

Ecofisiologia de mangueiras 'Tommy Atkins' submetidas a diferentes regimes hídricos e disponibilidade de luz

Ecophysiology in the 'Tommy Atkins' mango under different water regimes and light availability

Edmilson Igor Bernardo Almeida^{1*}, Elaine Facco Celin², Alcione Guimarães Freire³, Claudivan Feitosa de Lacerda⁴, Marlos Alves Bezerra⁵, Rosilene Oliveira Mesquita⁶

Resumo: A interação entre o déficit hídrico e o mau aproveitamento de radiação luminosa pelas plantas pode ocasionar redução nas trocas gasosas e, conseqüentemente, diminuir o seu crescimento e sua produção. Em mangueira 'Tommy Atkins', os estudos sobre essa interação são escassos. Diante do exposto, objetivou-se avaliar variáveis ecofisiológicas em folhas de mangueiras 'Tommy Atkins' submetidas a variações de luminosidade e de regime hídrico na copa, em diferentes horários. Os dados foram analisados em delineamento inteiramente casualizado, arranjado em parcela subsubdividida 3x3x4, com três repetições. Os regimes hídricos comporam as parcelas, posições da folha na copa, as subparcelas e horários de avaliação, as subsubparcelas. As variáveis de assimilação líquida do carbono (A), condutância estomática ao vapor de água (g_s), transpiração (E), temperatura foliar (T_f) e temperatura do ar (T_a), bem como déficit de pressão de vapor do ar (VPD) foram medidas em sistema aberto, sob luz artificial e concentração de CO_2 ambiente, por meio do IRGA. Os resultados indicaram que a interação entre o regime hídrico, posições da folha na copa e horários de avaliação interferem na ecofisiologia de mangueira 'Tommy Atkins'. As folhas posicionadas no centro da copa (com menor luminosidade) apresentam reduzida capacidade produtiva, comparativamente às demais. As plantas cultivadas em regime hídrico de 50% apresentam maior eficiência de uso da água, especialmente durante o período de condições ambientais mais adversas (09:00 às 13:00 horas). O eficiente manejo das condições hídricas e das posições das folhas na copa afetam positivamente as trocas gasosas e, conseqüentemente, seu crescimento e sua produção.

Palavras-chave: Arquitetura da planta. Eficiência de uso da água. Estresse hídrico. *Mangifera indica*.

Abstract: The interaction between water deficit and the poor use of light radiation by plants can result in a reduction in gas exchange with a consequent reduction in growth and production. In the 'Tommy Atkins' mango, studies of this interaction are rare. Given the above, the aim was to evaluate ecophysiological variables in leaves of the 'Tommy Atkins' mango subjected to varying conditions of lighting and water regime in the canopy, at different times and under semi-arid conditions. The data were analysed in a completely randomised design, arranged in 3x3x4 split lots, with three replications. The first, second and third lots were represented by the water regime, position in the canopy and time of evaluation respectively. The variables for net carbon assimilation (A), stomatal conductance to water vapour (g_s), transpiration (E), leaf temperature (T_f), air temperature (T_a) and vapour pressure deficit (VPD) were all measured in an open system, under artificial light and ambient CO_2 concentrations, using the IRGA. The results showed that the interaction between water regime, position in the canopy and time of evaluation affect ecophysiology in the 'Tommy Atkins' mango. Leaves in the centre of the canopy (with less light) show reduced capacity for production compared to the other leaves. Plants grown under a water regime of 50% display greater water use efficiency, especially during the most adverse environmental conditions (0900 to 1300). The efficient management of water conditions and leaf position in the canopy can positively affect gas exchange and consequently, growth and production.

Key words: Plant architecture. Water use efficiency. Water stress. *Mangifera indica*.

*Autor para correspondência

Enviado para publicação em 16/10/2014 e aprovado em 01/08/2015

¹Pesquisador Visitante na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa – Roraima), edmilson_i@hotmail.com

²Estudante de Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia), Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará (UFC), elainecelin@yahoo.com.br

³Estudante de Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas), Departamento de Solos, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará (UFC), alcionegef@hotmail.com

⁴Professor Associado, Departamento de Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará (UFC), claudivan_@hotmail.com

⁵Pesquisador na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa – Agroindústria Tropical), marlos.bezerra@embrapa.br

⁶Professora Adjunta, Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará (UFC), rosilenemesquita@gmail.com

INTRODUÇÃO

A mangueira (*Mangifera indica*) é uma cultura originária da Ásia e, atualmente, é produzida em mais de 100 países. A maior parte dos cultivos concentra-se nos países em desenvolvimento, como Índia, Paquistão, México, Brasil e China (GOMES, 2007).

No Brasil, historicamente, a exploração da manga foi feita de forma extensiva, sendo comum o plantio em áreas esparsas, quintais e fundos de vales de pequenas propriedades. A implantação de grandes áreas de cultivo tem permitido a inserção de cultivares com elevada aceitação pelo mercado interno e externo, como a ‘Tommy Atkins’ (SILVA; CORREIA, 2004).

A mangueira é uma das mais importantes frutíferas do Brasil no aspecto socioeconômico, contribuindo significativamente para a pauta de exportações brasileiras de frutas frescas, fortalecendo a balança comercial (REIS *et al.*, 2011). Atualmente, o Brasil ocupa a sétima posição de maior produtor de manga do mundo, atrás da Índia, China, Tailândia, Indonésia, Paquistão e México (FAO, 2014). Porém, no setor de exportação, o Brasil ocupa o 4º lugar (FAO, 2014). A mangicultura brasileira está predominantemente situada nos seguintes estados: Bahia, São Paulo, Pernambuco, Minas Gerais, Ceará e Rio Grande do Norte.

No Nordeste, a manga é cultivada em praticamente todos os estados, preferencialmente nas áreas irrigadas da região semiárida, que apresentam excelentes condições para o desenvolvimento da cultura, bem como para obtenção de elevada produtividade e qualidade de frutos. Em 2010, a área cultivada de manga no Nordeste representou 68,87% da área cultivada total brasileira, tendo participado em 75,66% da produção total nacional (INSTITUTO FNP, 2010). No Nordeste, o Ceará produziu em torno de 43.000 toneladas de frutos, com destaque às cidades de Mauriti, Cascavel e Beberibe, que colheram 13,83; 10,01 e 6,88% desse montante, respectivamente (IBGE, 2012).

Não obstante a expansão agrícola de áreas com fruticultura irrigada no Nordeste brasileiro, os recursos hídricos escassos limitam, de modo geral, o uso da irrigação na agricultura. Na maioria dos estados, as chuvas mal distribuídas, durante o ano, não suprem adequadamente as necessidades hídricas da cultura, interferindo no crescimento e no desenvolvimento da planta. Todavia, para que haja a geração de informações técnicas que tenham validade e comprovação local, faz-se necessária a realização de pesquisas que busquem obter melhorias tecnológicas para o uso da água em cada situação de cultivo (AZEVEDO *et al.*, 2005; MELO *et al.*, 2010).

A água, assim como em vários outros organismos, compõe a maior parte do volume celular das plantas, sendo o recurso mais limitante para o crescimento dos vegetais (TAIZ; ZEIGER, 2013); a água também é o fator

predominante da distribuição geográfica da vegetação numa escala global (LARCHER *et al.*, 2006). Um dos primeiros efeitos da deficiência hídrica nas plantas manifesta-se sobre os estômatos, pois, com o fechamento estomático, espera-se que as trocas gasosas realizadas pelas plantas sejam severamente afetadas. A sensibilidade das trocas gasosas à deficiência hídrica é uma característica espécie-dependente, sendo, porém, adaptável (CHAVES *et al.*, 2009).

O efeito dos fatores ambientais sobre as folhas variam conforme a posição delas na copa, mas, em síntese, a luz e os seus aspectos intrínsecos de qualidade e intensidade exercem papel fundamental sobre a fotossíntese. O ambiente luminoso heterogêneo, no qual a planta se desenvolve, proporciona diferentes estresses para as folhas situadas nas várias posições da copa das plantas. Assim, as respostas morfofisiológicas das folhas à luz variam conforme a sua posição na copa, podendo haver a ocorrência de dois tipos de folhas (sol e sombra) na mesma planta (NIINEMETS *et al.*, 2007).

A interação entre o déficit hídrico e o mau aproveitamento da radiação luminosa pelas folhas pode ocasionar redução nas trocas gasosas e, conseqüentemente, diminuir o crescimento e a produção de frutos em diferentes culturas agrícolas. Em mangueira ‘Tommy Atkins’, os estudos sobre essa interação são escassos. Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho avaliar variáveis ecofisiológicas em folhas de mangueiras ‘Tommy Atkins’, submetidas a variações de luminosidade e de regime hídrico na copa, em diferentes horários e sob as condições edafoclimáticas do Semiárido Brasileiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em janeiro de 2013, na estação experimental da Universidade Federal do Ceará (UFC), localizada no município de Pentecoste, Ceará, cujas coordenadas de referência são: 3°20'37''S, 39°20'37''W e 77 m. O clima da região é tropical quente semiárido, com pluviometria média de 818 mm e temperatura média de 26 a 28°C (IPECE, 2011). Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo BSw'h' (Semiárido com chuvas irregulares).

O solo da área experimental, classificado como Neossolo Flúvico de textura franco-arenosa, foi amostrado à profundidade de 0 a 30 cm e apresentou os seguintes atributos: areia grossa – 60 g kg⁻¹; areia fina – 620 g kg⁻¹; silte – 220 g kg⁻¹; argila – 120 g kg⁻¹; pH (água) – 6,8; K (Mehlich I) – 230 mg dm⁻³; P (Mehlich I) – 122 mg dm⁻³; Ca – 4,1 cmolc dm⁻³; Ca+Mg – 7,9 cmolc dm⁻³; Al (0,0); M. O. – 10,50 g kg⁻¹.

O experimento foi instalado em um pomar estabelecido há oito anos. As plantas eram cultivadas em espaçamento 6 x 8 m e apresentavam 0,72 m de diâmetro de caule (medido a 30 cm da superfície do solo), tendo, inclusive,

bom aspecto fitossanitário. Em relação ao manejo do pomar, não há relatos de nenhuma adubação de produção nos meses anteriores à pesquisa, sendo a irrigação realizada apenas para manutenção, isto é, sem interesse econômico, pois se tratava de um pomar para uso didático.

O experimento foi disposto em delineamento inteiramente casualizado, arranjado em esquema de parcela subsubdividida, com três repetições. Nas parcelas, foram aleatorizados os três regimes hídricos: não irrigado (plantas submetidas à condição de estresse hídrico, pela supressão de irrigação por 15 dias), irrigado em 50% da projeção da copa e em 100% da projeção da copa; consideraram-se as seguintes posições das folhas na planta: leste (pleno sol), oeste (pleno sol) e centro da copa (sombreado) como subparcelas; e os horários de avaliação em subsubparcela, sendo: 07:00;09:00; 13:00 e 16:00 horas.

Cada unidade experimental consistiu de uma planta, sendo avaliadas duas folhas por posição na copa. As medições foram realizadas em folhas completamente expandidas, em bom estado fitossanitário.

As plantas que tiveram irrigação em 100% da projeção da copa receberam água nos quatro pontos cardeais; enquanto as que tiveram em 50% da projeção da copa receberam irrigação apenas na posição leste-sul. Com a finalidade de caracterizar o regime hídrico em cada tratamento hídrico, determinou-se o teor de umidade do solo pelo método gravimétrico (EMBRAPA, 1997; KLEIN, 2008).

As amostras de solo foram coletadas a 30 cm de profundidade, em posições opostas da projeção da copa (Lado a e Lado B) de cada planta, e armazenadas em latas de alumínio, sendo posteriormente pesadas em balança analítica para a determinação da massa do solo úmido. Em seguida, o material foi acondicionado em estufa com circulação forçada de ar, a 105 °C, durante 48 horas, em que se determinou a massa de solo seco com balança analítica.

As variáveis avaliadas foram: assimilação líquida do carbono (A), condutância estomática ao vapor de água (gs), transpiração (E), temperatura foliar (T_f), temperatura do ar (T_a), radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e déficit de pressão de vapor do ar (VPD). Essas variáveis foram medidas em sistema aberto, em condições de luz artificial e concentração de CO_2 ambiente, utilizando analisador portátil de gás no infravermelho – IRGA – Infrared Gas Analyser (Li 6400XT, Li-Cor, Lincoln, EUA).

A luz artificial foi estimada por meio de medições realizadas com luxímetros. De posse dos dados de trocas gasosas, a eficiência de uso da água foi expressa de duas maneiras: eficiência intrínseca do uso da água (A/gs), calculada pela razão entre A e gs , bem como eficiência instantânea no uso da água (A/E), calculada pela razão entre A e E . Para determinação do teor de clorofila nas folhas, utilizou-se medidor portátil de clorofila SPAD-502 (Minolta Camera Co. Ltd.).

Todos os dados, à exceção dos teores de umidade do solo, foram submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$). Para os casos em que a hipótese de nulidade foi rejeitada, procedeu-se a comparação das médias da interação tripla, através de gráficos de dispersão, compostos pelas médias e pelos erros padrões de cada tratamento. Para a interação dupla de tratamentos quali-quantitativos, fez-se o desdobramento e as médias separadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Utilizaram-se os programas computacionais Sisvar 5.3 (FERREIRA, 2010) e Sigma Plot 11.0 (2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interação entre o regime hídrico, posição da folha na copa e horário de avaliação ocasionou efeito significativo ($p \leq 0,05$) sobre PAR , temperatura do ar, A , gs , E , temperatura foliar, VPD , A/gs e A/E . Não obstante, o teor de clorofila a foi influenciado ($p \leq 0,05$), apenas pela interação entre o regime hídrico e a posição da folha na copa.

Nas Figuras 1A e 1B, apresentam-se os valores de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e de temperatura do ar em função da hora de avaliação para o período em estudo.

Os maiores valores de PAR foram constatados na posição leste e oeste, atingindo o pico às 13:00 horas. Nesse horário, a PAR para folhas posicionadas na parte central da copa foi cerca de cinco vezes inferior às demais (Figura 1A). A temperatura do ar aumentou independentemente da posição da folha na copa, registrando um incremento, em torno de 8°C, entre 07:00 e 13:00 horas.

Conforme a Figura 2 pode-se observar que as plantas com 100% da projeção da copa irrigada apresentaram umidade mais expressiva em ambos os lados (A e B), ao passo que para o tratamento 50%, apenas um dos lados exprimiu essa característica. Para o tratamento 0%, os dois lados da copa apresentaram baixos percentuais de umidade do solo.

A atividade fotossintética (A) e condutância estomática (gs) das folhas de mangueira variaram conforme a posição na copa e dos níveis de umidade do solo (Figura 3). Para as folhas situadas na posição leste, as maiores médias de A e gs foram obtidas nas primeiras horas da manhã (07:00 às 09:00 horas), havendo declínio com o decorrer do dia, independentemente da condição hídrica (Figuras 3A e 3D). As folhas posicionadas no centro e a oeste da copa, com 100% da projeção da copa irrigada, apresentaram as maiores médias de A e gs entre 09:00 e 13:00 horas; o que pode estar relacionado à posição do sol e, conseqüentemente, aos níveis de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) (Figuras 1A, 3B, 3C, 3E, 3F).

Esses ajustes de A e gs sob déficit hídrico corroboraram com Martinazzo *et al.* (2012) e Oukarroum *et al.* (2007), os quais evidenciaram progressiva redução da capacidade fotossintética sob essas condições.

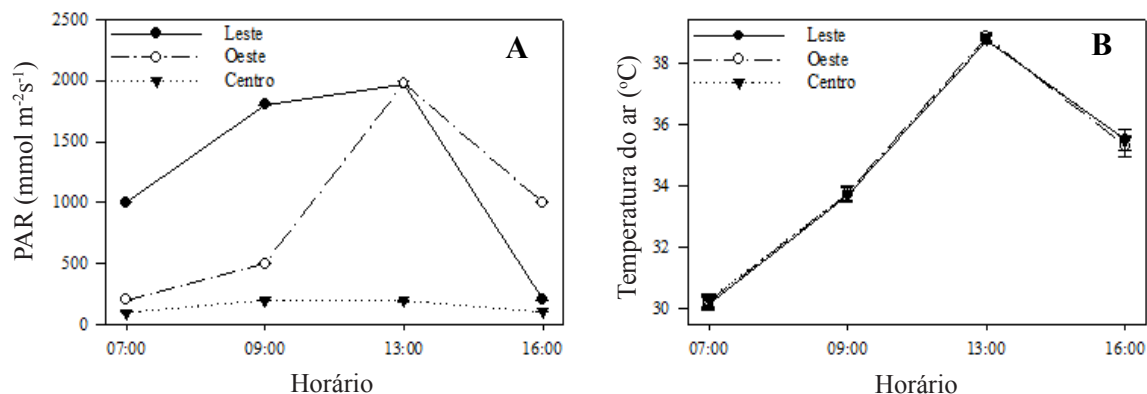


Figura 1 – Curso diurno da taxa de radiação fotossinteticamente ativa – PAR (1A) e temperatura do ar – Ta (1B), em pomar de mangaieira ‘Tommy Atkins’. Valores representam a média \pm erro-padrão. Quando não visível, a barra do erro-padrão é menor que o símbolo. Pentecoste (CE), 2013.

Figure 1 – Daily course of the Rate of active photosynthetic radiation – PAR (1A) and air temperature – Ta (1B), in an orchard of the ‘Tommy Atkins’ mango. When not visible, the bar for standard error is smaller than its symbol. Pentecoste, CE, 2013.

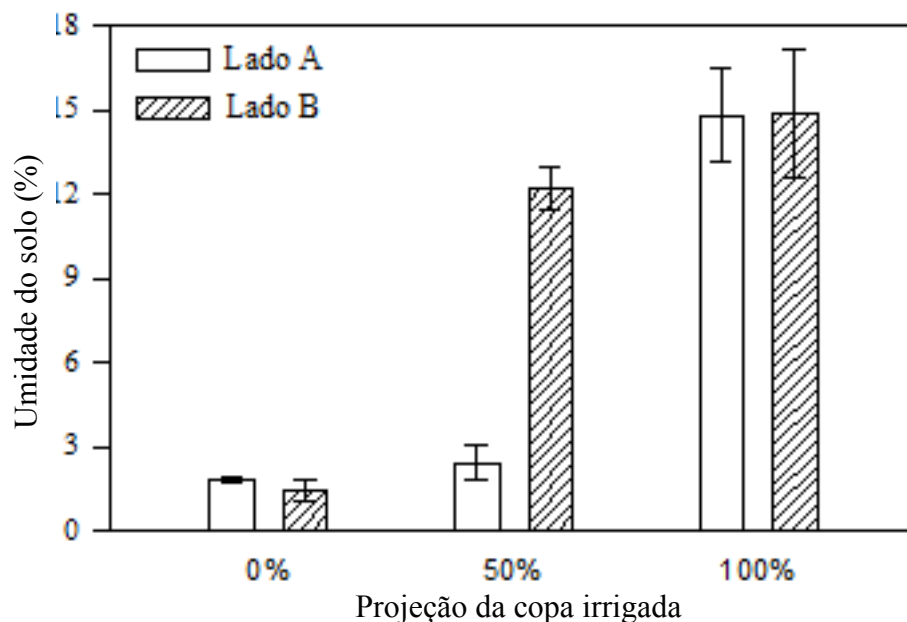


Figura 2 – Caracterização da umidade do solo, em massa (%), de três regimes hídricos, em dois pontos opostos da projeção da copa de mangaieiras ‘Tommy Atkins’ cultivadas em condições de campo. Valores representam a média \pm erro-padrão. Quando não visível, a barra do erro-padrão é menor que o símbolo. Pentecoste (CE), 2013.

Figure 2 – Characterisation of soil humidity, by weight (%), for three water regimes at two opposite points of the canopy projection in the ‘Tommy Atkins’ mango grown under field conditions. Values represent the mean \pm standard error. When not visible, the bar for standard error is smaller than its symbol. Pentecoste, CE, 2013.

As folhas posicionadas no centro da copa apresentaram os menores valores de A e g_s comparativamente às demais posições, provavelmente em virtude da baixa PAR disponível nessa porção da copa (Figuras 1A, 3B e 3E). Somado a isso, constatou-se

que as folhas centrais exibiram menor teor de clorofila a que as demais (Tabela 1). De acordo com Engel (1989), o teor de clorofila a das lâminas foliares posicionadas na sombra é diminuído, concomitantemente à redução da intensidade luminosa.

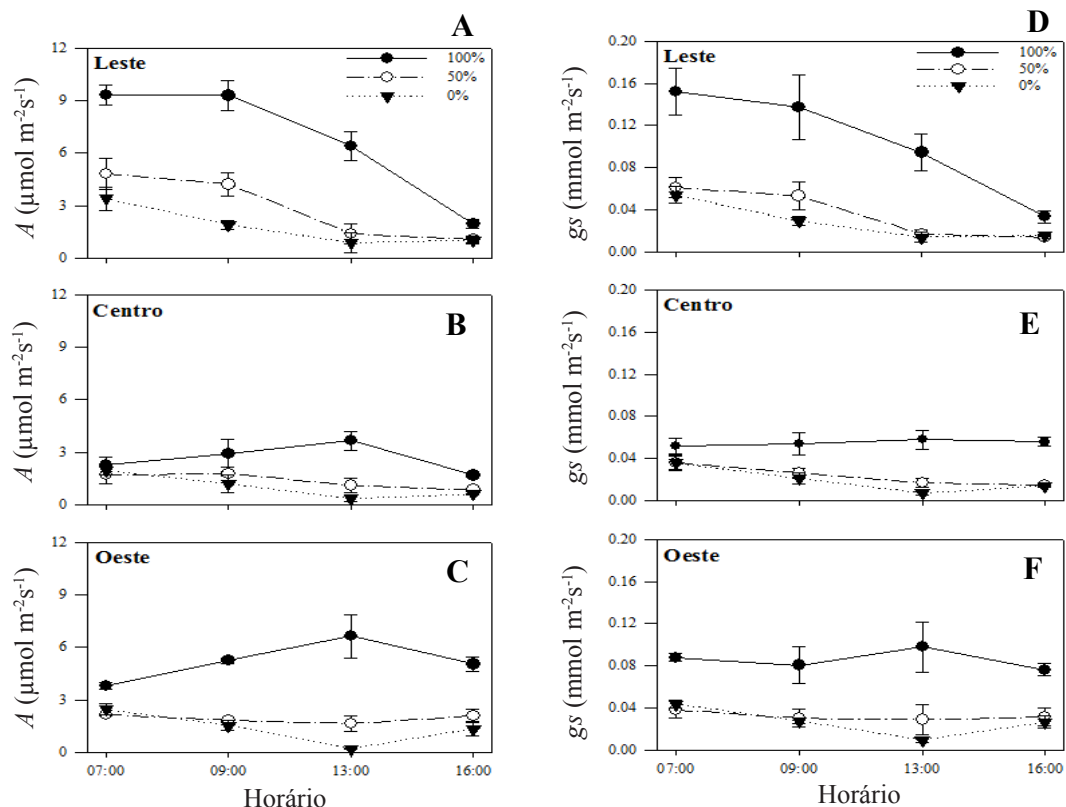


Figura 3 – Curso diurno da taxa de assimilação líquida de carbono (A) e condutância estomática (gs) nas posições leste (3A e 3D), centro (3B e 3E) e oeste (3C e 3F) da copa, sob diferentes regimes hídricos e horários de avaliação, em mangueiras 'Tommy Atkins' cultivadas em condições de campo. Valores representam a média \pm erro-padrão. Quando não visível, a barra do erro-padrão é menor que o símbolo. Pentecoste (CE), 2013.

Figure 3 – Daily course of the assimilation rate of liquid carbon (A) and stomatal conductance (gs) at the eastern (3A and 3D), centre (3B and 3E) and western (3C and 3F) points of the canopy, under different water regimes and evaluation times, in the 'Tommy Atkins' mango grown under field conditions. Values represent the mean \pm standard error. When not visible, the bar for standard error is smaller than its symbol. Pentecoste, CE, 2013.

Tabela 1 – Valores médios diários de clorofila a em mangueiras submetidas a diferentes regimes hídricos e posições da folha na copa. Pentecoste (CE), 2013

Table 1 – Daily mean values for chlorophyll a in the mango under different water regimes and leaf positions in the canopy. Pentecoste, CE, 2013

Irrigação	Clorofila a		
	Leste	Oeste	Centro
0%	46,0 \pm 0,26 aA	45,7 \pm 0,27 aA	37,6 \pm 0,27 aB
50%	43,4 \pm 0,30 aA	45,0 \pm 0,20 aA	41,9 \pm 0,21 aA
100%	48,9 \pm 0,23 aA	47,9 \pm 0,08 aA	45,8 \pm 0,15 aA

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Mean values followed by the same uppercase letter in a column, and lowercase letter on a line, do not differ by Tukey's test ($p \leq 0.05$).

As folhas localizadas no lado leste da copa, possivelmente, exibiram vantagem em relação às demais em virtude do movimento do sol (leste-oeste). Com isso, as folhas da porção leste tiveram a oportunidade de aproveitar a PAR durante os horários mais amenos do dia (07:00 e 09:00 horas), resultando em maiores valores de A e g_s , até mesmo em condições de menor suprimento hídrico (0 e 50% da projeção da copa irrigada) (Figuras 1A, 3A e 3D). Segundo Angelocci *et al.* (2008) e Habermann *et al.* (2003), a arquitetura da planta determina a quantidade de luz interceptada por unidade de área foliar, resultando em baixos índices fotossintéticos em condições de sombreamento.

No que se refere à transpiração, os maiores valores foram verificados entre 09:00 e 13:00 horas, independente da posição da folha na copa (Figura 4). Nesse intervalo

de tempo, constataram-se as condições ambientais mais severas (Figuras 1A e 1B), que resultaram em aumento da temperatura foliar e do déficit de pressão de vapor do ar (VPD) (Figura 5).

De acordo com Chaves *et al.* (2009), em condições adversas, as plantas reduzem a utilização de energia luminosa e fixação de carbono, com conseqüente queda na síntese de ATP, NADPH e fotoassimilados. Em alguns casos mais severos, pode-se acentuar, ainda, a fotoinibição.

As folhas posicionadas a oeste da copa de plantas com toda a projeção da copa irrigada apresentaram elevada transpiração às 13:00 horas (Figura 4C). Para esse horário, o aumento da transpiração coincidiu com o incremento da fotossíntese (A) e da condutância estomática (g_s) (Figuras 3C e 3E). Conforme Shimazaki *et al.* (2007), o aumento em g_s pode implicar em maior influxo de CO_2 no mesófilo

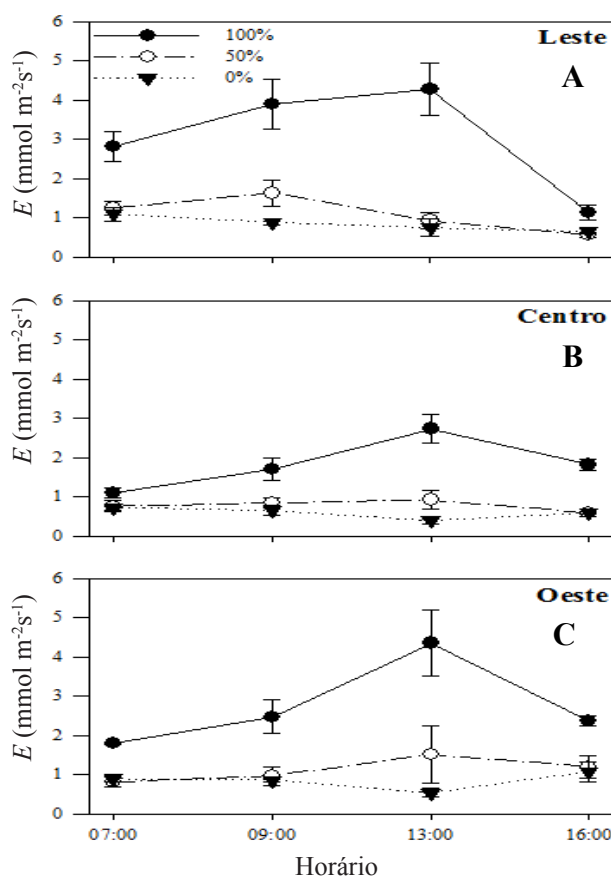


Figura 4 – Curso diurno da transpiração (E) nas posições leste (4A), centro (4B) e oeste da copa (4C), sob diferentes regimes hídricos e horários de avaliação, em mangueiras 'Tommy Atkins' cultivadas em condições de campo. Valores representam a média \pm erro-padrão. Quando não visível, a barra do erro-padrão é menor que o símbolo. Pentecoste (CE), 2013.

Figure 4 – Daily course of transpiration (E) at the eastern (4A), centre (4B) and western (4C) points of the canopy, under different water regimes and evaluation times, in the 'Tommy Atkins' mango grown under field conditions. Values represent the mean \pm standard error. When not visible, the bar for standard error is smaller than its symbol. Pentecoste, CE, 2013.

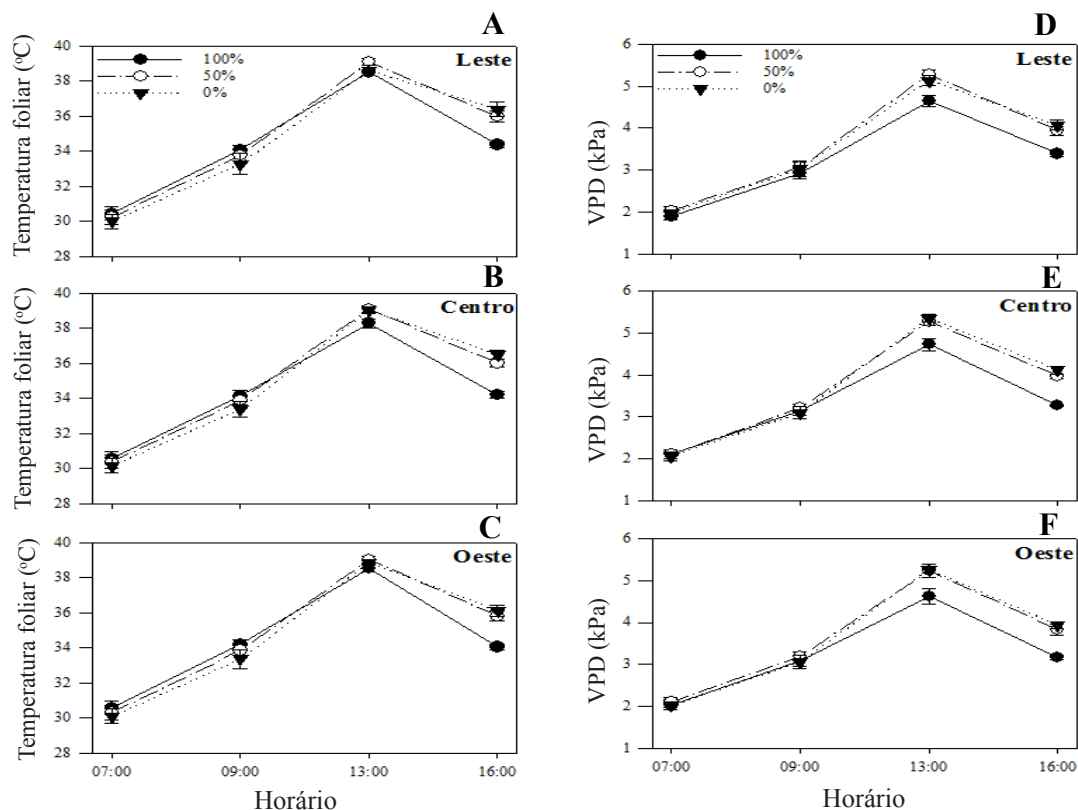


Figura 5 – Curso diurno da temperatura foliar (T_f) e déficit de pressão de vapor do ar (VPD) nas posições leste (5A e 5D), centro (5B e 5E) e oeste da copa (5C e 5F), sob diferentes regimes hídricos e horários de avaliação, em mangueiras 'Tommy Atkins' cultivadas em condições campo. Valores representam a média \pm erro-padrão. Quando não visível, a barra do erro-padrão é menor que o símbolo. Pentecoste (CE), 2013.

Figure 5 – Daily course of leaf temperature (T_f) and vapour pressure deficit (VPD) at the eastern (5A and 5D), centre (5B and 5E) and western (5C and 5F) points of the canopy, under different water regimes and evaluation times, in the 'Tommy Atkins' mango grown under field conditions. Values represent the mean \pm standard error. When not visible, the bar for standard error is smaller than its symbol. Pentecoste, CE, 2013.

foliar, possibilitando incremento nas taxas de fotossíntese (SHIMAZAKI *et al.*, 2007). Portanto, é possível que, em condições de melhor suprimento hídrico, as folhas posicionadas a oeste da copa sejam capazes de intensificar sua capacidade produtiva, até mesmo em horários com maiores temperaturas do ar.

Por sua vez, para essa mesma posição da copa (oeste), mas em condições de déficit hídrico (0% de irrigação), as folhas exprimiram redução de g_s entre 09:00 e 13:00 horas, culminando em redução de A e E (Figuras 3C e 3E). Esses resultados corroboraram com os resultados obtidos por Lima *et al.* (2010) e Santos *et al.* (2013) para as trocas gasosas de plantas de mangueira e cajueiro anão, respectivamente, submetidos a diferentes regimes hídricos.

Em condições de escassez hídrica, as taxas de assimilação de CO_2 são negativamente afetadas, principalmente, em virtude do fechamento estomático. Com a diminuição da condutância estomática, as folhas reduzem a perda de água

por transpiração, mas depreciam o suprimento de CO_2 e, conseqüentemente, a produção de biomassa das plantas é afetada (PAIVA *et al.*, 2005; SILVA *et al.*, 2013).

De modo geral, os maiores valores transpiratórios coincidiram com as maiores temperaturas foliares (Figuras 4, 5A, 5B e 5C). Certamente, a melhor condição hídrica, em relação aos demais tratamentos, favoreceu a perda de água pelas folhas. De acordo com Tribuzy (2005) e Agelocci (2004), o aumento da temperatura foliar pode alterar a estrutura de enzimas envolvidas na etapa de carboxilação, bem como incrementar a fluidez das membranas do cloroplasto e reduzir a condutância estomática (g_s), o que afeta diretamente a assimilação líquida de carbono (A). Sendo assim, tanto o processo bioquímico quanto a fixação do CO_2 são prejudicados pelo aumento da temperatura foliar.

O VPD do ar atmosférico se intensificou de acordo com o incremento da temperatura foliar (Figura 5). As plantas

com 100% da projeção da copa irrigada, diferentemente das demais, expressaram aumento de g_s e E , simultaneamente ao incremento do VPD e da temperatura foliar. Esses resultados corroboram com Gholipoor *et al.* (2010) e Kholová *et al.* (2010), segundo os quais, em situação de alta demanda evaporativa, as plantas têm maior perda de água, requerendo aumento do fluxo de água do solo para suprir a transpiração.

A redução da condutância estomática, induzida pelas limitações hídricas, culminou em alterações na eficiência de uso da água, sendo que, de maneira geral, as folhas de plantas com 50% da projeção da copa irrigada apresentaram as maiores relações A/g_s (Figura 6).

Quanto à posição na copa, as folhas posicionadas a leste e a oeste apresentaram expressiva eficiência intrínseca de uso da água (A/g_s) (Figuras 6A e 6C). Esses resultados

corroboram com os obtidos por Lima *et al.* (2010) e Machado Filho *et al.* (2006), os quais evidenciaram que folhas sombreadas de plantas de cajueiro anão e mamoeiro, respectivamente, exibiram redução da relação A/g_s durante os períodos mais secos do ano.

No que se refere à eficiência instantânea de uso da água (A/E), os melhores resultados foram constatados às 07:00 horas para as folhas posicionadas no lado leste da copa de plantas com 50% da projeção da copa irrigada, ao passo que a menor média foi obtida às 13:00 horas para as folhas posicionadas no lado oeste da copa de plantas não irrigadas (Figuras 6C e 6E).

Esses resultados demonstram uma boa eficiência de uso da água pelas plantas supridas com irrigação parcial (50% da projeção da copa irrigada). Além disso, corroboram uma provável vantagem das folhas posicionadas ao leste, tendo

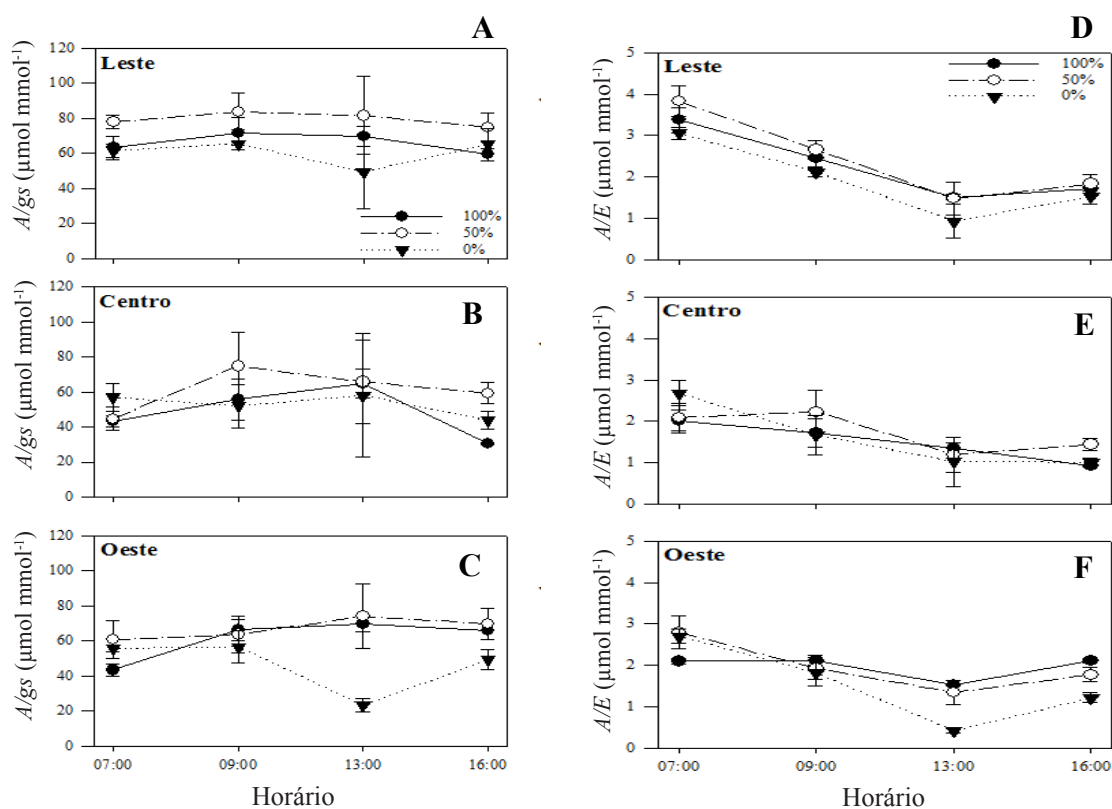


Figura 6 – Curso diurno da eficiência intrínseca de uso da água (A/g_s) e da eficiência instantânea de uso da água (A/E) nas posições leste (6A e 6D), centro (6B e 6E) e oeste (6C e 6F) sob diferentes regimes hídricos e horários de avaliação, em mangueiras ‘Tommy Atkins’ cultivadas em condições campo. Valores representam a média \pm erro-padrão. Quando não visível, a barra do erro-padrão é menor que o símbolo. Pentecoste (CE), 2013.

Figure 6 – Daily course of intrinsic water use efficiency (A/g_s) and instantaneous water use efficiency (A/E) at the eastern (6A and 6D), centre (6B and 6E) and western (6C and 6F) points of the canopy, under different water regimes and evaluation times, in the ‘Tommy Atkins’ mango grown under field conditions. Values represent the mean \pm standard error. When not visible, the bar for standard error is smaller than its symbol. Pentecoste, CE, 2013.

em vista a eficiência em aproveitar a PAR nas primeiras horas da manhã, quando as condições ambientais são mais amenas.

Para Ryan (2011), a restrição da transpiração por intermédio do fechamento estomático e o aumento da absorção de água pelas raízes são mecanismos essenciais para a sobrevivência de plantas cultivadas sob condições de déficit hídrico. Ferraz *et al.* (2012) acrescentaram que esse mecanismo conservativo propicia aumento da eficiência do uso da água, embora a fotossíntese seja inevitavelmente reduzida.

Em resumo, as trocas gasosas de mangueira foram afetadas pelo regime hídrico e pela posição das folhas na copa. Esses resultados permitem enfatizar a necessidade de eficiência no manejo da irrigação e da arquitetura da copa nos diferentes sistemas de produção de mangueira, haja vista que plantas mal supridas em água (0 e 50% da projeção

da copa irrigada) e folhas sombreadas apresentam alterações fisiológicas que podem resultar em uma indesejável redução do crescimento vegetativo e/ou da capacidade produtiva da mangueira ‘Tommy Atkins’.

CONCLUSÕES

As folhas posicionadas no centro da copa apresentam reduzida capacidade produtiva, comparativamente às situadas a leste e a oeste da copa;

As plantas cultivadas sob regime hídrico de 50% da projeção da copa irrigada apresentam maior eficiência de uso da água durante entre 09:00 às 13:00 horas;

O eficiente manejo das condições hídricas e as posições da folha na copa em mangueiras ‘Tommy Atkins’ afetam positivamente o crescimento e produção.

LITERATURA CIENTÍFICA CITADA

ANGELOCCI, L. R.; MARIN, F. R.; PILAU, F. G.; RIGHI, E. Z.; FAVARIN, J. L. Radiation balance of coffee hedgerows. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 274-281, 2008.

AZEVEDO, B. M.; BASTOS, F. G. C.; VIANA, T. V. A.; RÊGO, J. L.; D’ÁVILA, J. H. Efeitos de níveis de irrigação na cultura da melancia. **Revista Ciência Agronômica**, v. 36, n. 1, p. 9-15, 2005.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v. 4, n. 103, p. 551-560, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisas de Solos, 1997. 212 p.

ENGEL, V. L. **Influência do sombreamento sobre o crescimento de mudas de essências nativas, concentração de clorofila nas folhas e aspectos de anatomia**. 1989. 202 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

FERRAZ, R. L. S.; MELO, A. S.; SUASSUNA, J. F.; BRITO, M. E. B.; FERNANDES, P. D.; NUNES JÚNIOR, E. S. Trocas gasosas e eficiência fotossintética em ecótipos de feijoeiro cultivados no semiárido. **Revista Pesquisa Tropical**, v. 42, n. 2, p. 181-188, 2012.

FERREIRA, D. F. **Sisvar 5.3** : análises estatísticas por meio do Sisvar para windows. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2010.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. 2014. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em: 15 set. 2014.

GHOLIPOOR, M.; VARA PRASAD, P. V.; MUTAVA, R. N.; SINCLAIR, T. R. Genetic variability of transpiration response to vapor pressure deficit among sorghum genotypes. **Field Crops Research**, v. 49, n. 3, p. 85-90, 2010.

GOMES, P. **Fruticultura brasileira**. 13. ed. São Paulo: Nobel, 2007. p. 342-348.

HABERMANN, G.; MACHADO, E. C.; RODRIGUES, J. D.; MEDINA, C. L. CO₂ assimilation, photosynthetic light response curves, and water relations of ‘Pêra’ sweet orange plants infected with *Xylella fastidiosa*. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 15, n. 2, p. 79-87, 2003.

- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**, 2012.
- INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. Estatística e Geografia. **Lista mantida pelo IPECE**. 2011. Online. Disponível em: <<http://www.ipece.ce.gov.br>>. Acesso em 25 set. 2014.
- INSTITUTO FNP. **Agriannual 2010**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: FNP, 2010. p. 386.
- KHOLOVÁ, J.; HASH, C. T.; KUMAR, P. L.; YADAV, R. S.; KOČOVÁ, M.; VADEZ, V. Terminal drought-tolerant pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] have high leaf ABA and limit transpiration at high vapour pressure deficit. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, n. 5, p.1431-1440, 2010.
- KLEIN, V.A. **Física do Solo**. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2008. 212 p.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2006. 531 p.
- LIMA, M. de A.; BEZERRA, M. A.; GOMES FILHO, E.; PINTO, C. M.; ENEAS FILHO, J. Trocas gasosas em folhas de sol e sombreadas de cajueiro anão em diferentes regimes hídricos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 4, p. 654-663, 2010.
- MACHADO-FILHO, J. A.; CAMPOSTRINI, E.; YAMANISHI, O. K.; FAGUNDES, G. R. Efeito da umidade do ar nas trocas gasosas em folhas de mamoeiro (*Carica papaya* L.) cultivado em condições de campo. **Bragantia**, v. 65, n. 2, p.185-196, 2006.
- MARTINAZZO, E. G.; SILVA, D. M.; BIANCHI, V. J.; BACARIN, M. A. Fluorescência da clorofila a em plantas de pessegueiro da cultivar maciel enxertada sobre diferentes porta-enxertos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 3, p. 678-685, 2012.
- MELO, A. S.; SUASSUNA, J. F.; FERNANDES, P. D.; BRITO, M. E. B.; SUASSUNA, A. F.; AGUIAR NETTO, A. O. Crescimento vegetativo, resistência estomática, eficiência fotossintética e rendimento do fruto da melancia em diferentes níveis de água. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 73-79, 2010.
- NAR, H.; SAGLAM, R.; TERZI, R.; VÁRKONYI, Z.; KADIOGLU, A. Leaf rolling and photosystem II efficiency in *Ctenanthe setosa* exposed to drought stress. **Photosynthetica**, v. 47, n. 3, p.429-436, 2009.
- NIINEMETS U.; LUKJANOVA, A.; TURNBULL, M. H.; SPARROW, A. D. Plasticity in mesophyll volume fraction modulares light-acclimation in needle photosynthesis in two pines. **Tree Physiology**, v. 27, n.1, p. 1137-1151, 2007.
- OUKARROUM, A.; EL MADIDI, S.; SCHANSKER, G.; STRASSER, R. J. Probing the responses of barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) by chlorophyll a fluorescence OLKJIP under drought stress and re-watering. **Environmental and Experimental Botany**, v. 60, n. 3, p. 438-446, 2007.
- PAIVA, A. S.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D.; TURCO, J.E. P. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 1, p. 161-169, 2005.
- REIS, J. B. R. S.; JESUS, A. M.; DIAS, M. S. C.; CASTRICINI, A.; DIAS, J. R. Efeito de lâminas de irrigação e doses de PBZ na pós-colheita da mangueira cv. Haden no norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 5, n. 3, p. 214-224, 2011.
- RYAN, M. G. Tree responses to drought. **Tree Physiology**, v. 31, n. 1, p. 237-239, 2011.
- SANTOS, M. R.; MARTINEZ, M. A.; DONATO, S. L. R. Trocas gasosas da mangueira ‘Tommy Atkins’ sob diferentes regimes de irrigação. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 5, p. 1141-1153, 2013.
- SHIMAZAKI, K. I.; DOI, M.; ASMANN, S. M.; KINOSHITA, T. Light regulation of stomatal movement. **Annual Review of Plant Biology**, v. 58, n. 1, p. 219-247, 2007.
- SIGMAPLOT. For windows, version 11.0. **Systat Software**, 2008.
- SILVA, A. R. A.; BEZERRA, F. M. L.; LACERDA, C. F.; PEREIRA FILHO, J. V.; FREITAS, C. A. S. Trocas gasosas em plantas de girassol submetidas à deficiência hídrica em diferentes estádios fenológicos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, p. 86-93, 2013.
- SILVA, P. C. G.; CORREIA, R. C. **Cultivo da Mangueira**. 2004. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Manga/CultivodaMangueira/socio_economia.htm> Acesso em: 15 set. 2014.
- SYSTAT SOFTWARE INC. **Sigmaplot for windows version 11.0**. Chicago: Systat Software, 2008.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2013. 954 p.