

MICROASPERSÃO SOBRECOPA EM MAMOEIRO 'GOLDEN': UM  
ESTUDO RELACIONADO ÀS TROCAS GASOSAS, À EFICIÊNCIA  
FOTOQUÍMICA E AO FLUXO DE SEIVA XILEMÁTICA

**FABRÍCIO DE OLIVEIRA REIS**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE  
DARCY RIBEIRO  
CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
MARÇO – 2007

MICROASPERSÃO SOBRECOPA EM MAMOEIRO 'GOLDEN': UM  
ESTUDO RELACIONADO ÀS TROCAS GASOSAS, À EFICIÊNCIA  
FOTOQUÍMICA E AO FLUXO DE SEIVA XILEMÁTICA

**FABRÍCIO DE OLIVEIRA REIS**

Tese apresentada ao Centro de  
Ciências e Tecnologias Agropecuárias da  
Universidade Estadual do Norte Fluminense  
Darcy Ribeiro, como parte das exigências  
para obtenção do título de Doutor em  
Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Eliemar Campostrini

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
MARÇO - 2007

MICROASPERSÃO SOBRECOPA EM MAMOEIRO 'GOLDEN': UM ESTUDO RELACIONADO ÀS TROCAS GASOSAS, À EFICIÊNCIA FOTOQUÍMICA E AO FLUXO DE SEIVA XILEMÁTICA

**FABRÍCIO DE OLIVEIRA REIS**

Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal.

**Aprovada em 27 de março de 2007**

**Comissão examinadora**

---

Prof. Marco Antônio Oliva Cano (DS, Ciências Naturais) – UFV

---

Prof<sup>a</sup>. Mara de Menezes de Assis Gomes (DS, Biologia Vegetal) – FAETEC

---

Prof. Elias Fernandes de Sousa (DS, Produção Vegetal) – UENF

---

Prof. Eliemar Campostrini (DS, Produção Vegetal) - UENF  
Orientador

Aos meus pais Alcino e Solange  
Aos meus avós Nilson (*in memoriam*) e Nadir  
À minha esposa Elaine  
À minha família

**DEDICO E OFEREÇO**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus sobre todas as coisas;

Aos meus pais e avós, por todo o tipo de apoio incondicional e incentivo;

A minha esposa, pelos momentos abdicados de minha presença e pelo apoio;

A minha família, que sempre me deu apoio e incentivo;

Aos professores da Fisiologia Vegetal, Jurandi e Ricardo.

À professora Mara pelos conselhos;

A todos os colegas do laboratório de Fisiologia Vegetal;

Ao pessoal do LEAG, Prof. Elias, Marcelo e Ana Maria;

Aos amigos Junior e Mônica, Patrícia e Gustavo;

Ao Geraldo, Elieuder e Enilton da empresa Caliman Agrícola S/A, que forneceram seu precioso tempo e recursos imprescindíveis para a realização deste trabalho;

À empresa Caliman Agrícola S/A, pela concessão da área experimental e apoio logístico.

A UENF, pela oportunidade e pela concessão da bolsa;

A FAPERJ e a FINEP, pelo auxílio à pesquisa;

Ao mestre e amigo, Eliemar Campostrini por sua dedicação, conselhos e orientação.

## SUMÁRIO

Lista de símbolos, abreviaturas e nomenclaturas	vi
Resumo	vii
Abstract	ix
1. Introdução	1
2. Revisão de literatura	4
3. Trabalhos	9
O uso da microaspersão sobrecopa, como estratégia para evitar a redução da fotossíntese ao meio-dia: um estudo relacionado às trocas gasosas e à eficiência fotoquímica em plantas de mamoeiro	9
Resumo	9
Abstract	10
Introdução	11
Material e Métodos	17
1. <i>Material vegetal e condições de cultivo</i>	17
2. <i>Medições das trocas gasosas</i>	18
3. <i>Determinação da eficiência fotoquímica</i>	19
4. <i>Variáveis do JIP-Teste</i>	20
5. <i>Índice SPAD-502</i>	20
6. <i>Variáveis meteorológicas</i>	21
7. <i>Produção</i>	21
Resultados e Discussão	23
Resumo e Conclusões	39
Referências Bibliográficas	40
Fluxo de seiva xilemática em mamoeiro 'Golden' cultivado sob microaspersão sobrecopa: relações com as variáveis climáticas	50
Resumo	50
Abstract	51
Introdução	53
Material e Métodos	59
1. <i>Material vegetal e condições de cultivo</i>	59
2. <i>Determinação do fluxo de seiva</i>	60

3. <i>Variáveis climáticas</i>	61
Resultados e Discussão	63
Resumo e Conclusões	72
Referências Bibliográficas	73
4. Resumo e Conclusões	79
5. Referências Bibliográficas	80

## LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E NOMENCLATURAS

$\phi$	rendimento quântico aparente ( $\mu\text{mol } \mu\text{mol}^{-1}$ )
A	Taxa fotossintética líquida ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
ET/TR	Prob. do $\bar{e}$ redutor de $Q_A$ entrar na cadeia de transporte de $\bar{e}$
DI/CS	energia não-capturada pelos centros de reação, por unid. secção transversal
DI/RC	energia não-capturada pelos centros de reação, por unid. centro de reação
DPV <sub>ar</sub>	Déficit de pressão de vapor do ar (kPa)
DPV <sub>folha-ar</sub>	Déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar (kPa)
DFMD	Depressão da fotossíntese ao meio-dia
E	Transpiração ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
e <sub>ar</sub>	Pressão de vapor do ar em torno da folha (kPa)
e <sub>sfolha</sub>	pressão de vapor de saturação do ar dentro da folha (kPa)
EIUA	Eficiência intrínseca no uso da água ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ )
ET <sub>0</sub>	Evapotranspiração de referência horária ( $\text{mm h}^{-1}$ )
ET/CS	transporte de elétrons por unidade de secção transversal
FFF	Fluxo de fótons fotossintéticos ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
FSX	Fluxo de seiva xilemática ( $\text{L h}^{-1} \text{m}^{-2}$ folha)
F <sub>v</sub> /F <sub>m</sub>	Rendimento quântico máximo do fotossistema II
g <sub>s</sub>	Condutância estomática ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
MASC	Microaspersão sobrecopa
T <sub>ar</sub>	Temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ )
T <sub>folha</sub>	Temperatura da folha ( $^{\circ}\text{C}$ )

## RESUMO

REIS, Fabrício de Oliveira. D.S. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, março de 2007. Microaspersão sobrecopa em mamoeiro 'Golden': um estudo relacionado às trocas gasosas, à eficiência fotoquímica e ao fluxo de seiva xilemática; Professor Orientador: Eliemar Campostrini.

O mamoeiro (*Carica papaya* L.) é uma espécie proveniente da América Central e, portanto, uma fruteira tropical adaptada a regiões de elevadas temperaturas e radiação solar. Mesmo sendo adaptada a climas tropicais, a interceptação dos raios solares pelas folhas desta espécie pode causar elevações na temperatura foliar, principalmente nos horários mais quentes do dia. Nestes horários, alguns genótipos podem apresentar diminuição na turgescência foliar. Esta diminuição pode estar associada ao fechamento estomático, e, conseqüentemente, tal diminuição pode causar redução na taxa fotossintética líquida (A). Esta redução em A, relacionada ao comprometimento da condutância estomática, pode estar associada a elevados valores de déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar ( $DPV_{\text{folha-ar}}$ ), embora não se descarte a possibilidade de os efeitos não-estomáticos também estarem envolvidos. Com a aplicação de água via microaspersão sobrecopa (MASC), quando a temperatura do ar atingia 31°C nas plantas de mamoeiro 'Golden', visou-se reduzir a temperatura foliar e os efeitos negativos desta variável na assimilação

fotossintética de  $\text{CO}_2$ . Em ambas as épocas estudadas, a aplicação de água sobre o dossel não foi eficiente para evitar a fotoinibição dinâmica (efeitos não-estomáticos). Entretanto, em ocasiões de temperaturas elevadas, esse tratamento foi eficiente no aumento da abertura estomática. Mesmo submetido a um dano fotoquímico, o aumento na abertura dos estômatos nas folhas de mamoeiros com microaspersão sobrecopa superou tal comprometimento na fase fotoquímica da fotossíntese, o que foi evidenciado, pela manutenção ao meio-dia do valor da assimilação fotossintética do carbono. Em 20 semanas de colheita, o procedimento de resfriamento do dossel (por meio da microaspersão sobrecopa) promoveu um aumento significativo de 6 frutos por planta. A aplicação de água sobre o dossel de plantas se mostrou eficiente na otimização da taxa fotossintética líquida, por meio do aumento da condutância estomática. Ainda, neste trabalho, estudou-se também, em um segundo experimento em duas épocas (verão e inverno), as possíveis relações entre o fluxo de seiva xilemática e as variáveis climáticas como fluxo de fótons fotossintéticos (FFF), déficit de pressão de vapor do ar ( $\text{DPV}_{\text{ar}}$ ) e evapotranspiração de referência ( $\text{ET}_0$ ). Para as medições de fluxo de seiva, utilizou-se o método de dissipação de calor proposto por Granier (1985), com calibração proposta por Reis (2006). A partir dos resultados obtidos no segundo experimento, constatou-se uma fase *lag*, ou seja, um atraso entre a perda de água pelas folhas e o movimento de água através do tronco, sendo que este fenômeno ocorreu com maior intensidade no inverno. No verão, obteve-se uma boa correlação entre fluxo de seiva xilemática (FSX) e  $\text{DPV}_{\text{ar}}$ , fato não observado no inverno, provavelmente devido a esta fase *lag*. No verão, em relação às plantas controle, as plantas que receberam MASC tiveram o FSX elevado. No verão, a MASC contribuiu para um pequeno aumento sobre o FSX, época em que o  $\text{ET}_0$  foi maior. Entretanto, no inverno, praticamente não houve diferença entre os tratamentos. Desta maneira, neste segundo experimento, pôde-se estimar o FSX, com boa confiabilidade por meio da evapotranspiração de referência (Penman parametrizada pela FAO).

## ABSTRACT

REIS, FABRÍCIO DE OLIVEIRA. D.S. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; March, 2007. The microaspersion upon 'Golden' papaya tree canopy: a study relating to gas exchange, photochemical efficiency, sap flow; Adviser: Eliemar Campostrini.

The papaya tree (*Carica papaya* L.) is a species from Central America, therefore a tropical plant well adapted to areas with high temperature and high solar radiation. Although this plant is well adapted to this climate, the solar radiation received by the leaves can result in a leaf temperature raise, mainly at the hottest hours and, as a result, some genotypes can show a change in the cell leaf turgor. Such change may be related to stomatal closure and consequently to CO<sub>2</sub> photosynthetic assimilation decrease. This net photosynthetic rate decrease may be related to the stomatal conductance decrease, caused by high leaf to air vapor pressure deficit (VPD<sub>leaf-to-air</sub>) values. However, the non-stomatal effects can also be involved in it. This experiment applied water by microaspersion upon 'Golden' papaya tree canopy (when the temperature achieves 31°C) aiming to reduce the leaf temperature and the negative effects of this characteristic in the CO<sub>2</sub> photosynthetic assimilation. The studies were conducted in two seasons, and as a result, the microaspersion upon tree canopy could not cope with the damages caused by the excess of

light (non-stomatal effects). However, under high temperatures, this treatment was efficient in the stomatal mechanisms. Even under a photochemical damage, the increase of the stomatal aperture in papaya leaves under microaspersion upon tree canopy overcame the damage to the photochemical stage of photosynthesis, highlighted by the midday  $\text{CO}_2$  photosynthetic assimilation values. In twenty weeks of harvest, the microaspersion upon canopy promoted a significant raise of 6 fruits per plant. The microaspersion upon canopy affected the net photosynthetic rate positively, promoted by the stomatal conductance increase. This study also investigated, in a second experiment, at two seasons (summer and winter), the possible relationship between the xylem sap flow and weather variables as photosynthetic photon flux (PPF), vapor pressure deficit ( $\text{VPD}_{\text{air}}$ ) and reference evapotranspiration ( $\text{ET}_0$ ), since it is now recognized that fine-tuning irrigation can improve crop water-use efficiency, allowing a more precise use of water and, at the same time, having a positive impact in the quality of the products. This experiment used the heat dissipation method developed by Granier (1985) to sap flow measurements, using the calibration proposed by Reis (2006). From the obtained result in this second experiment, there was a *lag* phase, that is, a delay between the leaf water loss and the movement of water through the trunk. This characteristic generally occurs with a bigger intensity in the winter. In the summer, there was a better relation between xylem sap flow and  $\text{VPD}_{\text{leaf-to-air}}$  than in the winter, probably because of this *lag* phase. In the summer, the plants that were cultivated with microaspersion had an increase in the xylem sap flow in relation to the plants cultivated without microaspersion when, at this stage, the reference evapotranspiration was higher. However, there were almost no differences between the treatments in the winter. This way, in the second experiment, it was possible to precisely estimate the xylem sap flow through the  $\text{ET}_0$ .

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil e nos últimos anos, a cultura do mamão vem registrando acréscimos significativos, tanto na área cultivada quanto na produtividade. Essa expansão tem sido conseqüência da grande aplicação de tecnologias, das importantes propriedades nutricionais e ao excelente sabor do fruto e das vantagens econômicas da cultura. Estas vantagens econômicas foram proporcionadas pela elevada produção do mamoeiro e pelas condições favoráveis à expansão dos mercados internos e, principalmente, externo, obtidas em função do alto padrão de qualidade apresentado pelo fruto brasileiro (Martins e Costa, 2003).

O mamoeiro (*Carica papaya* L) é uma planta tipicamente tropical, e, portanto, com maior crescimento e desenvolvimento em latitudes entre 21° Norte e 21° Sul, não significando, porém, produção em lugares com latitudes acima desses valores (Alvez, 2003). A região compreendida por estes paralelos se caracteriza por apresentar elevadas intensidades da radiação solar, o que está fortemente associada a elevadas temperaturas do ar e da folha.

Embora o mamoeiro esteja adaptado a regiões com elevadas temperaturas do ar, as plantas irrigadas desta espécie e cultivadas em condição de campo podem apresentar murcha das folhas nos horários mais quentes do dia. Nestes horários de maior demanda evaporativa da atmosfera, tal perda de turgescência das folhas pode estar associada a uma intensa perda de água pelas folhas, sem uma concomitante reposição deste recurso às folhas, por meio do

sistema radicular. Neste caso, pode-se caracterizar assim um déficit hídrico foliar, mesmo em condições de boa disponibilidade de água no solo.

O déficit hídrico em fruteiras pode ser causado por deficiência de água no solo, na atmosfera ou em ambos (Flore e Lackso, 1989). Estes autores relataram que os fatores do ambiente (componentes atmosféricos) são de extrema importância no controle da perda de água por estas classes de plantas, uma vez que fruteiras possuem uma baixa condutividade hidráulica das raízes.

Quando se quantifica a taxa fotossintética diária, é muito comum observar em algumas plantas a redução da taxa fotossintética líquida próximo ao horário de meio-dia (Xu e Shen, 1997) e este fenômeno é conhecido como “depressão da fotossíntese ao meio-dia (DFMD)”. Na literatura, tem-se relatado que a DFMD é causada por fatores estomáticos e não-estomáticos (Xu e Shen, 1997; Huang et al., 2006). A utilização da técnica que consiste em aplicar água via microaspersão sobre as folhas das plantas cultivadas sob condição de campo, pode ser uma excelente estratégia para reduzir este fenômeno, com reflexos na produtividade em algumas plantas (Xu e Shen, 1997).

A ação da luz sobre o processo transpiratório pode ser de forma indireta, atuando sobre a temperatura foliar. Esta última variável influenciará o valor do déficit de pressão de saturação da folha ( $e_{s\text{folha}}$ ) (Long e Hallgren, 1993). Ou seja, elevados valores da irradiância/fluxo de fótons fotossintéticos sobre a folha poderão causar elevações na temperatura deste órgão, conseqüentemente causando elevados valores de  $e_s$ , aumentando assim o  $DPV_{\text{folha-ar}}$ . Os horários de maiores FFF estão associados a maior  $T_{\text{ar}}$  o que pode causar redução na pressão de vapor do ar ( $e_{\text{ar}}$ ). É sabido que o  $DPV_{\text{folha-ar}}$  é uma das variáveis que pode atuar significativamente sobre a condutância estomática em folhas (El-Sharkawy e Cock, 1984; Reis, 2003).

A aplicação exata ou próxima das necessidades ideais de água para as culturas de interesse agrônômico é um dos grandes desafios para otimizar a aplicação deste grandioso recurso natural. De fato, com o passar dos anos, os recursos hídricos aptos a serem usados na agricultura estão ficando cada vez mais escassos, o que torna justificável estratégias de manejo para economizar tais recursos.

Dentre as técnicas utilizadas para a medição da transpiração, o uso de sondas (termopares), pode ser uma ótima alternativa para se estimar com grande

eficiência o fluxo de água através do tronco (Granier, 1987; Smith e Allen, 1996). Esta técnica se baseia nas propriedades de dissipação térmica da água através do tronco vegetal, e desta maneira estima-se a densidade do fluxo de seiva xilemática (Dragoni et al., 2005). Nesta condição, admite-se que a água que se movimenta no tronco do sistema raiz/parte aérea é em sua totalidade proveniente do xilema (Percy et al., 1989).

Na literatura, encontra-se um número escasso de trabalhos relacionados a metodologias para se aplicar a quantidade de água próxima das exigências hídricas ideais do mamoeiro. Daí a importância de se efetuar relações entre as variáveis do clima, por meio da estimativa de ETo, com os valores do fluxo de seiva xilemática em mamoeiros cultivados em condição de campo. A partir destas informações, será possível desenvolver metodologias mais simples, para tentar aplicar a quantidade de água ideal, evitando assim, limitações ou excesso deste recurso nas raízes das plantas do mamoeiro. Tal ação poderá ser fundamental para a economia de tempo, área de plantio e recursos, com grandes possibilidades de elevação da rentabilidade econômica e conservação do ambiente em lavouras desta espécie.

Desta maneira, o objetivo deste trabalho foi investigar os possíveis efeitos da microaspersão sobrecopa nas trocas gasosas, eficiência fotoquímica e fluxo de seiva xilemática, bem como investigar possíveis relações entre as variáveis climatológicas e o movimento de água xilemática através do tronco em plantas de mamoeiro 'Golden' cultivado em condições de campo.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Nos horários de maior demanda hídrica da atmosfera, ocorre o murchamento das folhas em plantas de mamoeiro. Esta perda de turgescência pode estar associada a uma intensa perda de água pelas folhas, sem uma concomitante reposição destas moléculas a estes órgãos, por meio do sistema radicular, caracterizando um déficit hídrico foliar, mesmo em condições de boa disponibilidade de água no solo (Reis, 2003).

Ao final da tarde, pode-se notar a recuperação da turgescência das folhas, uma vez que no mamoeiro, a diminuição na turgescência foliar está associada à diminuição da condutância estomática (Torres-Netto, 2005). Isto demonstra que nos horários mais quentes (elevados  $DPV_{ar}$  e  $DPV_{folha-ar}$ ), o processo fotossintético pode estar sendo comprometido, pois nesta espécie, existe uma elevada relação positiva entre a abertura estomática e a taxa fotossintética líquida (Campostrini e Yamanishi, 2001; Machado Filho et al., 2006).

As maiores aberturas estomáticas podem proporcionar maior chegada do dióxido de carbono até os sítios de carboxilação da rubisco, otimizando a assimilação fotossintética do carbono nesta espécie (Farquhar e Sharkey, 1982).

O processo de diminuição da taxa fotossintética líquida ( $A$ ) nos horários próximos ao meio-dia é conhecido como depressão da fotossíntese ao meio-dia (DFMD) reportado muito bem por Xu e Shen (1997). Este fenômeno é comum em várias culturas como soja (Huck et al., 1983), algodão (Pettigrew et al., 1990), girassol e videira (Quick et al., 1992). Esta redução em  $A$  pode estar relacionada

aos efeitos estomáticos e não-estomáticos. Na literatura, tal processo de redução na assimilação fotossintética do carbono pode estar associado à redução na produtividade de algumas culturas (Xu e Shen, 1997). De fato, segundo estes autores, a DFMD pode causar uma redução de 30 a 50% na produtividade de culturas como mandioca, trigo e soja.

A DFMD pode reduzir drasticamente a assimilação de carbono, por meio da redução na condutância estomática (Raschke e Rosemann, 1986; Chaumont et al., 1997; Su e Liu, 2005). Tal redução pode causar baixa pressão parcial do  $\text{CO}_2$  no mesófilo foliar, o que limitaria a reação de carboxilação da rubisco.

O déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar ( $\text{DPV}_{\text{folha-ar}}$ ) é um dos principais fatores que controlam a condutância estomática ( $g_s$ ) (El-Sharkawy e Cock, 1984; El-Sharkawy et al., 1984; Cock et al., 1985; El-Sharkawy, 1990). Porém, o mecanismo de resposta dos estômatos à ação desta variável do ambiente ainda não é bem conhecido (Bunce, 1996). Alguns autores relatam que o efeito do  $\text{DPV}_{\text{folha-ar}}$  sobre a condutância estomática esteja associado à evaporação periestomática, ou seja, as células estomáticas perderiam água diretamente para o ar seco em torno da folha (Schulze et al., 1972). Esta informação admite que exista uma resistência ao fluxo de água a partir dos vasos terminais do xilema até as células estomáticas, via rota mesófilo foliar/epiderme (Tyree e Yianoulis, 1980).

A demanda hídrica da atmosfera avaliada por meio do  $\text{DPV}_{\text{ar}}$  sobre as trocas gasosas em plantas de mamoeiro foi relatado por Machado Filho et al. (2006). Estes autores mostraram que valores desta variável do ambiente, em torno de 2,5 kPa às 15:00h, na época seca, causou significativas reduções na condutância estomática, transpiração e taxa fotossintética líquida.

Quando se efetuam determinações do movimento de água no tronco de plantas de menor porte, por meio da técnica do fluxo de seiva xilemática, o fluxo de água no tronco é equivalente à transpiração do dossel (Wullschlegel et al., 1998). Entretanto, em árvores, existe uma fase denominada de fase *lag*, ou seja, pode haver uma transpiração do dossel sem haver um movimento de água no tronco onde estão inseridas as sondas (Schulze et al., 1985; Phillips et al., 1997). Segundo Wullschlegel et al. (1998) esta fase pode variar de minutos a várias horas, e vai depender da capacidade de armazenamento de água na biomassa do tronco acima do local de inserção das sondas. Como exemplo, na parte da

manhã, o fluxo de água que sai do dossel (transpiração) é bem maior que o movimento de água detectado nas sondas localizadas na base do tronco, indicando uma remoção líquida desta molécula nas partes acima da inserção das sondas (Schulze et al., 1985). Entretanto, no período da tarde, o fluxo de água na base do tronco pode ser maior que a transpiração do dossel, o que indica uma recarga de água na biomassa do tronco acima da inserção das sondas (Wullschleger et al., 1998).

O método de dissipação de calor (calor constante), proposto por Granier (1985) requer uma calibração empírica, ou seja, para a utilização deste método em uma determinada cultura, é necessária uma calibração específica para a utilização do equipamento na espécie em estudo. Esta calibração consiste na conversão da diferença de temperatura ( $\Delta T$ ) em densidade de fluxo de seiva, utilizando-se a área ativa do xilema, a qual por sua vez é utilizada para o cálculo do fluxo total (Kostner et al., 1996). A condutância da camada limítrofe entre a folha e o ar e o padrão de absorção de água através das raízes não são alterados por este método. O método proposto por Granier (1985) é um método relativamente econômico, permitindo o aumento do número de plantas amostradas, objetivando alcançar com segurança, os valores de transpiração em condições de campo (Schmid e Bettner, 1999).

Os efeitos da baixa disponibilidade de água no solo sobre o processo fotossintético do mamoeiro foram relatados em diversos trabalhos (Marler et al., 1994; Clemente e Marler, 1996; Marler e Mickelbart, 1998). Estes trabalhos se relacionam à aplicação do estresse hídrico em condição de campo e casa de vegetação. Em condição de casa de vegetação, a taxa fotossintética ( $A$ ), a condutância estomática ( $g_s$ ) e o rendimento quântico aparente ( $\phi$ ) foram significativamente comprometidos aos 5 dias de cultivo, quando o potencial hídrico do solo atingiu  $-36,7\text{kPa}$ . Neste potencial, os valores de  $A$ ,  $g_s$  e  $\phi$  foram  $2,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ,  $0,044 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e  $0,019 \mu\text{mol } \mu\text{mol}^{-1}$ , respectivamente. Marler et al., (1994) postularam que, sob condição de estresse hídrico, os estômatos das folhas desta espécie se fecham devido ao status hídrico do solo e da raiz e não à desidratação da folha.

Plantas de mamoeiro do genótipo 'Red Lady', estudadas por Marler e Mickelbart, (1998), cultivados sob condição de campo, o potencial hídrico do solo de  $-68\text{kPa}$  foi considerado o tratamento sob deficiência hídrica. Neste potencial

hídrico, os valores de A foram 50% inferiores aos valores das plantas consideradas controle (potencial hídrico de solo de  $-20\text{kPa}$ ) (Marler e Mickelbart, 1998).

Na Índia, Srinivas (1996), Trabalhando com mamoeiro, realizou reposições de água no solo correspondentes a 20, 40, 60, 80, 100 e 120% de evaporação no tanque Classe A, com irrigação do tipo gotejamento. O aumento da reposição de água de 20% para 120%, proporcionou um acréscimo de 18,8% na taxa transpiratória, 21,9% na altura da planta, 88,3% no número de frutos e 34,6% na produção. O uso da água, de 0 a 36 meses após o plantio, aumentou com o aumento das taxas de reposição de água. A eficiência do uso da água durante este período decresceu 58,6 para 30,9  $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$  nos tratamentos 20% e 120% de taxas de reposição de água, respectivamente.

Em condição de campo, Marler e Mickelbart (1998), trabalhando com plantas de mamoeiro 'Red Lady', relataram que, em plantas com boa disponibilidade de água no solo ( $\psi_s = -19\text{kPa}$ , controle), 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 relataram que não houve alterações na eficiência fotoquímica máxima do fotossistema II ( $F_v/F_m > 0,75$ ), avaliada por meio da fluorescência. Estas informações mostram que em dias com irradiação com fluxos de fótons fotossintéticos de grande intensidade ( $> 1800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), os efeitos estomáticos são os principais controladores da taxa fotossintética líquida. Resultados semelhantes foram obtidos por Reis (2003).

Em algumas plantas, os efeitos não-estomáticos podem estar associados a DFMD (Xu e Wu, 1996; Pons e Welschen, 2003; Huang et al., 2006). Nestes estudos, a redução na assimilação fotossintética do carbono foi associada à inativação irreversível nos centros de reação do fotossistema II (PSII) (fotoinibição), ao incremento na dissipação térmica no sistema antena e à elevação na fotorespiração (Guo et al., 1994; Huang et al., 2006).

A redução na assimilação fotossintética do carbono também foi associada ao decréscimo na atividade carboxilativa da rubisco, por ação indireta da temperatura, nos horários próximos ao meio-dia (Pons e Welschen, 2003). Azcon-Bieto (1986) relata que o acúmulo de carboidrato pode causar um efeito do tipo

*feedback* no processo fotossintético e, em adição aos fatores supracitados, ser mais um fator que pode contribuir para a DFMD.

A fotoinibição está usualmente relacionada à inativação dos centros de reação associados ao PSII (Osmond, 1994). De uma maneira geral, a emissão da fluorescência da clorofila, por ser uma técnica rápida, precisa e não-destrutiva, tem sido a mais usada para a determinação e quantificação da fotoinibição. Danos severos neste fotossistema, causados pelo excesso de energia luminosa, decresce a assimilação fotossintética do carbono em condições de luz saturante (Cheeseman e Lexa, 1996).

Visto que a DFMD pode reduzir a produtividade, algumas estratégias de manejo no cultivo das plantas de interesse agrônômico têm sido feitas objetivando reduzir tal fenômeno. A aplicação de água, via nebulização, por 40 dias incrementou a taxa fotossintética em folhas de mandioca, elevou a produção de massa seca de raízes e a produção total de biomassa em 91% e 27%, respectivamente (Cock et al., 1985).

### 3. TRABALHOS

MICROASPERSÃO SOBRECOPA: UM ESTUDO RELACIONADO ÀS TROCAS GASOSAS E À EFICIÊNCIA FOTOQUÍMICA EM PLANTAS DE MAMOEIRO.

#### RESUMO

As regiões de baixas latitudes onde se cultiva o mamoeiro são caracterizadas por valores elevados de fluxo de fótons fotossintéticos (FFF) e temperatura do ar ( $T_{ar}$ ), o que pode resultar em maior temperatura foliar ( $T_f$ ). Embora esta espécie apresente uma adaptação a esse clima, nos horários em torno do meio-dia, alguns genótipos apresentam redução na turgescência foliar. Tal murchamento da folha pode estar associado ao fechamento estomático e conseqüentemente na redução da assimilação fotossintética do carbono. Essa redução na taxa fotossintética líquida, associada à redução da condutância estomática, é causada por elevados valores de  $DPV_{folha-ar}$ . Entretanto, os efeitos não-estomáticos também podem estar envolvidos. Nesse experimento realizado no município de Linhares, ES, aplicou-se água (quando a temperatura do ar atingiu 31°C) via microaspersão sobre o dossel das plantas de mamoeiro 'Golden' cultivado em condição de campo. Como resultado, nas duas épocas estudadas

(março e junho de 2005), a aplicação de água sobre o dossel não foi eficiente para evitar o dano causado por excesso de luz (efeitos não-estomáticos). Entretanto, em ocasiões de temperaturas elevadas, esse tratamento em que se aplicou água sobre o dossel foi eficiente na otimização da abertura estomática. Mesmo submetido a um dano fotoquímico, o aumento na abertura estomática nas folhas de mamoeiros submetidos à microaspersão sobrecopa, superou tal comprometimento na fase fotoquímica da fotossíntese, o que foi evidenciado, pela manutenção ao meio-dia do valor da assimilação fotossintética do carbono. Em 20 semanas de colheita, o procedimento de resfriamento da copa causada pela microaspersão sobrecopa promoveu um aumento significativo de 6 frutos por planta. A aplicação de água sobre o dossel de plantas se mostrou eficiente na redução da DFMD, por meio do aumento da condutância estomática.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Carica papaya* L., trocas gasosas, fotossíntese.

#### THE MICROASPERSSION UPON TREE CANOPY: A STUDY RELATING TO GAS EXCHANGE AND THE PHOTOCHEMICAL EFFICIENCY IN PAPAYA TREES.

#### ABSTRACT

The low latitude areas, where papaya trees are cultivated, are characterized by high photosynthetic photon flux and high air temperature, consequently resulting in a high leaf temperature. Although this plant is well adapted to this climate, at the hottest hours around midday, some genotypes show a change in the cell leaf turgor. Such change may be related to stomatal closure and consequently to CO<sub>2</sub> photosynthetic assimilation decrease. This net photosynthetic rate decrease may be related to the stomatal conductance decrease, caused by high VPD<sub>leaf-to-air</sub> values. However, the non-stomatal effects can also be involved in it. This experiment applied water (when the temperature achieves 31°C) by microaspersion upon 'Golden' papaya tree canopy cultivated under field conditions in the city of Linhares-ES aiming to reduce the leaf temperature and the negative effects of this characteristic in the CO<sub>2</sub> photosynthetic assimilation. The studies were conducted in two seasons (March

and June / 2005), and as a result, the microaspersion upon tree canopy could not cope with the damages caused by the excess of light (non-stomatal effects). However, under high temperatures, this treatment was efficient in the stomatal mechanisms. Even under a photochemical damage, the increase of the stomatal aperture in papaya leaves under microaspersion upon tree canopy overcame the damage to the photochemical stage of photosynthesis, highlighted by the midday CO<sub>2</sub> photosynthetic assimilation values. In twenty weeks of harvest, the microaspersion upon canopy promoted a significant raise of 6 fruits per plant, and affected the net photosynthetic rate positively, promoted by the stomatal conductance increase.

KEYWORDS: *Carica papaya* L., gas exchange, photosynthesis

## INTRODUÇÃO

O mamoeiro (*Carica papaya* L) é uma planta tipicamente tropical, e, portanto, com maior crescimento e desenvolvimento em latitudes entre 21° Norte e 21° Sul, embora existam produções desta cultura em latitudes maiores (Alvez, 2003). A região compreendida por estes paralelos se caracteriza por apresentar elevadas intensidades da radiação solar, o que está fortemente associada a elevadas temperaturas do ar ( $T_{ar}$ ) e da folha ( $T_f$ ). Embora esta espécie esteja adaptada a regiões com elevadas temperaturas do ar, plantas irrigadas cultivadas em condição de campo normalmente apresentam murcha de folhas nos horários mais quentes do dia, normalmente observado das 11:00h às 15:00h (Reis e Campostrini, 2005). Como foi relatado por Reis (2003), este murchamento foliar é principalmente observado em genótipos do grupo 'Formosa'. Nestes horários de maior demanda hídrica da atmosfera, tal murchamento das folhas pode estar associado a uma intensa perda de água, sem uma concomitante reposição destas moléculas às folhas. Neste caso, pode-se caracterizar assim um déficit hídrico foliar, mesmo em condições de adequada disponibilidade de água no solo.

Após o período mais quente do dia (11h até às 15h), nota-se a recuperação da turgescência das folhas. Uma vez que nesta espécie, a diminuição na turgescência foliar está associada à diminuição da condutância

estomática (Torres-Netto, 2005), este fato pode mostrar que nos horários mais quentes do dia (elevados  $DPV_{ar}$  e  $DPV_{folha-ar}$ ), o processo fotossintético pode estar sendo comprometido, pois nesta espécie, existe uma elevada relação positiva entre a abertura estomática e a taxa fotossintética líquida ( $A$ ) (Campostrini e Yamanishi, 2001; Machado Filho et al., 2006). As maiores aberturas estomáticas podem proporcionar maior chegada do dióxido de carbono até os sítios de carboxilação da rubisco, otimizando a assimilação fotossintética do carbono nesta espécie (Farquhar e Sharkey, 1982). Segundo Salazar (1978), a elevação na taxa fotossintética líquida pode contribuir significativamente na qualidade dos frutos do mamoeiro.

Nos horários próximos ao meio-dia, o processo de diminuição da taxa fotossintética líquida é conhecido como "depressão da fotossíntese ao meio-dia" (DFMD) e as causas desta redução em  $A$  foi reportado por Xu e Shen (1997). Este fenômeno é comum em várias culturas como soja (Huck et al., 1983), algodão (Pettigrew et al., 1990), girassol e videira (Quick et al., 1992), e esta "depressão" na taxa fotossintética líquida pode estar relacionada aos efeitos estomáticos e não-estomáticos. Na literatura, tal processo de redução de  $A$  em torno de meio-dia pode estar associado à redução na produtividade de algumas culturas (Xu e Shen, 1997). De fato, segundo estes autores, a DFMD pode causar uma redução de 30 a 50% na produtividade de culturas como mandioca, trigo e soja.

Na grande maioria das espécies de clima tropical e nos horários de maiores valores de déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar ( $DPV_{folha-ar}$ ), a DFMD pode reduzir drasticamente a assimilação de carbono, por meio da redução na condutância estomática (Raschke e Rosemann, 1986; Chaumont et al., 1997; Su e Liu, 2005). Tal redução pode causar baixa pressão parcial do  $CO_2$  no mesófilo foliar, o que limitaria a reação de carboxilação da rubisco.

Os fatores do ambiente como temperatura do ar e umidade relativa contribuem na magnitude do  $DPV_{folha-ar}$ , pois esta variável é caracterizada pela diferença entre a pressão de vapor de saturação dentro da folha ( $e_{sfolha}$ ) (controlada pela temperatura da folha, uma vez que no interior da folha, considera-se 100% de umidade relativa) (Long e Hällgreen, 1993) e a pressão de vapor do ar que circunda a folha ( $e_{ar}$ ) (controlada pela temperatura e umidade relativa do ar). Portanto, nos horários mais quentes do dia, o  $DPV_{folha-ar}$  apresenta-

se mais elevado, em valores elevados de temperaturas e valores reduzidos de umidade relativa do ar.

Considerando os efeitos estomáticos sobre a DFMD, é bem provável que, nos horários mais quentes do dia, o  $DPV_{\text{folha-ar}}$  controla a condutância estomática, que por sua vez controla a taxa fotossintética líquida.

Em condição de campo e de laboratório, muitos trabalhos realizados com várias espécies vegetais têm mostrado que a condutância estomática em folhas é reduzida com a exposição ao ar seco (El-Sharkawy e Cock, 1984; El-Sharkawy et al., 1984; Cock et al., 1985; El-Sharkawy, 1990). Em geral, o dossel das culturas pode apresentar a mesma resposta à ação do ar seco que as folhas. Portanto, é aceito que modelos de respostas dos estômatos ao ambiente devam incluir a variável DPV ou umidade relativa (Monteith, 1995). O déficit de pressão de vapor do ar ( $DPV_{\text{ar}}$ ) é um dos maiores fatores que controlam a condutância estomática ( $g_s$ ) (El-Sharkawy e Cock, 1984; El-Sharkawy et al., 1984; Cock et al., 1985; El-Sharkawy, 1990). Porém, o mecanismo de resposta dos estômatos à ação desta variável do ambiente ainda não é bem conhecido (Bunce, 1996). Alguns autores relatam que o efeito do  $DPV_{\text{folha-ar}}$  sobre a condutância estomática esteja associado à evaporação periestomática, ou seja, as células estomáticas perderiam água diretamente para o ar seco em torno da folha (Schulze et al., 1972). Esta informação admite que exista uma resistência ao fluxo de água a partir dos vasos terminais do xilema até as células estomáticas, via rota mesofilo foliar/epiderme (Tyree e Yianoulis, 1980). Tal saída da molécula de água das células estomáticas, sem uma concomitante reposição hídrica destas pelo mesofilo foliar, provocaria redução na pressão de turgescência destas células, o que causaria fechamento do poro estomático. Entretanto, uma ação fitormonal, via balanço entre ácido abscísico e citocinina, não pode ser descartada (Raschke, 1987; Mansfield, 1997).

Em mamoeiro, El-Sharkawy et al. (1985) verificaram que os estômatos desta espécie foram altamente responsivos a ação do  $DPV_{\text{folha-ar}}$ , ou seja, houve uma redução em 47% na condutância dos estômatos quando o  $DPV_{\text{folha-ar}}$  incrementou de 1~1,5 kPa para 3,5~4,5 kPa. Neste trabalho, esta mesma variação no  $DPV_{\text{folha-ar}}$  causou uma redução na taxa fotossintética líquida de 48%. Nesta mesma espécie cultivada sob condição de campo na região Norte Fluminense, Reis (2003) constatou que valores de  $DPV_{\text{folha-ar}}$  em torno 6 a 7 kPa

promoveram valores em torno de  $0 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  de condutância estomática, com correspondentes valores próximos de  $0 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  da taxa fotossintética líquida. Tais valores extremamente elevados de  $\text{DPV}_{\text{folha-ar}}$  foram obtidos no verão, em dias com ausência de nuvens no céu, e entre 10:00h e 14:00h. Assim como Marler e Mickelbart (1998), Reis (2003) relatou que os efeitos do  $\text{DPV}_{\text{folha-ar}}$  sobre as trocas gasosas foram maiores em dias de céu com ausência de nuvens. Tal resultado está associado à elevada chegada de radiação nas folhas, o que provocaria elevação da temperatura da folha e do ar, bem como à redução na umidade relativa do ar que circunda a folha. Em dias nublados, teria uma ação oposta da radiação sobre a temperatura do ar, temperatura da folha e umidade relativa do ar. Assim, em dias com presença de nuvens, os efeitos indiretos do FFF sobre os estômatos, por ação do  $\text{DPV}_{\text{folha-ar}}$  seriam menores.

Um outro trabalho relacionado à demanda hídrica da atmosfera avaliada por meio do  $\text{DPV}_{\text{ar}}$  sobre as trocas gasosas em plantas de mamoeiro, foi o publicado por Machado Filho et al. (2006). Estes autores mostraram que valores desta variável do ambiente, em torno de 2,5 kPa às 15h, na época seca, causou significativas reduções na condutância estomática, transpiração e taxa fotossintética líquida. Entretanto, nas condições do cerrado baiano, os autores efetuaram medições diárias da taxa fotossintética líquida, tanto no verão como no inverno, e não observaram a DFMD. Possivelmente, a presença de nuvens esparsas nos horários propícios a ocorrer a DFMD pode ter sido o fator responsável pela não-detecção do fenômeno.

Em algumas plantas, os efeitos não-estomáticos podem estar associados à DFMD (Xu e Wu, 1996; Pons e Welschen, 2003; Huang et al., 2006). Nestes estudos, a redução na assimilação fotossintética do carbono foi associada à inativação irreversível nos centros de reação do fotossistema II (PSII) (fotoinibição), ao incremento na dissipação térmica no sistema antena e à elevação na fotorespiração (Guo et al., 1994; Huang et al., 2006). A redução na assimilação fotossintética do carbono também foi associada ao decréscimo na atividade carboxilativa da rubisco, por ação indireta da temperatura, nos horários próximos ao meio-dia (Pons e Welschen, 2003). Azcon-Bieto (1986) relata que o acúmulo de carboidrato pode causar um efeito do tipo *feedback* no processo fotossintético e, em adição aos fatores supracitados, ser mais um fator que pode contribuir para a DFMD.

Com relação à fotoinibição, este processo usualmente está relacionado à inativação dos centros de reação associados ao PSII (Osmond, 1994). De uma maneira geral, a emissão da fluorescência da clorofila, por ser uma técnica rápida, precisa e não-destrutiva, tem sido a mais usada para a determinação e quantificação da fotoinibição. Danos severos neste fotossistema, causados pelo excesso de energia luminosa, decresce a assimilação fotossintética do carbono em condições de luz saturante (Cheeseman e Lexa, 1996). A temperatura supra-ótima e o déficit hídrico podem potencializar o efeito fotoinibitório, causando comprometimentos no processo fotossintético (Gamon e Percy, 1990). Esta inativação dos centros de reação do PSII, segundo Osmond (1994), pode ser dinâmica ou crônica. Quando o dano no PSII é rapidamente reversível (dinâmica), ele é conhecido como um controle do tipo *downregulation*, ou seja, a redução nos valores da relação  $F_v/F_m$  é devido à elevação em um dos componentes do *quenching* não-fotoquímico (qN), *quenching* este, associado ao gradiente transtilacoidal (qE) (Weis e Berry, 1987) e no *quenching* não-fotoquímico associado à ação da zeaxantina localizada no sistema coletor de luz do PSII (LHCII, *Light Harvesting Complex*) (Horton e Ruban, 1994). Nestas condições de excitação de energia, envolve uma dissipação termal. Neste caso de fotoinibição dinâmica, tem-se uma redução no rendimento quântico sem haver redução na assimilação fotossintética do carbono em condições de luz saturante. Na fotoinibição do tipo crônica, ocorre decréscimo tanto do rendimento quântico como na assimilação fotossintética do carbono em condições de luz saturante. Esta fotoinibição está associada a um severo dano no polipeptídeo D1 do PSII. Ao contrário da fotoinibição dinâmica, a fotoinibição crônica pode persistir de semanas a meses (Osmond, 1994).

Um outro efeito não-estomático da DFMD, indiretamente causado pela diminuição da condutância estomática, é a elevação da fotorespiração (Franco e Lüttge, 2002). Em condição de fechamento estomático, ocorre a diminuição da concentração de CO<sub>2</sub> nos cloroplastos. Com a elevação da temperatura e em condição de luz, a rubisco poderá atuar mais como oxigenase do que carboxilase, diminuindo assim a assimilação fotossintética do carbono (Berry e Björkman, 1980).

Apesar de a DFMD causar reduções em vários processos metabólicos nas plantas, este fenômeno, do ponto de vista ecofisiológico e durante a evolução

dos vegetais, parece ser uma importante estratégia, para que a planta possa evitar que os fatores do ambiente comprometam em maior intensidade os processos metabólicos vitais da planta (Xu e Shen, 1997). A diminuição na condutância estomática e a diminuição da eficiência fotoquímica máxima do PSII (expressos por  $F_v/F_m$ , sendo que esta última variável está associada ao processo denominado *downregulation* da eficiência fotoquímica) são mecanismos que, quando são reduzidos, evitam a perda de água e o fotodano ao aparato fotoquímico em condições de elevado fluxo de fótons fotossintéticos. Entretanto, mesmo considerando que a DFMD é um processo regulatório, e tal processo é fundamental para a sobrevivência da planta sob condição de estresse (Xu e Shen, 1997), esse mecanismo exige um comprometimento na eficiência no uso da luz e na produtividade do vegetal. Visto que a DFMD pode reduzir a produtividade, algumas estratégias de manejo no cultivo das plantas de interesse agrônomo têm sido feitas objetivando reduzir tal fenômeno. A aplicação de água, via nebulização, por 40 dias incrementou a taxa fotossintética em folhas de mandioca, elevou a produção de massa seca de raízes e a produção total de biomassa em 91% e 27%, respectivamente (Cock et al., 1985).

Uma vez que a DFMD pode afetar a assimilação fotossintética do carbono em um grande grupo de espécies de plantas, por meio de efeitos estomáticos e não-estomáticos, e tal redução na assimilação pode afetar o crescimento e desenvolvimento das plantas (já que a fotossíntese é o processo primário pelo qual as plantas usam a energia luminosa para sintetizar os compostos orgânicos), a busca de estratégias de manejo que possam ser aplicadas, a partir de um conhecimento avançado do fenômeno, é de extrema importância.

O objetivo deste trabalho foi aplicar água, nos horários de maior temperatura do ar, via microaspersão sobre o dossel de plantas de mamoeiro cultivadas sob condição de campo, com a finalidade de reduzir a DFMD. Tal estudo foi feito utilizando medidas das trocas gasosas e da fluorescência como técnicas avaliadoras dos possíveis efeitos estomáticos e não-estomáticos sobre a assimilação fotossintética do carbono e produção.

## MATERIAL E MÉTODOS

### 1 Material vegetal e condições de cultivo

Neste trabalho, utilizou-se a espécie *Carica papaya* L., pertencente à classe *Dicotyledoneae*, subclasse *Archichlamydeae*, ordem *Violales*, subordem *Caricaceae* e gênero *Carica*. O genótipo utilizado desta espécie foi o 'Golden' pertencente ao grupo 'Solo'. Nas avaliações de março de 2005, as plantas tinham 7 meses de idade, 11 cm de diâmetro de tronco (à 30 cm do solo) e 2,40 m de Altura. Em junho de 2005, com 10 meses de idade, as plantas tinham em média 14 cm de diâmetro de tronco (à 30 cm do solo) e 3,15 de Altura.

O estudo foi realizado em uma área de plantio comercial localizada no município de Linhares, situado no Norte do Estado do Espírito Santo (latitude de 19° 10' S e longitude de 39° 50' O), especificamente na Empresa Caliman Agrícola S/A. Segundo a classificação de Koppen, o clima da região é Aw, caracterizado por temperaturas elevadas com chuva no verão e seca no inverno. As médias de temperatura dos meses mais quentes são maiores que 20°C e nos meses mais frios do ano as mínimas são menores que 18°C.

A área escolhida possuía 0,25 ha e apresentava baixa declividade, com classificação de solo de Argissolo Amarelo.

O transplântio das mudas foi feito em agosto de 2004, e o início dos tratamentos foi em dezembro deste mesmo ano. Os tratamentos foram aplicados no início do florescimento das plantas (4 meses de idade) e estes foram finalizados em janeiro de 2006.

A lavoura foi irrigada com o sistema do tipo gotejamento e o espaçamento utilizado foi de 1,50 x 3,80 m. A adubação foi feita por meio de fertirrigação de acordo com o sistema de produção comercial de frutos utilizado pela empresa Caliman Agrícola S/A. A média mensal de adubos por fertirrigação foi de: 36,56 kg ha<sup>-1</sup> de Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>; 12,75 kg ha<sup>-1</sup> de MgSO<sub>4</sub>; 22,84 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; 4,05 de MAP (fosfato monoamônico, fonte de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 0,35 kg ha<sup>-1</sup> de micronutrientes.

Na área experimental, para se efetuar a aplicação da água por meio da microaspersão sobre a copa (MASC) nas plantas de mamoeiro, foi instalado um cabo de arame galvanizado sobre a linha de plantio com altura de 5 m. Neste arame, foram instalados os microaspersores espaçados de 3 m de distância um

do outro. No tratamento considerado controle, não foi aplicado água por meio da microaspersão. Para se ter certeza de que não haveria presença de água no tratamento controle, entre os tratamentos (controle e microaspersão sobrecopa), havia duas linhas como bordadura. O tratamento com microaspersão sobrecopa e o controle tiveram quatro linhas cada. Desta maneira, na área experimental, teve-se uma linha de plantio com plantas controle, espaçadas de duas linhas como bordadura, depois uma linha com plantas submetidas à microaspersão sobrecopa, espaçadas com duas linhas como bordadura, depois uma linha controle e, nesta seqüência, até completarem 4 linhas controle e 4 linhas com microaspersão.

Durante as avaliações das características fisiológicas estudadas, foram escolhidas quatro plantas em uma linha de plantio do tratamento controle e quatro plantas em uma linha de plantio do tratamento com microaspersão sobrecopa.

Os microaspersores foram acionados por um sensor automático de temperatura, e uma bomba hidráulica era ligada toda vez que a temperatura do sensor localizado na copa da planta atingia 31°C. Segundo Reis, 2003,  $DPV_{\text{folha-ar}}$  a partir de 3,5 kPa reduzem a taxa fotossintética líquida de forma significativa, e através de relações entre  $DPV_{\text{folha-ar}}$  e temperatura do ar observou-se que a temperatura que gera este valor de  $DPV_{\text{folha-ar}}$  é de 31°C. O sensor foi posto dentro do dossel, na sombra, em uma planta com microaspersão sobrecopa. Assim que os microaspersores eram ligados, uma névoa de água era formada na parte superior do dossel das plantas submetidas ao tratamento com microaspersão e, em aproximadamente 10 minutos de funcionamento dos microaspersores, estes eram desligados automaticamente quando a temperatura diminuía até 29~30°C.

## *2. Medições das trocas gasosas:*

As medições das trocas gasosas foram feitas quando as plantas apresentavam 7 meses de idade em março e 10 meses em junho de 2005. Para tanto, a taxa fotossintética líquida ( $A$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar ( $DPV_{\text{folha-ar}}$ , kPa), transpiração ( $E$ ,  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), fluxo de fótons fotossintéticos ( $FFF$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), condutância estomática ( $g_s$ ,  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e a temperatura foliar ( $T_F$ , C°) foram determinados por meio de um sistema portátil de

medições de trocas gasosas, modelo LI-6200 (LI-COR, Lincoln, NE, USA), em duas épocas. Uma época considerada verão (15 a 18/03/2005) e outra época considerada inverno (14 a 17/06/2005). Em 4 dias de trabalho e em quatro plantas representativas de cada tratamento, na 7<sup>a</sup> ou 8<sup>a</sup> folhas contadas a partir do ápice, completamente expandidas e crescidas a pleno sol, foram feitas determinações das trocas gasosas nos horários de 8:00h, 9:00h e 12:00h. No tratamento em que foi aplicada a água via microaspersão, as medidas eram feitas logo após as folhas serem enxugadas com um papel absorvente de textura muito fina. Isso era feito para que houvesse a certeza de uma remoção completa da água sobre a folha, de modo a não superestimar a transpiração e a condutância estomática (Tanvir H. Demetriades-Shah, técnico LI-Cor, NE, USA, comunicação pessoal). Nas determinações das trocas gasosas, no LI-6200, utilizou-se uma câmara de 250mL de volume e com uma área de 9 cm<sup>2</sup>. Durante as medidas, teve-se o cuidado em manter a concentração inicial do CO<sub>2</sub> na câmara nos valores de 360± 30 µmol mol<sup>-1</sup>.

### *3. Determinação da eficiência fotoquímica*

Na mesma área da folha, no mesmo horário e na mesma época da determinação das trocas gasosas, foram feitas as medições da emissão da fluorescência da clorofila, por meio de um fluorímetro não-modulado modelo PEA (Hansatech Instruments Ltd, King's Lynn, Norfolk, UK). Para tanto, foram utilizadas pinças fornecidas pelo fabricante (3 pinças por folha) para a adaptação do tecido foliar ao escuro por 30 minutos ao menos [para que todos os centros de reação adquirissem a condição de abertos (Q<sub>a</sub> oxidada)] (Bòlhar-Nordenkampf et al., 1989). Por meio do fluorímetro não-modulado, foi possível obter a relação F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub> (rendimento quântico máximo do fotossistema II) (Bòlhar-Nordenkampf et al., 1989). A indução da fluorescência foi feita por meio de um pulso de luz vermelha (650nm) com duração de 2s com intensidade de 600 W m<sup>-2</sup> (100% de intensidade), obtido por meio de seis LEDS (Light Emitting Diodes), localizados na sonda do aparelho.

#### 4. Variáveis do JIP-Test

O *JIP-test* é um teste, o qual utiliza variáveis propostas por Strasser et al., (1999), e fornece informações sobre a estrutura e função do PSII. Por meio do software Biolyzer e das medidas obtidas pelo fluorímetro não-modulado (modelo PEA, Hansatech, Inglaterra) foi possível obter 5 níveis de fluorescência [ $F_1(t=50\mu s)$ ,  $F_2(t=100\mu s)$ ,  $F_3(t=300\mu s)$ ,  $F_4(t=2ms)$ ,  $F_5(t=30ms)$ ] (Strasser e Strasser, 1995). Com a utilização do programa Biolyzer (R. Maldonado-Rodriguez e R.J. Strasser, University of Geneva, Laboratory of Bioenergetics, Switzerland) e utilizando os níveis de fluorescência supracitados, foi possível obter outras variáveis ( $DI_0/CS_0$ ,  $DI_0/RC$ ,  $ET_0/CS_0$  e  $ET_0/TR_0$ ), denominadas por Strasser et al., (1999) como índices de vitalidade. Tais índices representam, por meio de modelos matemáticos, o fluxo de energia em biomembranas e o desempenho do processo fotoquímico da fotossíntese, com base na quantidade de centros de reação ativos. O índice  $DI_0/RC$  refere-se à energia dissipada, principalmente na forma de calor, por unidade de centro de reação ativo;  $ET_0/TR$  está relacionada à probabilidade de que um elétron que tenha causado a redução de Qa entre na cadeia de transporte de elétron nas membranas dos tilacóides; a relação  $DI_0/CS_0$  está relacionada à dissipação de energia na forma de calor e fluorescência por unidade de seção transversal da área amostrada (*Cross Section*, CS); e  $ET_0/CS_0$  é a razão entre a taxa de transporte de elétrons e a seção transversal da área foliar amostrada. Segundo Strasser et al., (1999), esta última variável está relacionada com a atividade fotossintética.

#### 5. Índice SPAD-502

A estimativa do teor de clorofilas totais foi avaliada por meio dos valores do índice de SPAD-502 e foi feita em cada folha e em cada época de medição das trocas gasosas por meio do medidor portátil de clorofila (MPC), SPAD-502 (Minolta, Japão). Estas determinações, 10 medições por folha, foram feitas nas mesmas folhas onde se fizeram as medições das trocas gasosas e da emissão da fluorescência da clorofila.

## 6. Variáveis meteorológicas

As variáveis meteorológicas como temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar, velocidade do vento e precipitação pluviométrica foram monitoradas por uma mini-estação climatológica WatchDog modelo 900ET (Spectrum Technologies, Inc. Illinois, U.S.A.) instalada próximo ao experimento. Nesta mini-estação, os dados referentes às variáveis climatológicas supracitadas foram armazenados a cada hora.

O déficit de pressão de vapor do ar ( $DPV_{ar}$ ), em kPa, 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:

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

UR é a umidade relativa do ar e  $T_{ar}$  é a temperatura do ar. Ambas as variáveis foram obtidas pela míni estação climatológica.

## 7. Produção

A estimativa da produção foi obtida por meio da contagem do número de frutos colhidos por linha de plantio (4 linhas com microaspersão e 4 linhas de plantio sem microaspersão). Os frutos eram colhidos a cada semana, quando atingiam o ponto de colheita definido pela empresa, ou seja, frutos mudando de cor (primeiros sinais amarelos que não cobrem mais que 15% da casca). Tal contagem foi feita no período de 8 de agosto de 2005 (primeira colheita dessa lavoura) a 21 de dezembro de 2005.

Como modelo linear para o estudo da produção de frutos por planta, foi utilizada a série de Fourier (Thiébaud, 1976). Para tanto, foram utilizadas as seguintes equações:

$Y$  (produção) =  $2,71576 - 0,11032 \cos 1 + 0,63946 \sin 1 - 0,04146 \cos 3 + 0,41294 \sin 3 - 0,21029 \cos 4 + 0,10842 \sin 4 + 0,14348 \cos 5 + 0,04213 \sin 5 + 0,27493 \cos 6 - 0,05893 \sin 6$  (sem microaspersão) e

Y (produção)= 2,71576-0,11032 cos1+0,63946 sen1-0,04146 cos3+0,41294 sen3-0,21029 cos4+0,10842 sen4+0,14348 cos5+0,04213 sen5+0,27493 cos6-0,05893 sen6+0,32899M+0,45732Msen2-0,19106Mcos2-0,07627Mcos5

(Com microaspersão).

Em que:

Sem microaspersão (controle), M=0 e Com microaspersão M=1;

cos1= cos (1 Wo t), onde Wo=360°/número de semanas(20); Wo=18 e t corresponde a época em estudo, sendo que a primeira semana correspondeu a 0 e a última correspondeu a 19 (total de 20 semanas).

Cos2= cos (2\*18\*t); cos3= (3\*18\*t); cos6= cos (6\*18\*t)

O mesmo se aplica ao seno:

sen1= sen (1\*18\*t); sen2= sen (2\*18\*t)...;sen6= sen (6\*18\*t).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As condições climáticas das duas épocas (verão e inverno) em que se efetuaram as medições das características fisiológicas são mostradas na Figura 1. Nesta figura, observa-se que o mês de março (verão) se caracterizou por apresentar temperaturas máximas do ar elevadas, com valores máximos desta variável atingindo em torno de 35°C. Em contrapartida, em junho (inverno), esta variável atingiu valores máximos de 32°C. Quando se observa a temperatura mínima do ar; no verão, o valor mínimo desta variável foi em torno de 20°C, enquanto que no inverno o valor foi próximo de 15°C. Os valores da umidade relativa do ar foram maiores no inverno e menores no verão. Ficou evidenciado que no verão (Figura 2A) houve uma maior demanda hídrica do ar (valor máximo de  $DPV_{ar}$  em torno de 1kPa), quando comparada ao inverno (Figura 2B), época esta, que apresentou um valor máximo de  $DPV_{ar}$  em torno de 0,6 kPa. A variável precipitação pluviométrica foi maior no verão (Figura 1C), tendo em alguns casos 25 mm de chuva por dia, enquanto no inverno não chegou a 10 mm por dia.

Os valores do fluxo de fótons fotossintéticos (FFF), os quais foram obtidos pela média diária dos valores no intervalo entre 7:00h e 17:00h, se mostraram bem mais elevados no verão (Figura 1C), com valor máximo da média atingindo cerca de  $1400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , em comparação aos valores medidos no inverno (Figura 1D). Nesta última estação, o valor máximo atingiu em torno de  $800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

No verão, no horário próximo ao meio-dia, foram medidos valores do FFF em torno de  $2200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Figura 3A) e no inverno, tais valores de FFF, no mesmo horário, atingiram valores de no máximo  $1600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Figura 3B). Estas respostas das variáveis climatológicas caracterizam bem as duas épocas estudadas, ou seja, o verão, com valores das variáveis temperatura, FFF, precipitação pluviométrica e  $DPV_{ar}$  elevados e o inverno com maiores valores de umidade relativa do ar.

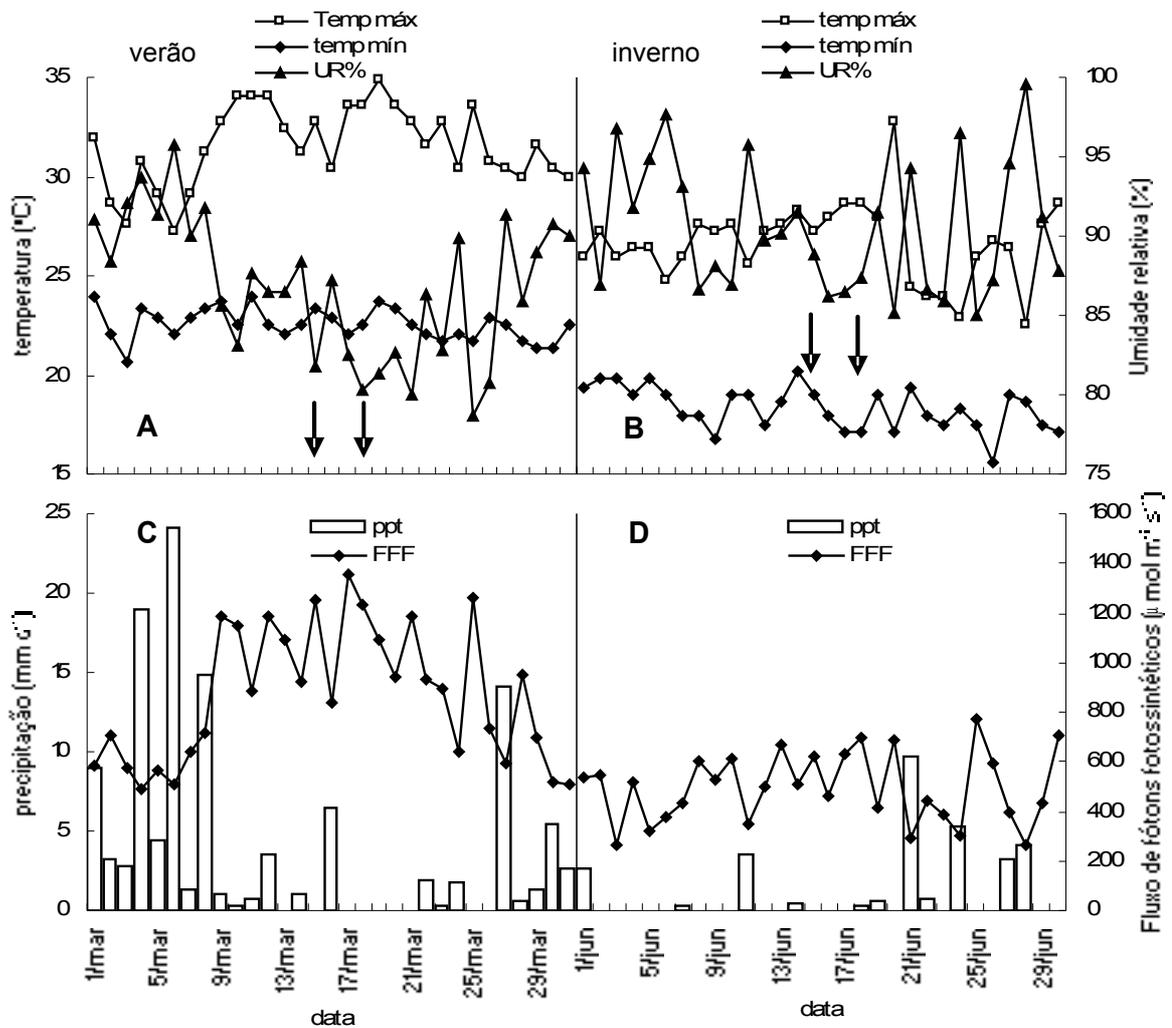


Figura 1: Valores diários de temperatura máxima ( $\square$ ) e mínima ( $\blacklozenge$ ) do ar e valores médios de umidade relativa do ar ( $\blacktriangle$ ) (A e B). Valores médios diários de fluxo de fótons fotossintéticos das 7:00h às 17:00h ( $\blacklozenge$ ) e precipitação total do dia ( $\square$ ) (C e D), nos meses de março (A e C) e junho (B e D) de 2005. O período entre as setas compreende os dias de determinação das trocas gasosas em Linhares-ES.

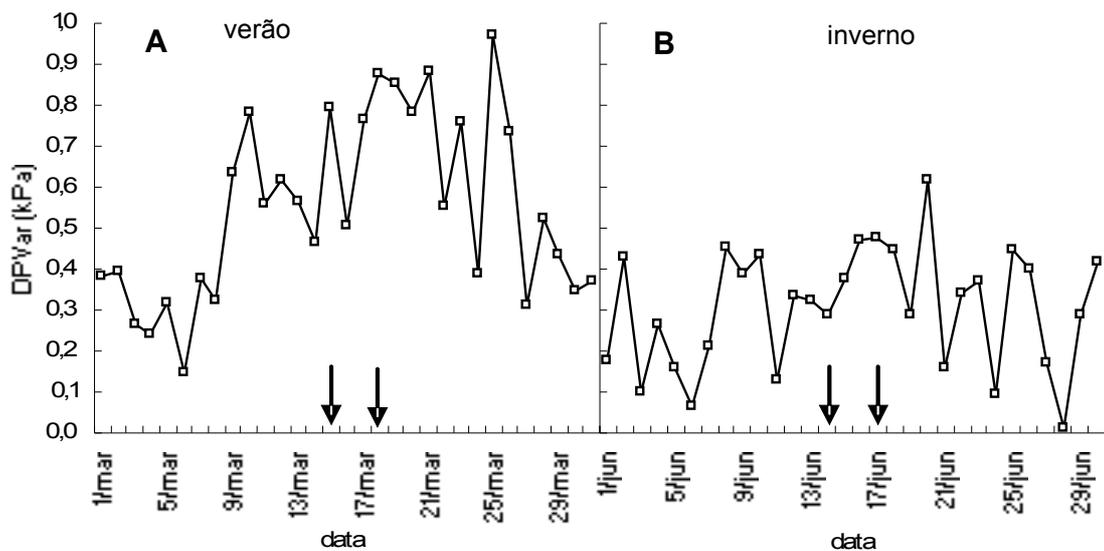


Figura 2: Valores médios diários de déficit de pressão de vapor do ar ( $\square$ ) nos meses de março (A) e junho (B). Entre as setas compreendem os dias de determinação das trocas gasosas.

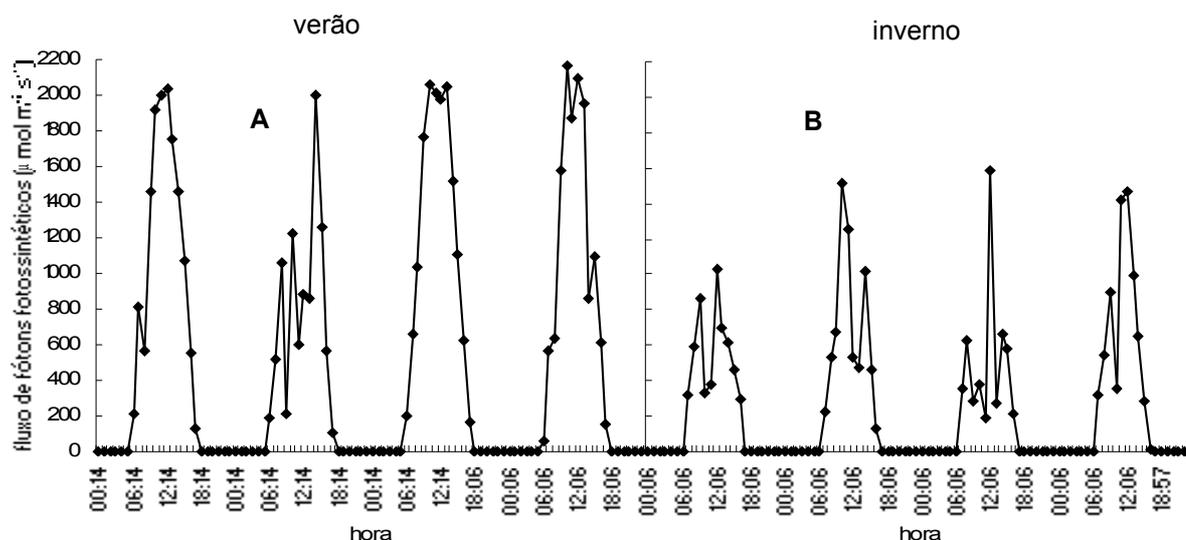


Figura 3: Valores de fluxo de fótons fotossintéticos a cada hora de 15 a 18 de março de 2005 (A) e de 14 a 17 de junho de 2005 (B), nos dias de medições das trocas gasosas em Linhares-ES.

As variáveis do clima mostradas nas Figuras 1, 2 e 3 contribuíram para as respostas diferenciadas das trocas gasosas nas folhas das plantas do mamoeiro Golden, nas duas épocas estudadas (Figura 4). Esta figura mostra que no verão os valores de FFF, temperatura foliar ( $T_f$ ),  $DPV_{\text{folha-ar}}$ , transpiração ( $E$ ), condutância estomática ( $g_s$ ) e taxa fotossintética líquida ( $A$ ) foram maiores. Machado Filho et al. (2006), trabalhando com mamoeiro 'Tainung' e 'Sunrise Solo' na região do cerrado baiano, verificaram que no verão as variáveis  $A$ ,  $g_s$  e  $E$ , apresentaram valores mais elevados que no inverno. Estes autores relataram que isso ocorrera devido ao fato de que no verão os valores do  $DPV_{\text{ar}}$  foram menores, afetando em menor intensidade estas variáveis.

Neste estudo realizado por Machado Filho et al. (2006), no inverno, os valores do  $DPV_{\text{ar}}$  atingiram cerca de 2,7kPa e no verão cerca de 1,25kPa. Segundo os autores, este valor mais elevado desta variável no inverno foi o fator responsável pela diminuição na condutância estomática e, conseqüentemente, na taxa fotossintética líquida das plantas de mamoeiro. No presente trabalho realizado no Norte do estado do Espírito Santo, respostas contrárias foram obtidas. Ou seja, na época do verão, se teve os maiores valores de  $DPV_{\text{ar}}$ .

Segundo Grange e Hand (1987), valores do  $DPV_{\text{ar}}$  entre 0,2 a 1,0 kPa não causaram efeitos na fotossíntese nem causaram alterações no crescimento de plantas. Possivelmente, o local onde foi realizado o experimento com o mamoeiro 'Golden', por estar próximo ao mar, em que se tem elevadas umidades relativas em relação ao cerrado baiano, possa explicar que os valores máximos obtidos do

DPV<sub>ar</sub> na região de Linhares foram inferiores a 1,0kPa, ou seja, bem menores que os valores desta variável obtida no cerrado baiano (2,8kPa). No cerrado baiano, valores de umidade relativa abaixo de 30%, os quais podem proporcionar valores elevados de DPV<sub>ar</sub>, são comuns (Celestino, 1993).

Uma vez que a demanda hídrica do ar avaliada pelo DPV<sub>ar</sub> pode não ter afetado às trocas gasosas, no verão, os maiores valores destas variáveis relacionadas às trocas gasosas podem ser consequência dos valores maiores do FFF que chegaram na folha ( $\approx 1600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) (Figura 4F) e da temperatura deste órgão nesta época ( $\approx 36,5^\circ\text{C}$ ) (Figura 4C), em comparação ao inverno com  $\approx 1480 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e  $34^\circ\text{C}$ , para FFF e  $T_f$ , respectivamente. Possivelmente, no verão, uma ação conjunta destes fatores (FFF e temperatura) promoveu maiores atividades metabólicas relacionadas à bioquímica das folhas do mamoeiro 'Golden'.

A ação em grande intensidade do FFF sobre a folha pode promover um aquecimento deste órgão e, como consequência, pode-se ter uma elevação na temperatura foliar (Reis, 2003). O aquecimento da folha pode causar uma elevação nos valores do DPV<sub>folha-ar</sub>, consequentemente, promovendo reduções significativas na condutância estomática e reduzindo, assim, a concentração do CO<sub>2</sub> nos sítios de carboxilação da rubisco, com diminuição na assimilação fotossintética do carbono (El-Sharkawy et al., 1985; Raschke e Resemann, 1986; Monteith, 1995; Reis, 2003). Entretanto, ao que tudo indica, o genótipo 'Golden' teve os maiores valores das características relacionadas às trocas gasosas proporcionados pelas variáveis climáticas.

Por meio dos valores do índice de SPAD-502, foi estimado o teor de clorofilas totais. Não foram verificadas alterações significativas (dados não-mostrados) e os valores médios ficaram em torno de 42, nos dois tratamentos. Segundo Castro (2005), neste genótipo 'Golden', valores de índice SPAD próximo a 40 mostraram teores de clorofilas totais em torno de  $800 \mu\text{moles m}^{-2}$  e teores de N em torno de  $40\text{g Kg}^{-1}$  no limbo foliar, o que evidencia bom estado nutricional e capacidade fotossintética.

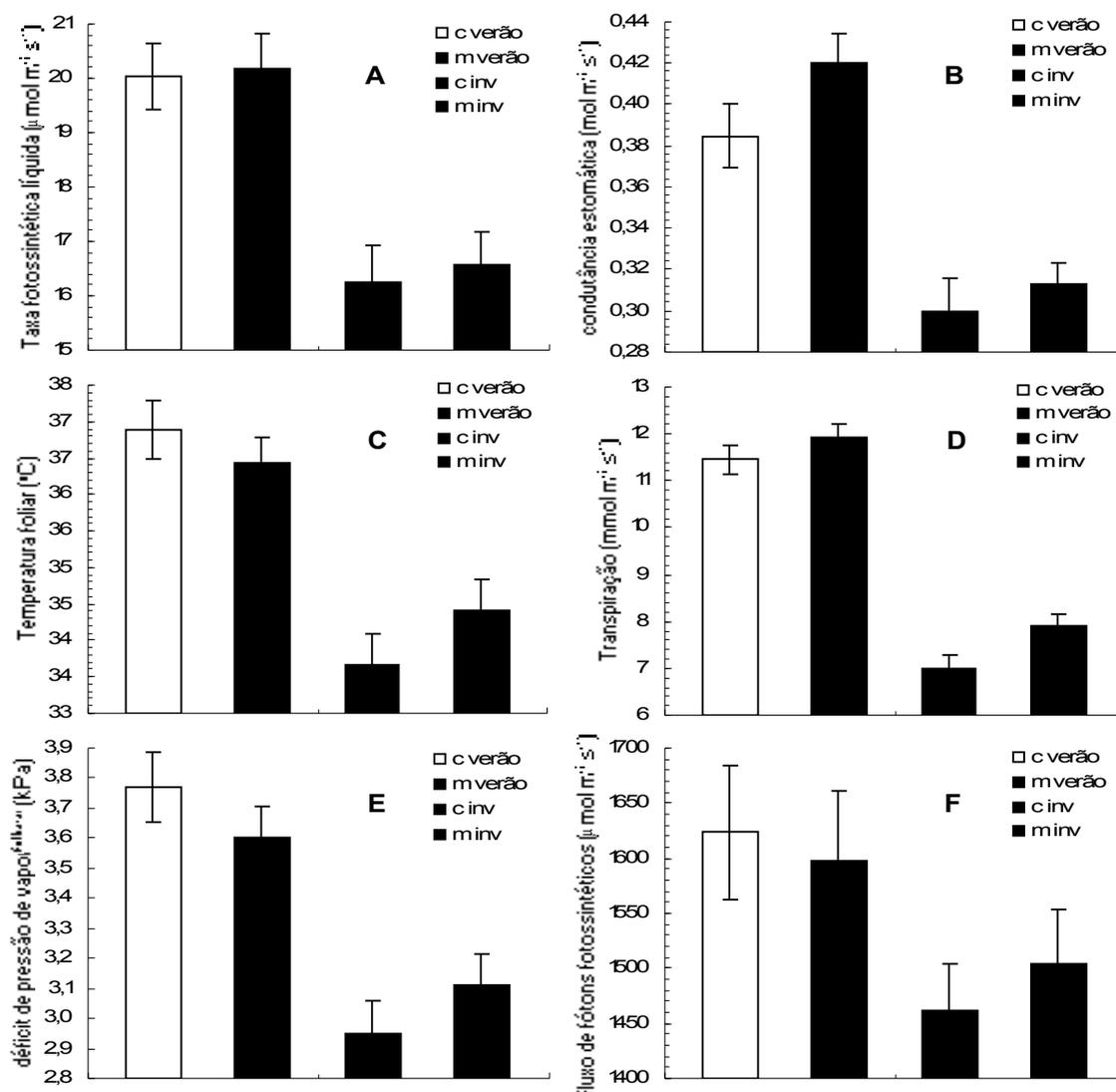


Figura 4: Média geral da taxa fotossintética líquida (A), condutância estomática (B), temperatura foliar (C), transpiração (D), déficit de pressão de vapor folha-ar (E) e fluxo de fótons fotossintéticos (F) nos tratamentos com microaspersão sobrecopa (m) e controle (c) no verão e no inverno. Cada média provém de 4 plantas, 4 dias de medição e em 3 horários diferentes, então com  $n=48$ .

As condições climáticas prevalentes na época das medições, admitindo que sejam representativas da época de verão, promoveram uma otimização da condutância estomática (Figura 5C) e, conseqüentemente, a elevação da fotossíntese (Figura 5A) e da transpiração (Figura 6C). No verão, em ambos os tratamentos, a possível ação negativa do  $\text{DPV}_{\text{folha-ar}}$  sobre a condutância estomática não foi verificada, uma vez que nesta época, valores na faixa de 3,6kPa (Figura 4E) desta variável mantiveram valores de  $g_s$  em torno de  $0,4 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Figura 4B), valores considerados elevados. No inverno, foi observado que os valores de  $\text{DPV}_{\text{folha-ar}}$  ficaram em torno de 3,0kPa (Figura 4E) e a condutância estomática foi cerca de  $0,3 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Figura 4B). Em plantas  $C_3$ , os valores de  $g_s$

podem variar de 0,0 a 1,0 mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, sendo 0,3 mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> valores considerados normais em plantas bem irrigadas, com ótimas condições nutricionais e de FFF.

Apesar de as trocas gasosas terem sido otimizadas no verão, a taxa fotossintética líquida das plantas controle medida ao meio-dia, quando se comparada com os demais horários estudados (8:00h e 9:00h), apresentou em março (Figura 5A) e junho (Figura 5B) uma redução nos valores. Tal fenômeno, denominado de depressão da fotossíntese ao meio-dia (DFMD), foi detectado em várias culturas como soja, girassol, videira, algodão, arroz e em algumas plantas lenhosas (Huck et al., 1983; Correia et al., 1990; Pettigrew et al., 1990; Quick et al., 1992, Pathre et al., 1998; Pons e Welschen, 2003). Embora tenha havido uma maior redução na condutância estomática (0,1 mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> no inverno em comparação a 0,065 mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> no verão), a taxa fotossintética líquida foi reduzida em torno de 2 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, no tratamento controle durante o inverno, no horário de 12h. No tratamento com microaspersão, especificamente no verão (Figura 5C) ao meio-dia, a aplicação de água sobre o dossel promoveu uma elevada condutância estomática, o que contribuiu para manter a taxa fotossintética em níveis semelhantes nos horários de 8:00h e 9:00h. No inverno, tal efeito da aplicação de água não foi evidenciado (Figura 5D). Nesta época, a aplicação de água sobre o dossel das plantas do mamoeiro 'Golden' não foi eficiente para evitar a DFMD.

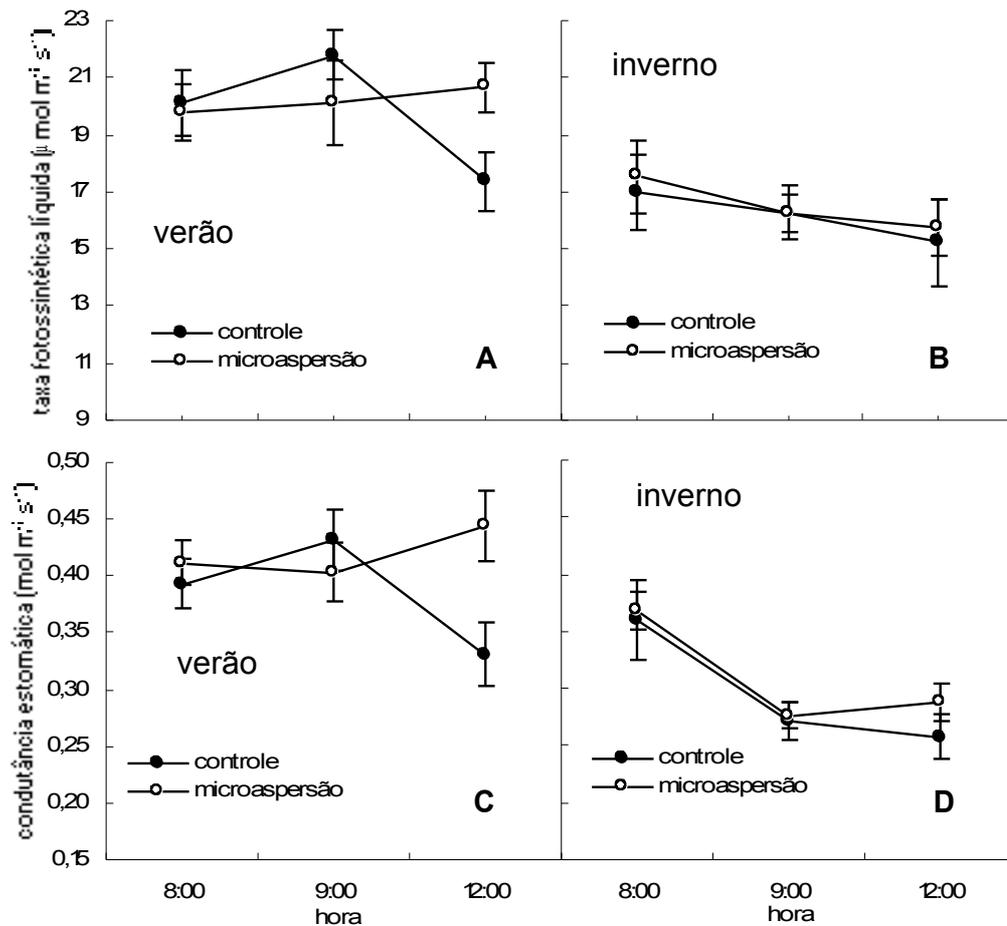


Figura 5: Valores médios de taxa fotossintética líquida em 3 horários do dia em 4 dias de março de 2005 (A) e em 4 dias de junho de 2005 (B) e condutância estomática em 4 dias de março de 2005 (C) e em 4 dias de junho de 2005 (D). Plantas com microaspersão sobrecopa (○) e plantas controle (●). As barras verticais indicam o erro padrão, n=16.

No verão, no horário de meio-dia, nos dias em que se efetuaram as medidas, o FFF atingiu valores próximos a  $2200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Figura 3A). Nesta mesma época, os valores desta variável foram em torno de  $600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e  $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , às 8:00h e 9:00h, respectivamente. No inverno (Figura 3B), estes valores foram  $500$ ,  $600$  e  $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , nos horários de 8:00, 9:00 e 12:00h, respectivamente. Uma vez que elevados FFF promovem maior aquecimento foliar, tal aquecimento pode promover incrementos exponenciais na pressão de vapor de saturação no interior da folha (Long e Hällgren, 1993). Como a variável  $\text{DPV}_{\text{folha-ar}}$  se refere à diferença entre a pressão de vapor de saturação na folha ( $e_{\text{sfolha}}$ ) e a pressão de vapor do ar ( $e_{\text{ar}}$ ), uma temperatura elevada da folha pode elevar o valor desta variável  $e_{\text{sfolha}}$ . A ação do  $\text{DPV}_{\text{folha-ar}}$  sobre a condutância é bem conhecida (Schulze e Hall, 1982; El-Sharkawy et al., 1985; Pathre et al., 1998; Franks e Farquhar, 1999) e, segundo Cowan (1977), o efeito

do  $DPV_{\text{folha-ar}}$  sobre  $g_s$  está relacionado ao fluxo de água através da epiderme e do complexo estomático. Desta maneira, neste presente trabalho com mamoeiro no norte do estado do Espírito Santo, em ambas as épocas estudadas e no tratamento controle, a elevação intensa dos valores do  $DPV_{\text{folha-ar}}$  ( $>4\text{kPa}$ ) (Figura 7) promoveu menor condutância estomática, o que causou menor assimilação fotossintética do carbono. Tal elevação no  $DPV_{\text{folha-ar}}$  foi causada pelos valores mais elevados da temperatura foliar (Figura 6A e 6B) e esta maior temperatura foliar foi associada à intensa interceptação do FFF pelas folhas do mamoeiro (Figura 3 e 4F). Entretanto, nas condições experimentais deste trabalho, os efeitos negativos mais intensos do  $DPV_{\text{folha-ar}}$  sobre  $g_s$  aconteceram em valores de  $DPV_{\text{folha-ar}}$  acima de  $4\text{kPa}$ , o que está associado a uma temperatura foliar acima de  $37^\circ\text{C}$  (Figura 6A). No verão, ao meio-dia, a aplicação de água sobre o dossel das plantas evitou que os estômatos se fechassem, mantendo os valores de  $g_s$  mais elevados e, desta maneira, impediu que a assimilação fotossintética do carbono fosse reduzida.

Portanto, a eficiência da aplicação de água sobre o dossel do mamoeiro 'Golden' no Norte do estado do Espírito Santo, torna-se justificável quando as condições do clima proporcionam temperaturas foliares acima de  $37^\circ\text{C}$ , o que corresponderam a valores de  $DPV_{\text{folha-ar}}$  acima de  $4\text{kPa}$ .

No verão (Figura 6C) e no inverno (Figura 6D), a redução na transpiração (E) ocorrida nas folhas das plantas do mamoeiro do tratamento controle foi devido ao fechamento estomático, uma vez que a transpiração está diretamente relacionada com a abertura estomática. Este fato pode ser justificado, pois  $E = g_L$  ( $DPV_{\text{folha-ar}}$ ), sendo  $g_L$ , a condutância ao vapor de água da folha. Ou seja, como nas condições em que se foi medida a transpiração, isto é, condições em que havia dentro da câmara, valores constantes na condutância da camada de ar limítrofe, esta variável  $g_L$ , torna-se praticamente toda controlada por  $g_s$ . Portanto, E fica assim controlada pelo balanço entre os valores da variável  $g_s$  e  $DPV_{\text{folha-ar}}$ .

No verão, a técnica de aplicação de água sobrecopa poderá elevar o ganho de carbono e aumentar a transpiração (figura 6C). Segundo Marschner (1995), a elevação na taxa transpiratória pode otimizar a assimilação dos nutrientes minerais. Este fato mostra que esta técnica de aplicação de água por meio da microaspersão sobre o dossel, nas condições supracitadas, poderá otimizar o estado nutricional de plantas de mamoeiro 'Golden'. Obviamente, tal

especulação poderá ser comprovada por meio de futuros trabalhos com esta espécie.

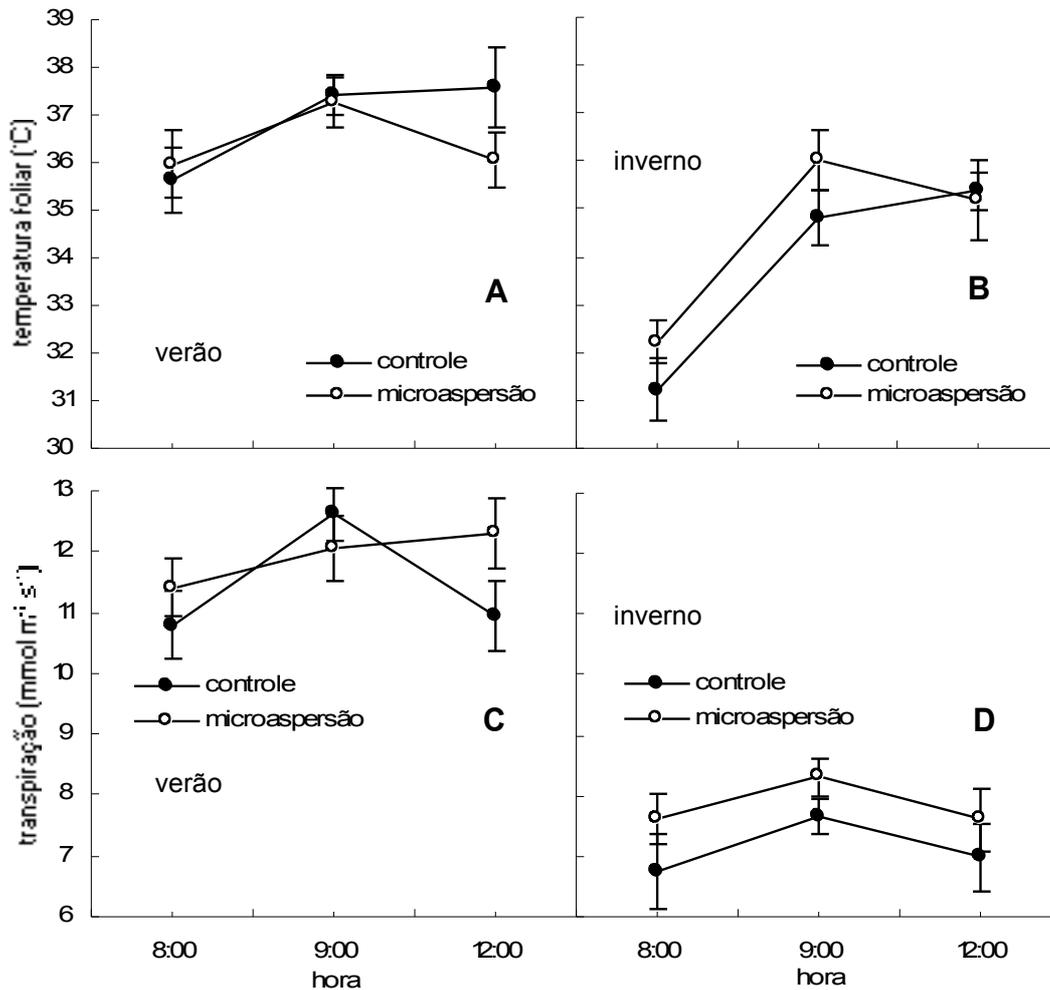


Figura 6: Valores médios da temperatura foliar em 3 horários do dia em 4 dias de março de 2005 (A) e em 4 dias de junho de 2005 (B) e transpiração em 4 dias de março de 2005 (C) e em 4 dias de junho de 2005 (D). Plantas com microaspersão sobrecopa (○) e plantas controle (●). As barras verticais indicam o erro padrão, n=16.

A relação entre a taxa fotossintética líquida e a condutância estomática, denominada eficiência intrínseca no uso da água ( $EIUA=A/g_s$ ), é mostrada na Figura 7, ressaltando os valores desta variável em relação ao tempo, em cada época de estudo. Em relação à eficiência no uso da água ( $EUA, A/E$ ), a  $EIUA$  é menos dependente da pressão de vapor e, desta maneira, é freqüentemente usada como um valor normalizado, quando se compara a eficiência no uso da água em diferentes valores de  $DPV_{ar}$  (Chaves et al., 2004). Nesta figura, foi observado que no horário de meio-dia, em ambas as épocas estudadas, os valores da  $EIUA$  do tratamento controle foram maiores, com maiores diferenças observadas no verão. Tal fato está associado aos decréscimos mais acentuados

da condutância estomática neste horário. No inverno, as diferenças foram menores que as do verão, em função do decréscimo nos valores de  $g_s$  terem sido menores.

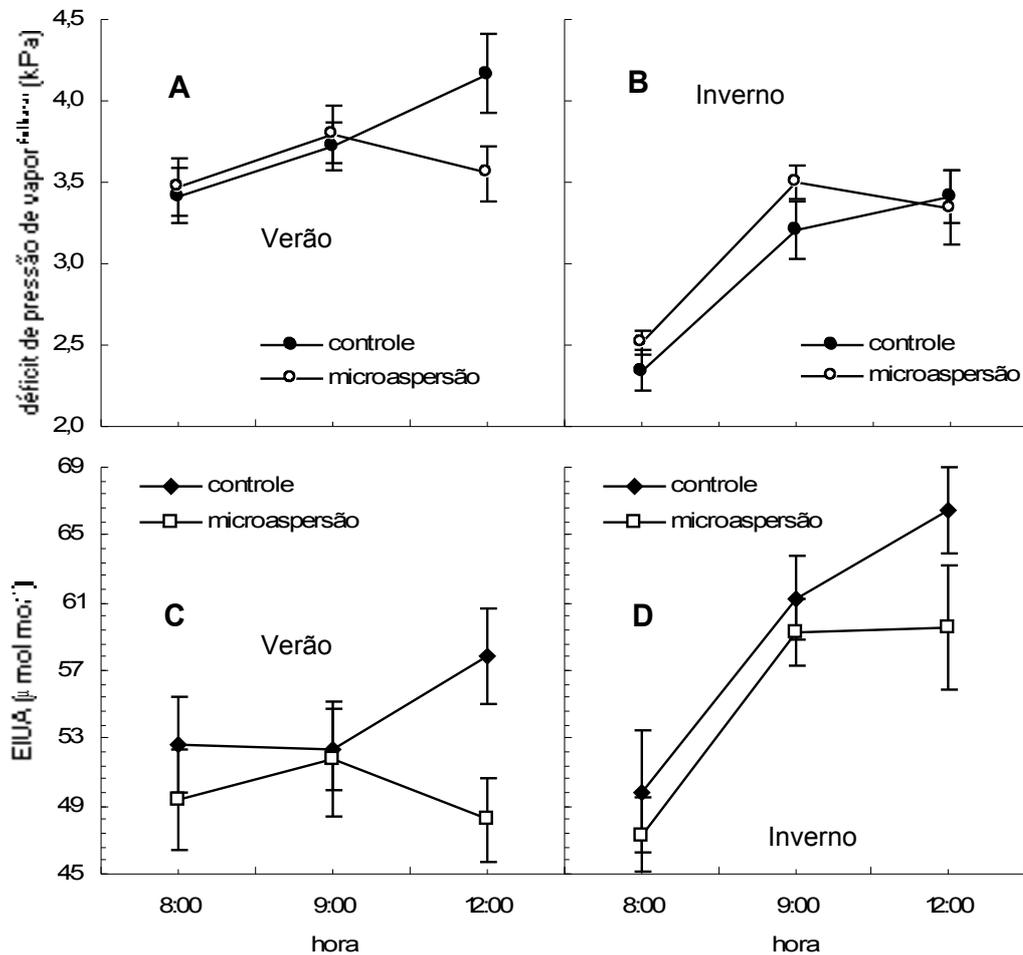


Figura 7: Valores médios de déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar em 3 horários do dia em 4 dias de março de 2005 (A) e em 4 dias de junho de 2005 (B) e EIUA em 4 dias de março de 2005 (C) e em 4 dias de junho de 2005 (D). Plantas com microaspersão sobrecopa (○) e plantas controle (●). As barras verticais indicam o erro padrão, n=16.

Entretanto, no inverno, os valores da EIUA ao meio-dia foram bem acentuados no tratamento controle. A otimização da abertura estomática, principalmente no verão, por meio da aplicação de água sobre o dossel do mamoeiro 'Golden', permitiu evidenciar que tal tratamento reduziu a eficiência intrínseca no uso da água.

A DFMD além de ser causada pelos efeitos estomáticos (Correia et al., 1990; Hirasawa e Hsiao, 1999; Pons e Welschen, 2003; Spunda et al., 2005; Su e Liu, 2005) também pode ser causada pelos efeitos não-estomáticos (Sinha, et al., 1997; Franco e Lüttge, 2002; Huang et al., 2006) ou ainda, pela ação dos efeitos

estomáticos e não-estomáticos atuando em conjunto (Matos et al., 1998; Pons e Welschen, 2003).

Os efeitos não-estomáticos estão associados principalmente à fotoinibição, à elevação da taxa fotorespiratória e ao comprometimento na eficiência carboxilativa (Sinha, et al., 1997; Franco e Luttge, 2002; Huang et al., 2006). Tais efeitos podem ser conseqüências indiretas dos efeitos estomáticos, ou por ação indireta da elevação da temperatura foliar, em outros processos metabólicos como fotorespiração (Pons e Welschen, 2003) e o transporte de elétrons nas membranas dos tilacóides (Wise et al., 2004).

Neste experimento realizado com o mamoeiro 'Golden' e com base nas variáveis da fluorescência, observou-se que os efeitos não-estomáticos contribuíram para o decréscimo da assimilação fotossintética do carbono (Figura 8).

De fato, no horário de 12:00h em ambos os tratamentos, no verão e no inverno, houve decréscimo nos valores do rendimento quântico máximo do PSII ( $F_v/F_m$ ), o qual representa a probabilidade de um fóton absorvido ser capturado pelos centros de reação do PSII e, desta maneira, ser capaz de reduzir a quinona A ( $Q_a$ ) (Force et al., 2003). Na figura 8, é mostrado que a variável  $F_v/F_m$ , em ambos os tratamentos e nas duas épocas, teve os valores reduzidos para 0,710. Não foi verificado efeito da aplicação de água sobre o dossel, na redução do processo fotoinibitório, uma vez que a redução nos valores de  $F_v/F_m$  significa que o tecido vegetal estudado foi prejudicado pelo excesso de energia luminosa (Ort e Baker, 2002; Force et al., 2003). Como se pôde observar na figura 8, o mamoeiro 'Golden' apresentou fotoinibição ao meio-dia, tanto em valores de FFF em torno de  $2200\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (verão) como em valores em torno de  $1500\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (inverno) (Figura 3). Em plantas de mamoeiro do grupo 'Formosa' cultivado em condição de campo no Norte Fluminense, Reis (2003) não encontrou redução nos valores do rendimento quântico máximo do PSII, corroborando que as plantas não apresentaram fotoinibição, mesmo recebendo  $2400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . O autor relatou que a não-detecção da fotoinibição por meio da fluorescência da clorofila (relação  $F_v/F_m$ ), deveu-se ao movimento paraheliotrópico observado nas folhas do mamoeiro deste genótipo nos horários de 11:00h às 14:00h. De fato, em condição de cultivo comercial, não se observa a diminuição na turgescência nas folhas do mamoeiro 'Golden' (E. Campostrini observação pessoal).

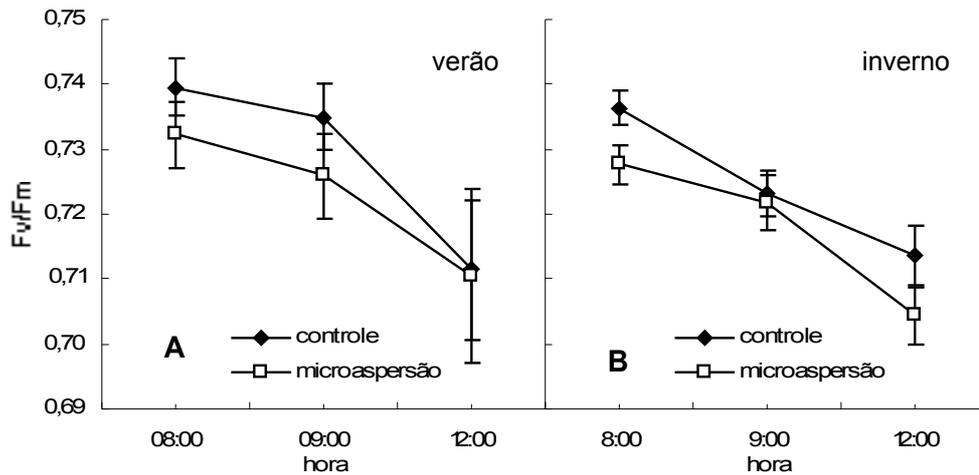


Figura 8: Valores médios da relação  $F_v/F_m$  em 3 horários do dia em março de 2005 (A) e em junho de 2005 (B). Plantas com microaspersão sobrecopa (□) e plantas controle (◆). As barras verticais indicam o erro padrão,  $n=48$ .

Segundo Tardieu e Simonneau (1998), algumas plantas em condição de limitação de água na raiz podem apresentar redução na condutância estomática, sem haver redução no potencial hídrico foliar. Neste caso, as plantas são consideradas isohídricas, e um sinal químico produzido na raiz (possivelmente ácido abscísico) pode estar envolvido na redução da condutância estomática. Torres-Netto (2005) mostrou que o mamoeiro 'Golden' cultivado em potes de 12L em casa de vegetação apresentou um comportamento do tipo anisohídrico, ou seja, com a diminuição da disponibilidade de água no solo, houve redução nos valores do teor relativo de água, do potencial hídrico da folha e na condutância estomática. Porém, em cultivos comerciais da espécie, em que se tem o uso da irrigação, isso não é observado. Possivelmente, esta irrigação não permita que o estresse hídrico no solo se estabeleça, mostrando que neste genótipo a condutância fica mais dependente da ação direta da demanda hídrica da atmosfera. Ou seja, em condições de campo, o genótipo 'Golden' pode apresentar redução na condutância estomática, sem haver redução na turgescência foliar. Sendo assim, neste genótipo e nestas condições de plantio comercial, pode haver a fotoinibição, uma vez que suas folhas se mantêm paralelas à incidência do fluxo de fótons fotossintéticos, o que pode potencializar a chegada do excesso de luz nos fotossistemas.

A capacidade de reoxidação de Qa (via transporte de elétrons por unidade de secção transversal amostrada da folha contendo centros de reação ativos e inativos, simbolizada pelo índice de vitalidade denominado  $ET_0/CS_0$ ) se mostrou reduzida ao meio-dia (Figura 9A e 9B). Entretanto, tal capacidade se

mostrou maior no verão. Possivelmente, esta resposta possa ser devido a maior quantidade de luz nesta última estação (Figura 3). Contudo, não houve diferença entre os tratamentos, ou seja, a aplicação água via microaspersão sobre o dossel não se mostrou eficiente na otimização desta capacidade de reoxidação de  $Q_a$ .

A aplicação de água sobrecopa, principalmente no verão, proporcionou nas folhas do mamoeiro 'Golden' maior dissipação (em relação ao número de centros de reação ativos) de energia de excitação não-capturada por todos os centros de reação (ativos e inativos), avaliada pelo índice  $DI_0/RC$  (Figura 9C e 9D). Esta dissipação se refere à energia calorífica, fluorescência e transferências para outros sistemas, que não o utilizado para reduzir  $Q_a$ . Esta dissipação foi maior no horário de meio-dia em ambas as épocas estudadas. Quando esta dissipação de energia na forma de calor é expressa por unidade de secção transversal da área amostrada ( $DI_0/CS_0$ ), também não se observou uma diferença entre os tratamentos (Figura 10A e 10B). Entretanto, a dissipação da energia que não é utilizada para o processo fotoquímico é maior no horário de meio-dia, em ambas as épocas. A maior dissipação da energia avaliada por  $DI_0/RC$  e  $DI_0/CS$  mostra que, da energia luminosa que chegou nas folhas, uma parte significativa não foi usada para a fotoquímica da fotossíntese, o que foi evidenciado pelo valor reduzido da relação  $F_v/F_m$  (Figura 8).

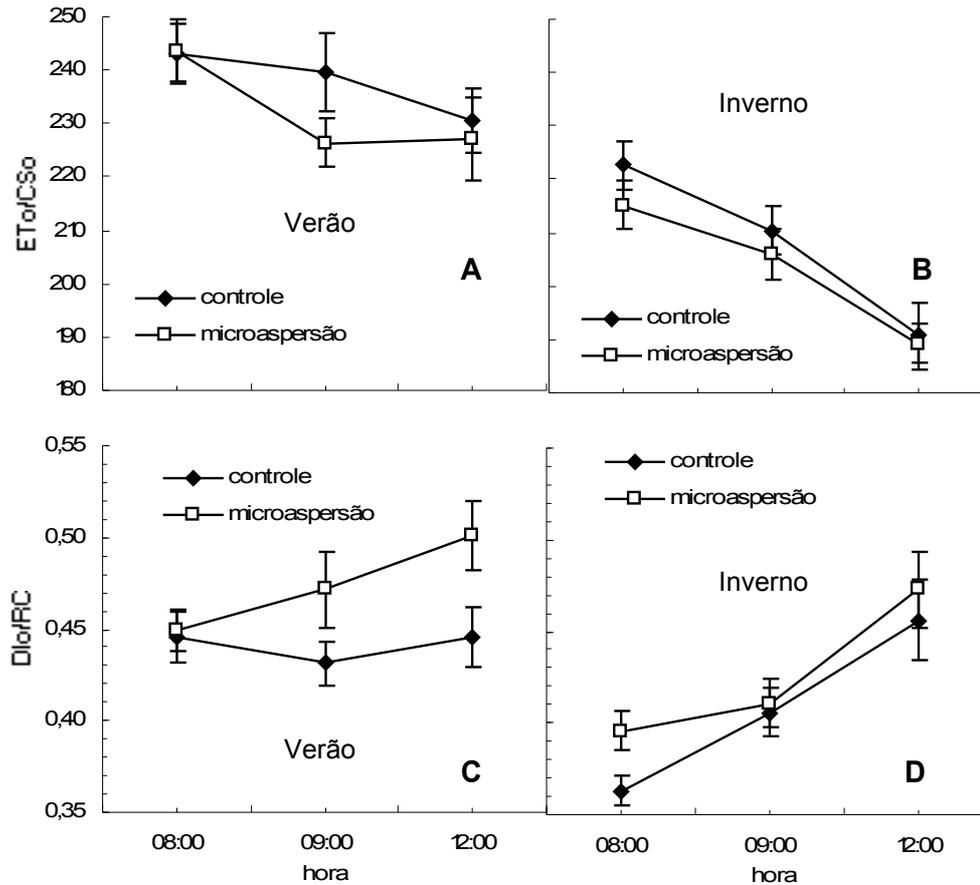


Figura 9: Valores médios da relação  $ET_0/CS_0$  em 3 horários do dia em março de 2005 (A) e em junho de 2005 (B) e relação  $DI_0/RC_0$  em março de 2005 (C) e em junho de 2005 (D). Plantas com microaspersão sobrecopa ( $\square$ ) e plantas controle ( $\blacklozenge$ ). As barras verticais indicam o erro padrão, n=48.

Segundo Force et al. (2003), uma outra variável importante no diagnóstico do processo fotoinibitório é a relação  $ET_0/TR$  (Figura 10C e 10D). Esta variável está relacionada à probabilidade de que um elétron que tenha causado a redução de Qa entre na cadeia de transporte de elétron nas membranas dos tilacóides. Em adição às outras variáveis relacionadas à estrutura e atividade do PSII, no horário de 8:00h, esta variável mostrou que tal processo associado à probabilidade no transporte de elétrons na fase fotoquímica da fotossíntese foi comprometido no horário do meio-dia. No inverno, os efeitos sobre a probabilidade do transporte de elétrons foram maiores.

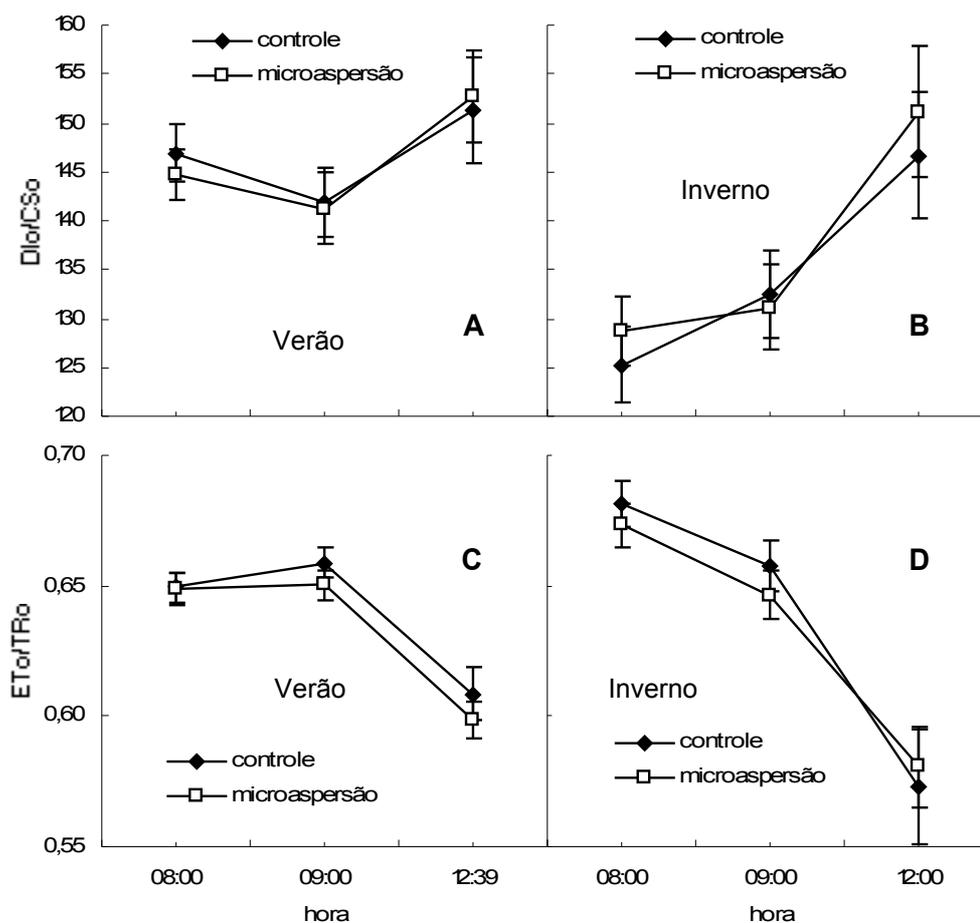


Figura 10: Valores médios da relação  $DI_0/CS_0$  em 3 horários do dia em março de 2005 (A) e em junho de 2005 (B) e relação  $ET_0/TR_0$  em março de 2005 (C) e em junho de 2005 (D). Plantas com microaspersão sobrecopa (□) e plantas controle (♦). As barras verticais indicam o erro padrão, n = 48.

Este fato reforça que a aplicação de água via microaspersão não foi eficiente para evitar a fotoinibição e que, embora esta estratégia de manejo não seja eficiente em amenizar os problemas fotoquímicos (efeitos não-estomáticos da DFMD), tal tratamento foi eficiente nos mecanismos relacionados à ação dos estômatos no controle da assimilação fotossintética do carbono. Ou seja, mesmo que o mamoeiro 'Golden' tenha sido submetido a um dano fotoquímico (quando avaliado pelas variáveis da fluorescência, possivelmente associado à elevada quantidade de fluxo de fótons fotossintéticos, tanto no verão como no inverno), o aumento na abertura estomática superou tal comprometimento na fase fotoquímica da fotossíntese, o que foi evidenciado pela manutenção ao meio-dia do valor da assimilação fotossintética do carbono, quando comparado aos horários de 8:00h e 9:00h.

Entretanto, nas folhas das plantas que receberam água via microaspersão sobrecopa e nas das plantas controle, embora neste trabalho não se tenha

quantificado a taxa de fotorespiração e a eficiência carboxilativa, a elevação na fotorespiração e a diminuição da eficiência carboxilativa possivelmente tenham ocorrido (Sinha, et al., 1997; Franco e Luttge, 2002 e Pons e Welschen, 2003).

Em ambos os tratamentos, a produção dos frutos no início da colheita (agosto/2005) até o final do experimento (dezembro/2005), ou seja, durante 20 semanas, é mostrada na figura 11. Ao se quantificar a área sob a curva, a qual representa a quantidade de frutos produzidos por planta no período estudado, os valores destas áreas foram de 43,5 e 49,5 frutos planta<sup>-1</sup> durante 20 semanas, para os tratamentos controle e microaspersão sobrecopa, respectivamente. Esses valores foram, por meio da série de Fourier, diferentes entre si a 5% de probabilidade. Este fato representa um ganho de 6 frutos por planta no período estudado, o que mostra o benefício da técnica proposta. Os ganhos de produção nos meses de agosto e setembro/2005 (Figura 11), no tratamento microaspersão sobrecopa, poderiam estar relacionados ao menor índice de abscisão de flores nas plantas ocorridos nos meses de fevereiro a abril/2005, época esta correspondente à antese das flores, as quais produziram os frutos nos meses de agosto e setembro/2005. Em plantas de tomateiro e pimentão, temperaturas do ar de 32 a 40°C causaram abscisão de flores (Roberts et al., 1984; Huberman et al., 1997). Já nos meses de novembro/2005, os maiores ganhos de produção, no tratamento com microaspersão (Figura 11), poderiam estar relacionados ao menor efeito da baixa precipitação pluviométrica, ocorrida nos meses de junho/julho (dados não-mostrados). Ou seja, nesta época de baixa precipitação pluviométrica (junho/julho), mesmo irrigadas por gotejamento, as plantas do tratamento com microaspersão poderiam ter contribuído para amenizar o estresse térmico na planta, otimizando assim o vingamento das flores, uma vez que pequenos déficits hídricos em condição de plantio comercial desta espécie podem contribuir em uma pequena escala na elevação da temperatura do dossel.

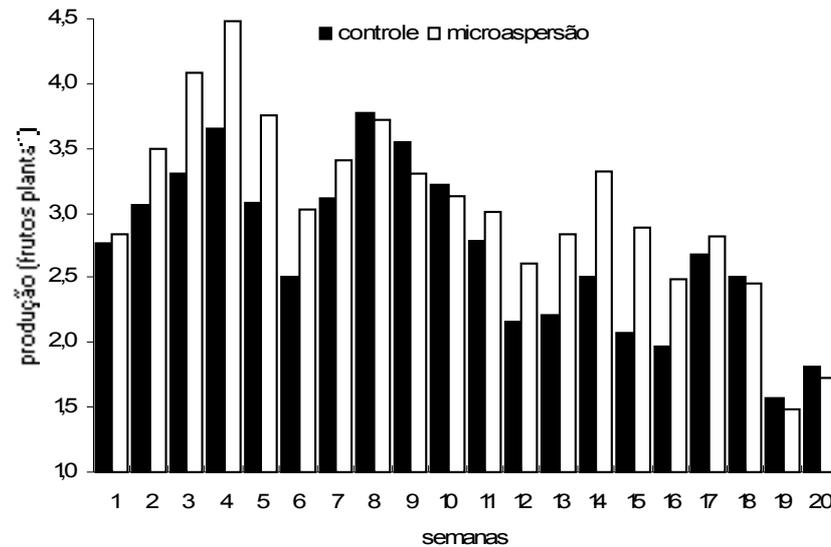


Figura 11: Produção de frutos em plantas de mamoeiro cultivadas em condição de campo, em 20 semanas (de 9 de agosto a 21 de dezembro de 2005). Foi feita uma colheita por semana em 4 linhas do controle e 4 linhas de plantio do tratamento com microaspersão sobrecopa.

## RESUMO E CONCLUSÕES

Em ambas as épocas estudadas, a aplicação de água sobre o dossel não foi eficiente para evitar o dano causado por excesso de luz (efeitos não-estomáticos). Entretanto, em ocasiões de temperaturas elevadas, esse tratamento foi eficiente nos mecanismos estomáticos. Mesmo submetido a um dano fotoquímico, o aumento na abertura estomática nas folhas de mamoeiros submetidos à microaspersão sobrecopa, superou tal comprometimento na fase fotoquímica da fotossíntese, o que foi evidenciado, pela manutenção ao meio-dia do valor da assimilação fotossintética do carbono. Em vinte semanas de colheita, o procedimento de resfriamento das folhas promoveu um aumento significativo de 6 frutos por planta. A otimização da taxa fotossintética líquida com aplicação de água sobre o dossel de plantas foi devida, principalmente, ao aumento da condutância estomática.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvez, F.L. (2003) A cultura do mamão *Carica papaya* L. no mundo, no Brasil e no Estado do Espírito Santo. *In: Martins, D.S., Costa, A. F. S. (eds.) A cultura do mamoeiro: tecnologias de produção*. Vitória: Imcaper, p. 11-34.
- Azcon-Bieto, J. (1996) The control of photosynthetic gas exchange by assimilate accumulation in wheat. *In: Marcelle, L., Clijsters, H., Von Poucke, M. (eds.) Biological control of photosynthesis*. Dordrecht: Martinus Nijhof.
- Baker, N.R. (2002) *Photosynthesis and the environment*. ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 223-240.
- Berry, J.A., Björkman, O. (1980) Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. *Annual review of plant physiology*, 31:491-543.
- Bolhàr- Nordenkampf, H. R., Long, S. P., Baker, N. R., Öquist, G., Schreiber, U., Lechner, E. G. (1989) Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. *Functional Ecology*, 3:497-514.
- Bunce, J.A. (1996) Does transpiration control stomatal responses to water vapour pressure deficit? *Plant, Cell and Environment*, 19:131-135.
- Campostrini, E., Yamanishi, O.K. (2001) Influence of mechanical root restriction on gas-exchange of four papaya genotypes *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 13 (2):129-138.
- Castro, F.A. (2005) *Relações do valor do medidor portátil de clorofila (SPAD-502) com o processo fotossintético e com o teor de nitrogênio orgânico em dois genótipos de Carica papaya L.* Tese (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 70p.

- 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. 240 p.
- Chaumont, M., Morot-Gaudry, J.-F., Foyer, C.H. (1994) Seasonal and diurnal changes in photosynthesis and carbon partitioning in *Vitis vinifera* leaves in vines with and without fruits. *Journal of Experimental Botany*, 45:1235-1243.
- Chaumont, M., Osório, M.L., Chaves, M.M., Vanacker, H., Morot-Gaudry, J.-F., Foyer, C.H. (1997) The absence of photoinhibition during the mid-morning depression of photosynthesis in *Vitis vinifera* grown in semi-arid and temperate climates. *Journal of Plant Physiology*, 150:743-751.
- Chaves, M.M., Osório, J., Pereira, J.S. (2004) Water use efficiency and photosynthesis. In: Bacon, M. A. *Water use efficiency in plant biology*. ed. Boca Raton: CRC Press, p. 42-74.
- Cheeseman, J.M., Lexa, M. (1996) Gas exchange: model and measurements. In: Baker, N.R. *Photosynthesis and the environment*. ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 223-240.
- Clemente, H. P., Marler, T.E. (1996) Drought stress influences gas-exchange responses of papaya leaves to rapid changes in irradiance. *Journal of the American Society of the Horticultural Science*, 121 (2):292-295.
- Clemente, H. P., Marler, T.E. (2001) Trade winds reduce growth and influence gas exchange patterns in papaya seedlings. *Annals of Botany*, 88:379-385
- Cock, J.H., Porto, M.C.M., El-Sharkawy, M.A. (1985) Water use efficiency of cassava. III. Influence of air humidity and water stress on gas exchange of field grown cassava. *Crop Science*, 25:265-272.
- Correia, M.J., Chaves, M.M.C., Pereira, J.S. (1990) Afternoon depression in photosynthesis in grapefruit leaves-evidence for a high light stress effect. *Journal of Experimental Botany*, 41 (225):417-426.

- Costa, A.F.S., Pacova, B.E.V. (2003) Caracterização de cultivares, estratégias e perspectivas do melhoramento genético do mamoeiro. *In: Martins, D.S., Costa, A. F. S. (eds.) A cultura do mamoeiro: tecnologias de produção*. Vitória: Imcaper, p. 59-102.
- Cowan, I.R. (1977) Stomatal behavior and environment. *Advances in botanical research*, 4:117-228.
- Dragoni, D; Lakso, A.N.; Piccioni, R.M. (2005) Transpiration of apple trees in a humid climate using heat pulse sap flow gauges calibrated with whole-canopy gas exchange chambers. *Agricultural and Forest Meteorology*, 130:85-94.
- El-Sharkawy, M.A. (1990) Effect of humidity and wind on leaf conductance of field grown cassava. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 2 (2):17-22.
- El-Sharkawy, M.A., Cock, M.J.H. (1984) Water Use Efficiency of Cassava. I. Effects of Air Humidity and Water Stress on Stomatal Conductance and Gas Exchange. *Crop Science*. 24:497-502.
- El-Sharkawy, M.A., Cock, M.J.H., Held, A.A.K. (1984) Water use efficiency of cassava. II. Differing sensitivity of stomata to air humidity in cassava and other warm-climate species. *Crop Science*, 24:503-507.
- El-Sharkawy, M.A., Cock, M.J.H., Hernandez, A.D.P. (1985) Stomatal response to air humidity and its relation to stomatal density in a wide range of warm climate species. *Photosynthesis research*, 7:137-149.
- Farquhar, G. D., Sharkey, T. D. (1982) Stomatal conductance and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology*, 33:317-345.
- Flore, J.A., Lakso, A.N. (1989) Environmental and physiological regulation of photosynthesis in fruit crops. *Horticultural Reviews*, 11:11-57.
- Force, L., Critchley, C, Van Rensen, J.J.S. (2003) New fluorescence parameters for monitoring photosynthesis in plants 1. The effect of illumination on the fluorescence parameters of the JIP-test. *Photosynthesis Research*, 78:17-33.

- Franco, A.C., Lüttge, U. (2002) Midday depression in savana trees: coordinated adjustments in photochemical efficiency, photorespiration, CO<sub>2</sub> assimilation and water use efficiency. *Oecologia*, 131:356-365.
- Franks, P.J., Farquhar, G. D. (1999) A relationship between humidity response, growth form and photosynthetic operating point in C<sub>3</sub> plants. *Plant, Cell and environment*, 22:1337-1349.
- Gamon, J.A., Pearcy, R.W. (1990) Photoinhibition in *Vitis californica*: interactive effects of sunlight, temperature and water status. *Plant, Cell and Environment*, 13:267-276.
- Grange, R.I., Hand, D.W. (1987) A review of the effects the atmospheric humidity on the growth of horticultural crops. *Journal of Horticultural Science*, 62 (2):125-134.
- Granier, A. (1985) Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. *Annales des Sciences Forestières*, 42 (2):193-200.
- Guo, L.W., Xu, D.Q., Shen, Y.K. (1994) The cause of midday decline of photosynthesis efficiency in cotton leaves under field condition. *Acta Phytophysiology Sin*, 20:360-366.
- Hirasawa, T., Hsiao, T.C. (1999) Some characteristics of reduced leaf photosynthesis at midday in maize growing in the field. *Field Crops Research*, 62:53-62.
- Horton, P., Ruban, A. (1994) The role of light-harvesting complex II in energy quenching. In: Baker, N.R., Bowyer, J.R. (eds.). *Photoinhibition of photosynthesis – From molecular mechanisms to the field*. Oxford: Bios Scientific Publishers Ltd, p. 111-128.
- Huang, L.F., Zheng, J.H., Zhang, Y.Y., Hu, W.H., Mao, W.H., Zhou, Y.H., Yu, J.Q. (2006) Diurnal variations in gas exchange, chlorophyll fluorescence quenching and light allocation in soybean leaves: The cause for midday depression in CO<sub>2</sub> assimilation. *Scientia Horticulturae*, 110:214-218.

- Huberman, M., Riov, J., Aloni, B., Goren, R. (1997) Role of ethylene biosynthesis and auxin content and transport in high temperature-induced abscission of pepper reproductive organs. *Plant Growth Regulation*, 16:129-135.
- Huck, M.G., Ishihara, K., Peterson, C.M., Ushijima, T. (1983) Soybean adaptation to water stress at selected stages of growth. *Plant Physiology*, 73:422–427.
- Jones, H.G. (1992) *Plants and microclimate. A quantitative approach to environmental plant physiology*. 2. ed. Cambridge:Cambridge University Press.
- Kostner, B., Biron, P., Siegwolf, R., Granier, A. (1996) Estimates of water-vapor flux and canopy conductance of scots pines at the tree level utilizing different xylem sap flow methods. *Theoretical and Applied Climatology*, 53:105-113.
- Long, S.P., Hällgren, J.-E. (1993) Measurement of CO<sub>2</sub> assimilation by plants in the field and the laboratory. In: Hall, D.O., Scurlock, J.M.O., Bolhàr-Nordenkamp, H.R., Leegood, R.C., Long, S.P. (eds.) *Photosynthesis and production in a changing environment-A field and laboratory manual*. London, Glasgow, New York, Tokyo, Melbourne, Madras: Chapman e Hall, p. 129-167.
- Machado Filho, J.A., Campostrini, E., Yamanishi, O.K., Fagundes, J.R. (2006) Variação sazonal das trocas gasosas em folhas de mamoeiro cultivado em condições de campo. *Bragantia*, 65 (2):185-196.
- Mansfield, T.A. (1997) Hormones as regulators of water balance. In: Davies, P.J. *Plant hormones and their role in plant growth and development*. ed. Martinus Nijhof Publisher, p.411-430.
- Marler, T.E., George, A.P., Nissen, R.J., Anderssen, P.C. (1994) Miscellaneous tropical fruits. In: Schaffer, B., Anderssen, P.C. (eds.) *Handbook of environmental physiology of fruits crops. V.II: Sub-tropical and tropical crops*. Florida: CRC Press, p. 199-224.
- Marler, T.E., Mickelbart, M.V. (1998) Drought, leaf gas exchange, and chlorophyll fluorescence of field grown papaya. *Journal of the American Society of the Horticultural Science*, 123 (4):714-718.

- Marschner, H. (1995) *Mineral Nutrition of Higher Plants*. ed. San Diego: Academic Press, 899p.
- Martins, D.S.; Costa, A.F.S. (2003) *A cultura do mamoeiro: tecnologias de produção*. Vitória, ES: Imcaper, pp. 59-102.
- Matos, M.C., Matos, A.A., Mantas, A., Cordeiro, V., Silva, J.B.V. (1998) Diurnal and seasonal changes in *Prunus amygdalus* gas exchange. *Photosynthetica*, 35 (4): 517-524.
- Monteith, J.L. (1995) A reinterpretation of stomatal response to humidity. *Plant, Cell and environment*, 18:357-364.
- Ort, D.R., Baker, N.R. (2002) A photoprotective role for O<sub>2</sub> as an alternative electron sink in photosynthesis? *Current Opinion in Plant Biology*, 5:193-198.
- Osmond, C.B. (1994) What is photoinhibition? Some insights from comparisons of shade and sun plants. In: Baker, N.R., Bowyer, J.R. (eds.) *Photoinhibition of photosynthesis from molecular mechanisms to the field*. Oxford: BIOS Science Publishers, p. 13-25.
- Pathre, U., Sinha, A.K., Shirke, P.A., Sane, P.V. (1998) Factors determining the midday depression of photosynthesis in trees under monsoon climate. *Trees*, 12:472-481.
- Pearcy, R.W., Schulze, E.D., Zimmerman, R. (1989) Measurement of transpiration and leaf conductance. In Percy, R.W., Ehleringer, J.R., Mooney, H.A, Rundel, P.W. (Eds.) *Plant Physiological Ecology: Field Methods and Instrumentation*. Chapman and Hall. London, p.137-160.
- Pettigrew, W.T., Hesketh, J.D., Peters, D.B., Woolley, J.T. (1990) A vapor pressure deficit on crop canopy photosynthesis. *Photosynthesis Research*, 24:27-34.
- Philips, N., Nagchaudhuri, A., Oren, R., Katul, G. (1997) Time constants for water transport in loblolly pine trees estimated from time series of evaporative demand and stem sap flow. *Trees*, 11:412-419.

- Pons, T.L., Welschen, R.A.M. (2003) Midday depression of net photosynthesis in the tropical rainforest tree *Eperua grandiflora*: contributions of stomatal and internal conductances, respiration and Rubisco functioning. *Tree Physiology*, 23:937–947.
- Quick, W.P., Chaves, M.M., Wendler, R. (1992) The effect of water stress on photosynthetic carbon metabolism in four species grown under field conditions. *Plant, Cell and Environment*, 15:25-35.
- Raschke, K. (1987) Action of abscisic acid on guard cells. *In*: Zeiger, E., Farquhar, G.D., Cowan, I.R. (eds.) *Stomatal function*. Stanford: University Press, p.253-279.
- Raschke, K., Resemann, A. (1986) The midday depression of CO<sub>2</sub> assimilation in leaves of *Arbutus unedo* L.: diurnal changes in photosynthetic capacity related to changes in temperature and humidity. *Planta*, 168: 546-558.
- Reis, F.O. (2003) *Trocas gasosas, eficiência fotoquímica e fluxo de seiva xilemática em mamoeiro do grupo 'Formosa' cultivado em condição de campo na região norte fluminense*. Tese (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 59p.
- Reis, F.O., Campostrini, E. (2005) Otimização das trocas gasosas ao meio-dia, por meio da aplicação de água via microaspersão sobre o dossel do mamoeiro. Anais do II Simpósio do Papaya Brasileiro, Vitória: INCAPER, p.385-389.
- Roberts, J.A., Schnidler, C.B., Tucker, G.A. (1984) Ethylene – promoted tomato flower abscission and the possible role of an inhibitor. *Planta*, 160:159-163.
- Schulze, E.D. (1993) Soil water deficit and atmospheric humidity as environmental signals. *In*: Smith, J.A.C., Griffiths, H. (eds) *Water deficit: Plant response from cell to community*. Oxford: BIOS Science Publishers, p. 129-145.
- Salazar, R. (1978). Determination of photosynthesis in commercial varieties of papaw (*Carica papaya* L.) and its possible relationship with the production and quality of the fruits. *Revista ICA*, Bogota, 2 (13):291-295.

- Schulze, E.D., Cermak, J., Matyssek, R., Penka, M., Zimmereman, R., Vasicek, F., Gries, W., Kucera, J. (1985) Canopy transpiration and water fluxes in the xylem of the trunk of *Larix* and *Picea* trees - a comparison of xylem flow, porometer, and cuvette measurements. *Oecologia*, 66:475-483.
- Schulze, E.-D., Hall, A.E. (1982) Stomatal responses, water loss and CO<sub>2</sub> assimilation rates of plants in contrasting environments. *In*: Lange, O.L., Nobel, P.S., Osmond, C.B., Zeigler, H. (eds.) *Physiological Plant Ecology II. Water relations and carbon assimilation*. Berlin: Springer-Verlag.
- Schulze, E.-D., Lange, O.L., Buschbom, U., Kappen, L., Evenary, M. (1972) Stomatal response to changes in humidity in plants growing in the desert. *Planta*, 108:259-270.
- Schmid, J. e Bettner, W. (1999) Experience with Granier-type sensors for sap flow measurements in grapevines. *Acta Horticulturae*, 493:177-186.
- Sinha, A.K., Shirke, P.A., Pathre, U., Sane, P.V. (1997) Midday depression in photosynthesis: Effect on sucrose-phosphate synthase and ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase in leaves of *Prosopis juliflora* (Swartz) DC. *Photosynthetica*, 34 (1):115-124.
- Smith, D.M., Allen, S.J. (1996) Measurement of sap flow in plant stems. *Journal of Experimental Botany*, 47:1833-1844.
- Spunda, V., Kalina, J., Urban, O., Luis, V.C., Sibisse, I., Puertolas, J., Sprtová, M., Marek, M.V. (2005) Diurnal dynamics of photosynthetic parameters of Norway spruce trees cultivated under ambient and elevated CO<sub>2</sub>: the reasons of midday depression in CO<sub>2</sub> assimilation. *Plant Science*, 168:1371–1381.
- Srinivas, K. (1996) Plant water relations, yield, and water use of papaya (*Carica papaya* L.) at different evaporation-replenishment rates under drip irrigation. *Tropical Agriculture*, 73 (4):264-269.
- Strasser, B.J., Strasser, R. J. (1995) Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: the JIP- Test. *In*: Mathis, P. *Photosynthesis:*

- from light to biosphere*. ed. The Netherlands: Kluwer academic publishers, p.977-980.
- Strasser, R.J., Srivastava, A. Tsimilli-Michael, M. (1999) Screening the vitality and photosynthetic activity of plants by fluorescent transient. *In: Behl, R.K., Punia, M.S., Lather, B.P.S (eds.) Crop Improvement for Food Security: Hisar: SSARM, p. 72-115.*
- Strasser, R. J., Tsimilli- Michael, M., Srivastava, A. (2000) The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. *In: Yunus, M., Pather, U., Mohanly P. (eds.) Probing Photosynthesis: Mechanisms, Regulation and Adaptation. London: Taylor and Francis, p. 445-483.*
- Su, P., Liu, X. (2005) Photosynthetic characteristics of linze jujube in conditions of high temperature and irradiation. *Scientia horticulturae*, 104 (3):339-350.
- Tardieu, F., Simonneau, T. (1998) Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: modeling isohydric and an isohydric behaviours. *Journal of Experimental Botany*, 49:419-432.
- Thiébaud, J.T.L (1976) *O emprego da análise harmônica no estudo das precipitações mensais do município de Viçosa (MG)*. Tese (Mestrado em Agronomia - Estatística e Experimentação Agronômica) – São Paulo –SP, Universidade de São Paulo – USP, 70p.
- Torres-Netto, A. (2005) *Atributos fisiológicos e relações hídricas em genótipos de mamoeiro (Carica papaya L.) na fase juvenil*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 116p.
- Tyree, M.T., Yianoulis, P. (1980) The site of water evaporation from sub-stomatal cavities, liquid path resistances and hydroactive stomatal closure. *Annals of Botany*, 46:175-193.
- Weis, E., Berry, J.A. (1987) quantum Efficiency of photosystem II in relation to “energy”-dependent quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochimica et Biophysica acta*, 894:198-208.

- Wise, R.R., Olson, A.J., Schrader, S.M., Sharkey, T.D. (2004) Electron transport is the functional limitation of photosynthesis in field-grown pima cotton plants at high temperature. *Plant, Cell and environment*, 27:717-724.
- Wullschleger, S. D., Meinzer, F.C., Vertessy, R.A. (1998) A review of whole-plant water use studies in trees. *Tree Physiology*, 18:499-512.
- Xu, D.Q., Shen Y. (1997) Midday depression of Photosynthesis. *In: Pessarakli, M. Handbook of photosynthesis*. ed. New York: Marcel Dekker Inc., p. 451-459.
- Xu, D.Q., Wu, S. (1996) Three phases of dark-recovery course from photoinhibition resolved by the chlorophyll fluorescence analysis in soybean leaves under field conditions. *Photosynthetica*, 32:417-423.

FLUXO DE SEIVA XILEMÁTICA EM MAMOEIRO 'GOLDEN' CULTIVADO SOB  
MICROASPERSÃO SOBRECOPA: RELAÇÕES COM AS VARIÁVEIS  
CLIMÁTICAS

**RESUMO**

Técnicas de irrigação, bem como a tentativa de se usar espécies adaptadas às condições de estresse hídrico, têm sido cada vez mais importantes para o sucesso da produção vegetal. De fato, a adequada irrigação em plantas cultivadas pode melhorar a eficiência no uso da água, o que pode permitir um melhor uso desta molécula e, assim, ter um grande impacto na qualidade do produto agrícola produzido. O estresse hídrico em fruteiras pode ser causado por deficiência de água no solo, na atmosfera ou em ambos. Os fatores do ambiente são de extrema importância no controle da perda de água pelas plantas. Elevados valores do  $DPV_{\text{folha-ar}}$  podem causar fechamento estomático e reduzir o processo transpiratório, principalmente em plantas de grande porte. A radiação solar também atua de forma indireta sobre o processo transpiratório, já que pode influenciar a temperatura foliar. Esta última variável influenciará o valor do déficit de pressão de saturação da folha. No presente trabalho, foi utilizado o método de dissipação de calor proposto por Granier para a medição do fluxo de seiva. Este é um método relativamente econômico, em que os valores de transpiração são alcançados com segurança em condições de campo. Poucos trabalhos referem-se às metodologias relacionadas às aplicações ideais de água na cultura do mamoeiro. Tal ação poderá ser de extrema importância para produtores dessa

fruteira tropical, uma vez que a descoberta de técnicas que possam contribuir para o manejo adequado de água do mamoeiro será de grande importância nos aspectos relacionados aos custos e ao aumento de produtividade. Este trabalho objetivou efetuar relações entre os valores do fluxo de seiva xilemática (FSX) e os valores de evapotranspiração de referência em mamoeiros cultivados com e sem aplicação de água via microaspersão sobre a copa (MASC), nos horários em torno do meio-dia, em condição de campo. Também foi possível investigar as relações entre os valores do fluxo de seiva xilemática com o fluxo de fótons fotossintéticos e com o déficit de pressão de vapor do ar. Constatou-se a existência de uma fase *lag*, ou seja, um atraso entre a perda de água pelas folhas e o movimento de água através do tronco, sendo que este fenômeno ocorreu com maior intensidade no inverno. No verão, obteve-se uma boa correlação entre FSX e  $DPV_{ar}$ , fato não observado no inverno, provavelmente devido a esta fase *lag*. No verão, em relação às plantas controle, as plantas que receberam MASC tiveram o FSX elevado, época em que o  $ET_0$  foi maior. Contudo, no inverno, praticamente não houve diferença entre os tratamentos. Concluiu-se que em mamoeiro cultivado em condição de campo, pode-se estimar o FSX, por meio da variável  $ET_0$ , obtida pela equação de Penman parametrizada pela FAO, com um bom grau de confiabilidade.

PALAVRAS-CHAVE: *Carica papaya* L., fluxo de seiva, variáveis climáticas.

## RELATIONSHIP BETWEEN SAP FLOW AND WEATHER VARIABLES IN A MICROASPERSSION UPON PAPAYA TREE CANOPY

### ABSTRACT

Irrigation managements, as well as the use of plants adapted to water stress conditions, have been very important to the plant production success. It is now recognized that fine-tuning irrigation can improve crop water use efficiency, allowing a more precise use of water and, at the same time, having a positive impact in the quality of the products. The water stress in fruit crops generally

occurs as either soil water or atmospheric water deficit or both. The atmospheric component is important to control the plant water loss. High  $VPD_{\text{leaf-to-air}}$  values can cause the stomatal closure and can reduce the transpiration process, mainly in large trees. The solar radiation also influences the transpiration process, since it can influence the leaf temperature. The leaf temperature itself affects the leaf saturation pressure deficit values. This experiment used the heat dissipation method developed by Granier (1985) to sap flow measurements. This method is a relative inexpensive way to get reliable values of transpiration under field conditions. Few works discuss the methodologies related to water use efficiency in papaya plants. This way, this research can provide benefits to producers since the discovery of new techniques, that can influence to good water management strategies in this species, will make a major contribution to some aspects, like costs and the increase of crop productivity. The aim of this study was to determine the relationship between xylem sap flow and reference evapotranspiration in papaya cultivated with and without microaspersion upon 'Golden' papaya tree canopy cultivated under field conditions. This study also aims to investigate the relationship between xylem sap flow, photosynthetic photon flux and air vapor pressure deficit values. There was a *lag* phase, that is, a delay between the leaf water loss and the movement of water through the trunk. This characteristic generally occurs with a bigger intensity in the winter. In the summer, there was a better relation between xylem sap flow and  $VPD_{\text{air}}$  than in the winter, probably because of this *lag* phase. In the summer, the plants that were cultivated with microaspersion had an increase in the xylem sap flow in relation to the plants cultivated without microaspersion when, at this stage, the reference evapotranspiration was higher. However, there were almost no differences between the treatments in the winter. This way, it was possible to precisely estimate the xylem sap flow through the  $ET_0$ .

**KEYWORDS:** *Carica papaya* L., sap flow, weather variables

## INTRODUÇÃO

A escassez de água para as plantas de interesse agrônômico é uma das maiores limitações para a expansão do cultivo em áreas agricultáveis no planeta (Chaves e Oliveira, 2004). Estes autores relatam que, com os atuais cenários traçados por meio das mudanças globais no planeta (IPCC, 2001), a quantidade de áreas áridas deverá aumentar. Desta maneira, a técnica de irrigação e o uso de espécies adaptadas a estas condições de limitação de água serão de grande utilidade. De fato, a aplicação de água de maneira adequada nas culturas pode melhorar a eficiência no uso da água, o que permite um melhor uso deste recurso, e, desta maneira, pode ter um grande impacto na qualidade do produto agrícola produzido (Chaves e Oliveira, 2004).

O déficit hídrico em fruteiras pode ser causado por deficiência de água no solo, na atmosfera ou em ambos (Flore e Lackso, 1989). Estes autores relataram que os fatores do ambiente (componentes atmosféricos) são de extrema importância no controle da perda de água por estas classes de plantas, uma vez que estas possuem uma baixa condutividade hidráulica das raízes.

A demanda por água da atmosfera pode ser avaliada por meio do déficit de pressão de vapor do ar ( $DPV_{ar}$ ). Entretanto, em termos fisiológicos, a variável  $DPV_{folha-ar}$  ( $e_{sfolha} - e_{ar}$ ) representa melhor a dinâmica da saída da molécula da folha. O  $DPV_{folha-ar}$  pode afetar a saída da molécula de água da folha, por ação negativa sobre a condutância estomática (El-Sharkawy et al., 1985; Franks e Farquhar, 1999). Ou seja, valores elevados do  $DPV_{folha-ar}$  podem causar fechamento estomático e reduzir o processo transpiratório, principalmente em plantas de grande porte (El-Sharkawy et al., 1985, Hernandez et al., 1989). De fato, nos trabalhos realizados por Hernandez et al. (1989), em cafeeiro, chá e cacau, valores do  $DPV_{folha-ar}$  até 1kPa causaram elevação na transpiração, e, acima deste valor até 4kPa, ocorreu uma redução no valor da taxa transpiratória. Em plantas de mandioca, respostas semelhantes foram observadas por Cock et al. (1985). Entretanto, em mandioca, a transpiração incrementou até 3kPa (valores de  $DPV_{folha-ar}$ ) e, depois, reduziu até valores de 5kPa.

A ação da luz sobre o processo transpiratório pode, de forma indireta, atuar sobre a temperatura foliar. Esta última variável influenciará o valor do déficit de pressão de saturação da folha ( $e_{sfolha}$ ) (Long e Hallgren, 1993). Ou seja,

elevados valores da irradiância/fluxo de fótons fotossintéticos sobre a folha poderão causar elevações na temperatura deste órgão, conseqüentemente causando elevados valores de  $e_s$ , aumentando assim o  $DPV_{\text{folha-ar}}$ .

Um fator ambiental importante que contribui para elevar a transpiração é a velocidade do vento (Kozlowski et al., 1991). Estes autores relataram que em baixas velocidades (0 a  $1\text{ m s}^{-1}$ ), o vento pode elevar a transpiração por meio da redução da camada de ar limítrofe. Entretanto, em algumas situações, o vento, em baixas velocidades causa diminuição na transpiração devido à diminuição na temperatura foliar, o que diminui o  $DPV_{\text{folha-ar}}$  (Kozlowski et al., 1991). Uma outra ação da velocidade do vento sobre a transpiração é que o excesso desta pode causar fechamento estomático por uma ação mecânica e por um efeito do dessecamento da folha. Em papaya, este fator do ambiente causou redução na evapotranspiração diurna total em 36%, e incrementou a evapotranspiração noturna em 58-87% (Clemente e Marler, 2001).

Na literatura, existem muitos relatos sobre as técnicas de medição ou de estimativa da transpiração em folhas, em algumas partes destas, ou em plantas inteiras (Beadle et al., 1993; Wullschleger et al., 1998). Segundo Wullschleger et al. (1998), a transpiração é limitada pela condutância do vapor de água nos estômatos e pela ação da camada de ar limítrofe. A metodologia que confina uma folha, ou parte desta em uma câmara, para então estimar a transpiração, pode superestimar os valores desta variável, uma vez que ventiladores localizados dentro da câmara podem reduzir intensamente a camada de ar limítrofe, elevando assim o valor da taxa transpiratória (Percy et al., 1989).

Dentre as técnicas utilizadas para a medição da transpiração, o uso de sondas (termopares), as quais são inseridas na base do tronco, quando bem calibradas e com bastante atenção nos possíveis erros da técnica, pode se estimar com grande eficiência o fluxo de água através do tronco (Granier, 1987; Smith e Allen, 1996). Existem três tipos de métodos de medição de fluxo, os quais são mais freqüentemente utilizados, destaca-se o método de calor constante, o de balanço de calor e o de pulso de calor (Granier, 1987; Smith e Allen, 1996). Todos estes métodos se baseiam nas propriedades de dissipação térmica da água, através do tronco vegetal para estimar densidade do fluxo de seiva xilemática (Dragoni et al., 2005) e admite que a água que se movimenta no tronco do sistema raiz/parte aérea é proveniente do xilema (Percy et al., 1989).

Segundo Dragoni et al. (2005), esta técnica oferece algumas vantagens como medir diretamente o fluxo de água dentro da planta, propiciar um maior número de coletas de dados, maior tempo de medida, várias repetições, não causa alterações no dossel e nem na raiz da planta e pode automatizar os procedimentos de cálculos da transpiração. Entretanto, estes mesmos autores relatam que algumas observações deverão ser feitas com relação à técnica, como exemplo, plantas com específicas características anatômicas, podem apresentar um elevado fluxo e elevados diâmetros de tronco, os quais poderão causar erros. Ainda, as sondas deverão ser precisas e deverão ser instaladas em grande número. Entretanto, são de preços elevados e nem sempre se tem o uso de uma grande quantidade de sondas.

Quando se efetuam determinações do movimento de água no tronco de plantas de menor porte, por meio da técnica do fluxo de seiva xilemática, o fluxo de água no tronco é equivalente à transpiração do dossel (Wullschleger et al., 1998). Entretanto, em árvores, existe uma fase denominada de fase *lag*, ou seja, pode-se ter uma transpiração do dossel sem haver um concomitante movimento de água no tronco onde estão inseridas as sondas (Schulze et al., 1985; Phillips et al., 1997). Segundo Wullschleger et al. (1998) esta fase pode variar de minutos a várias horas, e vai depender da capacidade de armazenamento de água na biomassa do tronco acima do local de inserção das sondas. Como exemplo, na parte da manhã, o fluxo de água que sai do dossel (transpiração) é bem maior que o movimento de água detectado nas sondas localizadas na base do tronco, indicando uma remoção líquida nas partes acima da inserção das sondas (Schulze et al., 1985). Entretanto, no período da tarde, o fluxo de água na base do tronco pode ser maior que a transpiração do dossel, o que indica uma recarga de água na biomassa do tronco acima da inserção das sondas.

Quando se utiliza esta técnica, uma observação importante a ser relatada é que, torna-se necessário esperar de 2 a 3 semanas após a instalação das sondas, para que os dados sejam utilizados, ou seja, antes que os padrões normais dos sinais provenientes das sondas possam ser utilizados na determinação do cálculo do fluxo de seiva (Lu et al., 2002). Pode-se notar então, que quando se utiliza o método de Granier, cada espécie vegetal tem sua peculiaridade. Na cultura da tamareira, foram encontradas diferenças nos valores de fluxo de seiva xilemática, quando se utilizaram comprimentos diferentes de

sondas, bem como alturas diferenciais de inserção dessas sondas no tronco (Ringersma et al., 1996).

O método de estimativa do fluxo de seiva xilemática, proposto por Granier (1985) requer uma calibração empírica, ou seja, para a utilização deste método em uma determinada cultura, é necessária uma calibração específica (Reis et al., 2006), para a utilização do equipamento na espécie em estudo. Esta calibração consiste na conversão da diferença de temperatura ( $\Delta T$ ) em densidade de fluxo de seiva, utilizando a área ativa do xilema, a qual é utilizada para o cálculo do fluxo total (Kostner et al., 1996). A condutância da camada limítrofe entre a folha e o ar e o padrão de absorção de água através das raízes não são alterados por este método. O método proposto por Granier (1985) é um método relativamente econômico, permitindo o aumento do número de plantas amostradas, objetivando alcançar com segurança, os valores de transpiração em condições de campo (Schmid e Bettner, 1999).

Em mamoeiro, a técnica de irrigação é recomendada durante os períodos de baixa precipitação pluviométrica. Também é recomendada para elevar o crescimento e a produção de frutos da espécie (Malo e Campbell, 1986). Em março de 2003, ocorreu a inserção da cultura do mamoeiro no Sistema de Produção Integrada de Frutas (PIF). Este sistema preconiza uma completa organização do sistema produtivo da cultura. Desta maneira, a PIF objetiva a produção dos frutos com elevada qualidade e utilização racional e de maneira controlada dos recursos utilizados no sistema produtivo (Andrigueto e Kososki, 2003). Dentre os recursos utilizados na produção comercial do mamoeiro, a água é um dos que necessita considerável racionalidade, uma vez que, em reduzidas quantidades, este fator do ambiente pode comprometer a produtividade.

Com relação aos efeitos da baixa disponibilidade de água no solo sobre o processo fotossintético do mamoeiro, alguns trabalhos foram publicados (Marler et al., 1994; Clemente e Marler, 1996; Marler e Mickelbart, 1998). Estes trabalhos se relacionam à aplicação do estresse hídrico em condição de campo e casa de vegetação. Em condição de casa de vegetação, a taxa fotossintética ( $A$ ), a condutância estomática ( $g_s$ ) e o rendimento quântico aparente ( $\phi$ ) foram significativamente comprometidos aos 5 dias de cultivo, quando o potencial hídrico do solo atingiu  $-36,7\text{kPa}$ . Neste potencial, os valores de  $A$ ,  $g_s$  e  $\phi$  foram  $2,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ,  $0,044 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e  $0,019 \mu\text{mol} \mu\text{mol}^{-1}$ , respectivamente. Marler et al.

(1994) postularam que, sob condição de estresse hídrico, os estômatos das folhas desta espécie se fecham devido às relações hídricas relacionadas ao solo e a raiz e não à desidratação da folha. Sob limitação hídrica, em mamoeiro 'Formosa', é comum observar um murchamento da folha, decorrente da redução da pressão de turgescência foliar. Tal murchamento poderá ser devido a uma perda de água acentuada da folha, sem haver uma concomitante reposição pelas raízes. Em mamoeiro 'Formosa', este fenômeno foi observado nas horas mais quentes do dia, entre 11:00h e 15:00 h, nos dias de céu claro com muita irradiância e elevada temperatura do ar (Reis, 2003).

Em condição de campo, Marler e Mickelbart, (1998), trabalhando com plantas de mamoeiro 'Red Lady', relataram que, em plantas com boa disponibilidade de água no solo ( $\psi_s = -19\text{kPa}$ , controle), 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 da condutância estomática e, conseqüentemente, da taxa fotossintética, uma vez que os autores relataram que não houve alterações na eficiência fotoquímica máxima do fotossistema II ( $F_v/F_m > 0,75$ ), avaliada por meio da fluorescência. Estas informações mostram que em dias com presença de intensos fluxos de fótons fotossintéticos ( $> 1800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), os efeitos estomáticos são os principais controladores da taxa fotossintética líquida. Resultados semelhantes foram obtidos por Reis (2003). Este fato mostra que estratégias de manejo que possam otimizar a abertura estomática podem ser de grande importância para elevar a assimilação fotossintética do carbono nesta espécie. Em plantas de mamoeiro do genótipo 'Red Lady', estudadas por Marler e Mickelbart, (1998), cultivadas sob condição de campo, o potencial hídrico do solo de  $-68\text{kPa}$  foi considerado o tratamento sob deficiência hídrica. Neste potencial hídrico, os valores de  $A$  foram 50% inferiores aos valores das plantas consideradas controle (potencial hídrico de solo de  $-20\text{kPa}$ ) (Marler e Mickelbart, 1998).

Com relação aos efeitos do estresse hídrico sobre as características de produção e crescimento, Aiyelaadgbe et al. (1986) relataram que valores de potencial hídrico do solo em torno de  $-20\text{kPa}$  proporcionaram elevações no diâmetro do tronco, no diâmetro dos frutos, na média do número de folhas, na área foliar total da planta, na altura de plantas, na massa fresca e massa seca total da planta, bem como no número de frutos e no peso fresco destes órgãos

em mamoeiro 'Homestead Selection'. Potenciais hídricos inferiores a este valor afetaram acentuadamente tais características.

Na Índia, Srinivas (1996), Trabalhando com mamoeiro, realizou reposições de água no solo correspondentes a 20, 40, 60, 80, 100 e 120% de evaporação no tanque Classe A, com irrigação do tipo gotejamento. O aumento da reposição de água de 20% para 120%, proporcionou um acréscimo de 18,8% na taxa transpiratória, 21,9% na altura da planta, 88,3% no número de frutos e 34,6% na produção. O uso da água, de 0 a 36 meses após o plantio, aumentou com o aumento das taxas de reposição de água. A eficiência do uso da água durante este período decresceu 58,6 para 30,9 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> nos tratamentos 20% e 120% de taxas de reposição de água, respectivamente.

Na literatura, encontra-se um número reduzido de trabalhos relacionados a metodologias para se aplicar a quantidade de água próxima das exigências hídricas ideais do mamoeiro. Tal ação poderá ser de extrema importância para produtores e empresas agrícolas que cultivam o mamoeiro, uma vez que a descoberta de técnicas que possam contribuir para o manejo adequado de água desta espécie será de grande importância nos aspectos relacionados aos custos e ao aumento de produtividade. Tal recurso, a cada dia que passa torna-se limitante, o que deverá encarecer, em um futuro próximo, o uso deste. Sendo assim, este trabalho objetivou efetuar relações entre as variáveis do clima, por meio da estimativa de ETo, com os valores do fluxo de seiva xilemática em mamoeiros cultivados sem e com aplicação de água via microaspersão sobrecopa em condição de campo. Tal trabalho, também permitiu investigar as relações entre os valores do fluxo de seiva xilemático com o fluxo de fótons fotossintéticos e com o déficit de pressão de vapor do ar. A partir destas informações poderá ser possível desenvolver metodologias mais simples, para tentar aplicar a quantidade de água mais próxima da ideal, evitando assim, limitações ou excesso deste recurso nas raízes das plantas do mamoeiro.

## MATERIAL E MÉTODOS

### 1 Material vegetal e condições de cultivo

Neste trabalho, utilizou-se a espécie *Carica papaya* L., pertencente à classe *Dicotyledoneae*, subclasse *Archichlamydeae*, ordem *Violales*, subordem *Caricaceae* e gênero *Carica*. O genótipo utilizado desta espécie foi o 'Golden' pertencente ao grupo 'Solo'. Nas avaliações de março de 2005, as plantas tinham 7 meses de idade, 11 cm de diâmetro de tronco (à 30 cm do solo) e 2,40 m de Altura. Em junho de 2005, com 10 meses de idade, as plantas tinham em média 14 cm de diâmetro de tronco (à 30 cm do solo) e 3,15 de Altura.

O estudo foi realizado em uma área de plantio comercial localizada no município de Linhares, situado no Norte do Estado do Espírito Santo (latitude de 19° 10' S e longitude de 39° 50' O), especificamente na Empresa Caliman Agrícola S/A. Segundo a classificação de Koppen, o clima da região é Aw, caracterizado por temperaturas elevadas com chuva no verão e seca no inverno. As médias de temperatura dos meses mais quentes são maiores que 20°C e nos meses mais frios do ano as mínimas são menores que 18°C.

A área escolhida possuía 0,25 ha e apresentava baixa declividade, com classificação de solo de Argissolo Amarelo.

O transplântio das mudas foi feito em agosto de 2004, e o início dos tratamentos foi em dezembro deste mesmo ano. Os tratamentos foram aplicados no início do florescimento das plantas (4 meses de idade) e estes foram finalizados em janeiro de 2006.

A lavoura foi irrigada com o sistema do tipo gotejamento e o espaçamento utilizado foi de 1,50 x 3,80 m. A adubação foi feita por meio de fertirrigação de acordo com o sistema de produção comercial de frutos utilizado pela empresa Caliman Agrícola S/A. A média mensal de adubos por fertirrigação foi de: 36,56 kg ha<sup>-1</sup> de Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>; 12,75 kg ha<sup>-1</sup> de MgSO<sub>4</sub>; 22,84 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; 4,05 de MAP (fosfato monoamônico, fonte de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 0,35 kg ha<sup>-1</sup> de micronutrientes.

Na área experimental, para se efetuar a aplicação da água por meio da microaspersão sobre a copa (MASC) nas plantas de mamoeiro, foi instalado um cabo (arame galvanizado) sobre a linha de plantio com altura de 5 m. Neste arame, foram instalados os microaspersores espaçados de 3 m de distância um

do outro. No tratamento considerado controle não foi aplicado água por meio da microaspersão. Para se ter certeza de que não havia presença de água no tratamento controle, entre os tratamentos (controle e microaspersão sobrecopa), havia duas linhas como bordadura. O tratamento com microaspersão sobrecopa e o controle tiveram quatro linhas cada. Desta maneira, na área experimental, teve-se uma linha de plantio com plantas controle, espaçadas com duas linhas como bordadura, depois uma linha com plantas submetidas à microaspersão sobrecopa, espaçadas com duas linhas como bordadura, depois uma linha controle e, nesta seqüência, até completarem 4 linhas controle e 4 linhas com microaspersão.

Os microaspersores foram acionados por um sensor automático de temperatura, e uma bomba hidráulica era ligada toda vez que a temperatura do sensor localizado na copa da planta atingia 31°C. Segundo Reis, 2003,  $DPV_{\text{folha-ar}}$  a partir de 3,5 kPa reduzem a taxa fotossintética líquida de forma significativa, e através de relações entre  $DPV_{\text{folha-ar}}$  e temperatura do ar observou-se que a temperatura que gera este valor de  $DPV_{\text{folha-ar}}$  é de 31°C. O sensor foi posto dentro do dossel, na sombra, em uma planta com microaspersão sobrecopa. Assim que os microaspersores eram ligados, uma névoa de água era formada na parte superior do dossel das plantas submetidas ao tratamento com microaspersão e, em aproximadamente 10 minutos de funcionamento dos microaspersores, estes eram desligados automaticamente quando a temperatura diminuía até 29~30°C.

## *2 Determinação do fluxo de seiva*

Neste trabalho, foi utilizado o método de dissipação de calor (calor constante), proposto por Granier (1985) (TDP, Sap Flow System, Dynamax, USA) em que duas sondas cilíndricas de 2 mm de diâmetro e 30 mm de comprimento foram inseridas radialmente no nó do caule das plantas a uma altura de 300 mm em relação ao solo. Foram monitoradas quatro plantas controle e quatro plantas com microaspersão sobrecopa, durante aproximadamente um ano (de 13 de janeiro de 2005 a 5 de dezembro de 2005). Em cada planta, foram inseridos dois pares de sondas. Ambas as sondas eram espaçadas uma da outra em aproximadamente 50 mm. A sonda superior possui uma resistência (elemento aquecedor) e uma junção de termopar (medidor de temperatura). A sonda inferior possui apenas uma junção de termopar. Uma corrente constante era aplicada à

resistência e a diferença de temperatura entre as duas sondas ( $\Delta T$ ) era dependente do fluxo de seiva xilemática ( $U$ ) nos vasos xilemáticos. Com o aumento do fluxo, o calor era dissipado mais rapidamente e, portanto, a variável  $\Delta T$  decrescia. Quando não havia fluxo de seiva, principalmente em horários noturnos, a diferença de temperatura entre as sondas atingia o valor máximo ( $\Delta T_{\text{máx}}$ ). Por meio dessa relação entre  $\Delta T$  e  $U$ , estimou-se a transpiração da planta (Granier, 1985). Durante as instalações das sondas nos troncos das plantas em condição de campo, estas sondas foram cobertas com uma manta aluminizada, de modo a evitar os possíveis efeitos diretos da radiação e da temperatura do ar e do solo sobre os termopares inseridos dentro das sondas.

Para a estimativa da relação entre  $\Delta T$  e  $U$ , foram feitos testes preliminares, objetivando efetuar a relação entre a variação da temperatura entre as sondas e o fluxo real da seiva xilemática através do tronco do mamoeiro, estabelecendo assim uma calibração específica para esta cultura (Reis et al., 2006). A partir do trabalho proposto por Reis et al. (2006), foi possível estabelecer a relação entre  $\Delta T$  e o fluxo de seiva xilemática ( $U$ ) expresso por unidade de área do xilema ativo. Para a medição da área do xilema ativo, foram feitos testes preliminares, utilizando vários troncos de mamoeiro, de diferentes diâmetros. Os troncos cortados na base eram imediatamente imersos em uma solução de azul de metileno. A partir da área colorida radialmente no tronco, fez-se uma relação entre esta área e o perímetro do tronco [ $Y=3,317X - 47,887$ ;  $R^2=0,9356$ ; em que  $Y$  = área do xilema ativo ( $\text{cm}^2$ ) e  $X$  = circunferência do tronco ( $\text{cm}$ )].

Para expressar o fluxo de seiva xilemática com base na área foliar ( $\text{L h}^{-1} \text{m}^{-2}$  de folha), a área foliar total da planta de mamoeiro foi obtida somando a área de cada folha. A área de cada folha foi obtida segundo metodologia proposta por Campostrini e Yamanishi (2001).

### 3. *Variáveis climáticas*

As variáveis meteorológicas como temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar, velocidade do vento e precipitação pluviométrica foram monitoradas por uma mini estação climatológica 'WatchDog' modelo 900ET (Spectrum Technologies, Inc. - Illinois, U.S.A.) instalada próximo ao experimento.

Nesta mini-estação, os dados referentes às variáveis climatológicas supracitadas foram armazenados a cada hora.

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

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

em que t é calculado pela equação:

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

UR é a umidade relativa do ar e  $T_{ar}$  é a temperatura do ar. Ambas as variáveis foram obtidas pela mini estação climatológica.

A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) foi calculada pela equação de Penman parametrizada pela FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura) (Pereira et al., 1997) (Equação 3). Considerou-se que o balanço diário do fluxo de calor no solo foi igual a zero ( $G=0$ ).

$$ET_0 = \frac{s}{s + \gamma^*} (Rn - G) \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma}{(s + \gamma^*)(T + 275)} U_2 (e_s - e_a) \quad \text{Eq. (3)}$$

Em que:

s = declividade da curva de pressão de vapor,  $kPa \text{ } ^\circ C^{-1}$ ;

$\gamma^*$  = constante psicométrica modificada,  $kPa \text{ } ^\circ C^{-1}$ ;

Rn = saldo de radiação,  $MJ \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ;

G = fluxo de calor no solo,  $MJ \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ;

$\lambda$  = calor latente de evaporação,  $MJ \text{ kg}^{-1}$ ;

$\gamma$  = coeficiente psicrométrico,  $kPa \text{ } ^\circ C^{-1}$ ;

T = temperatura média,  $^\circ C$ ;

$U_2$  = velocidade do vento a 2 m,  $m \text{ s}^{-1}$ ;

$e_s$  = pressão de saturação de vapor, kPa;

$e_a$  = pressão parcial de vapor, kPa.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores diários das variáveis climáticas correspondentes aos períodos de estudo considerados como verão (12/01 a 31/03/2005) e como inverno (01/06 a 31/08/2005) são mostrados na figura 1. No verão, a temperatura máxima do ar atingiu em torno de 35°C, enquanto que no inverno o valor desta variável atingiu o máximo de 32°C. A temperatura mínima do ar no verão atingiu valores próximos a 20°C, enquanto que no inverno, tal variável atingiu o valor em torno de 15°C. No geral, as temperaturas do ar, tanto máximas como mínimas, foram menores no inverno do que no verão. A variável temperatura do ar apresentou uma relação positiva com o fluxo de fótons fotossintéticos (FFF), ou seja, o maior valor da variável temperatura do ar é devido a maior chegada de FFF sobre a superfície terrestre. A figura 1 mostra que no verão, FFF atingiu os valores máximos (obtidos por meio dos valores médios nos horários de 7:00h às 17:00h) em torno de  $1400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , enquanto que no inverno, foram próximos a  $950 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . A umidade relativa (UR) apresenta uma resposta inversa a temperatura, o que foi evidenciado na figura 1. A interação entre a UR e a temperatura do ar pode ser expressa por meio da variável  $\text{DPV}_{\text{ar}}$  e é mostrada na figura 2. Como é mostrado nesta figura, no verão, os valores médios diários do  $\text{DPV}_{\text{ar}}$  foram maiores, atingindo valores máximos em torno de 1,3 kPa, enquanto que no inverno esta variável atingiu valores máximos em torno de 0,7kPa. A precipitação pluviométrica foi maior no verão, atingindo valores próximos a 37 mm, em apenas um dia. No inverno, este valor máximo ocorreu em agosto, e foi em torno de 25 mm.

Os fatores do clima como luz, expressa em radiação ( $\text{W m}^{-2}$ ) ou fluxo de fótons fotossintéticos ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), e o  $\text{DPV}_{\text{ar}}$  podem influenciar direta e indiretamente a transpiração, avaliada por meio dos valores do fluxo de seiva xilemática (FSX) (Morikawa et al., 1986). Segundo estes autores, uma relação elevada e positiva é observada entre FSX e estas variáveis do ambiente. Entretanto, estas relações podem variar entre plantas que apresentem tamanho de dosséis diferentes (Bréda et al., 1993). Em bananeira cultivada em condição de campo, Lu et al. (2002) realizaram medidas de FSX as quais foram positivamente bem correlacionadas com algumas características, consideradas pelos autores como micrometeorológicas, como radiação solar e

evapotranspiração de referência. Estas correlações são importantes, pois tais variáveis climatológicas são mais fáceis de ser obtidas e, desta maneira, podem indiretamente estimar o FSX em plantas. Tal ação poderá otimizar o manejo hídrico de algumas culturas, com economia de tempo, espaço e recursos.

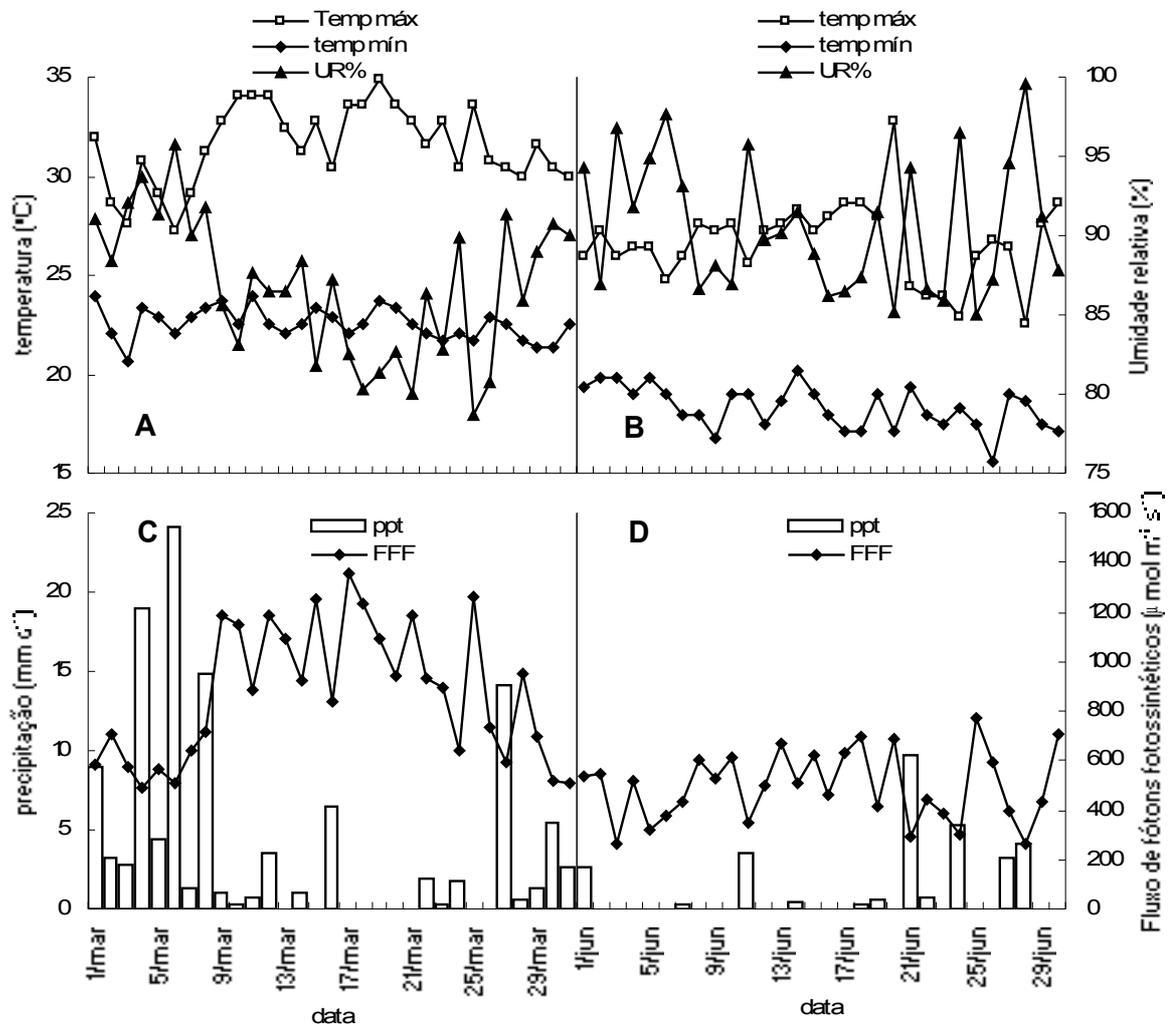


Figura 1: Valores diários de temperatura máxima ( $\square$ ) e mínima ( $\blacklozenge$ ) do ar e valores médios de umidade relativa do ar ( $\blacktriangle$ ) (A e B). Valores médios diários de fluxo de fótons fotossintéticos das 7:00h às 17:00h ( $\blacklozenge$ ) e precipitação total do dia ( $\square$ ) (C e D), nos meses de março (A e C) e junho (B e D) de 2005.

Neste presente trabalho com mamoeiro, no verão (janeiro/março), em ambos os tratamentos [sem aplicação de água via microaspersão sobrecopa (controle) e com microaspersão sobrecopa (MASC)] foi observada uma boa correlação entre o FFF e o FSX (Figura 3). No entanto, uma maior dispersão dos pontos foi observada no inverno (junho/agosto). Como consequência, foram observados valores mais baixos do coeficiente de determinação. No verão, para cada  $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  de chegada de fótons sobre o dossel das plantas, ocorreu um incremento na passagem de água no tronco das plantas de mamoeiro de 0,08 e 0,12  $\text{L h}^{-1} \text{m}^{-2}_{\text{folha}}$ , nos tratamentos controle e MASC, respectivamente. Contudo, no inverno, estes valores foram de 0,16  $\text{L h}^{-1} \text{m}^{-2}$  em ambos os tratamentos. No verão, o tratamento MASC apresentou um valor 1,5 maior, pois, possivelmente, a presença de água sobre a superfície foliar pode ter permitido uma menor redução da temperatura da folha, causando menor  $\text{DPV}_{\text{folha-ar}}$ , promovendo uma maior condutância estomática, o que foi evidenciado por uma maior transpiração (ver primeiro capítulo). Uma vez que o tratamento MASC não afetou as trocas gasosas no inverno, este fato pode justificar a semelhança nos valores das respostas verificadas nesta época, entre os tratamentos (Figura 3).

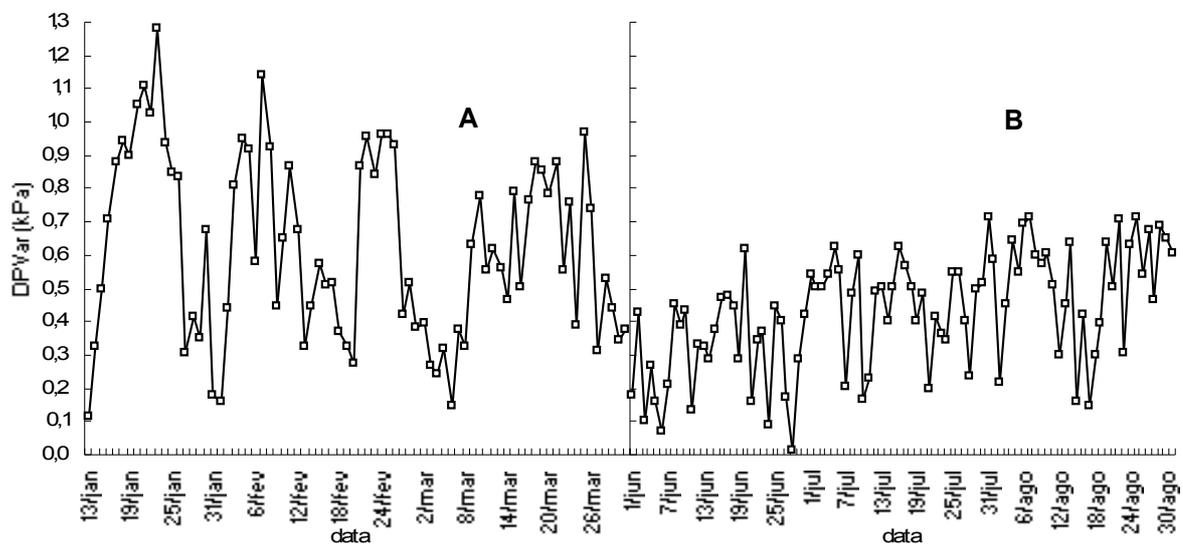


Figura 2: Valores médios diários de déficit de pressão de vapor do ar ( $\square$ ) de janeiro a março de 2005 (A) e de junho a agosto de 2005 (B) na Região de Linhares-ES.

No tratamento controle, embora bem mais dispersos, os maiores valores do FSX foram observados no inverno (Figura 3B e 3D). No verão, os menores valores do FSX, estariam associados a um maior controle estomático, uma vez que tal período apresentou valores elevados do  $DPV_{ar}$  (Figura 2A). Esta variável pode afetar significativamente a abertura estomática, e por sua vez a transpiração (Meinzer et al., 1996). Em mamoeiro do grupo 'Solo' e 'Formosa', Machado Filho, et al. (2006) mostraram que elevados valores de  $DPV_{ar}$  causaram fechamento estomático, com comprometimentos na taxa fotossintética líquida e na transpiração. Segundo estes autores, o porte elevado do mamoeiro poderá conferir características a esta espécie, ou seja, elevada resistência hidráulica no continuum solo-folha, de modo a torná-lo mais suscetível à ação do  $DPV_{ar}$ . Sperry (2000) relata que a condutância estomática e a transpiração são correlacionadas positivamente com a condutância hidráulica do sistema solo-folha. No presente trabalho, no verão, houve uma elevada demanda atmosférica (elevados valores de  $DPV_{ar}$ ) e o sistema radicular pode não ter repostado a parte aérea na mesma intensidade, refletindo assim em um déficit nas folhas. Nas plantas submetidas à MASC, os efeitos do  $DPV_{ar}$  seriam menos pronunciados.

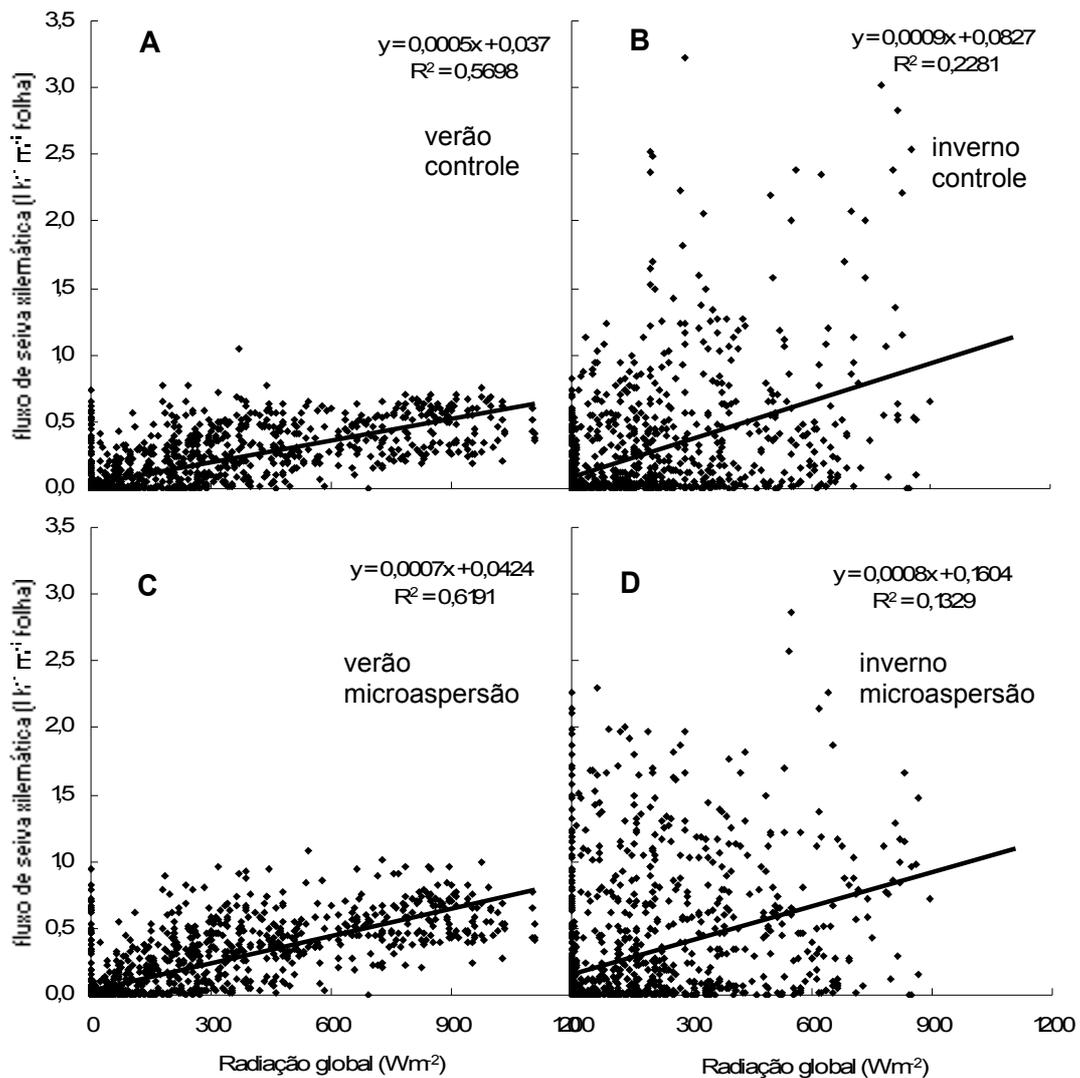


Figura 3: Relação entre fluxo de seiva xilemática e fluxo de fótons fotossintéticos, sem (A e B) e com microaspersão sobrecopa (C e D). No verão (A e C) e no inverno (B e D). No verão, usou-se dados monitorados de 12 de janeiro de 2005 a 31 de março de 2005 e no inverno de 1º de junho a 31 de agosto.

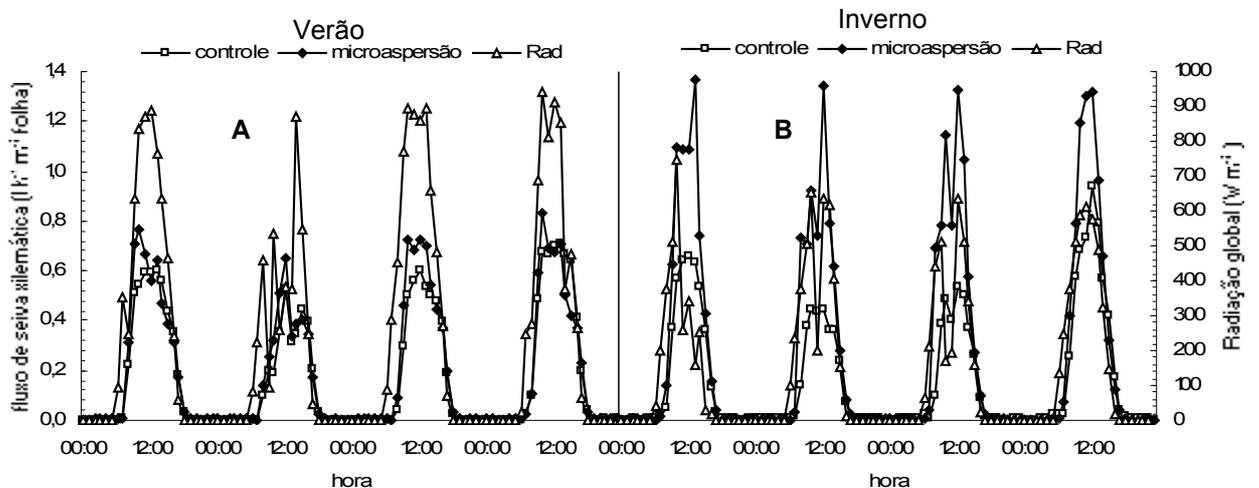


Figura 4: Média horária de fluxo de seiva xilemática (controle □ e microaspersão ♦) e fluxo de fótons fotossintéticos (Δ) em quatro dias consecutivos em março (A) e quatro em junho (B) de 2005.

No inverno, principalmente nas plantas que receberam MASC, nota-se um grande número de valores de FSX bem próximos de zero, em elevados valores de FFF (Figura 3B e 3D). Ainda, nesta figura, observam-se valores elevados de FSX, em quantidades de FFF bem baixas ou quase nulas. Tais respostas podem ser explicadas por meio da fase *lag* (Zhang et al., 1997; Wullschleger et al., 1998), ou seja, logo pela manhã, têm-se elevados FFF, sem haver uma sensibilidade na região das sondas. Neste caso, ocorre a saída da molécula de água do dossel, e esta água, somente é repostada mais tarde, por meio da água armazenada no tronco acima do ponto de inserção das sondas. Somente após este período de abastecimento, é que vai ocorrer a sensibilização, por meio da passagem de água, na região das sondas. Logo pela manhã, primeiramente sai a água presente nas folhas, para depois sensibilizar as sondas localizadas na base da planta. Um raciocínio inverso deverá ser feito no final do dia. Neste período, há reduzidos valores de FFF, com elevados valores de FSX. Nesta condição, os estômatos estão mais fechados; entretanto, o tronco está na fase de abastecimento das moléculas de água para as partes localizadas na extremidade do dossel. Um pequeno exemplo desta fase *lag* pode ser observado na figura 4. Nesta figura, observa-se também, o diferencial nos valores do FSX entre o verão e o inverno. Ou seja, no verão verificam-se valores baixos do FSX. Ainda, nesta figura, no inverno, é possível observar que, em relação ao tratamento controle, o tratamento MASC apresentou valores maiores do FSX. Contudo, como foi mostrado na figura 3, quando se analisam todo os dados em conjunto, as diferenças entre os tratamentos não são observadas.

Um fato a ser relatado é que a presença da fase *lag* foi observada em maior intensidade no inverno (Figura 3B e 3D), embora esteja presente no verão. Esta fase *lag* é observada no período da manhã. Ou seja, há a demanda de água do ar, sem haver FSX. Tal resultado poderia estar relacionado com a abertura estomática. Ou seja, no verão, com os estômatos mais fechados ocorreria uma menor saída da molécula de água, o que poderia proporcionar menor saída de água e assim, menor valor do FSX.

Registraram-se valores máximos de  $DPV_{ar}$  em torno de 2 e 3,5kPa, no inverno e no verão, respectivamente (Figura 5). No verão, as plantas que receberam MASC (Figura 5C) apresentaram um pequeno incremento no FSX.

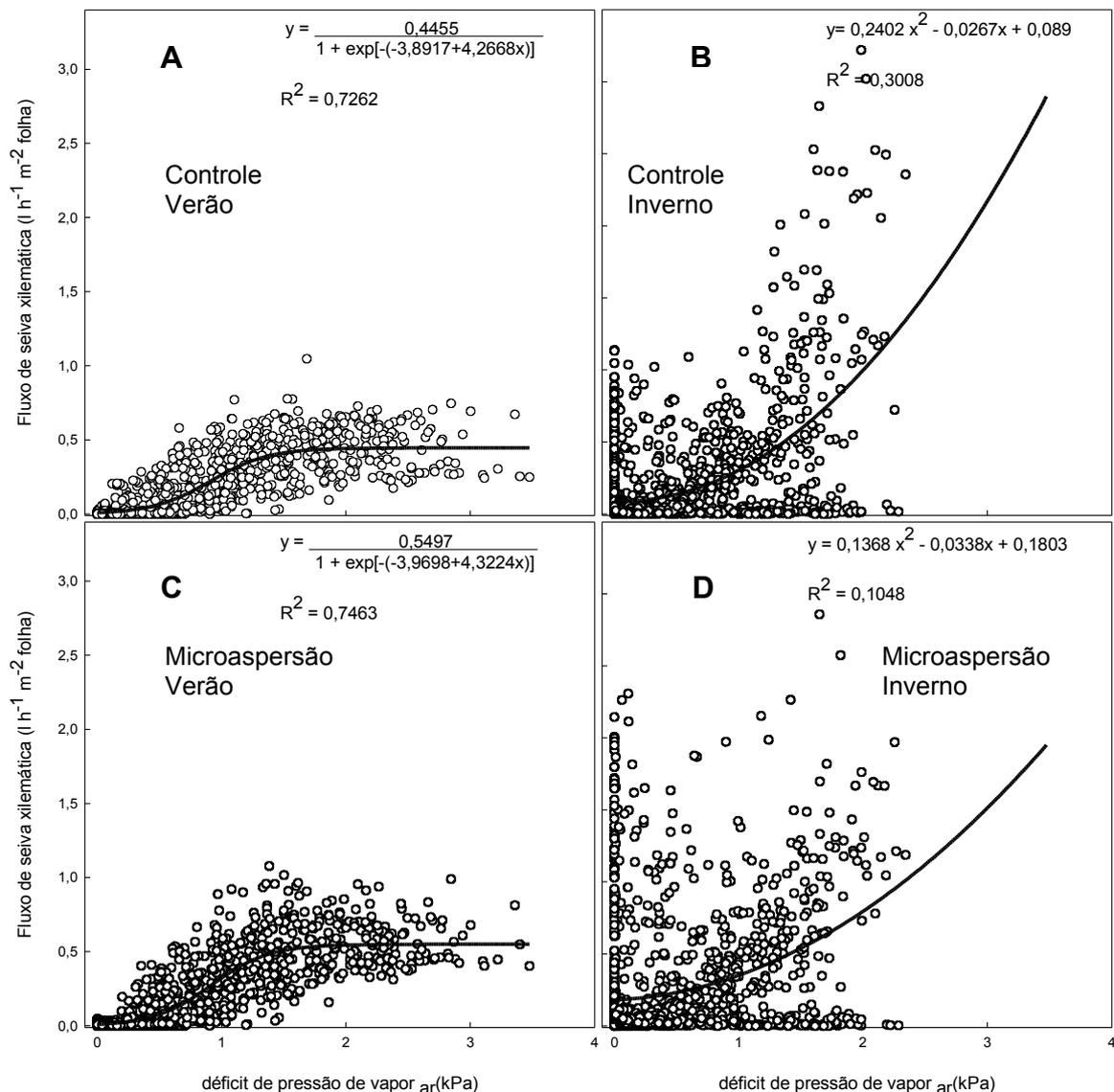


Figura 5: Relação entre fluxo de seiva xilemática e déficit de pressão de vapor (ar), sem (A e B) e com microaspersão sobrecopa (C e D). No verão (A e C) e no inverno (B e D). No verão, usou-se dados monitorados de 12 de janeiro de 2005 a 31 de março de 2005 e no inverno de 1º de junho a 31 de agosto.

No inverno, o tratamento controle mostrou maiores valores do FSX. Ou seja, no verão, a aplicação de água sobre a copa contribui para um aumento no FSX. Entretanto, no inverno, esta técnica não permitiu tal fato.

No inverno (Figura 5B e 5D), observaram-se, assim como na figura 3, valores muito dispersos do FSX. Em ambas as épocas, até valores de 2kPa, para um mesmo valor de DPV<sub>ar</sub>, existem muitos pontos que correspondem a valores elevados de FSX. Uma vez que no verão os valores menores do FSX possam ser

explicados pela menor condutância estomática, este fato pode mostrar que, possivelmente, a variável que poderia estar mais relacionada com FSX seria o  $DPV_{\text{folha-ar}}$ . Tal variável envolve a temperatura da folha e a temperatura e umidade relativa do ar. De fato, no capítulo anterior deste trabalho, no verão, foram observados maiores valores desta variável. Como foi relatado por Reis (2003) e El-Sharkawy et al. (1985), os estômatos nas folhas do mamoeiro apresentam significativa sensibilidade à ação do  $DPV_{\text{folha-ar}}$ . Ou seja, estes autores mostraram que maiores valores desta variável causam fechamento estomático nesta espécie de fruteira.

Uma outra observação a ser feita, é que no verão, a elevada demanda hídrica da atmosfera pode causar um déficit hídrico no solo, mesmo aplicando água via gotejamento no sistema radicular. Ou seja, a evaporação do solo pode se tornar bem intensa no verão, diminuindo assim a disponibilidade de água nas raízes, o que poderia causar um déficit hídrico na planta, com conseqüências significativas sobre a condutância estomática.

Na figura 6, no inverno, observam-se que os valores máximos do FSX foram de  $3 \text{ l h}^{-1} \text{ m}^{-2}$  de folha ( $\approx 15 \text{ l dia}^{-1} \text{ m}^{-2}$  de folha). No verão tais valores foram no máximo  $1,1 \text{ l h}^{-1} \text{ m}^{-2}$  de folha ( $\approx 11 \text{ l dia}^{-1} \text{ m}^{-2}$  de folha). Em macieira, foram observados valores próximos a  $4 \text{ L dia}^{-1} \text{ m}^{-2}$  de folha. Em árvores de *Salix fragilis* (Cermák et al., 1984), *Carya illinoensis* (Steinberg et al., 1990), *Eucalyptus grandis* (Dye, 1996), *Abies amabilis* (Martin et al., 1997), foram observados valores de 2,5; 3,5; 2 e  $0,8 \text{ L dia}^{-1} \text{ m}^{-2}$  de folha, respectivamente.

Nas plantas em estudo, foi verificado que em média, elas apresentavam uma área foliar total de  $4,53 \text{ m}^2$ , e a média total da área do xilema ativo foi de  $80,48 \text{ cm}^2$ , o que confere ao mamoeiro um valor de  $0,09 \text{ m}^2$  de folha para cada  $\text{cm}^2$  de área do xilema ativo. Segundo Lu et al. (2002), em bananeira, valores inferiores a  $0,08$  ( $<0,08 \text{ m}^2 \text{ cm}^{-2}$  xilema ativo) promoveram reduzidos valores de FSX expressos em unidade de área de xilema ativo. Neste estudo com mamoeiro, o máximo valor obtido do fluxo de seiva xilemática expresso em unidade de área de xilema ativo foi de  $0,0372 \text{ kg cm}^{-2}$  de xilema ativo  $\text{h}^{-1}$  ( $3 \text{ L h}^{-1} \text{ m}^{-2}$  folha, figuras 3 e 5). Em bananeira, Lu et al., 2002 relataram que os valores máximos obtidos foram  $0,015 \text{ kg cm}^{-2}$  de xilema ativo  $\text{h}^{-1}$ . Em uma espécie de pinheiro (Lu et al., 1995), em algumas árvores tropicais (Granier et al., 1996) e em mangueira (Lu et al., 2000) foram de  $0,019$ ,  $0,040$  e  $0,035 \text{ kg cm}^{-2}$  de xilema ativo  $\text{h}^{-1}$ ,

respectivamente. Tal fato pode mostrar que  $0,09 \text{ m}^2$  de folha  $\text{cm}^{-2}$  de xilema ativo pode explicar os valores mais elevados (0,0372) do que em bananeira (0,015), ou seja, cerca de 2,4 vezes maior.

As relações entre o fluxo de seiva xilemática e a evapotranspiração de referência,  $ET_0$  Pennan-Monteith (Allen et al., 1998), são mostradas na figura 6. No inverno (Figura 6B e 6D), foram observados maiores valores de FSX expressos em  $\text{l h}^{-1} \text{ m}^{-2}$  folha, já que nesta época caracterizou-se por menores demandas atmosféricas. Como relatado no capítulo anterior deste trabalho, no verão, a MASC permitiu maior transpiração das folhas do mamoeiro se comparado ao tratamento controle, o mesmo se observa, então, sobre os valores de FSX, com um ligeiro aumento em relação ao controle (Figura 6A e 6C). Enquanto no inverno, as diferenças entre os tratamentos praticamente não existiram.

Semelhante ao que foi obtido em bananeira,  $R^2=0,90$  entre FSX e  $ET_0$  (Lu et al., 2002), neste trabalho com mamoeiro foram obtidos coeficientes de determinação razoáveis somente no verão,  $R^2=0,68$  e  $R^2=0,72$ , no tratamento controle e no MASC, respectivamente. Silva (2003) mostrou que em cafeeiro, foi possível obter uma boa correlação ( $R^2=0,94$ ) entre o fluxo de seiva xilemática e a evapotranspiração de referência. No inverno, não se obteve boas correlações em nenhum dos dois tratamentos, possivelmente devido à presença da fase *lag*. Tal relação entre FSX e  $ET_0$  pode ser de extrema importância na busca de metodologias mais fáceis para a estimativa de demanda hídrica do mamoeiro e, conseqüentemente, na otimização da aplicação de água em plantios comerciais da espécie.

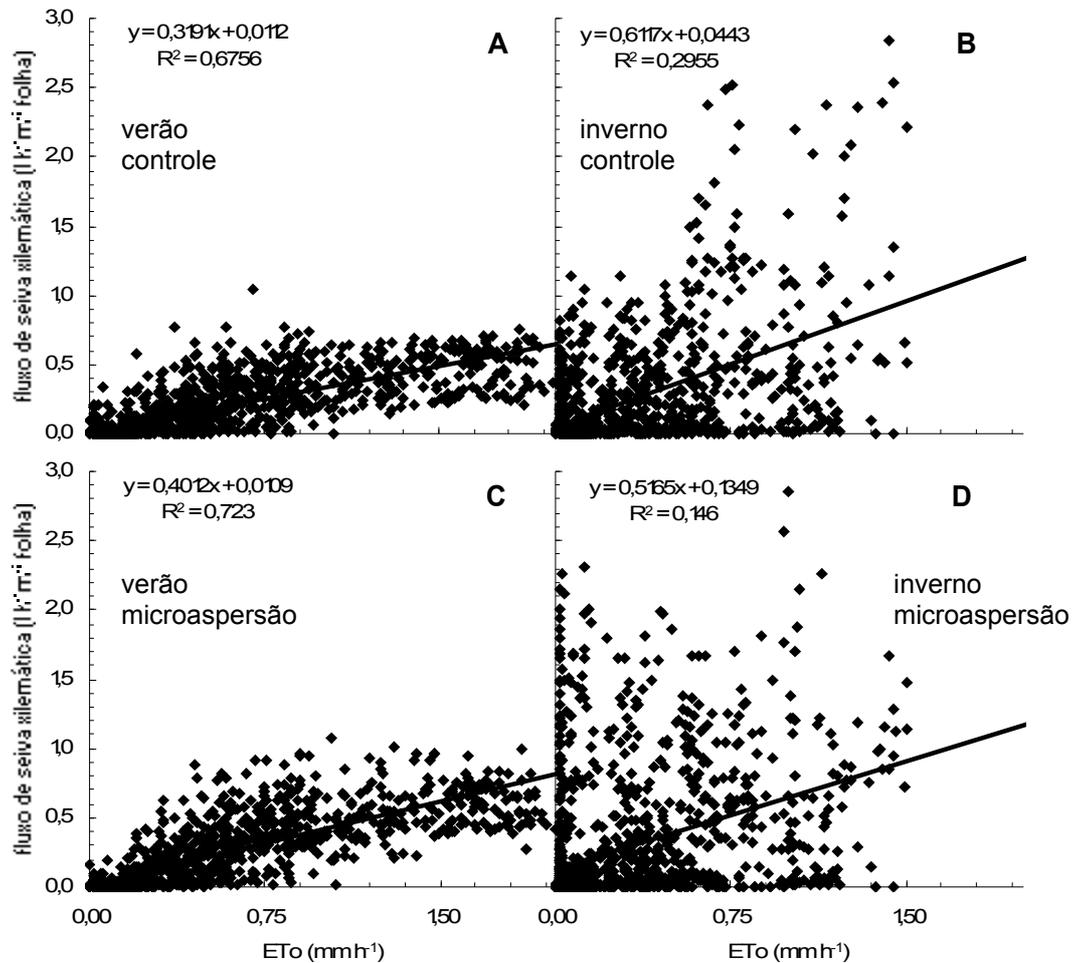


Figura 6: Relação entre fluxo de seiva xilemática e evapotranspiração de referência de horários, sem (A e B) e com microaspersão sobre copa (C e D). No verão (A e C) e no inverno (B e D). No verão, usou-se dados monitorados de 12 de janeiro de 2005 a 31 de março de 2005 e no inverno de 1º de junho a 31 de agosto de 2005.

## RESUMO E CONCLUSÕES

Em plantas de mamoeiro 'Golden', por meio do medidor do fluxo de seiva xilemática, foi possível observar um atraso entre a perda de água pelas folhas e o movimento de água através do tronco. Esta fase ocorreu com maior intensidade no inverno. No verão, obteve-se uma boa correlação entre FSX e  $DPV_{ar}$  e  $ET_0$  fato não observado no inverno, provavelmente devido a esta fase *lag*. No verão (época de maiores valores de  $ET_0$ ), em relação às plantas controle, as plantas que receberam microaspersão sobre copa tiveram um maior fluxo de seiva, enquanto no inverno, praticamente não houve diferença entre os tratamentos. Foi possível relacionar FSX com a evapotranspiração de referência (Penman-FAO).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R., Pereira, L.A., Raes, D., Smith, M. (1998) Crop evapotranspiration. *Rome:FAO*, 293 p. (FAO Irrigation and drainage, Paper 56)
- Andrigueto, J. R., Kososki, A. R. (2003) Desenvolvimento e conquista da produção integrada de frutas no Brasil. *In: Martins, D. dos S. (ed.), Papaya Brasil: Qualidade do mamão para o mercado interno*. Vitória, ES: Incaper, p. 87 - 95.
- Aiyelaadgbe, I.O .Q., Falusi, M.O .A ., Babalola, O . (1986) Growth, development and yield of pawpaw (*Carica papaya* L.). 'Homestead selection' in response to soil moisture stress-*Plant and Soil*, 93:427-435.
- Beadle, C.L., Ludlow, M.M., Honeysett, J.L. (1993) Water relations *In: Hall, D.O., Scurlock, J.M.O., Bolhàr-Nordenkamp, H.R., Leegood, R.C., Long, S.P. (eds.) Photosynthesis and production in a changing environment. A field and laboratory manual*. London: Chapman & Hall, p. 113-128.
- Bréda, N., Cochard, H., Dreyer, E., Granier, A. (1993) Water transfer in a mature oak stand (*Quercus petraea*): seasonal evolution and effects of a severe drought. *Canadian Journal of Forestry Research*, 23:1136-1143.
- Campostrini, E.; Yamanishi, O.K. (2001) Estimation of papaya leaf area using the central vein length. *Science Agricola*. 58:39-42.
- Cermák, J., Jeník, J., Kucera, J., Zidec, V. (1984) Xylem water flow in a crack willow tree (*Salix fragilis* L.) in relation to diurnal changes of environment. *Oecologia*, 64:145-151.
- Chaves, M.M., Oliveira, M.M. (2004) Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. *Journal of Experimental Botany*, Eynshan, 55:2365-2384.

- Clemente, H. P., Marler, T.E. (1996) Drought stress influences gas-exchange responses of papaya leaves to rapid changes in irradiance. *Journal of the American Society of the Horticultural Science*, 121 (2):292-295.
- Clemente, H. P., Marler, T.E. (2001) Trade winds reduce growth and influence gas exchange patterns in papaya seedlings. *Annals of Botany*, 88:379-385
- Cock, J.H., Porto, M.C.M., El-Sharkawy, M.A. (1985) Water use efficiency of cassava. III. Influence of air humidity and water stress on gas exchange of field grown cassava. *Crop Science*, 25:265-272.
- Dragoni, D; Lakso, A.N.; Piccioni, R.M. (2005) Transpiration of apple trees in a humid climate using heat pulse sap flow gauges calibrated with whole-canopy gas exchange chambers. *Agricultural and Forest Meteorology*, 130:85-94.
- Dye, P.J. (1996) Response of *Eucalyptus grandis* trees to soil water deficits. *Tree Physiology*, 16:233-238.
- El-Sharkawy, M.A., Cock, M.J.H., Hernandez, A.D.P. (1985) Stomatal response to air humidity and its relation to stomatal density in a wide range of warm climate species. *Photosynthesis Research*, 7:137-149.
- Flore, J.A., Lakso, A.N. (1989) Environmental and physiological regulation of photosynthesis in fruit crops. *Horticultural Reviews*, 11:11-57.
- Franks, P.J., Farquhar, G. D. (1999) A relationship between humidity response, growth form and photosynthetic operating point in C<sub>3</sub> plants. *Plant, Cell and environment*, 22:1337-1349.
- Granier, A. (1985) Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. *Annales des Sciences Forestières*, 42 (2):193-200.
- Granier, A. (1987) Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements. *Tree Physiology*, 3:309-320.

- Granier, A., Biron, P., Bréda, N., Pontailier, J.Y., Saugier, B. (1996) Transpiration of trees and forest stands: short and long-term monitoring using sapflow methods. *Global Change Biology*, 2:265-274
- Hernandez, A.D.P., Cock, J.H., El-Sharkawy, M.A. (1989) The responses of leaf gas exchange and stomatal conductance to air humidity in shade-grown coffee, tea, and cacao plants as compared with sunflower. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* 1(2):155-161.
- IPCC (2001) Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of working group 1 to the third assessment report of the inter-governmental panel on climate change (IPCC). Houghton, J.T., Ding, Y., Gringgs, D.J., Noguer, M., Van der Linden, P. J., Xiaousu, D. eds. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Jones, H.G. (1992) *Plants and microclimate. A quantitative approach to environmental plant physiology*. 2. ed. Cambridge:Cambridge University Press.
- Kostner, B., Biron, P., Siegwolf, R., Granier, A. (1996) Estimates of water-vapor flux and canopy conductance of scots pines at the tree level utilizing different xylem sap flow methods. *Theoretical and Applied Climatology*, 53:105-113.
- Kozlowski, T.T., Kramer, P.J., Pallardy, S.G. (1991) The physiological ecology of woody plants. San Diego: Academic Press, 657p.
- Long, S.P., Hällgren, J.-E. (1993) Measurement of CO<sub>2</sub> assimilation by plants in the field and the laboratory. In: Hall, D.O., Scurlock, J.M.O., Bolhàr-Nordenkampf, H.R., Leegood, R.C., Long, S.P. (eds.) *Photosynthesis and production in a changing environment-A field and laboratory manual*. London, Glasgow, New York, Tokyo, Melbourne, Madras: Chapman e Hall, p. 129-167.
- Lu, P., Biron, P., Breda, N., Granier, A. (1995) Water relations of Norway spruce (*Picea abies* (L) Karst) under soil drought in the Vosges mountains: water

- potential, stomatal conductance and transpiration. *Annals of Forest Science* 52:117-129.
- Lu, P.; Muller, W.J.; Chacko, E.K. (2000) Spatial variations in xylem sap flux density in the trunk of orchard-grown, mature mango trees under changing soil water conditions. *Tree Physiology*, 20 (10):683-692.
- Lu, P., Woo, K.C., Liu, Z.T. (2002) Estimation of whole-plant transpiration of bananas using sap flow measurements. *Journal of Experimental Botany*, 53:1771-1779.
- Machado Filho, J.A., Campostrini, E., Yamanishi, O.K., Fagundes, J.R. (2006) Variação sazonal das trocas gasosas em folhas de mamoeiro cultivado em condições de campo. *Bragantia*, 65 (2):185-196.
- Malo, S.E., Campbell, C.W. (1986) The papaya. *Univ. of Florida Cooperative Extension Service Fruit Crops Fact Sheet FC – 11. Gainesville, Fla.*
- Marler, T.E., George, A.P., Nissen, R.J., Anderssen, P.C. (1994) Miscellaneous tropical fruits. *In: Schaffer, B., Anderssen, P.C. (eds.) Handbook of environmental physiology of fruits crops. V.II: Sub-tropical and tropical crops.* Florida: CRC Press, p. 199-224.
- Marler, T.E., Mickelbart, M.V. (1998) Drought, leaf gas exchange, and chlorophyll fluorescence of field grown papaya. *Journal of the American Society of the Horticultural Science*, 123 (4):714-718.
- Martin, T.A., Brown, K.J., Cermák, J., Ceulmans, R., Kucera, J., Meinzer, F.C., Rombold, J.S., Sprugel, D.G., Hinkley, T.M. (1997) Crown conductance and tree and stand transpiration in a second-growth *Abies amabilis* forest. *Canadian Journal of Forestry Research*, 27:797-808.

- Meinzer, F.C., Fownes, J.H., Harrington, R.A. (1996) Growth indices and stomatal control of transpiration in *Acacia koa* stands planted at different densities. *Tree Physiology*, 16:607-615.
- Morikawa, Y., Hattori, S., Kiyono, Y. (1986) Transpiration of a 31-year-old *Chamaecyparis obtuse* Endl stand before and after thinning. *Tree Physiology*, 2:105-114.
- Pearcy, R.W., Schulze, E.D., Zimmerman, R. (1989) Measurement of transpiration and leaf conductance. In Pearcy, R.W., Ehleringer, J.R., Mooney, H.A, Rundel, P.W. (Eds.) *Plant Physiological Ecology: Field Methods and Instrumentation*. Chapman and Hall. London, p.137-160.
- Pereira, A.R., villa Nova, N.A., Sedyama, G.C. (1997) *Evapo(transpi)ração*. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz (FEALQ), 183p.
- Phillips, N., Nagchaudhuri, A., Oren, R., Katul, G. (1997) Time constants for water transport in loblolly pine trees estimated from time series of evaporative demand and stem sap flow. *Trees* , 11:412-419.
- Pons, T.L. e Welschen, R.A.M. (2003) Midday depression of net photosynthesis in the tropical rainforest tree *Eperua grandiflora*: contributions of stomatal and internal conductances, respiration and Rubisco functioning. *Tree Physiology*, 23: 937–947.
- Reis, F.O. (2003) *Trocas gasosas, eficiência fotoquímica e fluxo de seiva xilemática em mamoeiro do grupo 'Formosa' cultivado em condição de campo na região norte fluminense*. Tese (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 59p.
- Reis, F.O.; Campostrini, E.; Sousa, E.F.; Silva, M.G. (2006) Sap flow in papaya plants: Laboratory calibrations and relationships with gas exchanges under field conditions. *Scientia Horticulturae*. 110 (3): 254-259.

- Ringersma, J.; Mecherghi, M.; Pijnenburb, S. (1996) Transpirations measurements in date Palms using the Granier method. *American Society of Agronomy Engineers*, Proceedings of the International Conference, pp 141-146.
- Schmid, J. e Bettner, W. (1999) Experience with Granier-type sensors for sap flow measurements in grapevines. *Acta Horticulturae*, 493:177-186.
- Schulze, E.D., Cermak, J., Matyssek, R., Penka, M., Zimmereman, R., Vasicek, F., Gries, W., Kucera, J. (1985) Canopy transpiration and water fluxes in the xylem of the trunk of Larix and Picea trees - a comparison of xylem flow, porometer, and cuvette measurements. *Oecologia*, 66:475-483.
- Silva, M.G. (2003) Densidade de fluxo de seiva e relações hídricas do café (*Coffea arabica* L.), para a região de Varre-Sai, RJ. Tese (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 51p.
- Smith, D.M., Allen, S.J. (1996) Measurement of sap flow in plant stems. *Journal of Experimental Botany*, 47:1833-1844.
- Sperry, J.S. (2000) Hydraulic constrains on plant gas exchange. *Agricultural and Forest Meteorology*, 104:13-23.
- Srinivas, K. (1996) Plant water relations, yield, and water use of papaya (*Carica papaya* L.) at different evaporation-replenishment rates under drip irrigation. *Tropical Agriculture*, 73 (4):264-269.
- Steinberg, S.L., McFarland, M.J. Worthington, J. W. (1990) Comparison of trunk and branch sap flow with canopy transpiration in Pecan. *Journal of experimental Botany* , 41:653-659.
- Wullschlegel, S. D., Meinzer, F.C., Vertessy, R.A. (1998) A review of whole-plant water use studies in trees. *Tree Physiology* ,18:499-512.
- Zhang, H. Simmonds, L.P., Morison, J.I.L., Payne, D. (1997) Estimation of transpiration by single trees: comparison of sap flow measurements with a combination equation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 87:155-169.

#### 4. RESUMO E CONCLUSÕES

Em ambas as épocas estudadas, a aplicação de água sobre o dossel não foi eficiente para evitar o dano causado por excesso de luz (efeitos não-estomáticos). Entretanto, em ocasiões de temperaturas elevadas, esse tratamento foi eficiente nos mecanismos estomáticos. Mesmo submetido a um dano fotoquímico, o aumento na abertura estomática nas folhas de mamoeiros submetidos à microaspersão, superou tal comprometimento na fase fotoquímica da fotossíntese, o que foi evidenciado, pela manutenção ao meio-dia do valor de  $A$ . Em vinte semanas de colheita, o procedimento de resfriamento das folhas promoveu um aumento significativo de 6 frutos por planta. A otimização da taxa fotossintética líquida com aplicação de água sobre o dossel de plantas, foi devida, principalmente, ao aumento da condutância estomática. Em plantas de mamoeiro 'Golden', por meio do medidor do fluxo de seiva xilemática, foi possível observar uma fase *lag*, ou seja, um atraso entre a perda de água pelas folhas e o movimento de água através do tronco. Esta fase ocorreu com maior intensidade no inverno. No verão, obteve-se uma boa correlação entre FSX e  $DPV_{ar}$  e FSX e  $ET_0$ , fato não observado no inverno, provavelmente devido a esta fase *lag*. No verão (época de maiores valores de  $ET_0$ ), em relação às plantas controle, as plantas que receberam microaspersão sobrecopa tiveram um maior fluxo de seiva, enquanto no inverno praticamente não houve diferença entre os tratamentos. Foi possível relacionar FSX, com a  $ET_0$  (Penman parametrizada pela FAO).

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aiyelaadgbe, I.O .Q., Falusi, M.O .A ., Babalola, O . (1986) Growth, development and yield of pawpaw (*Carica papaya* L.). 'Homestead selection' in response to soil moisture stress-Plant and Soil, 93:427-435.
- Allen, R., Pereira, L.A., Raes, D., Smith, M. (1998) Crop evapotranspiration. *Rome:FAO*, 293 p. (FAO Irrigation and drainage, Paper 56)
- Andrigueto, J. R., Kososki, A. R. (2003) Desenvolvimento e conquista da produção integrada de frutas no Brasil. *In: Martins, D. dos S. (ed.), Papaya Brasil: Qualidade do mamão para o mercado interno*. Vitória, ES: Incaper, p. 87 - 95.
- Alvez, F.L. (2003) A cultura do mamão *Carica papaya* L. no mundo, no Brasil e no Estado do Espírito Santo. *In: Martins, D.S., Costa, A. F. S. (eds.) A cultura do mamoeiro: tecnologias de produção*. Vitória: Imcaper, p. 11-34.
- Azcon-Bieto, J. (1996) The control of photosynthetic gas exchange by assimilate accumulation in wheat. *In: Marcelle, L., Clijsters, H., Von Poucke, M. (eds.) Biological control of photosynthesis*. Dordrecht: Martinus Nijhof.

- Beadle, C.L., Ludlow, M.M., Honeysett, J.L. (1993) Water relations *In*: Hall, D.O., Scurlock, J.M.O., Bolhàr-Nordenkamp, H.R., Leegood, R.C., Long, S.P. (eds.) *Photosynthesis and production in a changing environment. A field and laboratory manual*. London: Chapman & Hall, p. 113-128.
- Berry, J.A., Björkman, O. (1980) Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. *Annual review of plant physiology*, 31:491-543.
- Bréda, N., Cochard, H., Dreyer, E., Granier, A. (1993) Water transfer in a mature oak stand (*Quercus petraea*): seasonal evolution and effects of a severe drought. *Canadian Journal of Forestry Research*, 23:1136-1143.
- Campostrini, E., Yamanishi, O.K. (2001) Estimation of papaya leaf area using the central vein length. *Scientia Agricola*, 58:39-42.
- Campostrini, E., Yamanishi, O.K. (2001) Influence of mechanical root restriction on gas-exchange of four papaya genotypes *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 13 (2):129-138.
- Castro, F.A. (2005) *Relações do valor do medidor portátil de clorofila (SPAD-502) com o processo fotossintético e com o teor de nitrogênio orgânico em dois genótipos de Carica papaya L.* Tese (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 70p.
- 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. 240 p.
- Cermák, J., Jeník, J., Kucera, J., Zidec, V. (1984) Xylem water flow in a crack willow tree (*Salix fragilis* L.) in relation to diurnal changes of environment. *Oecologia*, 64:145-151.
- Chaumont, M., Osório, M.L., Chaves, M.M., Vanacker, H., Morot-Gaudry, J.-F., Foyer, C.H. (1997) The absence of photoinhibition during the mid-morning

- depression of photosynthesis in *Vitis vinifera* grown in semi-arid and temperate climates. *Journal of Plant Physiology*, 150:743-751.
- Chaves, M.M., Oliveira, M.M. (2004) Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. *Journal of Experimental Botany*, Eynshan, 55:2365-2384.
- Chaves, M.M., Osório, J., Pereira, J.S. (2004) Water use efficiency and photosynthesis. In: Bacon, M. A. *Water use efficiency in plant biology*. ed. Boca Raton: CRC Press, p. 42-74.
- Cheeseman, J.M., Lexa, M. (1996) Gas exchange: model and measurements. In: Baker, N.R. *Photosynthesis and the environment*. ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 223-240.
- Clemente, H. P., Marler, T.E. (1996) Drought stress influences gas-exchange responses of papaya leaves to rapid changes in irradiance. *Journal of the American Society of the Horticultural Science*, 121 (2):292-295.
- Clemente, H. P., Marler, T.E. (2001) Trade winds reduce growth and influence gas exchange patterns in papaya seedlings. *Annals of Botany*, 88:379-385
- Cock, J.H., Porto, M.C.M., El-Sharkawy, M.A. (1985) Water use efficiency of cassava. III. Influence of air humidity and water stress on gas exchange of field grown cassava. *Crop Science*, 25:265-272.
- Correia, M.J., Chaves, M.M.C., Pereira, J.S. (1990) Afternoon depression in photosynthesis in grapefruit leaves-evidence for a high light stress effect. *Journal of Experimental Botany*, 41 (225):417-426.
- Cowan, I.R. (1977) Stomatal behavior and environment. *Advances in botanical research*, 4:117-228.

- Critchley, C. (1998) Photoinhibition. *In: Raghavendra, A.S. Photosynthesis – A comprehensive treatise*. ed. Cambridge: University Press, p. 264-272.
- Dragoni, D; Lakso, A.N.; Piccioni, R.M. (2005) Transpiration of apple trees in a humid climate using heat pulse sap flow gauges calibrated with whole-canopy gas exchange chambers. *Agricultural and Forest Meteorology*, 130:85-94.
- Dye, P.J. (1996) Response of *Eucalyptus grandis* trees to soil water deficits. *Tree Physiology*, 16:233-238.
- El-Sharkawy, M.A. (1990) Effect of humidity and wind on leaf conductance of field grown cassava. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 2 (2):17-22.
- El-Sharkawy, M.A., Cock, M.J.H. (1984) Water Use Efficiency of Cassava. I. Effects of Air Humidity and Water Stress on Stomatal Conductance and Gas Exchange. *Crop Science*. 24:497-502.
- El-Sharkawy, M.A., Cock, M.J.H., Held, A.A.K. (1984) Water use efficiency of cassava. II. Differing sensitivity of stomata to air humidity in cassava and other warm-climate species. *Crop Science*, 24:503-507.
- El-Sharkawy, M.A., Cock, M.J.H., Hernandez, A.D.P. (1985) Stomatal response to air humidity and its relation to stomatal density in a wide range of warm climate species. *Photosynthesis research*, 7:137-149.
- Farquhar, G. D., Sharkey, T. D. (1982) Stomatal conductance and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology*, 33:317-345.
- Flore, J.A., Lakso, A.N. (1989) Environmental and physiological regulation of photosynthesis in fruit crops. *Horticultural Reviews*, 11:11-57.
- Force, L., Critchley, C, Van Rensen, J.J.S. (2003) New fluorescence parameters for monitoring photosynthesis in plants 1. The effect of illumination on the fluorescence parameters of the JIP-test. *Photosynthesis Research*, 78:17-33.

- Franco, A.C., Lüttge, U. (2002) Midday depression in savana trees: coordinated adjustments in photochemical efficiency, photorespiration, CO<sub>2</sub> assimilation and water use efficiency. *Oecologia*, 131:356-365.
- Franks, P.J., Farquhar, G. D. (1999) A relationship between humidity response, growth form and photosynthetic operating point in C<sub>3</sub> plants. *Plant, Cell and environment*, 22:1337-1349.
- Gamon, J.A., Pearcy, R.W. (1990) Photoinhibition in *Vitis californica*: interactive effects of sunlight, temperature and water status. *Plant, Cell and Environment*, 13:267-276.
- Grange, R.I., Hand, D.W. (1987) A review of the effects the atmospheric humidity on the growth of horticultural crops. *Journal of Horticultural Science*, 62 (2):125-134.
- Granier, A. (1985) Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. *Annales des Sciences Forestières*, 42 (2):193-200.
- Granier, A. (1987) Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements. *Tree Physiology*, 3:309-320.
- Granier, A., Biron, P., Bréda, N., Pontailier, J.Y., Saugier, B. (1996) Transpiration of trees and forest stands: short and long-term monitoring using sapflow methods. *Global Change Biology* , 2:265-274
- Guo, L.W., Xu, D.Q., Shen, Y.K. (1994) The cause of midday decline of photosynthesis efficiency in cotton leaves under field condition. *Acta Phytophysiology Sin*, 20:360-366.
- Hernandez, A.D.P., Cock, J.H., El-Sharkawy, M.A. (1989) The responses of leaf gas exchange and stomatal conductance to air humidity in shade-grown coffee, tea, and cacao plants as compared with sunflower. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* 1(2):155-161.

- Hirasawa, T., Hsiao, T.C. (1999) Some characteristics of reduced leaf photosynthesis at midday in maize growing in the field. *Field Crops Research*, 62:53-62.
- Horton, P., Ruban, A. (1994) The role of light-harvesting complex II in energy quenching. In: Baker, N.R., Bowyer, J.R. (eds.). *Photoinhibition of photosynthesis – From molecular mechanisms to the field*. Oxford: Bios Scientific Publishers Ltd, p. 111-128.
- Huang, L.F., Zheng, J.H., Zhang, Y.Y., Hu, W.H., Mao, W.H., Zhou, Y.H., Yu, J.Q. (2006) Diurnal variations in gas exchange, chlorophyll fluorescence quenching and light allocation in soybean leaves: The cause for midday depression in CO<sub>2</sub> assimilation. *Scientia Horticulturae*, 110:214-218.
- Huberman, M., Riov, J., Aloni, B., Goren, R. (1997) Role of ethylene biosynthesis and auxin content and transport in high temperature-induced abscission of pepper reproductive organs. *Plant Growth Regulation*, 16:129-135.
- Huck, M.G., Ishihara, K., Peterson, C.M., Ushijima, T. (1983) Soybean adaptation to water stress at selected stages of growth. *Plant Physiology*, 73:422–427.
- IPCC (2001) Climate change 2001:the scientific basis. Contribution of working group 1 to the third assessment report of the inter-governmental panel on climate change (IPCC). Houghton, J.T., Ding, Y., Gringgs, D.J., Noguer, M., Van der Linden, P. J., Xiaousu, D. eds. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Jones, H.G. (1992) *Plants and microclimate. A quantitative approach to environmental plant physiology*. 2. ed. Cambridge:Cambridge University Press.
- Kostner, B., Biron, P., Siegwolf, R., Granier, A. (1996) Estimates of water-vapor flux and canopy conductance of scots pines at the tree level utilizing different xylem sap flow methods. *Theoretical and Applied Climatology*, 53:105-113.

- Kozłowski, T.T., Kramer, P.J., Pallardy, S.G. (1991) The physiological ecology of woody plants. San Diego: Academic Press, 657p.
- Long, S.P., Hällgren, J.-E. (1993) Measurement of CO<sub>2</sub> assimilation by plants in the field and the laboratory. *In*: Hall, D.O., Scurlock, J.M.O., Bolhàr-Nordenkampf, H.R., Leegood, R.C., Long, S.P. (eds.) *Photosynthesis and production in a changing environment-A field and laboratory manual*. London, Glasgow, New York, Tokyo, Melbourne, Madras: Chapman e Hall, p. 129-167.
- Lu, P., Biron, P., Breda, N., Granier, A. (1995) Water relations of Norway spruce (*Picea abies* (L) Karst) under soil drought in the Vosges mountains: water potential, stomatal conductance and transpiration. *Annals of Forest Science* 52:117-129.
- Lu, P.; Muller, W.J.; Chacko, E.K. (2000) Spatial variations in xylem sap flux density in the trunk of orchard-grown, mature mango trees under changing soil water conditions. *Tree Physiology*, 20 (10):683-692.
- Lu, P., Woo, K.C., Liu, Z.T. (2002) Estimation of whole-plant transpiration of bananas using sap flow measurements. *Journal of Experimental Botany*, 53:1771-1779.
- Machado Filho, J.A., Campostrini, E., Yamanishi, O.K., Fagundes, J.R. (2006) Variação sazonal das trocas gasosas em folhas de mamoeiro cultivado em condições de campo. *Bragantia*, 65 (2):185-196.
- Malo, S.E., Campbell, C.W. (1986) The papaya. *Univ. of Florida Cooperative Extension Service Fruit Crops Fact Sheet FC – 11. Gainesville, Fla.*
- Marler, T.E., George, A.P., Nissen, R.J., Anderssen, P.C. (1994) Miscellaneous tropical fruits. *In*: Schaffer, B., Anderssen, P.C. (eds.) *Handbook of environmental physiology of fruits crops. V.II: Sub-tropical and tropical crops*. Florida: CRC Press, p. 199-224.

- Mansfield, T.A. (1997) Hormones as regulators of water balance. *In: Davies, P.J. Plant hormones and their role in plant growth and development.* ed. Martinus Nijhof Publisher, p.411-430.
- Marler, T.E., George, A.P., Nissen, R.J., Anderssen, P.C. (1994) Miscellaneous tropical fruits. *In: Schaffer, B., Anderssen, P.C. (eds.) Handbook of environmental physiology of fruits crops. V.II: Sub-tropical and tropical crops.* Florida: CRC Press, p. 199-224.
- Marler, T.E., Mickelbart, M.V. (1998) Drought, leaf gas exchange, and chlorophyll fluorescence of field grown papaya. *Journal of the American Society of the Horticultural Science*, 123 (4):714-718.
- Marschner, H. (1995) *Mineral Nutrition of Higher Plants.* ed. San Diego: Academic Press, 899p.
- Martin, T.A., Brown, K.J., Cermák, J., Ceulmans, R., Kucera, J., Meinzer, F.C., Rombold, J.S., Sprugel, D.G., Hinkley, T.M. (1997) Crown conductance and tree and stand transpiration in a second-growth *Abies amabilis* forest. *Canadian Journal of Forestry Research*, 27:797-808.
- Martins, D.S.; Costa, A.F.S. (2003) *A cultura do mamoeiro: tecnologias de produção.* Vitória, ES: Imcaper, pp. 59-102.
- Matos, M.C., Matos, A.A., Mantas, A., Cordeiro, V., Silva, J.B.V. (1998) Diurnal and seasonal changes in *Prunus amygdalus* gas exchange. *Photosynthetica*, 35 (4): 517-524.
- Meinzer, F.C., Fownes, J.H., Harrington, R.A. (1996) Growth indices and stomatal control of transpiration in *Acacia koa* stands planted at different densities. *Tree Physiology*, 16:607-615.
- Monteith, J.L. (1995) A reinterpretation of stomatal response to humidity. *Plant, Cell and environment*, 18:357-364.

- Morikawa, Y., Hattori, S., Kiyono, Y. (1986) Transpiration of a 31-year-old *Chamaecyparis obtuse* Endl stand before and after thinning. *Tree Physiology*, 2:105-114.
- Ort, D.R., Baker, N.R. (2002) A photoprotective role for O<sub>2</sub> as an alternative electron sink in photosynthesis? *Current Opinion in Plant Biology*, 5:193-198.
- Osmond, C.B. (1994) What is photoinhibition? Some insights from comparisons of shade and sun plants. In: Baker, N.R., Bowyer, J.R. (eds.) *Photoinhibition of photosynthesis from molecular mechanisms to the field*. Oxford: BIOS Science Publishers, p. 13-25.
- Pathre, U., Sinha, A.K., Shirke, P.A., Sane, P.V. (1998) Factors determining the midday depression of photosynthesis in trees under monsoon climate. *Trees*, 12:472-481.
- Pearcy, R.W., Schulze, E.D., Zimmerman, R. (1989) Measurement of transpiration and leaf conductance. In Percy, R.W., Ehleringer, J.R., Mooney, H.A, Rundel, P.W. (Eds.) *Plant Physiological Ecology: Field Methods and Instrumentation*. Chapman and Hall. London, p.137-160.
- Pereira, A.R., villa Nova, N.A., Sedyama, G.C. (1997) *Evapo(transpi)ração*. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz (FEALQ), 183p.
- Pettigrew, W.T., Hesketh, J.D., Peters, D.B., Woolley, J.T. (1990) A vapor pressure deficit on crop canopy photosynthesis. *Photosynthesis Research*, 24:27-34.
- Philips, N., Nagchaudhuri, A., Oren, R., Katul, G. (1997) Time constants for water transport in loblolly pine trees estimated from time series of evaporative demand and stem sap flow. *Trees* , 11:412-419.
- Pons, T.L., Welschen, R.A.M. (2003) Midday depression of net photosynthesis in the tropical rainforest tree *Eperua grandiflora*: contributions of stomatal and

- internal conductances, respiration and Rubisco functioning. *Tree Physiology*, 23:937–947.
- Quick, W.P., Chaves, M.M., Wendler, R. (1992) The effect of water stress on photosynthetic carbon metabolism in four species grown under field conditions. *Plant, Cell and Environment*, 15:25-35.
- Raschke, K. (1987) Action of abscisic acid on guard cells. *In*: Zeiger, E., Farquhar, G.D., Cowan, I.R. (eds.) *Stomatal function*. Stanford: University Press, p.253-279.
- Raschke, K., Resemann, A. (1986) The midday depression of CO<sub>2</sub> assimilation in leaves of *Arbutus unedo* L.: diurnal changes in photosynthetic capacity related to changes in temperature and humidity. *Planta*, 168: 546-558.
- Reis, F.O. (2003) *Trocas gasosas, eficiência fotoquímica e fluxo de seiva xilemática em mamoeiro do grupo 'Formosa' cultivado em condição de campo na região norte fluminense*. Tese (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 59p.
- Reis, F.O., Campostrini, E. (2005) Otimização das trocas gasosas ao meio-dia, por meio da aplicação de água via microaspersão sobre o dossel do mamoeiro. Anais do II Simpósio do Papaya Brasileiro, Vitória: INCAPER, p.385-389.
- Reis, F.O.; Campostrini, E.; Sousa, E.F.; Silva, M.G. (2006) Sap flow in papaya plants: Laboratory calibrations and relationships with gas exchanges under field conditions. *Scientia Horticulturae*. 110 (3): 254-259.
- Ringersma, J.; Mechergui, M.; Pijnenburb, S. (1996) Transpirations measurements in date Palms using the Granier method. *American Society of Agronomy Engineers*, Proceedings of the International Conference, pp 141-146.

- Roberts, J.A., Schnidler, C.B., Tucker, G.A. (1984) Ethylene – promoted tomato flower abscission and the possible role of an inhibitor. *Planta*, 160:159-163.
- Schmid, J. e Bettner, W. (1999) Experience with Granier-type sensors for sap flow measurements in grapevines. *Acta Horticulturae*, 493:177-186.
- Schulze, E.D. (1993) Soil water deficit and atmospheric humidity as environmental signals. In: Smith, J.A.C., Griffiths, H. (eds) *Water deficit: Plant response from cell to community*. Oxford: BIOS Science Publishers, p. 129-145.
- Schulze, E.D., Cermak, J., Matyssek, R., Penka, M., Zimmereman, R., Vasicek, F., Gries, W., Kucera, J. (1985) Canopy transpiration and water fluxes in the xylem of the trunk of *Larix* and *Picea* trees - a comparison of xylem flow, porometer, and cuvette measurements. *Oecologia*, 66:475-483.
- Schulze, E.-D., Hall, A.E. (1982) Stomatal responses, water loss and CO<sub>2</sub> assimilation rates of plants in contrasting environments. In: Lange, O.L., Nobel, P.S., Osmond, C.B., Zeigler, H. (eds.) *Physiological Plant Ecology II. Water relations and carbon assimilation*. Berlin: Springer-Verlag.
- Schulze, E.-D., Lange, O.L., Buschbom, U., Kappen, L., Evenary, M. (1972) Stomatal response to changes in humidity in plants growing in the desert. *Planta*, 108:259-270.
- Silva, M.G. (2003) Densidade de fluxo de seiva e relações hídricas do café (*Coffea arabica* L.), para a região de Varre-Sai, RJ. Tese (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 51p.
- Sinha, A.K., Shirke, P.A., Pathre, U., Sane, P.V. (1997) Midday depression in photosynthesis: Effect on sucrose-phosphate synthase and ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase in leaves of *Prosopis juliflora* (Swartz) DC. *Photosynthetica*, 34 (1):115-124.

- Smith, D.M., Allen, S.J. (1996) Measurement of sap flow in plant stems. *Journal of Experimental Botany*, 47:1833-1844.
- Sperry, J.S. (2000) Hydraulic constraints on plant gas exchange. *Agricultural and Forest Meteorology*, 104:13-23.
- Spunda, V., Kalina, J., Urban, O., Luis, V.C., Sibisse, I., Puertolas, J., Sprtová, M., Marek, M.V. (2005) Diurnal dynamics of photosynthetic parameters of Norway spruce trees cultivated under ambient and elevated CO<sub>2</sub>: the reasons of midday depression in CO<sub>2</sub> assimilation. *Plant Science*, 168:1371–1381.
- Srinivas, K. (1996) Plant water relations, yield, and water use of papaya (*Carica papaya* L.) at different evaporation-replenishment rates under drip irrigation. *Tropical Agriculture*, 73 (4):264-269.
- Steinberg, S.L., McFarland, M.J. Worthington, J. W. (1990) Comparison of trunk and branch sap flow with canopy transpiration in Pecan. *Journal of experimental Botany* , 41:653-659.
- Strasser, B.J., Strasser, R. J. (1995) Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: the JIP- Test. In: Mathis, P. *Photosynthesis: from light to biosphere*. ed. The Netherlands: Kluwer academic publishers, p.977-980.
- Strasser, R.J., Srivastava, A. Tsimilli-Michael, M. (1999) Screening the vitality and photosynthetic activity of plants by fluorescent transient. In: Behl, R.K., Punia, M.S., Lather, B.P.S (eds.) *Crop Improvement for Food Security*: Hisar: SSARM, p. 72-115.
- Strasser, R. J., Tsimilli- Michael, M., Srivastava, A. (2000) The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. In: Yunus, M., Pather, U., Mohanly P. (eds.) *Probing Photosynthesis: Mechanisms, Regulation and Adaptation*. London: Taylor and Francis, p. 445-483.

- Su, P., Liu, X. (2005) Photosynthetic characteristics of linze jujube in conditions of high temperature and irradiation. *Scientia horticulturae*, 104 (3):339-350.
- Tardieu, F., Simonneau, T. (1998) Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: modeling isohydric and an isohydric behaviours. *Journal of Experimental Botany*, 49:419-432.
- Thiébaud, J.T.L (1976) *O emprego da análise harmônica no estudo das precipitações mensais do município de Viçosa (MG)*. Tese (Mestrado em Agronomia - Estatística e Experimentação Agrônômica) – São Paulo –SP, Universidade de São Paulo – USP, 70p.
- Torres-Netto, A. (2005) *Atributos fisiológicos e relações hídricas em genótipos de mamoeiro (Carica papaya L.) na fase juvenil*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 116p.
- Tyree, M.T., Yianoulis, P. (1980) The site of water evaporation from sub-stomatal cavities, liquid path resistances and hydroactive stomatal closure. *Annals of Botany*, 46:175-193.
- Weis, E., Berry, J.A. (1987) quantum Efficiency of photosystem II in relation to “energy”-dependent quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochimica et Biophysica acta*, 894:198-208.
- Wise, R.R., Olson, A.J., Schrader, S.M., Sharkey, T.D. (2004) Electron transport is the functional limitation of photosynthesis in field-grown pima cotton plants at high temperature. *Plant, Cell and environment*, 27:717-724.
- Wullschlegel, S. D., Meinzer, F.C., Vertessy, R.A. (1998) A review of whole-plant water use studies in trees. *Tree Physiology*, 18:499-512.
- Xu, D.Q., Shen Y. (1997) Midday depression of Photosynthesis. In: Pessarakli, M. *Handbook of photosynthesis*. ed. New York: Marcel Dekker Inc., p. 451-459.

Xu, D.Q., Wu, S. (1996) Three phases of dark-recovery course from photoinhibition resolved by the chlorophyll fluorescence analysis in soybean leaves under field conditions. *Photosynthetica*, 32:417-423.

Zhang, H. Simmonds, L.P., Morison, J.I.L., Payne, D. (1997) Estimation of transpiration by single trees: comparison of sap flow measurements with a combination equation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 87:155-169.