPV<br>r = - 0,91*                      | A = 20,13 + 0,94DPV<br>r = 0,82*   |
| DPV x Gs  | Gs = 0,22 - 0,39 x 10 <sup>-1</sup> DPV<br>r = - 0,44 ns | Gs = 0,92 x 10 <sup>-1</sup> + 0,14 x 10 <sup>-1</sup> DPV<br>R = 0,92*  |
| DPV x E   | E = 4,12 - 1,20DPV<br>r = - 0,97**                       | E = 2,17 + 0,75DPV<br>r = 0,96**   |
| DPV x EUA | WUE = 9,19 - 2,01DPV<br>r = - 0,71 ns                    | WUE = 9,72 - 1,58DPV<br>r = - 0,98**                                     |
| Rg x A    | A = 19,79 - 0,13 x 10 <sup>-1</sup> Rg<br>r = - 0,80 ns  | A = 20,14 + 0,32 x 10 <sup>-2</sup> Rg<br>r = 0,74 ns                    |
| Rg x Gs   | Gs = 0,19 - 0,79 x 10 <sup>-4</sup> Rg<br>r = - 0,77 ns  | Gs = 0,96 x 10 <sup>-1</sup> + 0,43 x 10 <sup>-4</sup> Rg<br>r = 0,75 ns |
| Rg x E    | E = 2,65 - 0,87 x 10 <sup>-3</sup> Rg<br>r = - 0,66 ns   | E = 2,35 + 0,23 x 10 <sup>-2</sup> Rg<br>r = 0,79 ns                     |
| Rg x EUA  | WUE = 7,51 - 0,31 x 10 <sup>-2</sup> Rg<br>r = - 0,94**  | WUE = 9,17 - 0,46 x 10 <sup>-2</sup> Rg<br>R = - 0,76 ns                 |

ns, \*e\*\* não significativo e significativo a 5% e 1% de probabilidade

**Quadro 3.** Equações de regressão linear e os respectivos coeficientes de correlação (r) entre as variáveis climáticas e a fotossíntese líquida (A), a condutância estomática (Gs), a transpiração (E) e a eficiência instantânea do uso de água (EUA). As análises de regressão foram realizadas com dados obtidos em condições de campo, nas épocas seca e chuvosa, referentes ao clone 15

| Variáveis | Clone 15  |   |
|-----------|---|---|
|           | Época seca  | Época chuvosa   |
| T x A     | A = 38,86 - 1,22T<br>r = - 0,95**                                       | A = 36,59 - 0,59T<br>r = - 0,75 ns  |
| T x Gs    | Gs = 0,30 - 0,83 x 10 <sup>-2</sup> T<br>r = - 0,83*                    | Gs = 0,57 x 10 <sup>-1</sup> + 0,17 x 10 <sup>-2</sup> T<br>r = 0,75 ns   |
| T x E     | E = 6,32 - 0,18T<br>r = - 0,95**  | E = -1,46 - 0,17T<br>r = 0,87*  |
| T x EUA   | WUE = 7,77 - 0,13T<br>r = 0,25 ns                                       | WUE = 21,52 - 0,56T<br>r = - 0,90*  |
| UR x A    | A = -2,88 + 0,19UR<br>r = 0,85*   | A = 14,83 + 0,82 x 10 <sup>-1</sup> UR<br>r = 0,77 ns                     |
| UR x Gs   | E = 0,19 x 10 <sup>-1</sup> + 0,14 x 10 <sup>-2</sup> UR<br>R = 0,79 ns | Gs = 0,12 - 0,23 x 10 <sup>-3</sup> UR<br>r = - 0,77 ns                   |
| UR x E    | E = -0,14 + 0,32 x 10 <sup>-1</sup> UR<br>r = 0,99**                    | E = 5,03 - 0,24 x 10 <sup>-1</sup> UR<br>r = - 0,90*                      |
| UR x EUA  | WUE = 3,86 + 0,14 x 10 <sup>-1</sup> UR<br>r = 0,31 ns                  | WUE = 0,79 + 0,78 x 10 <sup>-1</sup> UR<br>R = 0,92*                      |
| DPV x A   | A = 18,26 - 3,43DPV<br>r = - 0,85*                                      | A = 23,49 - 1,21DPV<br>r = - 0,76 ns                                      |
| DPV x Gs  | Gs = 0,17 - 0,24 x 10 <sup>-1</sup> DPV<br>r = - 0,79ns                 | Gs = 0,95 x 10 <sup>-1</sup> + 0,34 x 10 <sup>-2</sup> DPV<br>r = 0,75 ns |
| DPV x E   | E = 3,46 - 0,58DPV<br>r = - 0,99**                                      | E = 2,44 + 0,36DPV<br>r = 0,89*   |
| DPV x EUA | WUE = 5,36 - 0,24DPV<br>r = -0,30 ns                                    | WUE = 9,03 - 1,49DPV<br>r = - 0,91*                                       |
| Rg x A    | A = 19,54 - 0,20 x 10 <sup>-1</sup> Rg<br>r = - 0,74ns                  | A = 22,93 - 0,37 x 10 <sup>-2</sup> Rg<br>r = - 0,68 ns                   |
| Rg x Gs   | Gs = 0,19 - 0,17 x 10 <sup>-3</sup> Rg<br>r = - 0,81*                   | Gs = 0,99 x 10 <sup>-1</sup> + 0,69 x 10 <sup>-5</sup> Rg<br>R = 0,44 ns  |
| Rg x E    | E = 2,88 - 0,16 x 10 <sup>-2</sup> Rg<br>r = -0,39 ns                   | E = 2,63 + 0,10 x 10 <sup>-2</sup> Rg<br>r = 0,75 ns                      |
| Rg x EUA  | WUE = 6,85 - 0,47 x 10 <sup>-2</sup> Rg<br>r = - 0,87*                  | WUE= 8,35 - 0,32 x 10 <sup>-2</sup> Rg<br>R = - 0,76 ns                   |

ns, \*e\*\* não significativo e significativo a 5% e 1% de probabilidade

Mielke (1997) também verificou fraca correlação entre o déficit de pressão de vapor, a condutância estomática e a fotossíntese, em um plantio de clones *E.grandis* na região de microbacia no norte do Estado do Espírito Santo.

É importante notar a associação positiva entre a umidade relativa do ar e a transpiração durante a época seca, para os dois clones (Quadros 2 e 3). À medida que a umidade relativa aumentava, a transpiração atingia os maiores valores. Schulze et al. (1972) consideraram que a baixa umidade do ar atua no fechamento estomático e, em contraste, a alta umidade promove a abertura dos

estômatos, contribuindo para maior transpiração das plantas.

A eficiência no uso de água dos dois clones correlacionou-se, negativamente, com a temperatura e com o déficit de pressão de vapor d' água e, positivamente, com a umidade relativa do ar durante a época chuvosa (Quadros 2 e 3). À medida que aumentava a temperatura e o déficit de pressão de vapor d' água, durante a época chuvosa, a eficiência no uso de água atingia os menores valores, por outro lado, à medida que aumentava a umidade do ar, a eficiência no uso de água atingia os maiores valores.

As variações da temperatura, do déficit pressão de vapor e da umidade relativa explicaram, respectivamente, 97%, 98% e 99% das variações ocorridas na eficiência do uso de água do clone 39, durante a época chuvosa. Para o clone 15, os percentuais foram de 90%, 91% e 92%, respectivamente.

De modo geral, a radiação solar exibiu baixa correlação com as trocas gasosas (Quadros 2 e 3), mostrando pouca interferência sobre transferências de CO<sub>2</sub> e de vapor d' água dos clones de eucalipto.

## CONCLUSÕES

- Durante a época seca, o déficit hídrico no solo atuou na regulação do comportamento das trocas gasosas nos dois clones, restringindo a fotossíntese líquida e a transpiração, além de diminuir o potencial de água nas folhas das plantas de eucalipto. Nas duas épocas, a eficiência no uso de água foi similar para o clone 39, enquanto o clone 15 apresentou maior eficiência durante a época chuvosa, possivelmente, devido a maior abertura estomática.
- A temperatura do ar e o déficit pressão de vapor d' água foram as principais variáveis climáticas, que afetaram a redução da fotossíntese durante a época de seca.
- O déficit pressão de vapor, a temperatura e a umidade relativa do ar afetaram, significativamente, a transpiração dos dois clones, sendo este efeito pronunciado tanto na época seca quanto na chuvosa.
- Durante a época seca, o clone 39 apresentou os maiores valores de taxa fotossintética, de condutância estomática, de eficiência instantânea no uso de água e de potencial de água das folhas, em comparação ao clone 15, indicando maior potencial de crescimento sob condições de deficiência hídrica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEVEDO, E.T.C.; FERERES, E.; HSIAO, T.C.; HENDERSON, D.W. Diurnal growth trends, water potential and osmotic adjustment of maize and sorghum leaves in the field. **Plant Physiology**, Rockville, v.64, p.476-480, 1979.

ARACRUZ CELULOSE S.A. **Dados climáticos**, Aracruz: 2004 (Relatório interno).

BALDOCHI, D.D.; LUXMOORE, R.J.; HATFIELD, J.L. Discerning the Forest from the trees: an essay on scaling canopy stomatal conductance. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.54, p.197-226, 1991.

CHAVES, J.H.; REIS, G.G.; R, M.G.F.; NEVES, J.C.L.; PEZZOPANE, J. E. M., POLI, H. Q. Early selection of eucalypt clones to be planted in environments with varying soil water availability: water relations of plants in small size plastic tubes. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.3, p.333-341, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: 1999. 412p.

GONÇALVES, M.R. **Crescimento, acúmulo de nutrientes e temperatura da copa de cinco espécies de *Eucalyptus* spp. Sob dois regimes hídricos**. Viçosa : UFV. 1992. 84f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1992.

HSIAO, T.C. Plant responses to water stress. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v.24, p.519-570, 1973.

LANE, P. N. J.; MORRIS J.; NINGNAN. Z.; GUANGYI, Z.; GUOYI, Z AND DAPING, X. Water balance of tropical eucalypt plantations in south-eastern China. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.124, p.253-267, 2004.

LEUNING, R.; CLEUGH, H.A.; ZEGELIN, S.J.; HUGHES, D. Carbon and water over a temperature *Eucalyptus* forest and a tropical wet/dry savanna in Australia: measurements and comparison with modis remote sensing estimates. **Agricultural and Forest Meteorology**. Disponível em: <[www.publish.csiro.au/?act=view\\_file&file\\_id=BT04147.pdf](http://www.publish.csiro.au/?act=view_file&file_id=BT04147.pdf)>. Acesso em: 12 feb. 2005.

LI, C.; BERNINGER, F.; KOSKELA, J.; SONNINEN, E. Drought responses of *Eucalyptus microtheca* provenances depend on seasonality of rainfall in their place of origin. **Australian Journal of Plant Physiology**, Victoria, v.27, n.3, p.231-238, 2000.

MIELKE, M.S. **Regulação fisiológica e ambiental das trocas gasosas num plantio clonal de híbridos de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden**. Viçosa: UFV, 1997. 92f. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

MILLAR, A.A.; GARDNER, W.R.; GOLTZ, S.M. Internal water status and water transport in seed onion plants. **Agronomy Journal**, Madison, v.63, n.2, p.779-784, 1971.

PEREIRA, J.S.; TENHUNEN, J.D.; LANGE, O.L et al. Seasonal and diurnal patterns in leaf gas Exchange of *Eucalyptus globules* trees growing in Portugal. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v.16, p.177-184, 1986.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia**

**fundamentos e aplicações**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

ROBERTS, J.M.; ROSIER, P.T.W.; SRINIVASA MURTHY, K.V. 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, 1992. p. 226-243.

SHOLANDER, P.F.; HAMMEL, H.T.; BRADSTREET, E.D.; HEMMINGSEN, E.A. Sap pressure in vascular plants. **Science**, Cambridge, v.148, 1965. p.339-346.

SCHULZE, E.D.; LANGE, O.L.; BUSCHBOM, H.; KAPPEN, L.; EVENARI, M. Stomatal responses to changes in humidity in plants growing in the desert. **Planta**, Berlin, v.108, p.259-270, 1972.

WHITEHEAD, D.; HINCKLEY, T.M. Models of water flux through forest stands: critical leaf and stand parameters. **Tree Physiology**, Victoria, v.9, p. 35-57, 1991.