

ÁREAS BÁSICAS

VARIAÇÃO SAZONAL DAS TROCAS GASOSAS EM FOLHAS DE MAMOEIRO CULTIVADO EM CONDIÇÕES DE CAMPO ⁽¹⁾

JOSÉ ALTINO MACHADO FILHO ⁽²⁾; ELIEMAR CAMPOSTRINI ⁽³⁾;
OSVALDO KIYOSHI YAMANISHI ⁽⁴⁾; GENI RODRIGUES FAGUNDES ⁽⁵⁾

RESUMO

Na região do cerrado baiano, que se caracteriza por apresentar duas estações definidas: estação das secas (maio a setembro) e estação chuvosa (outubro a março), foi efetuado um estudo em um plantio comercial de *Carica papaya* L. com plantas do grupo 'Solo' (Sunrise Solo) e do grupo 'Formosa' (Tainung 01). Foram realizadas em duas épocas, sendo uma considerada época seca (julho e setembro) e a outra época considerada chuvosa (novembro e janeiro), por meio de um analisador de gases a infravermelho medidas da taxa fotossintética líquida (A), condutância estomática (g_s) e transpiração instantânea (E) em folhas completamente expandidas e crescidas a pleno sol. Nesses horários, foi possível medir a densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) e a temperatura do ar dentro da câmara (T_{ar}). A partir dos valores de A e g_s , obteve-se a eficiência intrínseca no uso da água (A/g_s). Em julho e setembro, nos dois genótipos estudados, foi verificado que os altos valores de DPV_{ar} causaram redução de g_s e conseqüentemente redução de A quando comparado à estação chuvosa. A redução em g_s causou elevação na eficiência intrínseca no uso da água. A ação do DPV_{ar} nas trocas gasosas foi semelhante nos dois genótipos.

Palavras-chave: fotossíntese, condutância estomática, densidade de fluxo de fótons fotossintéticos, déficit de pressão de vapor.

ABSTRACT

SEASONAL VARIATION OF LEAF GAS EXCHANGE IN PAPAYA PLANTS GROWN UNDER FIELD CONDITION

This study was carried out in a commercial orchard of papaya in the Savanna region of Bahia State, Brazil, where there are two distinct seasons: dry season, from May to September, and a rainy season one from October to March. Two genotypes, one from 'Solo' group (Sunrise Solo) and another from 'Formosa' group (Tainung 01) were used. Net CO₂ assimilation rate (A), stomatal conductance (g_s), instantaneous transpiration (E), air temperature inside the chamber (T_{ar}) and photosynthetic photon flux density (PPFD) were measured at one hour interval in a fully expanded sun-exposed leaves in two seasons, one characterized as dry season (July and September) and another one as rainy season (November and

⁽¹⁾ Recebido para publicação em 22 de fevereiro e aceito em 31 de março de 2006.

⁽²⁾ Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola, Teixeira de Freitas (BA).

⁽³⁾ Setor de Fisiologia Vegetal, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Av. Alberto Lamego, 2000, 28015-620 Campos dos Goytacazes (RJ). Autor correspondente.

⁽⁴⁾ Universidade de Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Caixa Postal 04508, 70910-970, Brasília (DF).

⁽⁵⁾ Universidade de Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 70910-970 Brasília (DF). Bolsista de Apoio Técnico.

January). Intrinsic water use efficiency (IWUE) was calculated using A and g_s (A/g_s). In both genotypes, the reduced g_s due to high VPD in July and September contributed to reduce A . The behavior was similar in the two studied genotypes. In the dry season, reduced g_s triggered a higher IWUE.

Key words: photosynthesis, stomatal conductance, photosynthetic photon flux density, vapor pressure deficit.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de *Carica papaya* L e, segundo NISHIMURA e MIGUEL (2003), a produtividade brasileira é 174% superior à média mundial. Em 2002, o Brasil produziu cerca de 1.700.000 toneladas, destacando-se a Bahia (783.600 t) como o maior Estado produtor. Em segundo lugar, destacou-se Estado do Espírito Santo, com uma produção anual de 585.358 t (AMARO e CASER, 2003). Toda essa produção está relacionada aos grupos 'Formosa' e 'Solo'. Em 2002, a produção total brasileira foi obtida pelo plantio da espécie em cerca de 35.000 ha (AMARO e CASER, 2003), o que correspondeu a uma produtividade de $48,16 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. No período de 1978 a 2000, a produção mundial de mamão passou de 1.839.000 toneladas para 5.442.000 toneladas, o que significa, em um período de 22 anos, crescimento de 196%. Nesse intervalo de tempo, o Brasil atingiu a produção de 1.414.844 toneladas, crescimento de 125%. A Nigéria, segundo produtor mundial, obteve um crescimento de 44%, tendo uma produção de 761.839 toneladas em 2000 (MARIN, 2003). Esse fato mostra o elevado crescimento da produção do mamoeiro no Brasil, o que representa a necessidade constante de pesquisas relacionadas à compreensão dos processos fisiológicos da cultura, influenciados pelas condições ambientais.

A compreensão das respostas das fruteiras à ação dos fatores do ambiente como luz, temperatura, água no solo e no ar, nutrientes minerais e características físicas do solo é de fundamental importância para minimizar os efeitos indesejados dos fatores ambientais sobre os processos fisiológicos. Ao se compreender essas respostas, pode-se traçar estratégias de manejo que possam propiciar melhores condições de crescimento e desenvolvimento, com grandes possibilidades de aumento na produtividade (SCHAFFER e ANDERSEN, 1994).

Na fase inicial da ação dos fatores ambientais sobre o crescimento e o desenvolvimento das fruteiras, pode-se considerar o mecanismo estomático como alvo primário. Os comprometimentos na assimilação fotossintética do carbono e na taxa de transpiração, por meio da ação estomática à difusão de vapor, podem afetar o crescimento e diminuir a produtividade das plantas. Segundo FLORE e LAKSO

(1988), o fato de as trocas gasosas em folhas de fruteiras apresentarem uma grande sensibilidade aos fatores climáticos, principalmente, a maior sensibilidade à diferença de pressão de vapor entre a folha e o ar ($DPV_{\text{folha-ar}}$) se deve à baixa condutividade hidráulica do sistema radicular. Nas plantas frutíferas, as variáveis do clima podem causar um efeito pronunciado na transpiração e no potencial hídrico na parte aérea da planta. Esse processo significa que o estado hídrico das folhas de fruteiras é fortemente dependente da demanda evapotranspiratória da atmosfera (LANGE et al., 1971).

Vários autores estudaram as respostas dos estômatos às mudanças no teor de água na atmosfera (GUEHL e AUSSENAC, 1987; MONTEITH, 1995, FRANKS e FARQUHAR, 1999), demonstrando que existem diferenças entre as espécies, em relação à sensibilidade dos estômatos (SHERIFF e KAYE, 1977; WARRIT et al., 1980; FARQUHAR et al., 1980; EL-SHARKAWY et al., 1984; FRANKS e FARQUHAR, 1999). Segundo FRANKS e FARQUHAR (1999), as espécies decíduas temperadas (*Prunus armeniaca* L. e *Ginkgo biloba* L.) foram as mais responsivas à variação do DPV. EL-SHARKAWY et al. (1984) mostraram a importância do déficit de pressão de vapor como o principal fator controlador das trocas gasosas e da produção de matéria seca das plantas. Segundo GRANGE e HAND (1987), por meio do déficit de pressão de vapor do ar entre 1,0 e 0,2 kPa (55 a 90% UR, a 20°C) verificou-se pouco efeito sobre os processos fisiológicos (fotossíntese, desordens fisiológicas relacionadas ao Ca e outros) e de crescimento/desenvolvimento de plantas hortícolas.

Em plantas de mamoeiro cultivadas em condição de campo, REIS (2003) observou uma relação elevada e negativa entre o $DPV_{\text{folha-ar}}$ e g_s , e, em dias de céu claro, os valores de $DPV_{\text{folha-ar}}$ entre 6 e 7 kPa corresponderam a taxas fotossintéticas próximas de zero. Resultados semelhantes em relação à ação do $DPV_{\text{folha-ar}}$ sobre g_s , foram obtidos por EL-SHARKAWY et al. (1985). Segundo esses autores, a espécie *Carica papaya* foi extremamente responsiva ao $DPV_{\text{folha-ar}}$. Em ambientes com uma variação de $DPV_{\text{folha-ar}}$ de 3,5 a 4,5 kPa, os valores da taxa fotossintética líquida (A) foram 40% inferiores aos medidos em folhas de plantas crescidas em ambientes com 1,0 a 1,5 kPa de $DPV_{\text{folha-ar}}$. É importante considerar que, nesta espécie, a capacidade fotossintética pode influenciar a qualidade do fruto (SALAZAR, 1978).

O Cerrado brasileiro “*Sensu Strictu*” é a maior região fitoecológica da bacia do Rio Grande, com uma estação seca (abril a setembro; 6% do total precipitado no ano) e outra chuvosa (outubro a março; 94% do total precipitado no ano) de seis meses. A umidade relativa na época seca é predominante baixa com mínimas inferiores a 30% e a precipitação pluvial média é de 1.560 mm.ano⁻¹ (CELESTINO, 1993). Essa precipitação pluvial não é distribuída de maneira uniforme durante o ano, e se inicia em março e vai até outubro (CELESTINO, 1993).

Os municípios de Barreiras, São Desidério e Luís Eduardo Magalhães, localizados na Bacia do Rio Grande, possuem uma área de 2.000 ha plantados com mamoeiros. Nesses ambientes, a busca de melhor compreensão da variação sazonal das trocas gasosas das folhas de mamoeiro pode ser fundamental para melhorar as estratégias de manejo da cultura.

O objetivo do trabalho foi avaliar a variação sazonal das trocas gasosas em folhas de mamoeiro dos genótipos ‘Sunrise Solo’ e ‘Tainung 1’ cultivados no cerrado baiano.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material vegetal e condições de cultivo

Neste ensaio experimental, utilizaram-se plantas de mamoeiro dos genótipos ‘Sunrise Solo’ e ‘Tainung 1’, cultivadas sob condições de campo em um plantio comercial (espaçamento 3,60 x 1,80 x 1,80), com 10 meses após o transplante, na Fazenda Agronol, localizada no município de Luiz Eduardo Magalhães (BA) (12°5’29” S; 45°47’58” O).

A classificação do clima na região é do tipo AW (CELESTINO, 1993) e a altitude onde foi realizado o experimento é de 800 m.

A orientação das linhas de plantio do pomar foi de 150° NE. O solo (Argissolo Amarelo) foi corrigido e adubado segundo recomendações usuais para a produção comercial dos frutos. As plantas foram irrigadas por um sistema de irrigação do tipo pivô central obedecendo ao turno de rega utilizado pela Fazenda.

O manejo da irrigação foi realizado com base em valores de ET₀ calculado pelo método Penman-Monteith/FAO (ALLEN et al., 1998). Nesse sistema de produção comercial, foram obtidas produtividades máximas de 18 t ha⁻¹mês⁻¹ para o genótipo Tainung 1 e 13 t.ha⁻¹mês⁻¹ para o genótipo Sunrise Solo.

2.2 Determinação das trocas gasosas

Em folhas completamente expandidas e crescidas a pleno sol (14.^a ou 15.^a folhas contada a partir do ápice), a taxa fotossintética líquida, **A** (μmol.m⁻².s⁻¹), a condutância estomática, **g_s** (mol.m⁻².s⁻¹), a transpiração instantânea, **E** (mmol m⁻² s⁻¹), temperatura do ar dentro da câmara do analisador, **T_{ar}** (°C), a densidade de fluxo de fótons fotossintéticos, **DFFF** (μmol.m⁻².s⁻¹) e o déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar, **DPV_{folha-ar}** (kPa) foram avaliados a cada hora (entre 8 e 17 h) em 14/7/1999 e 1.^o/9/1999 (época seca) e 2/11/1999 e 17/1/2000 (época chuvosa), em quatro plantas representativas de cada genótipo. As variáveis acima foram medidas por um analisador de gases por infravermelho (modelo LI-6200, LI-COR, USA). Uma área foliar de 10 cm², foi considerada nas medições, utilizando-se uma câmara de 1 litro. As medidas de trocas gasosas foram efetuadas 24 horas após a irrigação. Para que se assegurasse a inexistência de estresse hídrico no solo, foi realizada uma aplicação de água (18 mm de lâmina de água) 24 horas antes das avaliações das trocas gasosas. No momento das avaliações, foram retiradas amostras no perfil do solo de 0 a 30 cm de profundidade (COELHO et al., 2003) próximas às plantas (40 cm distante do tronco). Os valores médios em porcentagens da umidade do solo expresso em volume foram de 13,2% em torno das plantas de Sunrise Solo e 13,6% em torno do genótipo Tainung.

A eficiência intrínseca instantânea no uso da água (EIUA) foi obtida por meio da relação A/g_s. Cada medida de A era dividida pela respectiva medida de g_s. Esta relação foi calculada nos horários de 8 às 16 h, em cada genótipo e em cada época.

O déficit de pressão de vapor do ar (DPV_{ar}) do local onde foi realizado o experimento foi calculado, segundo a equação proposta por (JONES, 1992):

$$DPV_{ar} \text{ (kPa)} = 0,61137e^t * (1 - UR/100) \quad \text{Eq. [1]}$$

em que t é calculado pela equação:

$$t = 17,502 * (T_{arec}) / (240,97 + T_{arec}) \quad \text{Eq. [2]}$$

UR_{ec} é a umidade relativa do ar e T_{arec} é a temperatura do ar. Ambas as variáveis foram obtidas na estação climatológica localizada na Fazenda Agronol, na cidade de Luiz Eduardo Magalhães, (BA).

O ganho de carbono, DFFF e o DPV_{folha-ar} diários foram estimados por meio da área sob a curva entre a taxa fotossintética líquida, o DFFF, o DPV_{folha-ar} e o horário do dia respectivamente. Para tanto, foi utilizado o programa *Logger Pro* (Vernier software, Portland, Oregon Canadá).

Os dados foram analisados estatisticamente pelo teste F a 5% de probabilidade e posteriormente pelo teste tukey, com $\alpha=5\%$, a fim de identificar diferenças significativas entre as quatro épocas analisadas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao se efetuar uma análise diária de A em ambos os genótipos Tainung 1 e Sunrise Solo, em comparação aos dias da época seca (julho/99 e setembro/99), os quais apresentaram valores máximos da taxa fotossintética líquida (A) ($\approx 12 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); os valores máximos de A referentes à época chuvosa (novembro/99 e janeiro/00) foram maiores ($\approx 18 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), segundo a figura 1. Na época seca, o valor

máximo dessa característica foi verificado próximo as 12h30min, enquanto na época chuvosa, o valor máximo em ambos os genótipos foi verificado em dois horários: 10h30min (Tainung 1) e 10h30/13h30min (Sunrise Solo). Esses valores máximos de A foram associados a uma combinação dos valores de DFFF, de g_s e da temperatura do ar dentro da câmara (Figura 1 e 2), ou seja, no período seco, a DFFF e g_s foram os fatores responsáveis pelo maior valor de A as 12h30min. Já no período chuvoso, a DFFF e g_s não foram limitantes ($>1.750 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e $>0,400 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); nessa época, a temperatura do ar ($\approx 35 \text{ }^\circ\text{C}$) foi o fator que contribuiu em maior intensidade para valores máximos de A (Figuras 1 e 2). Nessas figuras, após os valores máximos de A, a redução dos valores desta variável foi decorrente da redução em DFFF.

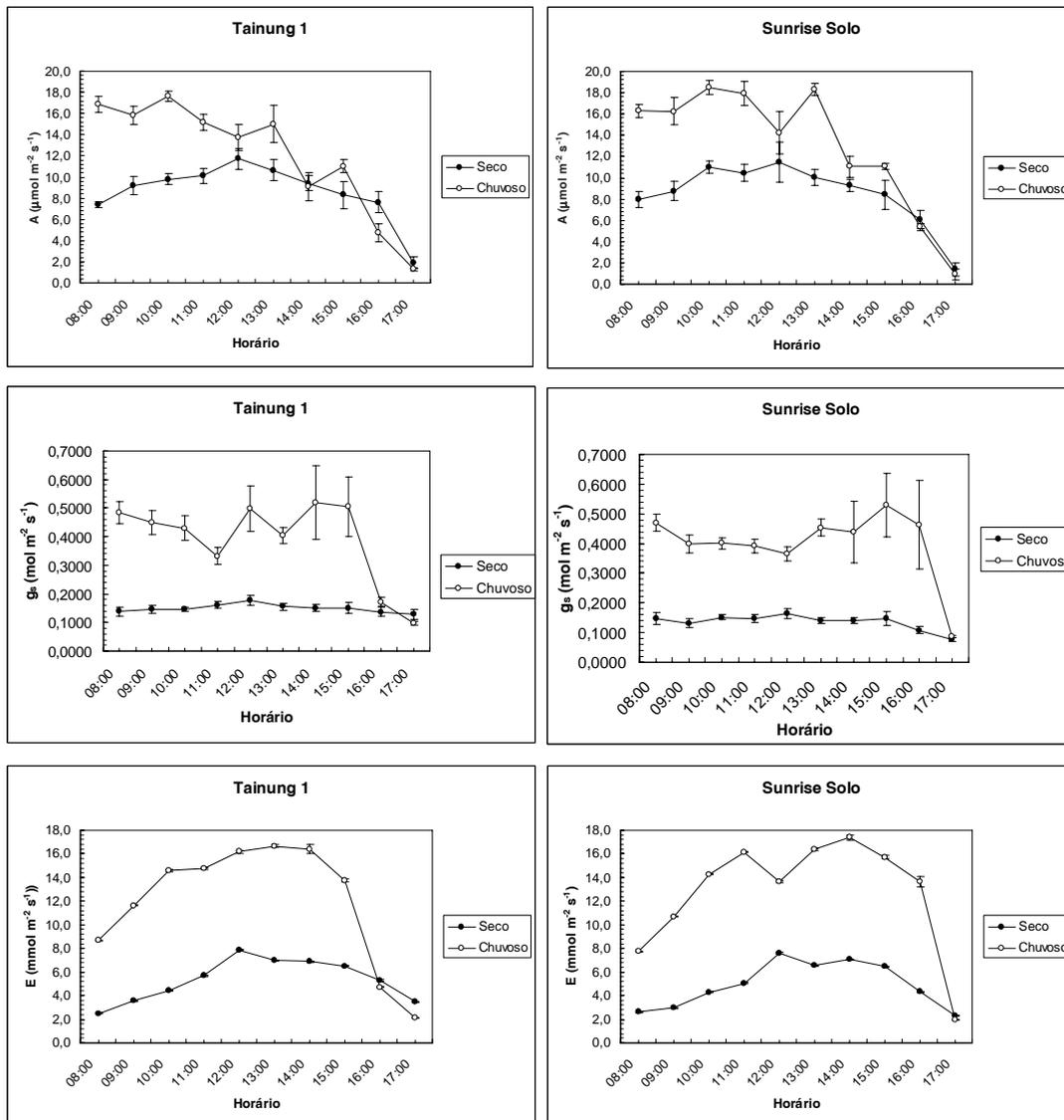


Figura 1. Taxa fotossintética líquida, condutância estomática e transpiração instantânea em folhas de dois genótipos de *Carica papaya* L. (Tainung 1 e Sunrise Solo) cultivados em condição de campo no cerrado baiano (município de Luiz Eduardo Magalhães, BA). As barras representam o erro-padrão (n=4).

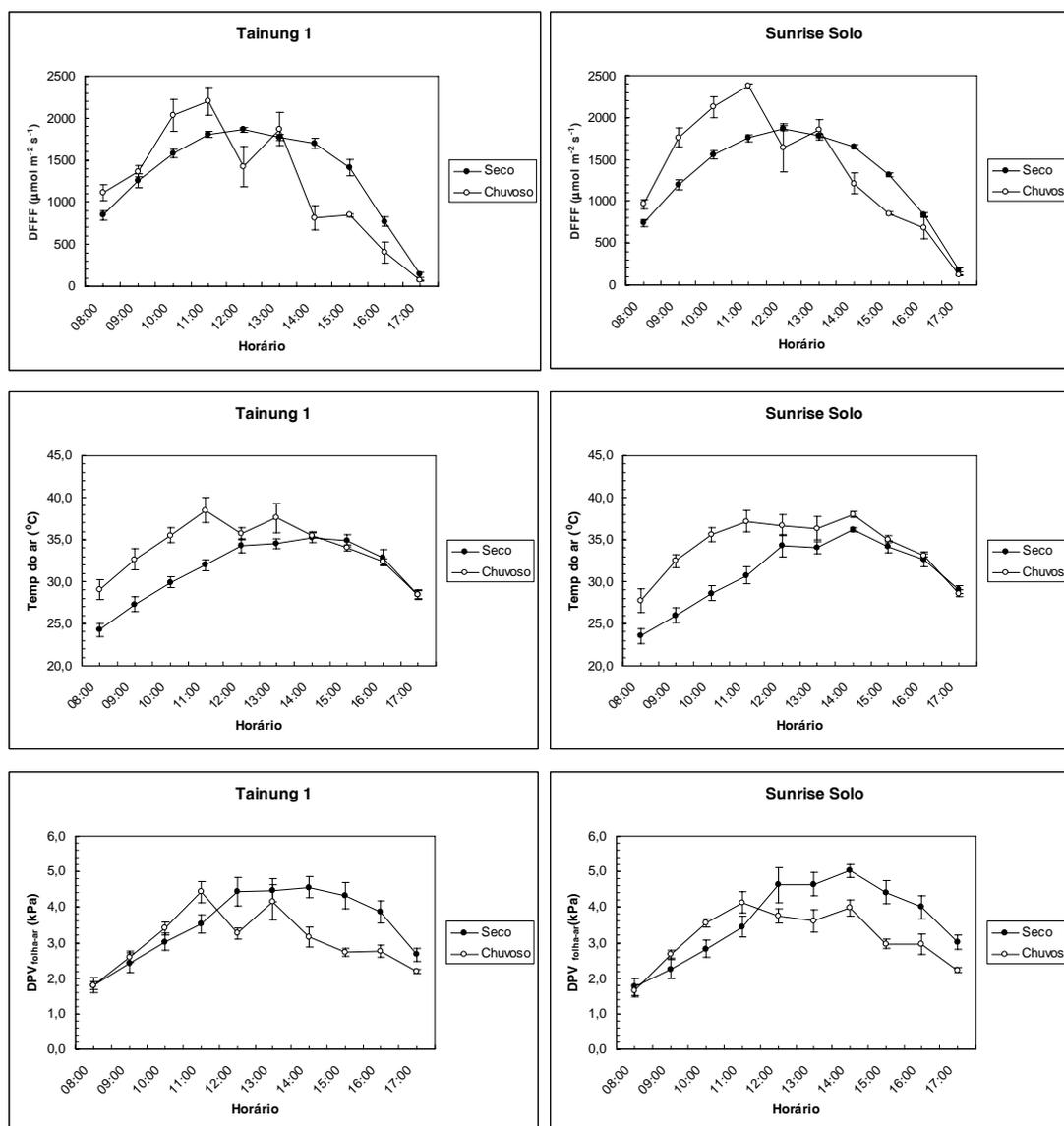


Figura 2. Densidade de fluxo de fótons, temperatura do ar dentro da câmara e o déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar de dois genótipos de *Carica papaya* L. (Tainung 1 e Sunrise Solo) cultivados em condição de campo no cerrado baiano (município de Luiz Eduardo Magalhães, BA). As barras representam o erro-padrão (n=4).

Ao se efetuar uma comparação entre as figuras 1 e 2, relacionadas aos valores de A e de DFFF, em ambos os genótipos, verifica-se que no período chuvoso, a diminuição na taxa fotossintética líquida às 12 h foi causada por um decréscimo dos valores de DFFF (de 2.250 para 1.400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), associado à presença de nuvens no momento da medida. No período seco, não foi observada redução nos valores de A às 12 h. Portanto, a depressão da fotossíntese ao meio dia, como relatada por XU e SHEN (1997), parece não ter ocorrido nesta espécie cultivada nas condições do cerrado baiano.

O ganho diário de carbono, avaliado por meio da área sob a curva A versus horário do dia (Figura 1)

e mostrado na tabela 1, foi maior na época chuvosa do que na seca. Na época chuvosa, houve um ganho de $2,9 \times 10^4$ e $4,1 \times 10^4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ para os genótipos Tainung 1 e Sunrise Solo respectivamente. Esse fato evidencia que na estação chuvosa ocorreu maior assimilação fotossintética do carbono nas folhas de *C. papaya* L., o que poderá explicar possíveis ganhos de produtividades nesse período. De fato, no período seco, em que se quantifica os frutos que são formados na estação chuvosa, na área onde estava instalado o experimento foi produzido 27 e 15,5 t ha^{-1} para o Tainung 1 e Sunrise Solo respectivamente (MACHADO FILHO, 2002). Já no período chuvoso, foi quantificado 10,5 e 8,2 t ha^{-1} para o Tainung 1 e Sunrise Solo respectivamente.

Tabela 1. Ganho de C e DFFF diários em genótipos de *Carica papaya* (Tainung e Sunrise Solo) cultivados em condição de campo no cerrado baiano (município de Luiz Eduardo Magalhães, BA) (Época seca (DPV médio às 15 h = 2,60 kPa) e época chuvosa (DPV médio às 15 h = 1,25 kPa). Esses valores correspondem aos valores integrados (área sob a curva) obtidos nos horários de 8 às 17 h. Os dados foram obtidos utilizando a curva média de cada genótipo

Genótipos	Ganho diário de C ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) ($\times 10^4$)		Densidade de fluxo de fótons diários ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) ($\times 10^4$)	
	Época seca (julho e setembro)	Época chuvosa (novembro e janeiro)	Época seca (julho e setembro)	Época chuvosa (novembro e janeiro)
Tainung	7,7	10,6	1.264	1.155
Sunrise Solo	7,7	11,8	1.241	1.304

Na época seca, os valores baixos das taxas fotossintéticas em ambos os genótipos foram devidos à baixa condutância estomática verificada nas folhas das plantas (Figuras 1 e 3). Nessa época, foram observados valores elevados do déficit de pressão de vapor do ar (DPV_{ar}) medidos por uma estação climatológica no local onde foi realizado o experimento (Figura 4). Nos meses correspondentes à época seca, e às 15 h, foram observados valores de DPV_{ar} próximos a 3,5 kPa. No período chuvoso, os valores dessa variável ficaram próximos a 1,5 kPa. Com base nessas informações, pode-se considerar que, na época seca, o elevado valor do DPV_{ar} pode ser o responsável pela diminuição em g_s . Embora GRANGE E HAND (1987) tenham relatado que a umidade do ar pode

influenciar o crescimento e o desenvolvimento das plantas de interesse agrônomo, bem como a incidência de doenças, e, os valores do DPV entre 1,0 e 0,2 kPa, têm pouco efeito nos processos fisiológicos das plantas como exemplo o processo fotossintético, essas informações podem corroborar com os resultados obtidos, em que, na época seca, o DPV ficou em torno de 3,5 kPa, evidenciando os efeitos desta variável climática no processo relacionados às trocas gasosas, por meio da ação sobre a condutância estomática (Figuras 1 e 2). Nos dois genótipos estudados e no período seco, os valores elevados do DPV_{ar} causaram reduções nos valores da condutância estomática (Figura 3). Nessa mesma figura, foi observado que os valores reduzidos de g_s causaram reduções em A.

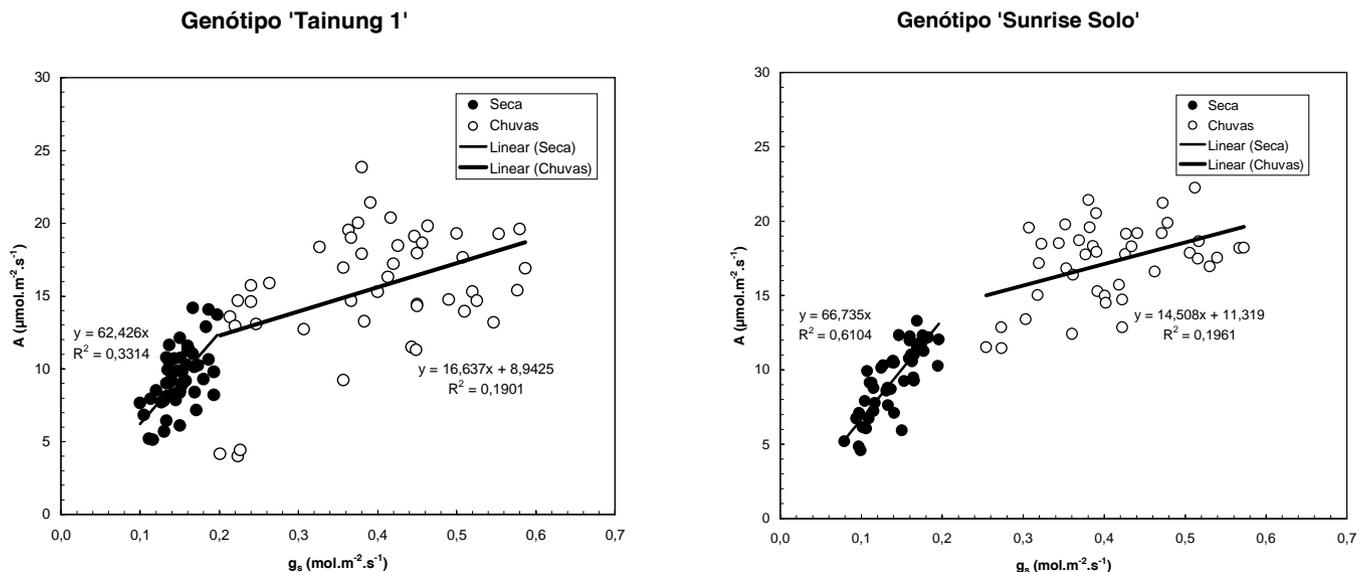


Figura 3 - Relação entre condutância estomática (g_s) e taxa fotossintética líquida (A) dos genótipos Sunrise solo e Tainung, *Carica papaya* L. cultivados em condição de campo no cerrado baiano (município de Luiz Eduardo Magalhães, BA) no período chuvoso (novembro/99 e janeiro/00) (A) e no período seco (julho/99 e setembro/99) (B).

Uma vez que o sistema de irrigação, o qual estava de acordo com a aplicação de água estabelecida pela empresa para a produção comercial de frutos, foi acionado 24 horas antes das avaliações, e, no momento das medidas, nas folhas não se observaram alterações na turgescência (murchamento); tais informações podem revelar que, nas épocas estudadas, os estômatos das folhas dos dois genótipos de mamoeiros responderam às mudanças no DPV do ar (Figura 4). Em adição a essas informações relacionadas ao DPV_{ar} , no período seco, nos horários a partir das 12 h foi verificado maiores valores do $DPV_{folha-ar}$ (Figura 2). A partir deste horário, os valores elevados dessa variável estariam mais relacionados à reduzida quantidade de água na atmosfera, como mostrado na figura 4. Ao se efetuar a determinação da área sob a curva do $DPV_{folha-ar}$ versus horário do dia, verifica-se que na época seca os valores dessa área foram de 28,5 e 29,0 $kPa \times 10^3 kPa \text{ dia}^{-1}$, enquanto na época chuvosa foi de 24,5 e 23,5 para os genótipos Tainung 1 e Sunrise Solo respectivamente (Tabela 2).

Em plantas de mamoeiro 'Red Lady', MARLER e MICKELBART (1998) relataram que, mesmo em plantas com boa disponibilidade de água no solo ($\psi_s = -19 \text{ kPa}$), o elevado déficit de pressão de vapor do ar ($\cong 2,4 \text{ kPa}$) ao meio dia em dias de céu claro, pode ter sido o responsável pelo decréscimo na condutância estomática e, conseqüentemente, da taxa fotossintética, uma vez que os autores verificaram que não houve alterações na eficiência fotoquímica máxima do fotossistema II ($F_v/F_m > 0,75$). Por essas informações, nota-se que em dias com alta densidade de fluxos de fótons fotossintéticos ($> 1800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), o mecanismo estomático é o principal controlador da taxa fotossintética líquida.

Em folhas de plantas de mamoeiro 'Formosa', resultados semelhantes foram obtidos por REIS (2003). Observa-se que os estômatos dessa espécie são sensíveis às variações na quantidade de água na atmosfera, estando de acordo com os resultados obtidos neste presente estudo realizado no cerrado baiano.

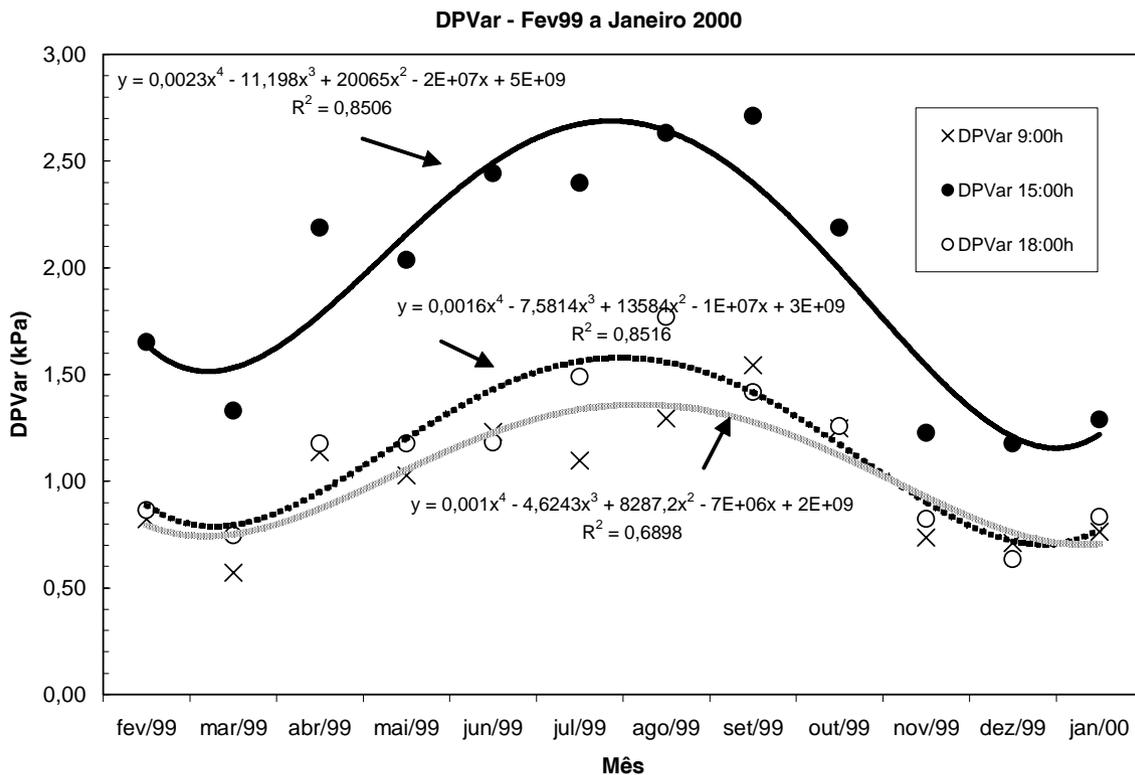


Figura 4. Relação entre o déficit de pressão de vapor do ar medido numa estação climatológica localizada no município de Luiz Eduardo Magalhães, BA e os meses do ano.

Tabela 2. Valor integrado do déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar ($DPV_{\text{folha-ar}}$) em folhas de plantas de *Carica papaya* (Tainung e Sunrise Solo) cultivados em condição de campo no cerrado baiano (município de Luiz Eduardo Magalhães, BA). Época seca (DPV médio às 15 h = 2,60 kPa) e época chuvosa (DPV médio às 15 h = 1,25 kPa). Esses valores correspondem aos valores integrados obtidos nos horários de 8 às 17 h. Os dados foram obtidos utilizando a curva média de cada genótipo

Genótipos	$DPV_{\text{folha-ar}}$ diário (kPa dia ⁻¹) (x10 ³)	
	Época seca (julho e setembro)	Época chuvosa (novembro e janeiro)
Tainung	28,5	24,5
Sunrise Solo	29,0	23,5

Embora o fechamento estomático devido ao elevado valor de DPV_{ar} possa ser explicado pela elevada resistência ao fluxo de água a partir dos vasos terminais do xilema até as células-guarda, via rota mesofilo foliar-epiderme (TYREE e YIANOULIS, 1980) ou por meio da transpiração periestomática (SCHULZE et al., 1972), a ação do DPV sobre a condutância estomática ainda não está bem esclarecida (YOUNG et al., 1997). A ação fitohormonal, via balanço entre ácido abscísico e citocinina, não pode ser descartada (MANSFIELD, 1987; RASCHKE, 1987). Segundo SPERRY (2000), a condutância estomática é correlacionada positivamente com a condutância hidráulica do *continuum* solo-folha. Dessa maneira, as resistências na interface solo-raiz, a resistência radicular, as resistências nos vasos do xilema e as resistências entre estes vasos e o mesofilo foliar exercem uma função crucial nas respostas das células-guarda à ação do DPV . Um fato importante a ser relatado é que doenças fúngicas como a podridão de phytophthora (*Phytophthora palmivora* (Butler) ou *P. parasidica* Dast.) no sistema vascular do mamoeiro são comuns em plantios comerciais, principalmente, quando a aplicação de água, via irrigação é feita sem um manejo adequado, ou em épocas de elevada precipitação pluvial. Nessa condição, a incidência dessa doença pode causar obstrução dos vasos do xilema e elevar a resistência radicular. Essa ação irá potencializar os efeitos do DPV do ar sobre a abertura/fechamento estomático.

Considerando os aspectos ecológicos e agronômicos, a sensibilidade dos estômatos do mamoeiro ao déficit de pressão de vapor pode ter ação sobre a produtividade dessa espécie, uma vez que o fechamento estomático causa significativas reduções na taxa fotossintética líquida (Figura 3). Como relatado por SALAZAR (1978), a capacidade fotossintética pode influenciar a qualidade do fruto do mamoeiro, o que demonstra a importância das variáveis atmosféricas nas trocas gasosas do mamoeiro cultivado em condição de campo.

Em relação às regiões com períodos do ano de altos DPV_{ar} , como por exemplo, a região dos cerrados,

os elevados valores dessa variável podem causar reduções na assimilação fotossintética do carbono. Tal fato é devido ao fechamento estomático, e, desta maneira, tal ação do DPV_{ar} pode comprometer a produtividade e qualidade dos frutos da espécie. Fato oposto pode ser verificado em regiões onde o DPV_{ar} não é um fator comprometedor. Tais regiões, admitindo que a condutividade hidráulica da raiz não seja limitante, podem ocorrer condições favoráveis para o cultivo da espécie, considerando apenas os processos relacionados às trocas gasosas. Ao se fazer uma análise ecológica, na espécie estudada, quando cultivada em regiões com altos valores de DPV_{ar} , pode-se observar maior capacidade de manutenção do estado hídrico, uma vez que o fechamento estomático pode reduzir a perda de água da folha, ocasionando assim a elevação na eficiência no uso da água (EL-SHARKAWY et al., 1985). MARLER et al., (1994) e REIS et al. (2004) têm observado que, em mamoeiro, o fechamento estomático e a manutenção do teor relativo de água das folhas podem indicar uma adaptação dessa espécie à limitação de água no solo. Segundo TARDIEU (1995), tal comportamento (redução nos valores da condutância estomática sem alteração no teor de água na folha) é característico de plantas isohídricas. Nesse grupo de plantas, um mensageiro químico poderá estar relacionado. Essas informações fortalecem os relatos de que os estômatos de folhas de mamoeiro são altamente responsivos à ação dos fatores do ambiente.

Em trigo, houve uma correlação elevada e negativa entre a EUA e a produção de matéria seca (EHDAIE et al., 1991). Segundo JONES (2004), quando a água não é um fator limitante no solo, a seleção de genótipos para elevada eficiência no uso da água pode causar reduções na produtividade, o que vem confirmar que elevados valores de DPV_{ar} podem comprometer a produtividade do mamoeiro.

Uma vez comprovado os efeitos da umidade do ar sobre a abertura/fechamento estomático, esse estudo revela a importância no zoneamento agrícola do mamoeiro, pois permite a seleção de regiões com maior capacidade produtiva dessa espécie. Outro fato

importante é que, ao se conhecer melhor as respostas dos estômatos em relação às variações na demanda evaporativa do ar, mais informações para programas de melhoramento da espécie são disponibilizadas. De fato, LU et al. (1994; 1998), por exemplo, verificaram elevada correlação positiva entre a produtividade de trigo e algodão e a condutância estomática. Assim, os estudos relacionados às trocas gasosas podem ser importantes na busca de genótipos de mamoeiro adaptados a regiões específicas do Brasil.

Outra importante situação a ser relatada é a ocorrência de alto DPV_{ar} concomitantemente à deficiência hídrica do solo. Em condição de irrigação parcial do sistema radicular (IPSR), ou seja, quando uma parte do sistema radicular é submetido a estresse hídrico, o elevado DPV intensificou o fechamento estomático (LOVEYS e DAVIES, 2004). Esses autores relataram que a maior resposta dos estômatos à ação do DPV na condição de IPSR pode estar relacionada à capacidade do xilema em suprir a parte aérea com ácido abscísico. Em condições de cultivo do mamoeiro, quando se utiliza a irrigação do tipo gotejamento, essas informações podem ter importância no manejo da cultura.

Segundo FRANKS e FARQUHAR (1999), ao se observar alterações fisiológicas das plantas herbáceas de interesse agrônomico, em condições de DPV_{ar} elevado, verificou-se que o potencial hídrico foliar não foi alterado quando taxas transpiratórias elevadas foram verificadas. Os autores relataram que nessas espécies um eficiente sistema condutor de água pode ter sido a causa da não-alteração do potencial hídrico

foliar. O mamoeiro é considerado uma planta herbácea de grande porte, entretanto, a grande sensibilidade dos estômatos ao DPV_{ar} mostraria que, apesar de ser uma planta herbácea, o porte elevado do mamoeiro (>2,5 m) poderá conferir características que contribuem para maior resistência hidráulica do *continuum* solo-folha.

O fechamento dos estômatos causou alterações na EIUA e na transpiração instantânea (Tabela 3 e Figuras 1, 5 e 6). Os valores da EIUA foram cerca de 50% superiores na época seca (Tabela 3), fato decorrente do fechamento estomático, o que contribuiu para elevar a EIUA (Figura 6). Segundo CHAVES e OLIVEIRA (2004), na fase inicial de estabelecimento do déficit hídrico, a condutância estomática decresce mais rápido do que a assimilação fotossintética do carbono, o que causa elevação na eficiência no uso da água (EUA). Assim, neste trabalho, se considerarmos que o elevado valor de DPV_{ar} pode causar maior saída da molécula de água da folha logo nos primeiros instantes de perda de água foliar, por meio de possível deficiência no abastecimento de água proveniente dos vasos terminais do xilema até as células-guarda (rota mesofilo/epiderme) (TYREE e YIANOULIS, 1980; EL-SHARKAWY e COCK, 1984), o valor de g_s vai decrescer em uma taxa maior que A. Dessa maneira, a EIUA será maior na época de maior DPV (julho/setembro), como observado na tabela 3. Uma vez que em plantas C3, o fluxo de saída da molécula de água pode alcançar 2.000-3.000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, comparado com a taxa de entrada do CO_2 20-30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (BACON, 2004), observa-se que a ação de g_s vai afetar em maior intensidade a saída de água, o que elevará em maior intensidade a EIUA.

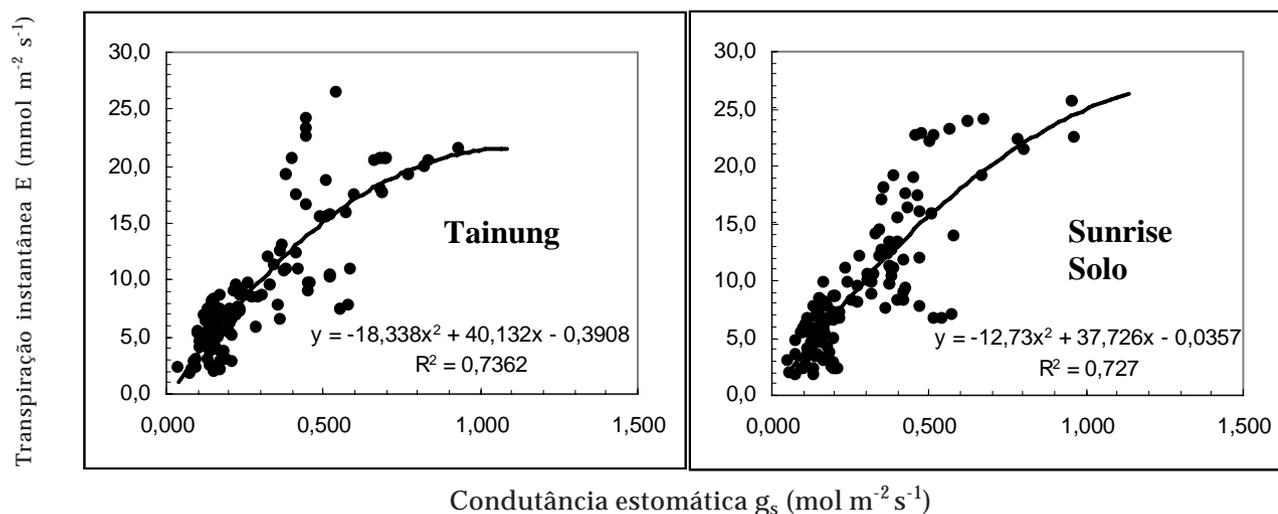


Figura 5. Relação entre a transpiração instantânea e a condutância estomática em folhas de plantas do genótipo Tainung 1 (Grupo Formosa) e do genótipo Sunrise Solo (Solo) cultivados em condição de campo no cerrado baiano (município de Luiz Eduardo Magalhães, BA) no período chuvoso (novembro/99 e janeiro/00) e no período seco (julho/99 e setembro/99) (B).

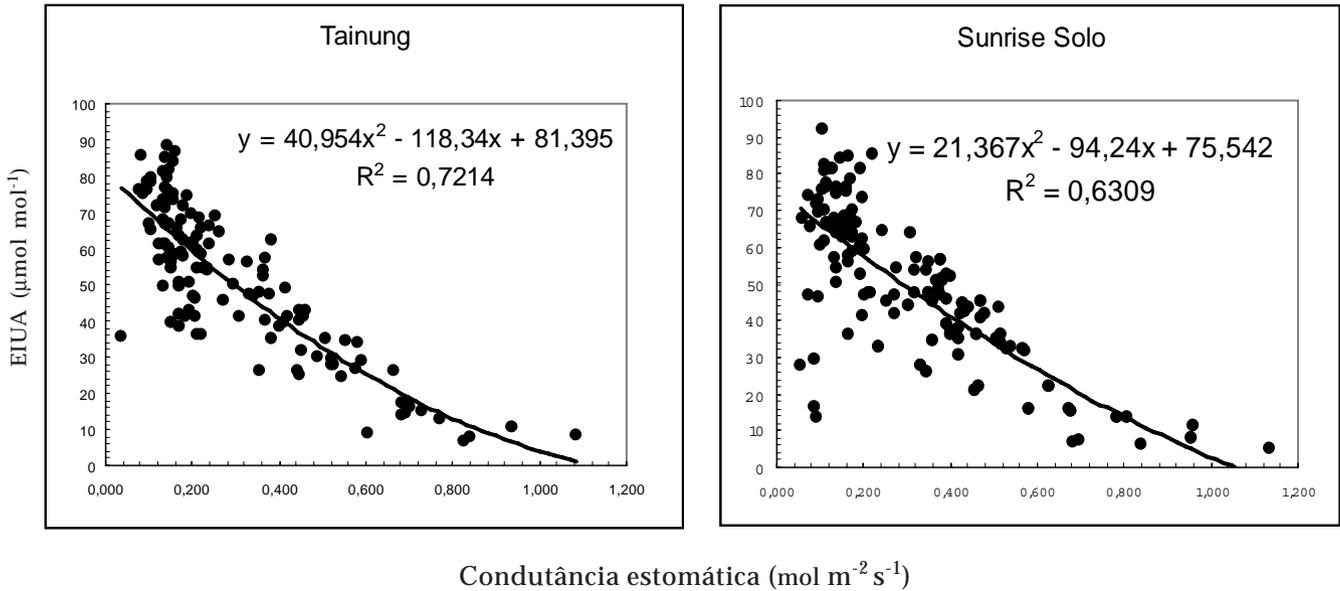


Figura 6. Relação entre a Eficiência Intrínseca no Uso da Água (EIUA; A/g_s) e a Condutância estomática (g_s) (B) do genótipo Tainung (Grupo Formosa) e do genótipo Sunrise Solo (Solo), cultivados em condição de campo no cerrado baiano (município de Luiz Eduardo Magalhães, BA) no período chuvoso (novembro/99 e janeiro/00) e no período seco (julho/99 e setembro/99). Os dados foram obtidos nos horários de 8 às 16 h.

A transpiração instantânea foi menor na época seca devido à reduzida condutância estomática (Figuras 1 e 5). Esse fechamento estomático impediu a saída da molécula de água da folha para o ambiente externo, mesmo que esse ambiente tenha maior demanda evaporativa nesta época avaliada pelo DPV_{ar} (Figura 4). Tal resultado poderá ter efeitos importantes na refrigeração foliar (NOBEL, 1991) e na assimilação de nutrientes minerais (MARSCHNER, 1995), pois o fechamento estomático causa elevação na temperatura foliar e poderá diminuir a absorção de

nutrientes. Os efeitos da diminuição de g_s reduzindo a transpiração e alterando a refrigeração foliar poderão ser observados na Figura 2. Na época seca e chuvosa, para um mesmo nível de DFFF, os valores elevados do $DPV_{folha-ar}$, verificados na época seca, nos horários após as 12h (Figura 2), podem ser devidos ao balanço entre a elevação na temperatura foliar (T_{folha}), causada pela redução em g_s , e que causou aumento na pressão de vapor de saturação da folha (e_{sfolha}), e a menor quantidade de água na atmosfera (reduzido valor de e_{ar}), uma vez que $DPV_{folha-ar} = e_{sfolha} - e_{ar}$.

Tabela 3. Eficiência intrínseca instantânea no uso da água (A/g_s) de dois genótipos de mamoeiro (Tainung e Sunrise Solo) cultivados em condição de campo no cerrado baiano (município de Luiz Eduardo Magalhães, BA). Época seca (DPV médio às 15 h = 2,60 kPa) e época chuvosa (DPV médio às 15 h = 1,25 kPa). Esses valores correspondem a média correspondentes aos horários de 8 às 16 horas

Genótipos	Eficiência intrínseca instantânea no uso da água (A/g_s) ($\mu\text{mol CO}_2/\text{mol H}_2\text{O}$)	
	Época seca (julho e setembro)	Época chuvosa (novembro e janeiro)
Tainung	62,87 ± 14,13 (n=71)	37,29 ± 17,30 (n=71)
Sunrise Solo	65,26 ± 12,86 (n=71)	39,23 ± 16,14 (n=71)

4. CONCLUSÃO

O maior déficit de pressão de vapor do ar verificado nos meses de julho e setembro (época seca) foi o principal fator responsável pelo fechamento estomático nos genótipos de mamoeiro Tainung e Sunrise Solo, o que contribuiu para a redução nos valores da taxa fotossintética líquida.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro à pesquisa, à Fazenda Agronol pelo fornecimento do material vegetal e suporte na realização do trabalho, a Fundação Nacional de Apoio à Pesquisa (FUNAPE), à Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ).

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.; PEREIRA, L.A.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**. Rome: FAO, 1998. 293 p. (FAO Irrigation and Drainage, Paper 56)
- AMARO, A.A.; CASER, D.V. Análise conjuntural do mercado de mamão: aspectos econômicos da comercialização. In: MARTINS, D.S. (Ed.) **Papaya Brasil**. DCM-Incaper, Vitória, 2003. p.37-53.
- BACON, Water use efficiency in plant biology? In: BACON, M.A. (Ed.) **Water use efficiency in plant biology**. Boca Raton: CRC Press, 2004. p. 1-26.
- CELESTINO, J.R.P.F. Ministério da agricultura e reforma agrária. Plano diretor de recursos hídricos da bacia do Rio Grande. Secretaria de Recursos Hídricos. **Plano Estadual de Recursos Hídricos da Bahia**. Brasília, DF, 1993, p.240.
- COELHO, E.F.; CRUZ, J.L.; COELHO FILHO, M.A.; dos SANTOS, M.R. Distribuição e absorção de água pelas raízes do mamoeiro sob três frequências de irrigação por gotejamento. In: MARIN, D.S. (Ed.) **Papaya Brasil**. DCM-Incaper, Vitória, 2003. p.495-498.
- CHAVES, M.M.; OLIVEIRA, M.M. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. **Journal of Experimental Botany**. Eynshan, v.55, p.2365-2384, 2004.
- EHDAIE, B.; HALL, A.E.; FARQUHAR, G.D.; NGUYEN, H.T.; WAINES, J.G. Water-use efficiency and carbon isotope discrimination in wheat. **Crop Science**, Madison, v.31, p.1282-1288, 1991.
- EL-SHARKAWY, M.A.; COCK, J.H. Water use efficiency of cassava. I. Effects of air humidity and water stress on stomatal conductance and gas exchange. **Crop Science**, Madison, v.24, p.497-502, 1984.
- EL-SHARKAWY, M.A.; COCK, J.H.; HELD, K.A.A. Water use efficiency of cassava. II. Differing sensitivity of stomata to air humidity in cassava and other warm-climate species. **Crop Science**, Madison, v.24, p.503-507, 1984.
- EL-SHARKAWY, M.A.; COCK, J.H.; HERNANDEZ, A.D.P. Stomatal response to air humidity and its relation to stomatal density in a wide range of warm climate species. **Photosynthesis Research**, v.7, p.137-149, 1985.
- FARQUHAR, G.D.; SHULZE, E.D.; KUPPERS. Responses to humidity by stomata of *Nicotiana glauca* L. and *Corylus avellana* L. are consistent with the optimization of carbon dioxide uptake with respect to water loss. **Australian Journal of Plant Physiology**, East Melbourne, v.7, p.315-327, 1980.
- FLORE, J.A.; LAKSO, A.N. Environmental and physiological regulation of photosynthesis in fruit crops. **Horticultural Reviews**, New York, v.11, p.111-157, 1988.
- FRANKS, P.J.; FARQUHAR, G.D. A relationship between humidity response, growth form and photosynthetic operating point in C3 plants. **Plant, Cell and Environment**. Oxford, v.22, p.1337-1349, 1999.
- GUEHL, J.M.; AUSSENAC, G. Photosynthesis decrease and stomatal control of gas exchange in *Abies alba* Mill. in response to vapour pressure difference. **Plant Physiology**, Rockville, v.83, p.316-322, 1987.
- GRANGE, R.I.; HAND, D.W. A review of the effects of atmospheric humidity on the growth of horticultural crops. **Journal of Horticultural Science**, Alexandria, v.62, p.125-134, 1987.
- JONES, H.G. **Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1992. 85p.
- JONES, H. What is water use efficiency? In: BACON, M.A. (Ed.) **Water use efficiency in plant biology**. Boca Raton: CRC Press, 2004. p. 27-40.
- LANGE, O.L.; LÖSCH, R.; SCHULZE, E.D.; KAPPEN, L. Responses of stomata to changes in humidity. **Planta**, Heidelberg, v.100, p.76-86, 1971.
- LOVEYS, B.; DAVIES, W.J. Physiological approaches to enhance water use efficiency in agriculture: exploiting plant signaling in novel irrigation practice. In: BACON, M.A. (Ed.) **Water use efficiency in plant biology**. Boca Raton: CRC Press, 2004. p.113-141.
- LU, Z., RADIN, J.W.; TURCOTTE, E.L.; PERCY, R.; ZEIGER, E. High yields in advanced lines of Pima cotton are associated with higher stomatal conductance, reduced leaf area and lower leaf temperature. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.92, p.266-272, 1994.

- LU, Z.; PEARCY, R.; QUALSET, C.O.; ZEIGER, E. Stomatal conductance predicts yields in irrigated Pima cotton and bread wheat grown at high temperatures. **Journal of Experimental Botany**, Eysham, v.49, p.453-460, 1998.
- MACHADO FILHO, J.A. **Estudos e cofisiológicos de dois genótipos de mamoeiro (*Carica papaya* L.) cultivados sob condições de campo no cerrado baiano**. 2002. 70f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- MARLER, T.E.; MICKELBART, M.V. Drought, leaf gas exchange, and chlorophyll fluorescence of field-grown papaya. **Journal American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.123, p.714-718, 1998.
- MARLER, T.E., GEORGE, A.P., NISSEN, R.J., ANDERSSON, P.C. Miscellaneous tropical fruits. In: **Handbook of environmental physiology of fruits crops**. SCHAFFER, B., ANDERSEN, P.C. (Ed.) V.II: Sub-tropical and tropical crops. Florida, CRC Press, 1994. p. 199-224.
- MANSFIELD, T.A. Hormones as regulators of water balance. In: P.J. DAVIES (Ed.), **Plant hormones and their role in plant growth and development**. Martinus Nijhoff Publisher, 1987, p. 411-430.
- MARIN, D.S. Situação atual da produção integrada de mamão no Brasil. In: D.S. MARIN (Ed.). **Papaya Brasil**. Vitória, ES: Incaper, 2003. 97-127p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 1995. 889 p.
- MONTEITH, J.L. A reinterpretation of stomatal response to humidity. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.18, p.357-364, 1995.
- NOBEL, P.S. **Physicochemical and environmental plant physiology**. San Diego: Academic Press, 1991. 635 p.
- NISHIMURA, H.; MIGUEL, D.S. Demandas e exigências do mercado nacional de mamão quanto a logística e qualidade. In: D.S. MARIN (Ed.). **Papaya Brasil**. Vitória, ES: Incaper, 2003. 79-84p.
- RASCHKE, K. Action of abscisic acid on guard cells. In: E. ZEIGER, G.D. FARQUHAR; I.R. COWAN (Ed.). **Stomatal function**. Stanford: Stanford University Press, 1987. p.253-279.
- REIS, F.O. **Trocas gasosas, eficiência fotoquímica e fluxo de seiva xilemática em mamoeiro do grupo 'Formosa' cultivado em condição de campo na região norte fluminense**. 2003. 59f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ.
- REIS, F.O.; CAMPOSTRINI, E.; CHIQUIERI, T.B.; ASSUMPTÃO CASTRO, F.; TORRES NETO, A.; SANTOS, A.; COSTA AZEVEDO, L.; GOMES, M.M.A.; SOUZA, M.A. Estresse hídrico em plantas de mamoeiro Golden: efeitos esstomáticos e não estomáticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 18., Florianópolis, 2004. (Cd-Rom)
- SALAZAR, R. Determination of photosynthesis in commercial varieties of papaya (*Carica papaya* L.) and its possible relationship with the production and quality of the fruits. **Revista ICA**, Bogotá, v.13, p.291-295, 1978.
- SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P.C. Introduction. In: B. SCHAFFER; P.C. ANDERSEN (Ed.). **Handbook of environmental physiology of fruit crops**. Boca Raton: CRC press, 1994. p.1-2.
- SHERIFF, D.W.; KAYE, P.E. Responses of diffusive conductance to humidity in a drought avoiding and a drought resistant (in terms of stomatal response) legume. **Annals of Botany**, London, v.41, p.653-655, 1977.
- SCHULZE, E.D.; LANGE, O.L.; BUSCHBOM, U.; KAPPEN, L.; EVENARY, M. Stomatal response to changes in humidity in plants growing in the desert. **Planta**, Heidelberg, v.108, p.259-270, 1972.
- SPERRY, J.S. Hydraulic constraints on plant gas exchange. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.104, p.13-23, 2000.
- TARDIEU, F. Control of stomatal conductance in drought plants by hydraulic and chemical messages from roots. In: P.MATHIS (Ed.). **Photosynthesis: from light to biosphere**. Netherlands: Kluwer Academic Press, 1995. p.531-536.
- TYREE, M.T.; YIANOULIS, P. The site of water evaporation from sub-stomatal cavities, liquid path resistances and hydroactive stomatal closure. **Annals of Botany**, 46: 175-193. 1980.
- WARRIT, B.; LANDSBERG, J.J.; THORPE, M.R. Responses apple leaf stomata to environmental factors. **Plant Cell and Environment**, Oxford, v.3, p.13-22, 1980.
- YOUNG, J.W.H.; WONG, S.C.; FARQUHAR, G.D. Stomatal responses to changes in vapour pressure difference between leaf and air. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.20, p.1213-1216, 1997.
- XU, D., SHEN Y. Midday depression of Photosynthesis. In: PESSARAKLI, M. (Ed.). **Handbook of photosynthesis** New York: Marcel Dekker, 1997. p.451-459.