



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE MESTRADO**

**ASPECTOS FISIOLÓGICOS DE VARIEDADES DE CITROS  
SUBMETIDAS À DEFICIÊNCIA HÍDRICA PROGRESSIVA**

**HUMBERTO LUCAS SANTOS DE SANT' ANNA**

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA  
FEVEREIRO - 2009**

**ASPECTOS FISIOLÓGICOS DE VARIEDADES DE CITROS  
SUBMETIDAS À DEFICIÊNCIA HÍDRICA PROGRESSIVA**

**HUMBERTO LUCAS SANTOS DE SANT' ANNA**

Engenheiro Agrônomo

Universidade Federal de Alagoas, 2007

Dissertação submetida à Câmara de Ensino de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Ciências Agrárias, Área de Concentração: Fitotecnia.

**Orientador: Prof°. Manoel Teixeira de Castro Neto, PhD**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
MESTRADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CRUZ DAS ALMAS - BAHIA - 2009**

## FICHA CATALOGRÁFICA

S231 Sant' Anna, Humberto Lucas Santos de.

Aspectos fisiológicos de variedades de citros submetidas à deficiência hídrica progressiva / por Humberto Lucas Santos de Sant' Anna - Cruz das Almas, 2009.

84 f.:

Orientador: Prof. Manoel Teixeira de Castro Neto.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Curso Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. Área de concentração em Fisiologia de plantas cultivadas.

1. Citros – aspectos fisiológicos. 2 Variedade de citros 3. Citros – deficiência hídrica progressiva. I. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. II. Título III. Castro Neto, Manoel Teixeira de.

CDD: 634.3

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof.º Manoel Teixeira de Castro Neto, PhD.

Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas - UFRB

(Orientador)



Prof.º Dr. Clóvis Pereira Peixoto

Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas - UFRB



Dr. Walter dos Santos Soares Filho

EMBRAPA Mandioca e Fruticultura Tropical

Homologada pelo Colegiado do Curso de Mestrado em Ciências Agrárias da  
UFRB em .....

Conferindo grau de Mestre em Ciências Agrárias em.....

***“É impossível medir  
através da limitação da Ciência  
o grande princípio que rege a Natureza.”***

**Mokiti Okada**

*À Deus e ao Mestre Mokiti Okada por estarem ao meu lado nesta jornada e  
me conceder a grande permissão de realizar este trabalho, minha*

**GRATIDÃO.**

*À minha esposa Karla Patrícia e ao meu filhão Pedro Henrique pelo amor,  
carinho, compreensão, paciência, confiança, incentivo ...*

**DEDICO.**

*Aos meus pais, Eurico e Vânia, pelo amor e dedicação em todas as fases da  
minha vida... minha irmã Eleonora Christina, aos meus sogros Nestor e Tânia,  
aos meus familiares e amigos incentivadores de minha carreira profissional,*

**OFEREÇO.**

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, através da Coordenação do Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias – Fitotecnia, pela oportunidade de realizar meus estudos de pós-graduação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de mestrado.

À EMBRAPA Mandioca e Fruticultura Tropical pelo apoio na realização do experimento.

Ao Prof<sup>o</sup> Dr. Manoel Teixeira de Castro Neto (Lito), pela amizade, confiança, dedicação, profissionalismo ético e conhecimentos repassados.

Ao Prof. Dr. Fabiano Machado Martins, Prof. Dr. Clóvis Pereira Peixoto, Prof. Dr. Anacleto Ranulfo dos Santos, Prof. Dr. Carlos Alberto da Silva Ledo e às professoras Dra. Franceli da Silva e Dra Ana Cristina Vello Loyola Dantas, pela amizade e ensinamento durante o mestrado.

Aos membros da banca: Dr. Clóvis Pereira Peixoto e Dr. Walter dos Santos Soares Filho, pela disponibilidade para avaliação deste trabalho e pelas valiosas sugestões.

Ao agrônomo Antônio Carlos Oliveira Fonsêca e Núbia Fonsêca, pelas orientações técnica e humana concedidas.

Aos colegas da Pós-graduação, em especial: Dário Primo, Leandro Gonçalves, Ubirajara dos Santos, Olívia Neponuceno, Carolina Yamamoto, Cicera Régis, Jeferson Oliveira, Ádila Vidal, Danila Fiúza, Zé Renato, Juliana Alves, Cássia Silva, Vânia Santos, Fabíola Rebouças, Valdir Fonseca e Márcio Barros, pela amizade e companheirismo.

Aos estudantes da graduação Gabriela Oliveira, Ciro Silva e Vânia Cruz, pelo apoio nas pesquisas desenvolvidas.

Aos funcionários da Estação Experimental II, Renato, Nailton e “Mandioca”, pelo apoio na fase experimental deste trabalho e amizade.

Aos eternos professores e amigos que compartilharam essa etapa da minha vida e que contribuíram com suas idéias e atos para meu desenvolvimento pessoal. Sucesso para todos vocês.

À todos aqueles que contribuíram, de uma forma ou de outra, para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO	
ABSTRACT	
INTRODUÇÃO .....	10
<b>CAPÍTULO 1</b>	
RELAÇÕES HÍDRICAS, TROCAS GASOSAS E PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS EM VARIEDADES DE CÍTROS SUBMETIDAS À DEFICIÊNCIA HÍDRICA.....	29
<b>CAPÍTULO 2</b>	
COMPORTAMENTO FISIOLÓGICO DE TANGERINEIRAS SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA.....	55
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	83

## ASPECTOS FISIOLÓGICOS DE VARIEDADES DE CITROS SUBMETIDAS À DEFICIÊNCIA HÍDRICA PROGRESSIVA

Autor: Humberto Lucas Santos de Sant' Anna

Orientador: Prof. Manoel Teixeira de Castro Neto, PhD

**Resumo:** O trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos do déficit hídrico em variedades cítricas visando identificar as que apresentam melhores respostas ao estresse, sendo relativamente tolerantes à seca. O experimento foi desenvolvido no viveiro de mudas do Campo Experimental II no Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB). Quando as plantas apresentaram nove meses de idade foram submetidas a diferentes regimes hídricos (irrigação - 1 e 3 dias; déficit hídrico - 3, 5, 7 e 11 dias; reirrigação - 1, 2 e 3 dias), sendo monitorado o estado hídrico das plantas através do conteúdo relativo de água (CRA), as trocas gasosas (transpiração, condutância estomática e fotossíntese) com um analisador de gases a infravermelho portátil (IRGA) e os pigmentos fotossintéticos (clorofila *a*, *b* e *total*) com clorofilômetro *Soil Plant Analytical Division Value* (SPAD). As leituras obedeceram ao curso diário (6, 8, 10, 12, 14 e 16 horas), sendo realizadas em três plantas, duas leituras por planta, totalizando seis repetições por variedade. Avaliou-se as seguintes variedades: laranjeira 'Azeda Jacarandá', limoeiros 'Cravo Santa Cruz' e 'Volkameriano', e tangerineiras 'Cleópatra', 'Sunki da Flórida' e 'Sunki Tropical'. De maneira geral, todas as variedades tiveram o CRA e as trocas gasosas influenciados pelo déficit hídrico, e lenta recuperação com a reirrigação. Os pigmentos fotossintéticos não foram afetados pela deficiência hídrica, configurando-se semelhante em todas as variedades. Ao final do experimento, aponta-se o limoeiro 'Cravo Santa Cruz' e a tangerineira 'Cleópatra' como os menos sensíveis ao déficit hídrico e maior poder de recuperação, características desejáveis a porta-enxertos destinados ao cultivo em regiões submetidas à deficiência hídrica.

**Palavras chaves:** Relações hídricas, fotossíntese, transpiração, conteúdo relativo de água.



## PHYSIOLOGICAL ASPECTS OF CITRUS VARIETIES UNDER PROGRESSIVE WATER DEFICIT CONDITIONS

Author: Humberto Lucas Santos de Sant' Anna

Advisor: Prof. Manoel Teixeira de Castro Neto, PhD

**ABSTRACT:** The work aimed to evaluate the effects of water deficit on citrus varieties for the identification of the ones with the best answer for the water stress situation. The experiments were carried out on the Experimental Station II of the Federal University of the Reconcavo of Bahia (UFRB). When the plants were nine months old their relative water content (RWC), gas exchange rates (photosynthesis, transpiration, and stomatal conductance), and photosynthesizing pigments (chlorophyll *a*, *b* and *total*) were evaluated for irrigation and water deficit conditions. The reading followed the course of the day (6, 8, 10, 12, 14, and 16 hours) using six repetitions for each varieties, for three plants. It was evaluated the following varieties: 'Jacaranda' sour orange, 'Santa Cruz' rangpur lime, 'Volkamer' lemon, and the mandarins 'Cleopatra', 'Sunki of Florida' and 'Sunki Tropical'. In a general manner, all the genotypes had their RWC and exchange gas rates influenced by the water stress conditions, showing a slow recovery after the relief of that situation. The photosynthesizing pigments did not show any change, in any genotypes, for any soil water condition. We suggest that the 'Santa Cruz' rangpur lime and the 'Cleopatra' mandarin are the less sensitive to the water deficit condition with a power of recover after the relief of the water stress condition.

**Key Words:** water relationship, photosynthesis, transpiration, relative water content.

## INTRODUÇÃO

Nos levantamentos estatísticos sobre a agricultura mundial, as frutas cítricas ocupam lugar de destaque. O Brasil é, atualmente, o maior produtor mundial de citros, com produção em 2007 de aproximadamente 18,3 milhões de toneladas (Silva, 2008), mantendo a posição de maior produtor e exportador de suco concentrado e congelado de laranja.

A cultura encontra-se disseminada por todo o território nacional, com grande importância econômica e social para diversos estados da federação, como São Paulo, com 80,4% do total produzido em 2008 (IBGE, 2008), seguido por Bahia, Sergipe, Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Rio de Janeiro (FNP, 2002).

Analisando a participação no volume de frutas cítricas produzidas em nível dos distintos estados brasileiros, pode-se definir duas áreas de produção mais expressiva: São Paulo e o eixo Bahia-Sergipe, cada qual com características edafoclimáticas particulares.

No caso do planalto paulista, com dominância de climas tropicais de altitude, úmidos e sub-úmidos, existe um relativo equilíbrio entre a demanda e o suprimento hídrico natural pelas chuvas. As temperaturas amenas e umidade alta, preponderante nesse tipo de clima, diminuem a pressão de déficit hídrico que possa ocorrer pela presença de veranicos (CERQUEIRA, 2004). As áreas de produção de citros localizadas no eixo Bahia-Sergipe situam-se principalmente na Grande Unidade de Paisagem de Tabuleiros Costeiros. Cintra et al. (2000) caracterizam esse ambiente pela presença de horizontes de solo coesos, pela má distribuição de chuvas, em sua maioria (80%) concentradas entre abril e setembro, com níveis pluviométricos anuais entre 1.000 e 1.200 mm.

O gênero *Citrus*, do ponto de vista comercial, é o mais importante da família Rutaceae. No conjunto de variedades-copa destacam-se as espécies *C. sinensis* (L.) Osbeck (laranjeiras doces), *C. reticulada* Blanco e *C. clementina* hort ex Tanaka (tangerineiras), *C. deliciosa* Ten. (mexeriqueiras), *C. limon* (L.) Brum.

F. (limoeiros verdadeiros), *C. aurantiifolia* (Christm.) Swingle e *C. latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka (limeiras ácidas), *C. limettioides* Tanaka (limeiras doces), *C. paradisi* Macfad. (pomeleiros) e *C. medica* L. (cidreiras). Quanta ao grupo das variedades porta-enxerto as espécies mais utilizadas incluem: *C. limonia* Osbeck (limoeiro 'Cravo'), *C. jambhiri* Lush. (limoeiro 'Rugosa'), *C. volkameriana* V. Ten. & Pasq. (limoeiro 'Volkameriano'), *C. aurantium* L. (laranjeira 'Azeda'), *C. reshni* hort. ex Tanaka (tangerineira 'Cleópatra') e *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka (tangerineira 'Sunki').

As plantas cítricas são originárias de regiões úmidas tropicais e subtropicais do continente asiático e foram introduzidas no Brasil quando da colonização do país, provavelmente pela Bahia (FIGUEIREDO, 1991). A rápida disseminação do cultivo das plantas cítricas pelo Brasil se deu graças às condições climáticas que permitiram que as plantas vegetassem e produzissem de forma exuberante (MOREIRA ; MOREIRA, 1991).

Quando a citricultura brasileira alcançou expressão comercial, iniciou-se o uso de plantas enxertadas, sendo a laranjeira 'Caipira' (*C. sinensis*), o porta-enxerto mais utilizado. A baixa resistência da 'Caipira' à gomose de *Phytophthora* associada à sua baixa tolerância à seca, motivou sua substituição pela laranjeira 'Azeda' (*C. aurantium*), que até a década de 1940 foi o principal porta-enxerto, no qual estavam enxertadas 90% das plantas da citricultura paulista, e as demais em limeira da 'Pérsia' (*C. limettioides*), limoeiro 'Cravo' (*C. limonia*), laranjeira 'Caipira' e limoeiro 'Rugoso' (*Citrus jambhiri* Lush.) (POMPEU JUNIOR, 2001). A introdução do vírus da tristeza dos citros em São Paulo, por volta de 1937, e a sua disseminação, por borbulha e pulgão preto, causou a morte das plantas enxertadas em laranjeira 'Azeda' e limeira da 'Pérsia', que são intolerantes ao vírus (CALIXTO, 2003). Em experimentos que vinham sendo desenvolvidos, foram identificados como tolerantes ao vírus da tristeza dos citros os porta-enxertos de limoeiro 'Cravo', tangerineira 'Cleópatra' (*C. reshni*), tangerineira 'Sunki' (*C. sunki*), laranjeira 'Caipira' e limoeiro 'Rugoso' (POMPEU JUNIOR, 1991; 2001).

O limoeiro 'Cravo' é o porta-enxerto mais utilizado hoje na citricultura brasileira, cerca de 80% (ABECITRUS, 2008), exceto no Rio Grande do Sul, onde predomina a espécie *Poncirus trifoliata* (L.) Raf., e em Sergipe, onde divide espaço com o limoeiro 'Rugoso'. As razões para ser tão amplamente utilizado

são: tolerância à tristeza e à seca, fácil obtenção de sementes, grande vigor no viveiro, bom pegamento de mudas no plantio, rápido crescimento, produção precoce, produções altas e de frutos de qualidade regular, compatível com todas as variedades-copa, média tolerância ao frio e bom comportamento em solos arenosos (POMPEU JUNIOR, 2005).

Desde 1999, a morte súbita dos citros (MSC) vem afetando plantas enxertadas em limoeiro 'Cravo', promovendo novamente a necessidade de diversificação de porta-enxertos para a citricultura (Pompeu Junior, 2005), fazendo com que ele perdesse parte da fatia que ocupa no mercado, devido à maior procura por variedades porta-enxerto tolerantes a doença.

A tangerineira 'Sunki' vem sendo utilizada no estado de São Paulo desde o início do século passado. Ela apresenta tolerância à tristeza, à xiloporose, ao declínio e à MSC, porém é intolerante à exocorte e susceptível à gomose de *Phytophthora*. Apresenta médio vigor no desenvolvimento em viveiros (POMPEU JUNIOR, 2005). Por ser uma variedade compatível com a laranjeira 'Pera' (*C. sinensis*), houve um aumento na procura desse porta-enxerto, visando à diversificação de porta-enxertos na formação de novos pomares (FUNDECITRUS, 2008).

A história da citricultura vem mostrando a importância da diversificação na utilização de porta-enxertos, além da necessidade de variedades melhoradas visando à tolerância e/ou resistência a estresses bióticos e abióticos.

O estresse é considerado como um desvio significativo das condições ótimas para a vida, induzindo mudanças e respostas em todos os níveis funcionais do organismo, as quais, em princípio, podem ser reversíveis, mas podem tornar-se permanentes (LARCHER, 2004).

Apesar de existir tecnologia disponível capaz de reduzir a susceptibilidade dos pomares cítricos aos fatores limitantes de produtividade, tanto os de origem abiótica (ex. disponibilidade hídrica) e biótica (ex. pragas e doenças), pouco se sabe sobre as interações existentes entre os citros e o ambiente. Além da exiguidade de poucos estudos sobre influências do clima na fisiologia das plantas cítricas, a maior parte dos relatos diz respeito a regiões citrícolas localizadas no hemisfério norte e/ou outros continentes (RIBEIRO, 2006).

Recentemente, alguns centros de pesquisa citrícola brasileira vêm desenvolvendo pesquisas voltadas à elucidação dos efeitos das condições

ambientais sobre os mecanismos fisiológicos dos citros nas condições de clima sub-tropical úmido, principalmente na região paulista, maior parque produtor de citros no Brasil (MEDINA et al., 2002; MACHADO et al., 2005; RIBEIRO, 2006; GIRARDI, 2008).

Partindo do princípio que a concentração de nutrientes na planta e a estrutura do solo são adequados, a disponibilidade hídrica e radiação solar são os principais fatores ambientais que afetam a produção dos citros. É interessante ressaltar que esses fatores ambientais apresentam sazonalidade, sendo as variações de temperatura e umidade do ar consequências diretas das mudanças nos regimes hídricos e de radiação (ORTOLANI ; CAMARGO, 1987).

No Brasil a exploração de citros é desenvolvida, em sua grande maioria, sob condições de sequeiro. Assim, o suprimento de água constitui um dos principais fatores limitantes à produção dessa cultura. O conhecimento da água retirada do solo pelos vegetais é de grande interesse, principalmente para os estudos de economia hídrica das culturas (CRUZ, 2003).

O estresse por déficit hídrico é produzido tanto por deficiência de água no solo quanto por perda excessiva pela transpiração em relação à absorção feita pelas raízes, sendo esses processos influenciados por fatores ambientais e por características da própria planta. Segundo Perçanha (2008), em plantas arbóreas, condições atmosféricas que favorecem altas taxas de transpiração têm importante influência no potencial hídrico da folha devido à baixa condutividade hidráulica do seu sistema radicular.

De acordo com Larcher (2004), todo processo vital é afetado pelo declínio do potencial hídrico. Inicialmente há perda de turgor celular, seguido da redução de crescimento; ocorrem limitações no metabolismo de aminoácidos e proteínas com reflexo na divisão celular. As alterações hormonais levam a regulações no funcionamento do aparato estomático, reduzindo as trocas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), antecipação do processo reprodutivo e aceleração da senescência. Também, baixos valores de potencial hídrico impedem o processo fotossintético, tanto por prejuízo causado ao transporte de elétrons e à fotofosforilação acíclica, como pelo fechamento dos estômatos.

Toda a base da produção agrícola está na conversão da energia, onde a fotossíntese é o processo através do qual as plantas transformam a energia solar em energia química. Os organismos fotossintetizantes utilizam a energia solar

para a síntese de carboidratos a partir de CO<sub>2</sub> e água, com a liberação de oxigênio. A energia armazenada nessas moléculas pode ser utilizada mais tarde para impulsionar processos celulares na planta e servir como fonte de energia para todas as formas de vida (TAIZ ; ZEIGER, 2004).

Os citros, como a maioria das espécies arbóreas, possuem metabolismo fotossintético do tipo C<sub>3</sub>, onde a primeira molécula estável resultante da fixação do carbono atmosférico apresenta três átomos de carbono (triose). Durante o processo fotossintético três fases, basicamente, são realizadas: *fase difusiva* - consiste no fluxo de dióxido de carbono atmosférico para o interior do mesófilo foliar através da regulação dos poros estomáticos; *fase fotoquímica* - captação de energia luminosa e transformação desta em energia química (adenosina trifosfato, *ATP*), para as reações endergônicas de formação de açúcares; e em poder redutor (nicotinamida adenina dinucleotídeo de piridina fosfato reduzida, *NADPH*), para a redução do CO<sub>2</sub> atmosférico a carboidrato, mas também para outras reações, que consomem *ATP* e *NADPH*; e *fase bioquímica* ou Ciclo de Calvin, que são as reações enzimáticas de incorporação do CO<sub>2</sub> atmosférico em compostos orgânicos, utilizando o *ATP* e o *NADPH* produzidos nas reações luminosas com o auxílio da enzima ribulose-1-difosfato (*Rubisco*) (PIMENTEL, 1998; TAIZ ; ZEIGER, 2004; RIBEIRO, 2006).

Nos vegetais, a tolerância à falta de água pode ocorrer em maior ou menor intensidade, à depender da espécie, do genótipo, de sua duração e severidade, da idade e estágio de desenvolvimento da planta, do órgão e tipo de célula e do comportamento sub-celular. Dessa forma, as plantas podem apresentar *tolerância* (quando sobrevive às adversidades) ou *suscetibilidade* (quando sofre redução em seu crescimento, podendo chegar à morte, dependendo da intensidade do estresse ao qual a planta é submetida) (CAMBRAIA, 2005).

A capacidade das plantas de se manterem túrgidas é tida como uma característica necessária para a garantia da produção, em locais onde ocorre o déficit hídrico (NOGUEIRA et al., 2001). Para Pimentel e Perez (1999), a adaptação à seca é uma função mutagênica e, portanto, depende de várias características morfológicas e fisiológicas, levando as plantas a modificações que permitem, em geral, o desenvolvimento de estratégias que envolvem mecanismos para a conservação do conteúdo relativo de água favorável à manutenção dos processos metabólicos.

Taiz e Zeiger (2004) descrevem algumas estratégias utilizadas pelas plantas que auxiliam na tolerância contra à seca, como perda das folhas e ou diminuição da área foliar, reduzindo a transpiração; perda das raízes superficiais e proliferação das profundas; ajustamento osmótico para manutenção do turgor celular, ceras sobre a superfície foliar, presença de tricomas para reflexão da luz e alterações na dissipação de energia das folhas.

Para Rocha e Moraes (1997) os efeitos da deficiência hídrica em plantas vasculares manifestam-se primeiramente sobre os estômatos. Segundo Souza et al. (2004), o controle da perda de água pelo fechamento estomático consegue manter elevado o potencial hídrico e o conteúdo relativo de água nas folhas, como consequência, há restrições na condutância estomática e trocas gasosas, reduzindo a taxa de transpiração e assimilação de CO<sub>2</sub>.

A atuação do mecanismo estomático é especialmente importante quando se considera a variação estacional da disponibilidade hídrica do solo e do ar (umidade do ar). Em condições de alta demanda atmosférica alguns autores têm relatado queda significativa na condutância estomática ao meio dia, causando limitação da fotossíntese pela menor disponibilidade do substrato essencial ao processo fisiológico, o CO<sub>2</sub> (CERQUEIRA et al., 2004; SAMPAIO, 2005; RIBEIRO, 2006; MACHADO et al., 2006).

Taiz e Zeiger (2004) consideram o controle estomático como uma resposta bioquímica ao estresse hídrico, pois é resultante da produção de hormônio como o ácido abscísico (ABA) e compostos osmorreguladores.

Steudle (2000) e Taiz e Zeiger (2004) relatam que o aumento do conteúdo de ABA nas plantas está relacionado com o teor de água no solo, pois é no sistema radicular que acontece a síntese desse hormônio, sendo translocado para a parte aérea da planta induzindo o fechamento estomático, limitando, por conseguinte, a assimilação de CO<sub>2</sub>. Porém, Sasaki et al. (1997) e Socias et al. (1997), afirmam que as raízes iniciam a produção do ABA e o translocam a parte aérea mesmo antes que o potencial de água na folha seja afetado.

O ABA também influencia positivamente o crescimento do sistema radicular por suprir a produção de etileno, provocando um leve efeito negativo no crescimento da parte aérea, resultando em um aumento marcante na razão parte aérea:raiz em baixos potenciais hídricos, o qual, juntamente com o efeito do ABA

no fechamento estomático, auxilia a planta a “enfrentar” o estresse hídrico (STEUDLE, 2000; TAIZ ; ZEIGER, 2004).

Um dos mecanismos de fechamento estomático que a planta desenvolve, ao nível celular, é a produção e/ou acúmulo de solutos osmoticamente ativos, processo conhecido como ajustamento osmótico ou osmorregulação. Alguns solutos compatíveis com o funcionamento das enzimas celulares são acumulados no citoplasma com a função de manter o equilíbrio do potencial hídrico na célula. Prolina, glutamina, betaína, alcoóis de açúcares, como sorbitol e mantiol, são considerados compostos osmorreguladores capazes de manter o turgor celular mesmo sob baixos potenciais hídricos (GOMES et al., 1997; MUNNS, 2002; TAIZ ; ZEIGER, 2004).

A redução do fornecimento de CO<sub>2</sub> pelo fechamento estomático também pode ocorrer por temperaturas inadequadas. Sabe-se que os estômatos respondem à temperatura foliar, sendo obtidos valores máximo de condutância estomática entre 25 °C e 30 °C (MACHADO et al., 2005; SOUZA et al., 2005).

Em condições hídricas normais a planta absorve grande quantidade de água, mas perde em torno de 98% através da transpiração e qualquer alteração no fluxo de água *solo-planta-atmosfera* prejudica a produção da cultura. Dessa forma, o fechamento estomático é a estratégia mais comumente utilizada pelas plantas para diminuir a taxa de transpiração e manter a turgescência durante as horas mais quentes do dia (CAVALCANTE et al., 2001).

A taxa de transpiração em folhas mantidas em condições naturais é determinada, principalmente, por duas variáveis físicas, o déficit de saturação de vapor do ar e a energia radiante, e por uma variável fisiológica, a resistência difusiva. Oren et al. (2001) descrevem a relação proporcional entre o aumento do déficit de pressão de vapor entre o ar e a folha com o fechamento estomático. Além dessas variáveis pode-se considerar ainda o grau de disponibilidade hídrica do solo (NOGUEIRA et al., 2002).

Pode-se ressaltar, ainda, que a transpiração é o principal mecanismo envolvido na regulação da temperatura foliar e que menores aberturas estomáticas levam à redução da transpiração e aumento da temperatura do tecido foliar (MACHADO et al., 2005).

Larcher (2004) relata que além dos fatores intrínsecos à planta, a transpiração é influenciada por fatores externos (ambientais), pois à medida que



alteram a diferença de pressão de vapor entre a superfície da planta e o ar que a envolve aumenta a taxa transpiratória, resultante da diminuição da umidade relativa e aumento da temperatura do ar. Segundo o mesmo autor, quando os estômatos estão totalmente abertos, a absorção de CO<sub>2</sub> é mais limitada pela resistência de transferência do que pela perda de vapor d'água.

A limitação estomática à transpiração, devido à falta de água, é uma alternativa para a manutenção do conteúdo hídrico foliar, evitando, assim, a dessecação dos tecidos. Conforme observado por Nogueira e Silva (2001), genótipos de gravioleira (*Annona muricata* L.) adaptados à seca, quando em época de déficit hídrico, reduziram a transpiração em até 49%. Sampaio (2005) observou decréscimo de 50% na transpiração e condutância estomática em genótipos de pitombeira [*Talisia esculenta* (A. ST.-HIL.) RDLK] submetidas à seca.

De acordo com Matos et al. (2003), o déficit hídrico altera a intensidade e a duração de abertura e fechamento estomático ao longo do dia, como observado em cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) sem reservas de água, onde os estômatos se abrem mais lentamente, reduzindo progressivamente o período total em que permanecem abertos diariamente.

Para a maioria das espécies a condutância estomática apresenta decréscimo nos horários de maior demanda evaporativa do ar (Silva ; Lemos Filho, 2001), principalmente, quando há deficiência na disponibilidade hídrica. A resistência estomática é contrária à condutância, portanto aumenta quando em maior demanda evaporativa (NOGUEIRA et al., 2001).

A indução do fechamento estomático pelo déficit de pressão de vapor é mais frequente sob níveis saturantes de energia solar. Além disso, há diferenças de resposta caso a folha seja de sol ou de sombra e entre estômatos das superfícies abaxial e adaxial. O estômato responde, também, ao vento, em parte devido aos efeitos sobre a condutância da camada limite da folha e a consequente variação da transpiração e do balanço hídrico da folha (ANGELOCCI, 2002).

Além dos fatores já mencionados, os estômatos também são influenciados pela concentração de CO<sub>2</sub> do ar e da câmara subestomática (MACHADO et al., 2005). Ao meio dia, devido às fortes irradiâncias, ao intenso calor e à alta capacidade evaporativa do ar, os estômatos tendem a se fechar, a concentração

intercelular de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ) aumenta e a eficiência fotoquímica do fotossistema II diminui, ao entardecer a temperatura diminui e as taxas fotossintéticas devem se elevar (LARCHER, 2004).

Em ocasiões de déficit hídrico, plantas não tolerantes, com pouca capacidade de ajustamento osmótico, fecham os estômatos numa tentativa de restringir a perda de água pela transpiração (Nogueira et al., 2000), o que se reflete de forma negativa sobre a fotossíntese pela diminuição das trocas gasosas (SOUZA et al., 2001).

Medina e Machado (1998), observaram em mudas de *C. sinensis* que no décimo dia de deficiência hídrica as taxas de fotossínteses foram reduzidas a valores próximos de zero. Machado et al. (2002) justificam esse comportamento como sendo consequência do fechamento parcial dos estômatos. Nenhum dos autores observaram o efeito do déficit hídrico no transporte de elétrons.

A taxa fotossintética líquida resulta da troca de  $\text{CO}_2$  entre a folha e o ar atmosférico, pois quando a planta realiza fotossíntese absorve  $\text{CO}_2$  e, pelo processo respiratório, libera  $\text{CO}_2$ . Sob condições naturais, essa relação de troca, assim como a temperatura e o déficit de pressão de vapor são os responsáveis pelo estabelecimento da fotossíntese, muito embora a indução de outros fatores possa alterar essas funções nas plantas (PRIOR et al., 1997).

Dentre as técnicas utilizadas, a medição das trocas gasosas, através da resposta da fotossíntese à variação da concentração de  $\text{CO}_2$  do ambiente, é a maneira mais simples de avaliar *in vivo* a assimilação de  $\text{CO}_2$ , que determina a taxa fotossintética das plantas de metabolismo  $\text{C}_3$  (ROGERS et al., 2001).

O monitoramento periódico das variações sazonais e diurnas do potencial hídrico e das trocas gasosas, particularmente fotossíntese e transpiração, quando associadas com medições da condutância estomática e variações climáticas e edáficas, pode servir como importante ferramenta para a compreensão de como as flutuações sazonais desses recursos afetam a produtividade primária das plantas, conforme Pereira et al. (1986), citados por TATAGIBA et al. (2007).

Machado et al. (2007) observaram que laranjeiras 'Natal' (*C. sinensis*) apresentaram maiores taxas de fotossíntese nos meses mais quentes do ano e com o solo em capacidade de campo, evidenciando a relação da assimilação de  $\text{CO}_2$  com a temperatura e disponibilidade hídrica. Medina et al. (1999) relatam que a fotossíntese e a condutância estomática na parte da manhã foram

significativamente maiores do que pela tarde, quando tanto os valores de temperatura e déficit de pressão de vapor (DPV) eram maiores do que os da manhã.

A identificação e compreensão dos mecanismos de tolerância à seca são fundamentais na classificação e no desenvolvimento de novos cultivares comerciais mais tolerantes ao déficit hídrico. Várias características fisiológicas têm sido indicadas para avaliar a resposta das espécies vegetais ao estresse hídrico.

A maioria das plantas cítricas e os gêneros relacionados são plantas que retêm a água e são capazes de resistir a períodos longos de seca quando se trata de árvores adultas. Esta capacidade de reter água é devida a uma combinação de fatores anatômicos e fisiológicos que limitam o movimento de água na planta (DAVIES ; ALBRIGO, 1994). As folhas das plantas cítricas são também adaptadas a conservar água. Seus estômatos controlam fracamente a perda de água em plantas jovens, conforme observado por CERQUEIRA et al. (2004) e MACHADO et al. (2005). A eficiência do uso da água nos citros é bastante baixa quando comparada a outras plantas  $C_3$  (CRUZ, 2003).

Na constituição bioquímica de todos os organismos fotossintetizantes estão presentes as clorofilas, pigmentos orgânicos responsáveis pela captação da radiação solar. Em plantas superiores, os pigmentos fotossintéticos são as clorofilas (*a* e *b*) e os carotenóides, conforme Taiz e Zeiger (2004), grande parte da radiação incidente sobre a superfície da folha não é utilizada nos processos fotoquímicos. Essa radiação é perdida de várias formas, uma parte é refletida e outra porção é transmitida, ou seja, atravessa a folha sem ser absorvida pelas moléculas de clorofila, enquanto que uma terceira fração da radiação é absorvida pelos pigmentos. No entanto, nem todos os fótons absorvidos pelos pigmentos são utilizados nos processos fotoquímicos.

As clorofilas integram os cloroplastos localizados nas células do mesófilo foliar, sendo esses as organelas responsáveis pela atividade de fotossíntese dos vegetais, que apresenta duas reações importantes: a *fotoquímica* nas membranas do tilacóides e a *bioquímica* no estroma dos cloroplastos (LARCHER, 2004; TAIZ ; ZEIGER, 2004).

A combinação das clorofilas (*a* e *b*) e dos pigmentos acessórios capacita as plantas captar a maior parte da energia luminosa, sendo essa absorção um dos

fatores ligados à eficiência fotossintética das plantas, ao crescimento e à adaptação a diversos ambientes (ENGEL ; POGGIANI, 1991).

Ao absorver os fótons (energia luminosa), as moléculas de clorofila modificam temporariamente suas configurações eletrônicas, passando do estado basal para o estado excitado, o qual possui nível energético superior, sendo ainda muito instável e de vida curta. Assim, após absorver os fótons, esses pigmentos podem dissipar o excesso de energia proveniente da luz por meio de quatro formas competitivas: *dissipação fotoquímica* (utilizada pela fotossíntese), *fluorescência* (re-emissão na forma de luz), *conversão direta de energia* (retorno da clorofila ao seu estado base sem ocorrer emissão de fótons) e *dissipação não-fotoquímica* (re-emissão na forma de calor) (TAIZ ; ZEIGER, 2004; COMPOSTRINI, 2008).

Segundo Kramer e Kozlowski (1979), a molécula de clorofila é constantemente sintetizada e destruída (foto-oxidação) em presença de luz, mas sob intensidades luminosas muito altas a velocidade de decomposição é maior, sendo o equilíbrio estabelecido a uma concentração baixa. Sua estrutura química instável pode possibilitar a modificação na percepção e na qualidade dos vegetais.

A fotoinibição é definida como a inibição da fotossíntese causada por excesso de luz. A imposição de fatores adicionais e estresse durante a exposição a altas irradiâncias aumenta o potencial de efeitos inibitórios. A exposição prolongada das plantas a excessos de luminosidade pode resultar na fotodestruição dos pigmentos fotossintéticos, conforme Powles (1984) citado por PIRES (2008).

Medina et al. (2002) observaram, em mudas de laranjeira doce (*C. sinensis*) em casa de vegetação, que o excesso de radiação solar acarretou elevação da temperatura foliar e fechamento parcial dos estômatos, causando fotoinibição.

Sob baixa intensidade de radiação luminosa, menos de  $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , mais de 80% da energia quântica absorvida pode ser utilizada pela fotossíntese; quando a intensidade de luz aproxima-se de  $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , cerca de 50% da luz solar disponível, menos de 25% da energia quântica absorvida é utilizada; e sob condições de pleno sol, essa taxa diminui para 10% (PIRES, 2008).

Syvertsen e Lloyd (1994) tem indicado que para os citros o ponto de saturação luminosa varia de 500 a 700  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , no entanto, estudos mais recentes têm detectado valores maiores, entre 800 e 1000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  sob condições ótimas de temperatura e umidade do ar (Habermann et al., 2003; Machado et al., 2005), podendo ser afetada pelo estado fisiológico da planta. Contudo, esses valores demonstram que a atividade fotossintética é saturada em níveis de radiação que chegam a aproximadamente 1/3 da disponibilidade máxima de energia solar em condições naturais ( $\approx 2200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), indicando que não há limitações para a fotossíntese devido à disponibilidade de energia em folhas na camada externa da copa (RIBEIRO, 2006).

Um dos fatores que determinam a eficiência na absorção de luz pela folha é o teor de clorofila, pois quanto maior o teor de clorofila maior será a proporção de luz incidente absorvida.

O teor de clorofilas nas folhas é influenciado por diversos fatores abióticos e bióticos, estando diretamente relacionado com o potencial de atividade fotossintética das plantas. O déficit hídrico caracteriza-se como um dos estresses ambientais responsáveis pela perda no conteúdo de pigmentos fotossintetizantes nas folhas, fazendo com que o ciclo das plantas seja alterado (GONÇALVES, 2008).

Aidar (2005) relata estudos sobre estratégias de tolerância à seca em tecidos vegetais levando em consideração o conteúdo de clorofilas mantido durante e após a dessecação. Classifica os vegetais em *homeoclorófilas* (espécies cujo conteúdo total de clorofila é preservado juntamente com a ultraestrutura básica plastidial) e *pecioclorófilas* (espécies cuja perda total ou quase total do conteúdo de clorofila do tecido está associada à desestruturação do aparelho cloroplastidial, com redução do sistema interno de membranas devido à desidratação foliar).

Portanto, a quantificação e estimativa de tais pigmentos em plantas submetidas ao déficit hídrico podem servir como ferramenta para seleção de genótipos tolerantes à seca (GONÇALVES, 2008). A literatura cita diversas metodologias, destrutivas e não-destrutivas, para a determinação dos pigmentos. Dentre os métodos destrutivos relativamente eficientes podemos citar o de espectrometria óptica com extração em acetona 80% (v/v) (HENDRY ; GRIME, 1993).

Entretanto, métodos alternativos, com medidores portáteis de clorofilas – clorofilômetro – vêm sendo empregados, permitindo leituras instantâneas do teor relativo de clorofilas na folha. Esse método tem princípios ópticos não-destrutivos, baseados na absorbância e/ou refletância da luz pelas folhas. Argenta et al. (2001) caracterizam esse método como simples e rápido, além de possibilitar uma avaliação não-destrutiva do tecido foliar diretamente no campo. O medidor apresenta leitura SPAD (*Soil Plant Analytical Division Value*) em unidades arbitrárias na faixa de 0 a 99,9 (AMARANTE et al., 2008).

Além de fornecer dados de pigmentos das folhas, as medições podem ser significativamente correlacionadas com o estado nutricional da planta, como apresentado para diversas espécies (ARGENTA et al., 2001; NEVES et al., 2005; AMARANTE et al., 2008).

A importância da energia solar para as plantas não se restringe apenas à sua fixação pela fotossíntese. Ela determina, também, o balanço energético nos ecossistemas. Esse balanço possibilita a sobrevivência dos seres vivos, pois o nível energético do ambiente, representado pela temperatura, deve estar dentro dos limites apropriados à atividade fisiológica. Para uma planta, o balanço energético condiciona a sua temperatura e afeta processos fisiológicos como a transpiração, fotossíntese e respiração (NOBEL, 1991).

Estudos relacionados ao comportamento fisiológico dos citros ambientados em condições tropicais são necessários para compreender os mecanismos relacionados à adaptação e/ou tolerância à seca, fornecendo subsídios aos programas de melhoramento genético para o desenvolvimento de novos porta-enxertos direcionados ao cultivo em regiões desprovidas de irrigação e com chuvas concentradas em poucos meses do ano.

Diante das características climáticas das áreas tropicais, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos do déficit hídrico no conteúdo relativo de água, nas trocas gasosas (transpiração, condutância estomática e fotossíntese) e nos pigmentos fotossintéticos em *seedlings* (pés-francos ou plantas obtidas de sementes) de diferentes variedades de citros, visando identificar as que apresentam melhores respostas ao estresse, sendo relativamente tolerantes à seca.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABECITRUS. **Associação Brasileira dos Exportadores de Cítricos**. Disponível em: <<http://www.abecitrus.com.br>>. Acesso em 25 nov. 2008.

AIDAR, S. T. **Tolerância à dessecação em *Pleurostima purpurea* (Velloziaceae): trocas gasosas, pigmentos fotossintéticos e conteúdo relativo de água foliar**. 2005. 50p. Dissertação (Mestrado em Ciências: Fisiologia e bioquímica de plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2005.

AMARANTE, C. V. T. do et al. Quantificação de clorofilas em folhas de macieiras 'Royal Gala' e 'Fuji' com métodos ópticos não-destrutivos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 3, p. 590-595, 2008.

ANGELOCCI, L. R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera: introdução ao tratamento biofísico**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2002. 272 p.

ARGENTA, G. et al. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, n. 2, p. 158-167, 2001.

CALIXTO, M. C. **Hibridação somática entre *Citrus sinensis* e *C. grandis***. 2003. 99 p. Tese (Doutorado em Agronomia: Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.

CAMBRAIA, J. Aspectos bioquímicos, celulares e fisiológicos dos estresses nutricionais em plantas. In: NOGUEIRA, R. J. M. C.; ARAÚJO, E. de L.; WILLADINO, L. G.; CAVALCANTE, U. M. T. (eds.). **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife: UFRPE, 2005. cap. 2 , p. 95-104.

CAMPOSTRINI, E. **Fluorescência da clorofila a: considerações teóricas e aplicações práticas**. 1997. Disponível em: <[http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/CENTRO\\_pdf](http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/CENTRO_pdf)>. Acesso em: 20 março 2008.

CAVALCANTE, U. M. T. et al. Respostas fisiológicas em mudas de maracujazeiro-amarelo (*Passiflora edulis*. Sims f. *flavicarpa* Deg) inoculados com fungos micorrízicos arbusculares e submetidos a estresse hídrico. **Acta Botanica Brasilica**, v. 3, p.379-390, 2001.

CERQUEIRA, E. C. **Avaliação de porta-enxerto de citros visando tolerância ao déficit hídrico**. 2004. 57p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias: Fitotecnia) – Escola de Agronomia – Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, 2004.

CERQUEIRA, E. C. et al. Resposta de porta-enxertos de citros ao déficit hídrico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, p.515-519, 2004.

CINTRA, F. L. D.; LIBARDI, P. L.; SAAD, A. M. Balanço hídrico no solo para porta-enxertos de citros em ecossistema de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 1, p. 23-28, 2000.

CRUZ, A. C. R. **Consumo de água por cultura de citros cultivada em latossolo vermelho amarelo**. 2003. 92p. Tese (Doutorado em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.

DAVIES, F. S.; ALBRIGO, L. G. **Citrus**. Wallingford: CAB International, 1994. 254 p.

ENGEL, V. L.; POGGIANI, F. Estudo da concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz em função do sombreamento em mudas de quatro espécies florestais nativas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 3, n. 1, p. 39-45, 1991.

FIGUEIREDO, J. O. Variedades de copa de valor comercial. In: RODRIGUEZ, O.; VIÉGAS, F.; POMPEU JUNIOR, J.; AMARO, A. A.; **Citricultura brasileira**. Campina: Fundação Cargill. 1991. p. 228-264.

FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. **Agrianoal 2002**: anuário de agricultura brasileira. São Paulo, 2001. p. 281-309: Citros.

FUNDECITRUS. **Fundo de Defesa da Citricultura**. Disponível em: <<http://www.fundecitrus.com.br>>. Acesso em 08 fev. 2008.

GIRARDI, E. A. **Fisiologia da produção de mudas cítricas sob deficiência hídrica**. 2008. 176p. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2008.

GOMES, M. M. A. et al. Trocas gasosas e quantificação do ácido abscísico em duas cultivares de arroz sequeiro submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 9, n. 3, p. 177-183, 1997.

GONÇALVES, E. R. **Fotossíntese, osmorregulação e crescimento inicial de quatro variedades de cana-de-açúcar submetida à deficiência hídrica**. 2008. 66p. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção vegetal e proteção de plantas) - Universidade Federal de Alagoas. Centro de Ciências Agrárias, Rio Largo, 2008.

HABERMANN, G. et al. CO<sub>2</sub> assimilation, photosynthetic light response curves, and water relations of 'Pêra' sweet orange plants infected with *Xylella fastidiosa*. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 15, p. 79-87, 2003.

HENDRY, G. A. F.; GRIME, J. P. **Methods in comparative plant ecology - a laboratory manual**. 1 ed. London: Chapman & Hall, 1993, 252 p.

IBGE - **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20 mar. 2008.



KRAMER, P.J.; KOZLOWSKI, T.T. **Physiology of wood plants**. New York: Academic Press, 1979. 811p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**, São Carlos: Rima artes, 2004. 531p.

MACHADO E. C. et al. Variação sazonal da fotossíntese, condutância estomática e potencial da água na folha de laranjeira 'valência'. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 1, p. 53-58, 2002.

MACHADO, E. C. et al. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 12, p. 1161-1170, 2005.

MACHADO, E. C. et al. Fluxo de seiva e fotossíntese em laranjeira 'Natal' com clorose variegada dos citros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 911-918, 2006.

MACHADO E. C. et al. Deficiência hídrica agrava os sintomas fisiológicos da clorose variegada dos citros em laranjeira 'Natal'. **Bragantia**, v. 66, p. 373-379. 2007.

MATOS, N. N.; TEXEIRA JUNIOR, A. C.; SILVEIRA, J. A. G. da. Influência do porta-enxerto no comportamento fisiológico de mudas de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) submetidas a estresses. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 1, p. 27-31, 2003.

MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C. Fotossíntese de laranjeira 'Valência' enxertada sobre quatro porta-enxertos e submetida a deficiência hídrica. **Bragantia**, Campinas, v. 57, p. 15-22, 1998.

MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C.; GOMES, M. M. A. Condutância estomática, transpiração e fotossíntese em laranjeira 'Valência' sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 11, p. 29-34, 1999.

MEDINA, C. L. et al. Photosynthetic response of citrus grown under reflective aluminized polypropylene shading nets. **Scientia Horticulturae**, v. 96, p. 115-125, 2002.

MOREIRA, C. S.; MOREIRA, S. História da citricultura no Brasil. In: RODRIGUEZ, O.; VIEGAS, F.; POMPEU JUNIOR, J.; AMARO, A. A. **Citricultura brasileira**. Campinas: Fundação Cargill, 1991. p. 1-21.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, v. 25, p. 239–250, 2002.

NEVES O. S. C. et al. Uso do SPAD-502 na avaliação dos teores foliares de clorofila, nitrogênio, enxofre, ferro e manganês do algodoeiro herbáceo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 5, 2005.

NOBEL, P. S. **Physicochemical and Environmental Plant Physiology**. New York: Academic Press, 1991.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; MORAES, J. A. P. V. de; BURITY, H. A. E. Curso diário e sazonal das trocas gasosas e do potencial hídrico foliar em aceroleiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 7, p. 1331-1342, 2000.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; SILVA, J. F. Resistência estomática, tensão de água no xilema e teor de clorofila em genótipos de gravioleira. **Scientia Agrícola**, v. 58, n. 12, p. 491-495, 2001.

NOGUEIRA, R. J. M. C. et al. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, n. 1, p. 75-87, 2001.

NOGUEIRA, R. J. M. C. et al. Curso Diário das perdas de vapor d'água, da temperatura e do potencial de água da folha em germoplasma de carambola (*Averrhoa carambola* L.). **Acta Botanica Brasilica**, v. 16, n. 2, p. 217-223, 2002.

OREN, R. et al. Sensitivity of mean canopy stomatal conductance to vapor pressure deficit in a flooded *Taxodium distichum* L. forest: hydraulic and non-hydraulic effects. **Oecologia**, n. 126, p. 21-29, 2001.

ORTOLANI, A. A.; CAMARGO, M. B. P. Influência dos fatores climáticos na produção. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Potafos, 1987, p. 71-81.

PERÇANHA, A. L. **Biometria, relações hídricas e trocas gasosas do coqueiro anão verde em função da compactação, lâmina de irrigação e classe de solo**. 2008. 78p. Dissertação (Mestrado em Produção vegetal) - Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2008.

PIMENTEL, C. **Metabolismo de carbono na agricultura tropical**. Seropédica: Edur, 1998. 150 p.

PIMENTEL, C.; PEREZ, A. J. L. C. Estabelecimento de parâmetros para avaliação da tolerância à seca, em genótipos de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 31-39, 1999.

PIRES, M. V. **Respostas morfo-fisiológicas de espécies ornamentais de *Passiflora* ao sombreamento**. 2008. 99p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2008.

POMPEU JUNIOR, J. Porta-enxertos. In: RODRIGUEZ, O.; VIEGAS, F.; POMPEU JUNIOR, J.; AMARO, A.A. **Citricultura brasileira**. Campinas: Fundação Cargill, 1991. p. 265-280.

POMPEU JUNIOR, J. Rootstocks and scions in the citriculture of the São Paulo State. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF CITRUS NURSEYMEN, 6., 2001, Ribeirão Preto. **Proceedings...** Ribeirão Preto: s.n., 2001. p. 75-82.

POMPEU JUNIOR, J. Porta-enxertos. In: MATTOS JUNIOR, D.; NEGRI, J. D.; PIO, R. M. POMPEU JUNIOR, J. **Citros**. Campinas:FUNDAG, 2005, p. 63-104.

PRIOR, L. D.; EAMUS, D.; DUFF G. A. Seasonal and Diurnal Patterns of Carbon Assimilation, Stomatal Conductance and Leaf Water Potential in *Eucalyptus tetrodonta* Saplings in a Wet-Dry Savanna in Northern Australia. **Australian Journal of Botany**, v. 45, p. 241-258. 1997.

RIBEIRO, R. V. **Variação sazonal da fotossíntese e relações hídricas de laranja 'Valência'**. 2006, 157p. Tese (Doutorado em Agronomia: Física do ambiente agrícola) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2006.

ROCHA, A. M. dos S.; MORAES, J. A. P. V. Influência do estresse hídrico sobre as trocas gasosas em plantas jovens envasadas de *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.9, n.1, p.43-48, 1997.

ROGERS, A.; ELLSWORTH, D. S.; HUMPHRIES, S. W. Possible explanation of the disparity between the in vitro and in vivo measurements of Rubisco activity: a study in loblolly pine grown in elevated CO<sub>2</sub>. **Journal of Experimental Botany**, v. 52, n. 360, p. 1555-1561, 2001.

SAMPAIO, A. P. R. **Déficit hídrico com ênfase na assimilação de carbono, potencial hídrico foliar, transpiração e condutância estomática em *Talisia esculenta* (A. ST.-HIL.) RADLK.** 2005. 41p. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana. 2005.

SASSAKI, R. M. et al. Effect of water deficiency on photosynthesis of *Dalbergia miscolobium* Benth., a cerrado tree species. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 9, p. 83-87, 1997.

SILVA, B. G.; LEMOS FILHO, J. P. de. Relações hídricas em espécies lenhosas no campus Pampulha/UFMG, Belo Horizonte, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 24, n. 4, p. 519-525, 2001.

SILVA, R. P da. **Organogênese *in vitro* em laranja azeda (*Citrus aurantium* L.) e transformação genética de limão 'Cravo' (*Citrus limonia* L. Osbeck) e laranja 'Valência' (*Citrus sinensis* L. Osbeck) com o gene da replicase do Marafivírus.** 2008. 102 p. Tese (Doutorado Agronomia: Irrigação e drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 2008.

SOCIAS, X. et al. The role of abscisic acid and water relations in drought responses of subterranean clover. **Journal Experimental Botany**, v. 48, p. 1281-1288, 1997.

SOUZA, C. R.; SOARES, A. M.; REGINA, M. A. Trocas gasosas de mudas de videira, obtidas por dois porta-enxertos, submetidas à deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n.10, p. 1221-1230, 2001.

SOUZA, R. P. et al. Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic changes in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. **Environmental and Experimental Botany**, n. 51, p. 45-56, 2004.

SOUZA, R. P. et al. Photosynthetic responses of young cashew plants to varying environmental conditions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p. 735-744, 2005.

STEUDLE, E. Water uptake by roots: effects of water deficit. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, n. 350, p. 1531-1542, 2000.

SYVERTSEN, J. P.; LLOYD, J. Citrus. In: SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P. C. **Handbook of environmental physiology of fruit crops**: sub-tropical and tropical crops. Boca Raton: CRC Press, 1994. v. 2, cap. 4, p.65-99.

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

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

**Bibliografia elaborada segundo orientações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT – NBR 6023 – AGO 2002).**

## **CAPÍTULO 1**

### **RELAÇÕES HÍDRICAS, TROCAS GASOSAS E PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS EM VARIEDADES DE CITROS SUBMETIDAS À DEFICIÊNCIA HÍDRICA<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup> Artigo a ser submetido ao Conselho Editorial do periódico científico Pesquisa Agropecuária Brasileira

# RELAÇÕES HÍDRICAS, TROCAS GASOSAS E PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS EM VARIEDADES DE CÍTROS SUBMETIDAS À DEFICIÊNCIA HÍDRICA

Humberto Lucas Santos de Sant' Anna

Manoel Teixeira de Castro Neto

**RESUMO:** A citricultura nordestina é praticada, geralmente, sem irrigação e a restrição de água é fator limitante ao desenvolvimento da cultura. Objetivou-se avaliar os efeitos do déficit hídrico sobre parâmetros fisiológicos da laranja 'Azeda Jacarandá' e dos limoeiros 'Cravo Santa Cruz' e 'Volkameriano' visando identificar os que apresentassem melhores respostas à seca. O experimento foi desenvolvido no viveiro de mudas do Campo Experimental II no Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB). Quando as plantas apresentaram nove meses de idade foram avaliadas em diferentes regimes hídricos (irrigação - 1 e 3 dias; déficit hídrico - 3, 5, 7 e 11 dias; reirrigação - 1, 2 e 3 dias), sendo monitorado o estado hídrico das plantas através do conteúdo relativo de água (CRA), as trocas gasosas com um analisador de gases a infravermelho portátil (IRGA) e os pigmentos fotossintéticos (clorofila *a*, *b* e *total*) com clorofilômetro *Soil Plant Analytical Division Value* (SPAD). As leituras obedeceram ao curso diário (6, 8, 10, 12, 14 e 16 horas) sendo realizadas em três plantas, duas leituras por planta, totalizando seis repetições por variedade. Quanto ao conteúdo relativo de água e trocas gasosas todas as variedades apresentaram decréscimo no período de déficit hídrico e lenta recuperação com a reirrigação, diferentemente do teor de clorofila *a*, *b* e *total* que mantiveram-se estáveis durante todo o experimento, não sofrendo interferência da deficiência hídrica. Contudo, o limoeiro 'Cravo Santa Cruz' parece ter um mecanismo que lhe permite maior 'status' hídrico, mesmo em situação não limitante de água. As variedades demonstram ser bem adaptadas à situação de seca, podendo ser utilizadas como porta-enxertos cítricos em regiões submetidas à deficiência hídrica.

**Palavras chaves:** Eficiência do uso da água, fotossíntese, clorofila.

## **WATER RELATIONS GAS EXCHANGE AND PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS FOR CITRUS VARIETIES UNDER WATER DEFICIT**

**Humberto Lucas Santos de Sant' Anna  
Manoel Teixeira de Castro Neto**

**ABSTRACT:** The northeastern citrus industry is developed under drought conditions. This work aimed to evaluate the effects of water stress on some physiological parameters of orange 'Jacaranda' sour orange, 'Santa Cruz' rangpur lime and 'Volkamer' lemon for the identification of that one with the best answer under water stress condition. The experiment was carried out under the netting shade nursery of the Experimental Station II of the Federal University of the Reconcavo of Bahia (UFRB). When the plants were nine months old their relative water content (RWC), gas exchange rates and photosynthesizing pigments (chlorophyll *a*, *b* and *total*) were evaluated for irrigation and water deficit conditions. The reading followed the course of the day (6, 8, 10, 12, 14, and 16 hours) using six repetitions for each genotype, using three plants. All the genotypes showed reduced RWC and lower gas exchanged rates under water deficit conditions, and a slow recovery during the re-irrigation period. The levels in chlorophyll *a* and *b* did not show any change under whatever treatment the plants were exposed to. The 'Santa Cruz' rangpur lime seems to have a mechanism that allows it to higher water status under nonlimiting water conditions. All the rootstocks demonstrated to be well adapted to the conditions of the water stress.

**Key words:** water use efficiency, photosynthesis, chlorophyll.

## INTRODUÇÃO

Entre os fatores ambientais que limitam o desenvolvimento dos citros, em muitas áreas cultivadas do mundo, a deficiência hídrica é um dos fatores mais frequentes. É produzida na planta tanto por escassez de água no solo quanto pela perda excessiva de água através da transpiração em relação à absorção feita pelas raízes, sendo esse fator influenciado por condições ambientais e por característica da própria planta (PASSOS et al., 2005).

As citriculturas baiana e sergipana concentram-se na Grande Unidade de Paisagem de Tabuleiros Costeiros que apresenta baixo potencial de armazenamento de água no solo e impedimento físico ao crescimento radicular nos horizontes coesos (REZENDE, 2000). Essas características ocasionam déficit hídrico e, assim, perturbações fisiológicas e morfológicas que afetam o desenvolvimento das plantas resultando em baixa longevidade e produtividade.

Sob déficit hídrico, a interação entre o porta-enxerto e a copa pode se tornar mais significativa, o que pode influenciar o grau de tolerância à seca da cultivar copa (SOUZA et al., 2001). Assim, a magnitude da afinidade entre a combinação copa e porta-enxerto é imperativa, para que essas características sejam maximizadas, principalmente quando consideramos a predominância da citricultura brasileira em condições de sequeiro (Donato et al., 2007), em especial a nordestina.

O monitoramento periódico das variações diurnas do 'status' hídrico foliar e das trocas gasosas, quando associada com as variações climáticas, pode servir como importante ferramenta para a compreensão de como determinada espécie ou genótipo utiliza os recursos naturais disponíveis do ambiente e de como a variação desses recursos pode afetar a produção primária das plantas.

O fechamento estomático, na tentativa de manter o conteúdo hídrico favorável, é uma das primeiras linhas de defesa contra a dessecação, uma vez que a resistência difusiva ao vapor de água reduz a transpiração. Essa redução da abertura do poro estomático, porém, restringe a troca gasosa entre o interior da folha e a atmosfera, causando diminuição na assimilação de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), acarretando prejuízo à capacidade fotossintética (NOGUEIRA; SILVA, 2002; LARCHER, 2004).



Investigações relacionadas ao comportamento aos citros em condições de baixa disponibilidade hídrica vêm sendo desenvolvidas (Medina et al., 1998; Machado et al., 2002; Machado et al., 2005; Donato et al., 2007), entretanto, essas pesquisas são voltadas a compreensão dos processos fisiológicos em mudas já enxertadas ou em plantas adultas em produção.

Pesquisas voltadas à identificação de novos porta-enxertos promissores para o cultivo em regiões tropicais são raras, dentre essas podemos citar as realizadas por Cerqueira et al. (2004) com porta-enxertos comerciais e híbridos, onde, através de caracteres fisiológicos pôde-se classificar os porta-enxertos em níveis de tolerância ao déficit. O emprego de caracteres fisiológicos é de grande importância na avaliação da tolerância à seca de diferentes genótipos (NOGUEIRA et al., 2002).

Frente à importância econômica e social que o parque citrícola nordestino tem no cenário nacional, é preocupante a vulnerabilidade dos pomares frente à ação de estresses bióticos e abióticos, principalmente em razão da predominância no uso do limoeiro 'Cravo' (*Citrus limonia* Osbeck) na sua sustentação.

Diante a posição de destaque que o cultivo dos citros assume nos Tabuleiros Costeiros, faz-se necessário realizar estudos sobre o comportamento de porta-enxertos desenvolvidos com vistas ao plantio em regime de sequeiro e que possam apoiar a diversificação dos pomares.

Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o conteúdo relativo de água, as trocas gasosas (transpiração, condutância estomática e fotossíntese) e os pigmentos fotossintéticos em variedades de citros, com finalidade de uso como porta-enxerto, visando identificar as que apresentam melhores respostas ao déficit hídrico, sendo relativamente tolerantes à seca.

## MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido na Estação Experimental II da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), no município de Cruz das Almas – BA, a 12°40'19" de Latitude Sul e 39°06'22" de Longitude Oeste de Greenwich, tendo 220 m de altitude. O clima se caracteriza por ser tropical, quente úmido, Aw a Am, segundo a classificação de Köppen. A pluviosidade

anual da região é de 1.224 mm, assim como a temperatura média anual de 22,45 °C e a umidade relativa de 80% (ALMEIDA, 1999).

As variáveis climáticas: radiação global, temperatura média do ar, umidade relativa do ar e o déficit de pressão de vapor do ar (DPV), referentes ao período do experimento, foram fornecidas pela estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2008), localizada próximo ao experimento.

Neste estudo foram empregadas variedades cítricas utilizadas como porta-enxertos, indicadas pelo Programa de Melhoramento Genético da EMBRAPA Mandioca e Fruticultura Tropical, a saber: limoeiros 'Cravo Santa Cruz' e 'Volkameriano' (*C. volkameriana* V. Ten. & Pasq.) e laranjeira 'Azeda Jacarandá' (*C. aurantium* L.), que se caracterizam por sua boa tolerância à seca, em nível de campo.

Para a formação dos *seedlings* (pés-francos ou plantas obtidas de sementes), sementes das mencionadas variedades-porta-enxerto foram retiradas de frutos maduros obtidos de plantas matrizes do Banco Ativo de Germoplasma de Citros da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, localizado no município de Cruz das Almas. Após lavagem e secagem, as sementes foram postas para germinar em bandejas de isopor tipo colméia preenchidas com composto orgânico estabilizado (fibra de dendê, farinha de rocha e esterco de galinha na proporção de 1:1:1), em viveiro com cobertura de sombrite preto com interceptação de 50% da radiação solar.

Após dois meses da semeadura (Abril/2008) foram selecionados 60 *seedlings* de origem nucelar, dentre os mais vigorosos, que apresentavam dois pares de folhas permanentes, transferindo-os para vasos cítricos com capacidade de 7 litros (*citrospote*), preenchidos com uma mistura do composto orgânico estabilizado (mesmo da sementeira) e areia lavada, na proporção de 1:1.

Durante o período experimental foram realizados os seguintes tratamentos culturais: capina manual das plantas invasoras; adubação via foliar com Nipokan 108 (Fênix Agroindústria, Brasil) a 1,5% a cada quinze dias, da transferência para o *citrospote* até o início das avaliações; e controle químico da lavra minadora-dos-citros, *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae), com aplicações do produto comercial Decis 25 CE (Bayer CropScience, França).

As plantas receberam irrigações periodicamente dos sete meses de idade, após transferência para os vasos, até o momento em que foram submetidas à deficiência hídrica progressiva (novembro/2008), mediante a interrupção da irrigação. Após apresentarem sintomas de murcha nas folhas e taxas de fotossíntese próximas de zero, as plantas foram novamente irrigadas.

Durante a aplicação dos regimes hídricos (irrigação, déficit hídrico e reirrigação) foram monitoradas as trocas gasosas: fotossíntese (A), transpiração (E) e condutância estomática; o conteúdo relativo de água na folha (CRA); e o teor de clorofila *a*, *b* e *total*. Através da relação dos valores de 'A' e 'E' calculou-se a eficiência do uso da água (EUA).

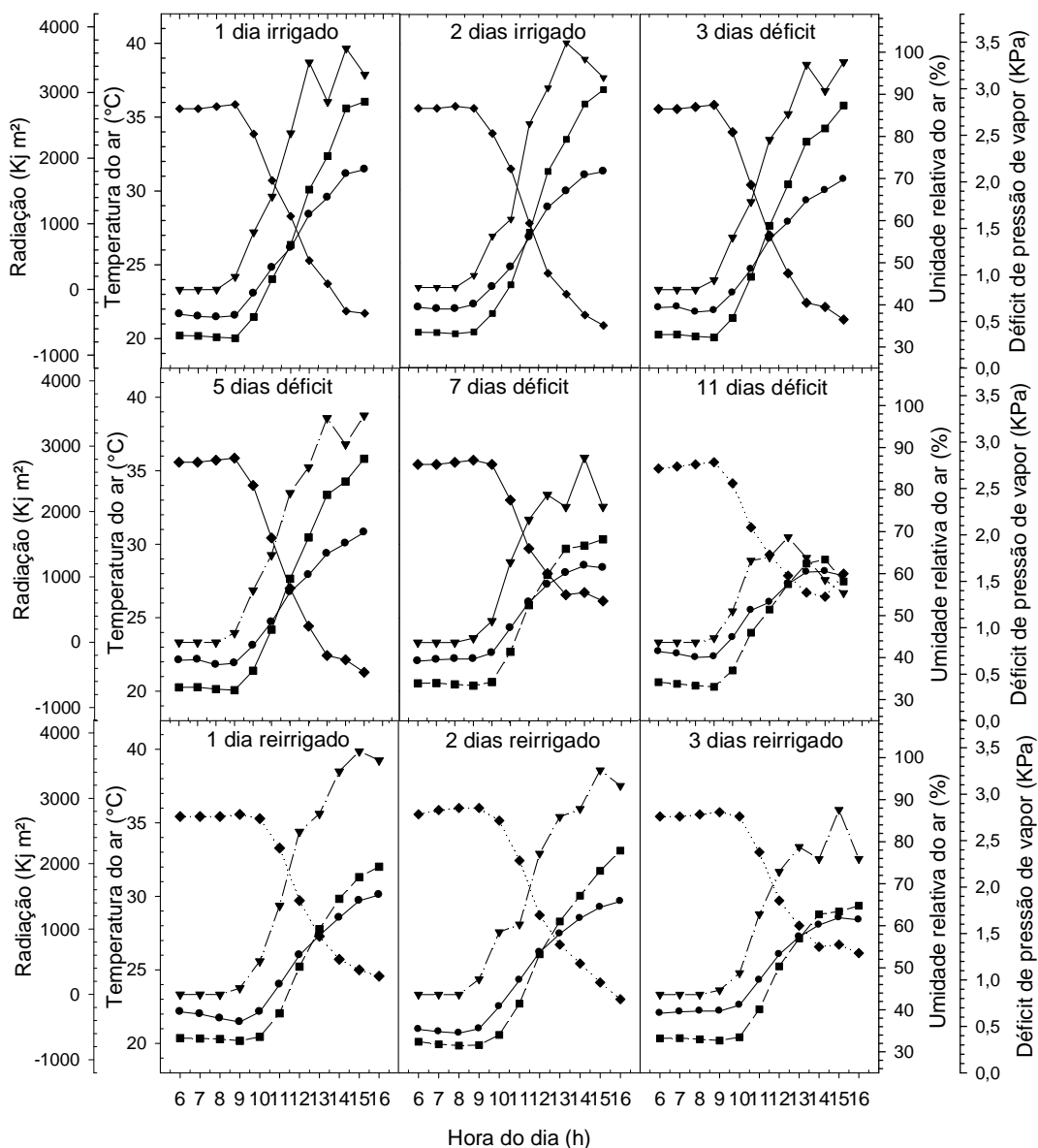
As medições de trocas gasosas foram realizadas com um analisador de gases a infravermelho portátil (IRGA), modelo LCA4 (ADC Corp. England, USA), com uma taxa de fluxo ajustada para  $350 \mu\text{mol s}^{-1}$  e razão estomática de 0,5. Essas variáveis foram medidas ao longo do dia às 6, 8, 10, 12, 14 e 16 horas, considerando a quarta folha madura a contar do ápice. Foram realizadas duas leituras por folha em três plantas, totalizando seis leituras por variedade, em cada horário.

O CRA foi determinado após as leituras de trocas gasosas, às 14 horas, seguindo metodologia descrita por Turner (1981), em folhas na posição mediana das plantas, sendo utilizadas em três plantas por variedade.

Os teores de clorofila *a*, *b* e *total* foram estimados por um medidor portátil de clorofila ClorofiLOG CFL1030 (Falker, Brasil), nas mesmas folhas e períodos em que foram realizadas as medidas de trocas gasosas, sendo cinco leituras por folha em três plantas, totalizando 15 leituras por variedade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis climáticas registradas durante a execução do experimento são apresentadas na Figura 1. Pode-se constatar que os valores para as variáveis ambientais foram de 20,5 °C a 31,8 °C; 33% a 89,5%; 0,25 kPa a 3,15 kPa; 59,3 KJ m<sup>2</sup> a 3.760 KJ m<sup>2</sup>, respectivamente, para temperatura, umidade relativa do ar, déficit de pressão do ar e radiação fotossinteticamente ativa .



**Figura 1.** Dados climatológicos no período experimental. Cruz das Almas, BA 2009. ● Temp.; ■ DPV; ◆ UR%; ▼ Rad.

De forma geral, as condições climáticas mantiveram-se semelhantes durante o regime de irrigação até o 5º dia de déficit hídrico. Entretanto, a partir do 7º dia de restrição hídrica observou-se diminuição na radiação solar, na temperatura do ar, e no déficit de pressão de vapor, e aumento na umidade relativa do ar no período da tarde. Com 11 dias de suspensão hídrica esse decréscimo ficou mais evidente, possivelmente ocasionada por céu nublado, com temperaturas mais amenas e umidade relativa do ar próxima a 60%. No período

em que as plantas foram reirrigadas as características climáticas apresentaram configurações semelhantes às iniciais do experimento.

Trabalhos que envolvem o monitoramento de aspectos fisiológicos sob condições naturais são afetados pelas condições climáticas, mas dão uma oportunidade para melhor entender os fatores que mais influenciam o metabolismo das plantas.

O conteúdo relativo de água (CRA) foi afetado significativamente pela imposição dos regimes hídricos (irrigação, déficit hídrico e reirrigação). Conforme a Figura 2, observa-se que no período de irrigação a laranjeira 'Azeda Jacarandá' apresentou o valor médio para o CRA de  $83,16\% \pm 6,68$ , o limoeiro 'Cravo Santa Cruz' de  $84,30\% \pm 1,20$  e o 'Volkameriano' de  $85,71\% \pm 4,35$ . Os valores evidenciam que esses genótipos apresentam a mesma capacidade de retenção de água nas células do mesofilo foliar sob condição de disponibilidade hídrica.

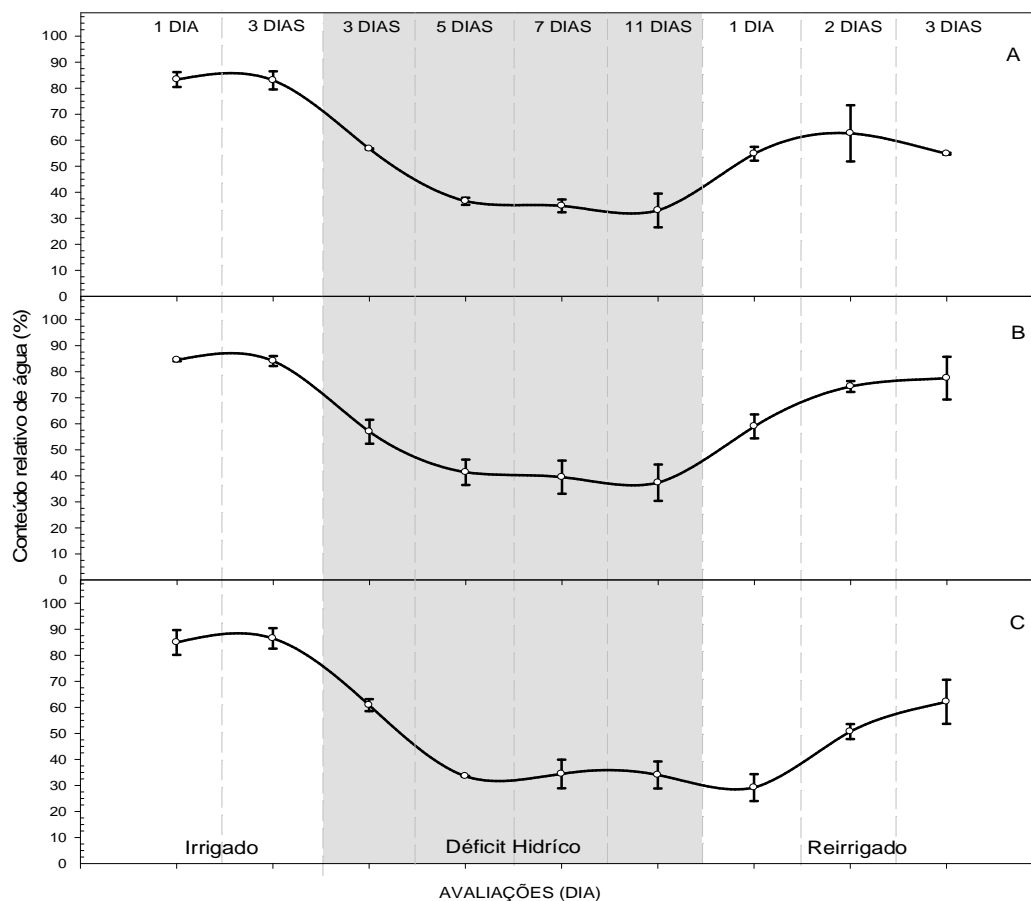
Com 3 dias de déficit hídrico já foi possível observar redução no CRA da laranjeira 'Azeda Jacarandá', 'Cravo Santa Cruz', e 'Volkameriano' de 31,72%, 32,45% e 28,99%, respectivamente.

Durante a suspensão da irrigação o decréscimo do CRA foi progressivo, com máxima redução aos 11 dias de déficit hídrico. Nesse dia a laranjeira 'Azeda Jacarandá' apresentou  $33,02\% \pm 6,48$ , o limoeiro 'Volkameriano'  $34,01\% \pm 5,19$  e limoeiro 'Cravo Santa Cruz'  $37,36\% \pm 7,00$ .

O efeito do déficit hídrico sobre o 'status' de água nas folhas dos citros são descritos por diversos autores (Medina et al., 1999; Cerqueira et al., 2004; Gomes et al., 2004; Donato et al., 2007), onde todos verificaram que com o aumento dos dias sem irrigação há diminuição no potencial hídrico.

Ao final do período de déficit hídrico pôde-se observar que as folhas encontravam-se num ponto de murcha bastante avançado, com enrolamento, sintoma típico de plantas sob estresse hídrico, porém sem registro de abscisão foliar.

Como para esse período as condições climáticas foram praticamente estáveis a redução do CRA dos genótipos foi consequência direta da maior pressão de déficit hídrico devido à falta de água no solo. Em um solo sem recarga de água, sua condição hídrica diminui gradualmente.



**Figura 2.** Conteúdo relativo de água em plantas de laranja 'Azeda Jacarandá' (A) (*C. limonia* Osbeck) e de limoeiros 'Cravo Santa Cruz' (B) (*C. aurantium* L.) e 'Volkameriano' (C) (*C. volkameriana* V. Ten. & Pasq) submetidos a diferentes regimes hídricos. As barras representam desvio-padrão (n=6). Cruz das Almas – BA. 2009.

Correlação entre a disponibilidade hídrica do solo, o potencial hídrico foliar e o conteúdo relativo de água em laranja foi verificada por Machado et al. (1999), em que o potencial hídrico da folha foi reduzido à medida que a planta apresentou decréscimo no CRA, ocasionada pela redução da umidade do substrato.

Apesar de o potencial hídrico ser a variável mais comumente utilizada para determinar o 'status' hídrico nos vegetais, ainda existe uma grande controvérsia sobre o efeito potencial hídrico sobre os aspectos fisiológicos. Para Turner (1981) o efeito do potencial hídrico é viabilizado mediante seus componentes osmótico e de turgescência. Como o CRA é uma representação do estado hídrico da planta em máxima turgescência, outros autores (Kramer, 1983; Kramer e Boyer, 1995)

sugerem que os fatores fisiológicos são mais responsivos ao CRA que ao potencial hídrico da planta.

Cerqueira et al. (2004) relatam que os limoeiros 'Volkameriano', 'Cravo Santa Cruz' e a laranjeira 'Azeda' submetidos a 8 dias de déficit hídrico apresentaram potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) de -2,70; -2,67 e -2,01 MPa, respectivamente, classificando o 'Volkameriano' com o mais sensível à deficiência hídrica do solo.

Redução do potencial hídrico foliar de -0,5 MPa para -2,0 MPa em mudas de 18 meses de laranjeira 'Valência' (*C. sinensis*) enxertada sobre limoeiro 'Cravo' é relatado por Medina et al. (1999), após 8 dias de exposição das plantas ao déficit hídrico.

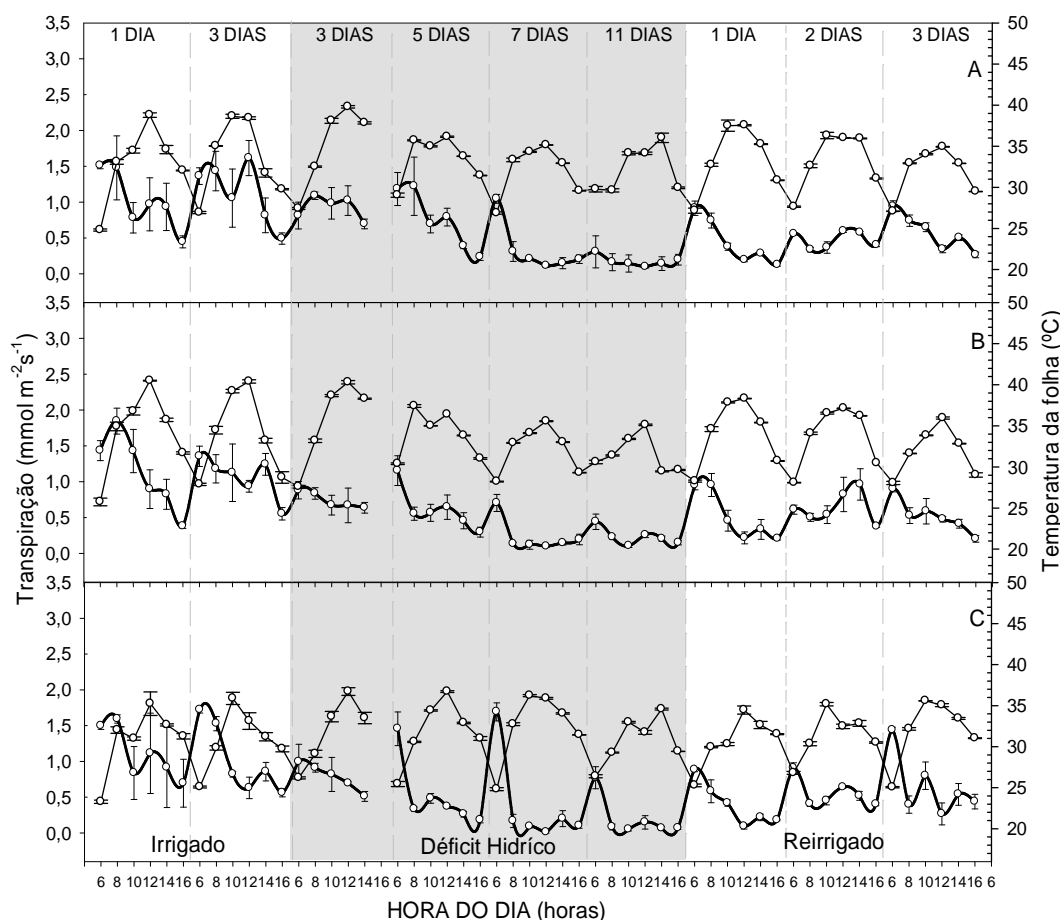
A laranjeira 'Azeda Jacarandá' e o limoeiro 'Cravo Santa Cruz', após a reirrigação, demonstraram recuperação logo no primeiro dia (acréscimo de 39,73% e 36,67%, respectivamente). Entretanto, mesmo com 3 dias de reirrigação a laranjeira 'Azeda Jacarandá' não havia recuperado o estado hídrico semelhante à fase inicial (irrigação plena), diferentemente do limoeiro 'Cravo Santa Cruz' que apresentou recuperação rápida e progressiva retornando ao conteúdo relativo de água igual ao observado nos dois primeiros dias de avaliação.

Resultados semelhantes ao monitorado neste trabalho são descritos por Cerqueira et al. (2004) para a laranjeira 'Azeda' na fase de reirrigação, onde observaram que esse genótipo recuperou-se (acréscimo de 60%) do déficit hídrico logo no 1º dia do retorno da irrigação.

Quanto ao limoeiro 'Volkameriano', não houve recuperação como nos outros genótipos no 1º dia de reirrigação, permanecendo com valor do CRA igual ao período de estresse. Esse porta-enxerto apresentou resposta lenta à reirrigação, com acréscimo significativo de 42,44% com 2 dias de reirrigação. Com 3 dias de re-hidratação ainda não havia retornado aos padrões observados no início do experimento, corroborando com os dados de CERQUEIRA et al. (2004).

Analisando o comportamento das plantas através desta variável identifica-se no limoeiro 'Cravo Santa Cruz' características inerentes a um genótipo adaptado à seca, apoiando as informações descritas na literatura (EMBRAPA, 2005).

Os porta-enxertos tiveram as taxas transpiratórias claramente influenciadas conforme o manejo hídrico empregado (Figura 3). Quando as plantas foram irrigadas, a laranjeira ‘Azeda Jacarandá’ apresentou taxa máxima de  $1,51 \pm 0,05 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , para o limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ de  $1,85 \pm 0,18 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e de  $1,72 \pm 0,04 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para o limoeiro ‘Volkameriano’, valores registrados nas horas mais amenas do dia.



**Figura 3.** Transpiração (□) e temperatura da folha (○) em plantas de laranjeira ‘Azeda Jacarandá’ (A) (*C. limonia* Osbeck) e de limoeiros ‘Cravo Santa Cruz’ (B) (*C. aurantium* L.) e ‘Volkameriano’ (C) (*C. volkameriana* V. Ten. & Pasq) submetidos a diferentes regimes hídricos. As barras representam desvio-padrão (n=6). Cruz das Almas – BA. 2009.

No 3° e 5° dias sem irrigação as variedades estudadas mantiveram taxas transpiratórias relativamente altas somente pela manhã (às 6 horas), a partir daí as taxas diminuíram sensivelmente, alcançando valores mínimos de  $0,70 \pm 0,07$  e  $0,24 \pm 0,05 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para laranjeira Azeda Jacarandá, para os limoeiros



Cravo Santa Cruz foram observados valores de  $0,64 \pm 0,07$  e  $0,30 \pm 0,07$   $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e para o Volkameriano de  $0,51 \pm 0,07$  e  $0,18 \pm 0,07$   $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

Após 7 dias de estresse hídrico os genótipos ainda conseguiram manter taxas de transpiração pela manhã, por outro lado, as plantas apresentaram transpiração baixíssima, com valores próximos de zero. Para a 'Azeda Jacarandá', no 11º dia de déficit, praticamente, durante todo o dia as taxas zeraram, para os limoeiros 'Cravo Santa Cruz' e 'Volkameriano' ainda foi possível verificar pequena oscilação na transpiração, sendo este último o que apresentou maior taxa pela manhã.

No 1º dia de reirrigação as taxas de transpiração para os genótipos 'Azeda Jacarandá', 'Cravo Santa Cruz' e 'Volkameriano' alcançaram valores de  $0,92 \pm 0,10$ ;  $0,95 \pm 0,06$ ; e  $0,89 \pm 0,03$   $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , com recuperação acentuada pela parte da manhã. Embora com 3 dias de reirrigação essas variedades não tenham recuperado as taxas transpiratórias observadas no início do experimento, o limoeiro 'Volkameriano' apresentou as maiores taxas, tendo recuperação mais evidente.

A lenta recuperação das taxas transpiratórias pode estar relacionada ao acúmulo de ácido abscísico (ABA) nos tecidos da planta. Gomes et al. (2004) observaram em *C. sinensis* e *C. limonia*, submetidos a déficit hídrico, que a taxa de transpiração não foi totalmente recuperada antes da redução do nível de ABA nas folhas.

Efeitos do déficit hídrico sobre a transpiração, similares aos verificados neste experimento, foram observados em laranjeira 'Valência' de 18 meses de idade enxertada em limoeiro 'Cravo', cultivada em casa de vegetação (Medina et al., 1999) e por Sampaio (2005) em pitombeira [*Talisia esculenta* (A. ST.-HIL.)] submetida à déficit hídrico e reirrigação.

Do total de água absorvido pela planta, cerca de 95% são utilizados para manter o equilíbrio térmico por transpiração (VIEIRA JUNIOR et al., 2007). A variação na transpiração, portanto, afeta diretamente a temperatura da planta, mais especificamente, a temperatura foliar.

Para as variedades estudadas verificou-se comportamento semelhante para a temperatura da folha durante todo o período experimental, independente dos regimes hídricos, proporcionando às plantas a mesma sensação térmica. Os aumentos da temperatura foliar durante o dia podem ser pronunciados em plantas

submetidas à seca e/ou à alta irradiância de luz solar (TAIZ ; ZEIGER, 2004). Portanto, o padrão térmico observado neste trabalho parece estar mais relacionado à radiação solar do que ao déficit hídrico.

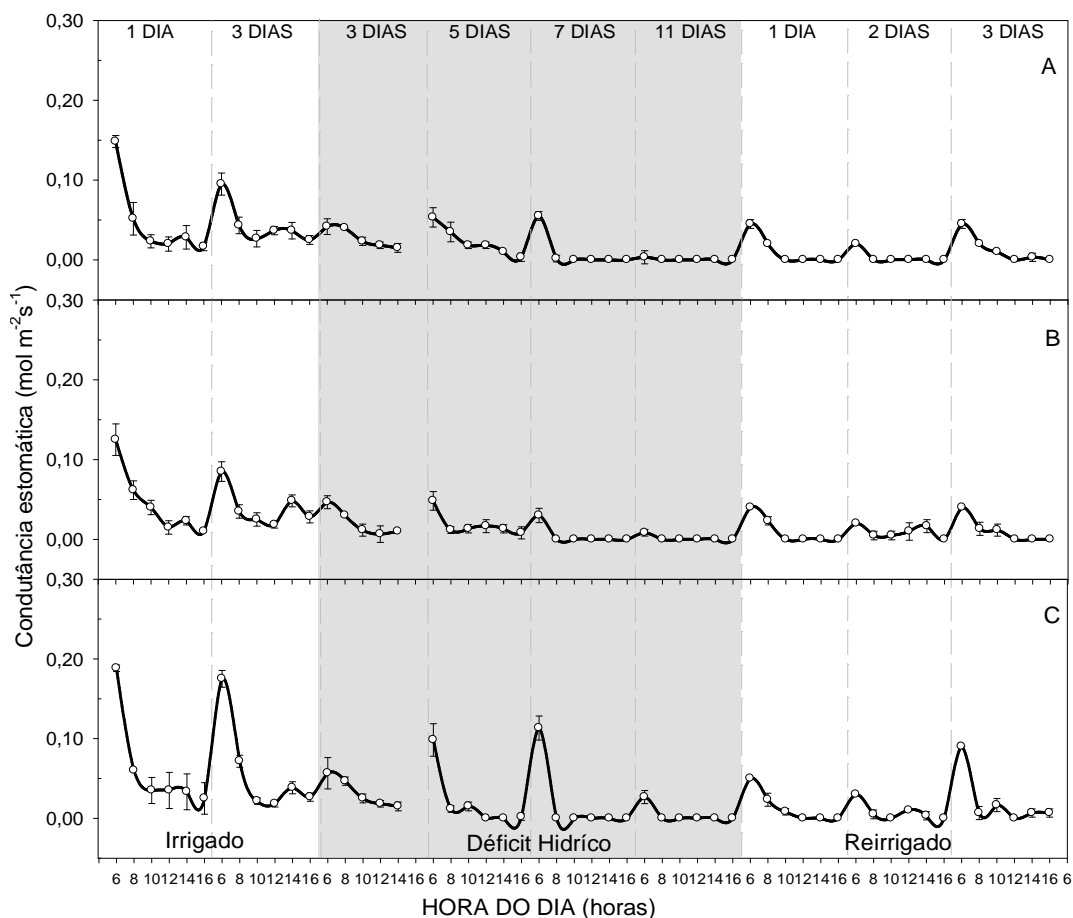
Machado et al. (2005), relatam que a faixa ideal da temperatura foliar para citros está entre 25 °C e 30 °C. Neste trabalho a laranjeira 'Azeda Jacarandá' apresentou variação de  $24,81 \pm 0,14$  °C a  $39,81 \pm 0,15$  °C, os limoeiros 'Cravo Santa Cruz' de  $25,75 \pm 0,47$  °C a  $40,49 \pm 0,49$  °C, e o 'Volkameriano'  $23,2 \pm 0,20$  °C a  $36,72 \pm 0,47$  °C (Figura 3), valores estes acima do indicado pelos referidos autores.

O comportamento das plantas sob condições de déficit hídrico pode ser avaliado mediante a atuação da condutância estomática, que reflete a atuação dos estômatos em resposta à perda de vapor de água (Silva et al., 2003), como mencionado anteriormente.

Neste trabalho, as variedades apresentaram condutância estomática mais elevada no início da manhã (às 6 horas) para todos os dias avaliados, com valores máximos de  $0,15 \pm 0,01$  mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> para a laranjeira 'Azeda Jacarandá', de  $0,13 \pm 0,02$  mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> para o limoeiro 'Cravo Santa Cruz' e de  $0,19$  mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> para o 'Volkameriano' (Figura 4).

Assim como para essas variedades, plantas de laranjeira 'Valência' enxertadas em limoeiro 'Cravo' com três anos de cultivo sob irrigação contínua apresentaram picos de maior abertura estomática no período matutino, decaindo no período vespertino quando ocorre o aumento significativo do DPV e da temperatura, conforme MACHADO et al. (2002). Segundo os mesmos autores, essa característica de resposta dos estômatos às condições ambientais talvez seja uma adaptação à seca visando garantir a retenção do conteúdo de água, principalmente em regiões onde há alta demanda atmosférica.

Os valores encontrados neste trabalho assemelham-se aos observados por Gomes et al. (2004) em laranjeira 'Pera' (*C. sinensis*) enxertada sobre limoeiro 'Cravo' ( $0,04$  a  $0,12$  mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), cultivada em solo na capacidade de campo. Machado et al. (1999) registraram valores entre  $0,20$  e  $0,40$  mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> em plantas irrigadas de laranjeira 'Valência' enxertada sobre o limoeiro 'Cravo' com sete meses de idade.



**Figura 4.** Condutância estomática em plantas de laranjeira ‘Azeda Jacarandá’ (A) (*C. limonia* Osbeck) e de limoeiros ‘Cravo Santa Cruz’ (B) (*C. aurantium* L.) e ‘Volkameriano’ (C) (*C. volkameriana* V. Ten. & Pasq) submetidos a diferentes regimes hídricos. As barras representam desvio-padrão (n=6). Cruz das Almas – BA. 2009.

Com 5 dias de déficit hídrico os porta-enxertos ainda apresentavam seus estômatos parcialmente abertos, com taxas mais elevadas pela manhã (às 6 horas) com decréscimo ao curso diário, chegando a valores próximos de zero no final da tarde. Nesse período chama-se atenção para o limoeiro ‘Volkameriano’, que no 5° e 7° dias de déficit apresentou taxa de  $0,10 \pm 0,02 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para ambos os dias. Ao 11° dia de deficiência hídrica os valores para essa variável chegaram a zero, com o ‘Volkameriano’ apresentando leve condutância de  $0,03 \pm 0,01 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

Efeito do déficit hídrico sobre a abertura estomática em citros também foi verificado por outros autores (Medina et al., 1998; Medina et al., 1999;

Habermann et al., 2003), demonstrando sensibilidade do aparelho estomático à diminuição do conteúdo relativo de água na folha.

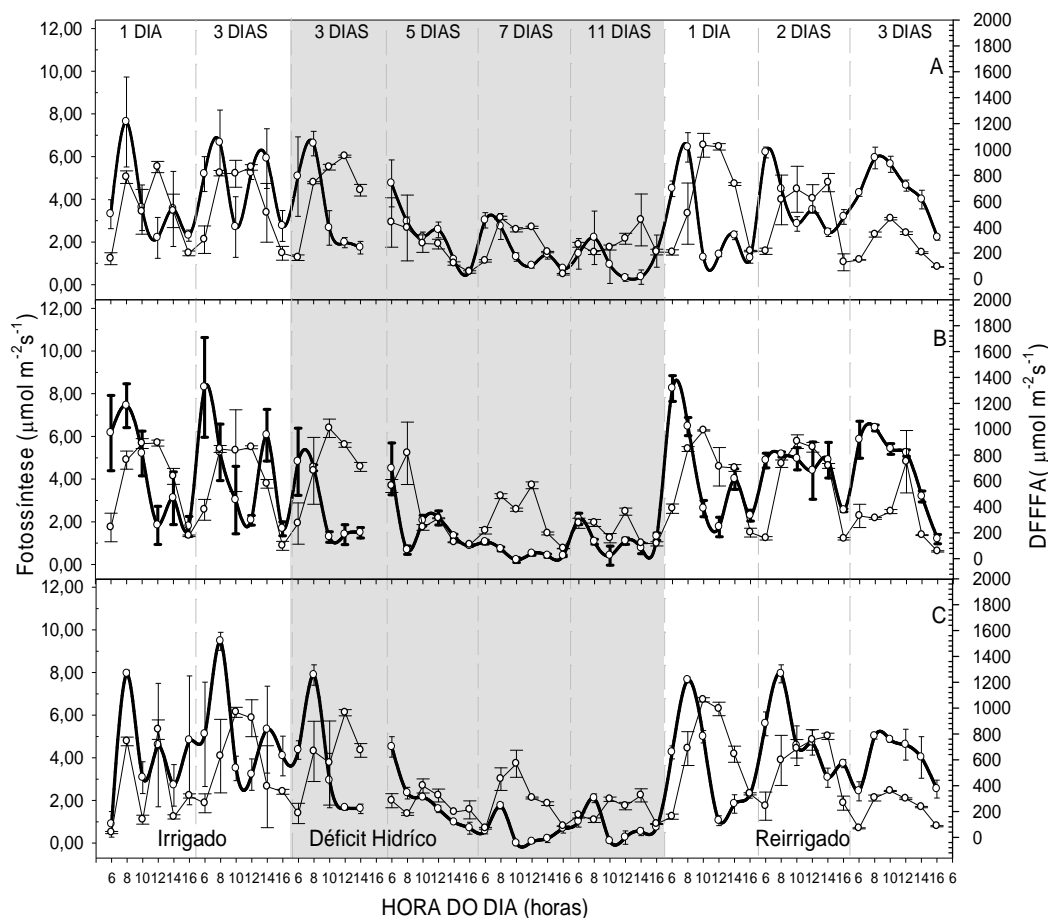
O retorno da condutância foi verificado com 1 dia de reirrigação, com valores de  $0,05 \pm 0,01$ ;  $0,04$  e  $0,05 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para a laranjeira 'Azeda Jacarandá', 'Cravo Santa Cruz' e 'Volkameriano', respectivamente, na primeira hora de avaliação no dia. As maiores taxas, após 3 dias de reirrigação, foram verificadas para o limoeiro 'Volkameriano' ( $0,09 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), entretanto nenhum dos genótipos recuperou o comportamento verificado no início do experimento (Figura 4).

Em situação de déficit, a condutância estomática também é afetada pelo acúmulo de ABA, proveniente das raízes, nas células-guarda. Especificamente em citros, Gomes et al. (2004) observaram aumento significativo na concentração de ABA em laranjeira 'Pera' enxertada em limoeiro 'Cravo', ao passo que a condutividade estomática decrescia. Com uma possível reirrigação das plantas, a concentração de ABA diminui vagarosamente, requerendo vários dias para atingir os valores observados antes do estresse (MACHADO et al., 1999).

Quando os estômatos fecham, em resposta ao decréscimo do potencial de água na folha, as plantas respondem de maneira diferenciada devido ao baixo suprimento de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) para o aparelho fotossintético. Através do monitoramento da fotossíntese nos genótipos, verificou-se que a assimilação de  $\text{CO}_2$  foi influenciada pelos regimes hídricos impostos às plantas de citros (Figura 5).

No período em que as plantas estavam hidratadas, as taxas fotossintéticas foram altas, com máxima pelo período da manhã (8 horas) para a laranjeira 'Azeda Jacarandá' ( $7,62 \pm 2,11 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), limoeiro 'Cravo Santa Cruz' ( $8,30 \pm 2,34 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e 'Volkameriano' ( $9,47 \pm 0,42 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), no entanto, também foram observados picos no período da tarde (14 horas).

Medina et al. (1999) atribuíram o aumento da fotossíntese até às 9 horas ao incremento da densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos. Após esse horário o declínio da fotossíntese foi relacionado ao aumento do DPV e da temperatura.



**Figura 5.** Fotossíntese ( — ) e densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativa (DFFFA) ( — ) em plantas de laranja 'Azeda Jacarandá' (A) (*C. limonia* Osbeck) e de limoeiros 'Cravo Santa Cruz' (B) (*C. aurantium* L.) e 'Volkameriano' (C) (*C. volkameriana* V. Ten. & Pasq) submetidos a diferentes regimes hídricos. As barras representam desvio-padrão (n=6). Cruz das Almas – BA. 2009.

Esses autores ainda relataram que, especificamente para citros, a queda da fotossíntese ocorre em DPV acima de 1,5 KPa a 2,0 KPa e temperatura acima de 31 °C, podendo ter recuperação parcial no período da tarde quando o DPV e a temperatura diminuem. Condições ambientais semelhantes foram observadas neste trabalho (Figura 1).

Com 3 dias de déficit hídrico, todos os genótipos começaram a sentir o efeito do estresse, porém, os maiores níveis de assimilação de CO<sub>2</sub> ainda permaneciam pela manhã, decrescendo ao longo do dia sem mais haver recuperação significativa no período da tarde. Durante essa fase a redução de fotossíntese foi progressiva.

Com 11º dia de estresse hídrico os maiores valores para fotossíntese foram: laranja 'Azeda Jacarandá'  $2,20 \pm 1,25 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , limoeiro 'Cravo Santa Cruz'  $2,14 \pm 0,27 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e 'Volkameriano'  $2,11 \pm 0,20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , apresentando durante o curso diário valores nulos. Outros autores observaram queda progressiva na fotossíntese em laranja 'Valência' enxertada em limoeiro 'Cravo' à medida que o estresse era prolongado, com valor próximo de zero aos 10 dias de déficit (MEDINA et al., 1999; GOMES et al., 2004).

A recuperação da taxa fotossintética nas variedades estudadas ocorreu de forma imediata, com 1 dia de reirrigação, permitindo que a laranja 'Azeda Jacarandá' e os limoeiros 'Cravo Santa Cruz' e 'Volkameriano' apresentassem nas primeiras horas do dia valores de  $6,43 \pm 0,69$ ;  $8,24 \pm 0,60$  e  $7,65 \pm 0,13 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente. Porém, ao final das avaliações não foram registradas taxas no mesmo padrão das observadas no início do experimento, o que pode ser justificado pela lenta recuperação da condutividade estomática, conforme Figura 4.

A recuperação lenta dos citros após reirrigação também é descrita por MEDINA et al. (1999), MACHADO et al. (2002) e GOMES et al. (2004). Os dois primeiros trabalhos relatam que com 3 e 4 dias de reirrigação as taxas de fotossíntese em 'Valência' sobre 'Cravo' ainda não haviam sido recuperado. Gomes e colaboradores, por sua vez, observaram recuperação para a mesma combinação após 10 dias de irrigação.

A radiação solar é um dos fatores ambientais que mais influenciam o crescimento e a distribuição das espécies vegetais em diversos ecossistemas, onde seus valores variam de forma temporal e espacial, interferindo na rota fotossintética das plantas.

Ainda na Figura 5, verificam-se os valores da densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA), registrados durante as leituras das trocas gasosas. De modo geral, o curso diário da DFFFA apresentou-se mais elevado entre as 10 e 12 horas, com valores menores no início e no final do dia.

Os maiores valores para fotossíntese registrados no período em que as plantas estavam irrigadas e em recuperação para a laranja 'Azeda Jacarandá' e o limoeiro 'Cravo Santa Cruz' ficaram entre 400 e 800  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , enquanto que para o limoeiro 'Volkameriano' esse valores corresponderam de 600 a 800  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

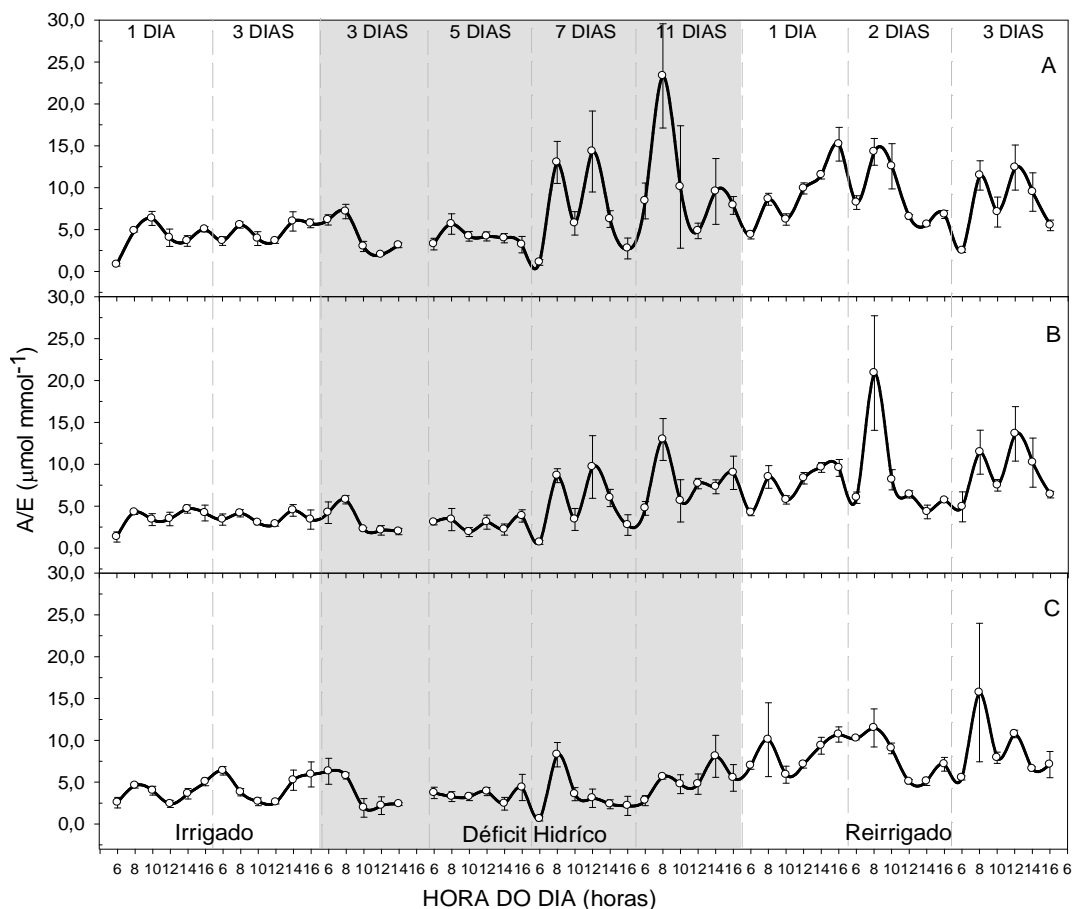
A fotossíntese foi mais influenciada pelo déficit hídrico do que pela radiação luminosa no período de suspensão hídrica. A baixa taxa de DFFFA do 5º ao 11º dia de déficit resultou das condições climáticas observadas, onde o céu encontrava-se com alta nebulosidade.

Níveis de irradiância ideal para fotossíntese, condutância e transpiração para os citros são descritos por diversos autores. Habermann et al. (2003) obtiveram máxima fotossíntese em laranjeiras 'Pera' com radiação na faixa de  $600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Pimentel et al. (2004) descreveram que para *C. limon* a saturação da fotossíntese (fotoinibição) é alcançada na faixa de  $600 - 800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Conforme estudos de Machado et al. (2005), a laranjeira 'Valência' apresentou ponto de saturação de luz ao redor de  $750 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , em 'Murcott' (híbrido) e limeira ácida 'Tahiti' (*C. latifolia* (Yu Tanaka) Tanaka) o ponto de saturação não ficou bem definido, pois acima de  $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  foram constatadas respostas positivas para a fotossíntese.

A relação entre a fotossíntese e a transpiração define a eficiência do uso da água (EUA), sendo utilizada para demonstrar a capacidade que os vegetais têm de absorver e assimilar  $\text{CO}_2$  em detrimento da perda de água através de vapor. Para as variedades Azeda Jacarandá, Cravo Santa Cruz e Volkameriano, a EUA é apresentada na Figura 6, onde observa-se que os genótipos tiveram o mesmo desempenho durante todo o experimento.

Embora sejam plantas de metabolismo  $\text{C}_3$ , os citros apresentam altos valores de EUA em comparação com outras espécies herbáceas (MEDINA et al., 1999).

Para o período em que as plantas foram irrigadas normalmente, o maior valor da EUA para a laranjeira 'Azeda Jacarandá' foi de  $7,39 \pm 1,07 \mu\text{mol mol}^{-1}$ ;  $6,04 \pm 1,08 \mu\text{mol mol}^{-1}$  para o limoeiro 'Cravo Santa Cruz' e  $7,25 \pm 1,37 \mu\text{mol mol}^{-1}$  para o limoeiro 'Volkameriano', valores registrados no período da tarde. Esses valores indicam que as trocas gasosas nessas variedades são mantidas normalmente, sem restrições, quando as plantas são cultivadas em solo com disponibilidade hídrica.



**Figura 6.** Eficiência no uso da água (A/E) em plantas de laranjeira ‘Azeda Jacarandá’ (A) (*C. limonia* Osbeck) e de limoeiros ‘Cravo Santa Cruz’ (B) (*C. aurantium* L.) e ‘Volkameriano’ (C) (*C. volkameriana* V. Ten. & Pasq) submetidos a diferentes regimes hídricos. As barras representam desvio-padrão (n=6). Cruz das Almas – BA. 2009.

Como ainda não é possível determinar qual fator é responsável pela percepção da condição hídrica (Kramer, 1988; Passioura, 1988; Schulze et al., 1988), podemos assumir que nesses genótipos o controle da perda de água é estomático. Outros mecanismos que conferem à planta um aumento na eficiência do uso da água, como elasticidade da parede celular e ajustamento osmótico, ainda não foram amplamente estudados nos citros.

Machado et al. (1999), em estudo com laranjeira ‘Valência’ enxertada em limoeiro ‘Cravo’, aos dois anos de idade, observaram taxa para EUA por volta de  $3,0 \mu\text{mol mol}^{-1}$  às 12 horas. Medina et al. (1999) encontraram valores de aproximadamente  $1,5 \mu\text{mol mol}^{-1}$  para a mesma combinação copa/porta-enxerto



no mesmo horário observado pelos autores anteriores, com maior EUA determinada entre as 8 e 10 horas.

No estudo aqui realizado, a taxa média observada nesse mesmo horário para o limoeiro 'Cravo Santa Cruz' no período de plena irrigação foi de  $2,10 \pm 0,36 \mu\text{mol mol}^{-1}$ .

A eficiência do uso da água apresentada no período de irrigação manteve-se até o 5º dia de déficit hídrico. Isso demonstra que apesar de os genótipos estudados estarem com o conteúdo relativo de água em déficit progressivo, eles mantiveram o aparelho fotossintético funcionando com redução da liberação de vapor d'água para a atmosfera.

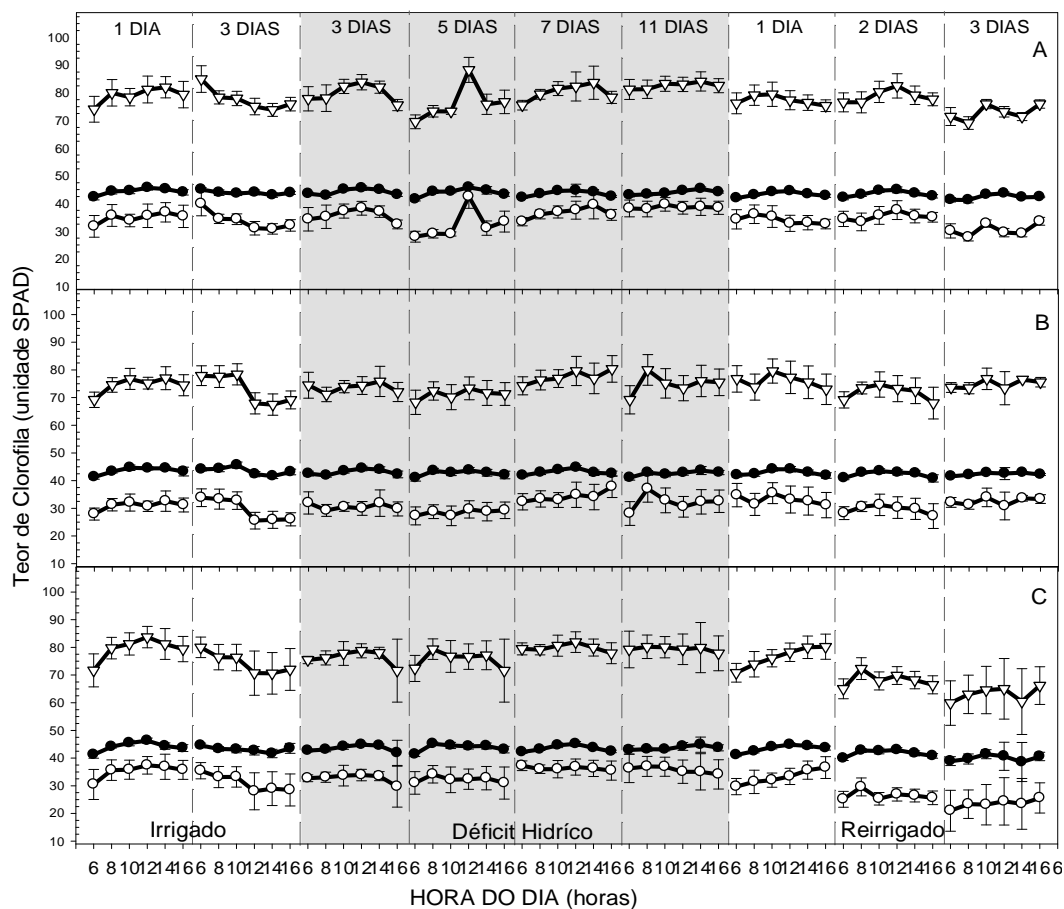
A partir do 7º dia de suspensão da irrigação houve um aumento significativo na EUA para a laranja 'Azeda Jacarandá' e limoeiro 'Volkameriano', evidenciando maior redução da transpiração do que na fotossíntese (Figuras 2 e 5), sendo os maiores valores observados com 11 dias de déficit e pela manhã, tendo o 'Volkameriano' apresentando valor máximo de  $17,35 \pm 2,81 \mu\text{mol mol}^{-1}$ , seguido da laranja 'Azeda Jacarandá' com  $16,97 \pm 9,78 \mu\text{mol mol}^{-1}$ . O limoeiro 'Cravo Santa Cruz' permaneceu com a EUA constante até o último dia de estresse.

Os valores registrados no 7º e 11º dias de déficit hídrico indicam que sob esse nível de estresse os genótipos podem maximizar o uso de água desenvolvendo mecanismo de aumento da assimilação de  $\text{CO}_2$ , característica está desejável a espécies com potencial para cultivo de sequeiro.

Os dados encontrados neste trabalho corroboram com os de Machado et al. (2002), que observaram incremento no uso eficiente da água de aproximadamente 18% em laranja 'Valência' enxertada em 'Cravo', em detrimento da redução das trocas gasosas.

Mesmo após a reirrigação, as plantas permaneceram com taxas de EUA maiores que no período de avaliação com as plantas irrigadas, resposta essa resultante do controle estomático evitando a perda de água, possivelmente pela leve degradação na concentração de ABA nos estômatos.

Na Figura 7 observa-se que os teores dos pigmentos fotossintéticos nas folhas das variedades cítricas analisadas mantiveram-se estáveis durante todo o período experimental, independente do regime hídrico adotado.



**Figura 7.** Teor de clorofila *a* (●), *b* (○) e *total* (▼) (unidades SPAD) em plantas de laranja 'Azeda Jacarandá' (A) (*C. limonia* Osbeck) e de limoeiros 'Cravo Santa Cruz' (B) (*C. aurantium* L.) e 'Volkameriano' (C) (*C. volkameriana* V. Ten. & Pasq) submetidos a diferentes regimes hídricos. As barras representam desvio-padrão (n=6). Cruz das Almas – BA. 2009.

Para a laranja 'Azeda Jacarandá', as clorofilas *a*, *b* e *total* apresentaram valores médios de  $43,68 \pm 0,68$ ;  $34,60 \pm 2,67$  e  $78,28 \pm 3,18$  de leitura SPAD, respectivamente. O limoeiro 'Cravo Santa Cruz' apresentou valores médios de  $42,90 \pm 0,87$ ;  $31,26 \pm 3,31$  e  $74,16 \pm 4,01$  de leitura SPAD, respectivamente, para as mesmas variáveis. Para o 'Volkameriano' os valores médios foram de  $43,01 \pm 1,24$ ;  $31,86 \pm 4,05$  e  $74,79 \pm 5,07$  de leitura SPAD.

Plantas de artemísia (*Tanacetum parthenium* L. Schultz-Bip.) cultivadas em solo com 50% da capacidade de campo não apresentaram diminuição no conteúdo de clorofila (SPAD) até 60 dias de controle hídrico, decrescendo após esse período conforme senescência foliar (CARVALHO et al., 2003).

Segundo Reis et al. (2006), os maiores valores das leituras SPAD são encontrados em folhas novas por possuírem maior capacidade de síntese de clorofila, maior intensidade de verde. Durante toda a fase do experimento, observou-se que as folhas das plantas permaneceram sempre verdes, com perda de brilho e intensidade de cor conforme prolongamento do déficit hídrico, porém sem nenhuma mancha necrótica.

Diferentemente dos resultados encontrados neste trabalho, Gonçalves (2008) observou decréscimo significativo (19,6%) nos teores de pigmentos fotossintéticos nas folhas de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), analisada com medidor portátil SPAD-502, sob estresse severo.

As leituras de clorofila *total* estimadas nos genótipos estudados reforçam as altas taxas fotossintéticas (Figura 5), evidenciando que o nível de restrições hídricas e a temperatura da folha (próxima de 40 °C) não afetaram as atividades bioquímicas dos fotossistemas, mantendo-se fotossinteticamente ativa, característica essa interessante na seleção de genótipos visando a adaptação à seca.

## CONCLUSÕES

A laranjeira 'Azeda Jacarandá' e os limoeiros 'Cravo Santa Cruz' e 'Volkameriano' apresentam o conteúdo relativo de água, as trocas gasosas e os pigmentos fotossintéticos semelhantes em situação de déficit hídrico e na recuperação após o estresse. Entretanto, em situação não limitante de água, o limoeiro 'Cravo Santa Cruz' parece ter um mecanismo que lhe permite maior 'status' hídrico e maior sensibilidade à reirrigação.

Os genótipos demonstram adaptações à situação de déficit hídrico, podendo ser utilizados como porta-enxertos cítricos em regiões submetidas à deficiência hídrica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, O. A. **Informações meteorológicas do CNP**: mandioca e fruticultura tropical. Cruz das Almas – BA: EMBRAPA / CNPMF. 1999. 35p. (EMBRAPA / CNPMF. Documentos, 34).

CARVALHO, L. M.; CASALI, V. W. D.; SOUZA, M. A.; CECON, P. R. Disponibilidade de água no solo e crescimento de artemísia. **Horticultura Brasileira**, v. 21, n. 4, p. 726-730, 2003.

CERQUEIRA, E. C. et al. Resposta de porta-enxertos de citros ao déficit hídrico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, p.515-519, 2004.

DONATO, S. L. R. et al. Respostas de combinações de variedades copa e porta-enxerto de citros à deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.10, p. 1507-1510, 2007.

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Sistema de Produção para Pequenos Produtores de Citros do Nordeste. Sistema de Produção, 17, 2005.

GOMES, M. M. A. et al. Interactions between leaf water potential, stomatal conductance and abscisic acid content of orange trees submitted to drought stress. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v. 16, n. 3, p. 155-161, 2004.

GONÇALVES, E. R. **Fotossíntese, osmorregulação e crescimento inicial de quatro variedades de cana-de-açúcar submetida à deficiência hídrica**. 2008. 66p. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção vegetal e proteção de plantas) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2008.

HABERMANN, G. et al. CO<sub>2</sub> assimilation, photosynthetic light response curves, and water relations of 'Pera' sweet orange plants infected with *Xylella fastidiosa*. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 15, p. 79-87, 2003.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em 17 dez. 2008.

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**, San Diego: Academic Press. 1995. 495p.

KRAMER, P. J. Changing concepts regarding plant water relations. **Plant, Cell and Environment**, v. 11, n. 7, p. 565-568, 1988.

KRAMER, P. J. **Water Relations of Plants**, Orlando: Academic Press. 1983, 489p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**, São Carlos, SP: Rima artes, 2004. 531p.

MACHADO E. C. et al. Variação sazonal da fotossíntese, condutância estomática e potencial da água na folha de laranjeira 'valência'. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 1, p. 53-58, 2002.

MACHADO, E. C. et al. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a

fatores ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 1161-1170, 2005.

MACHADO, E. C.; MEDINA, C. L.; GOMES, M. M. A. Teor de água no substrato de crescimento e fotossíntese em laranja 'Valência'. **Bragantia**, v. 58, p. 217-226, 1999.

MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C.; PINTO, J. M. Fotossíntese de laranja 'Valência' enxertada sobre quatro porta-enxertos e submetida à deficiência hídrica. **Bragantia**, v. 57, p. 1-14, 1998.

MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C.; GOMES, M. M. A. Condutância estomática, transpiração e fotossíntese em laranja 'Valência' sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 11, p. 29-34, 1999.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; SILVA, E. C. Comportamento estomático em plantas jovens de *Schinopsis brasiliensis* Engl. cultivadas sob estresse hídrico. **Iheringia, Série Botânica**, v.57, n.1, p.31-38, 2002.

NOGUEIRA, R. J. M. C. et al. Curso Diário das perdas de vapor d' água, da temperatura e do potencial de água da folha em germoplasma de carambola (*Averrhoa carambola* L.). **Acta Botanica Brasilica**, v. 16, n. 2, p. 217-223, 2002.

PASSIOURA, J. B. Response to or P. J. Kramer's article 'Changing concepts regarding plant water relations', Volume 11, Number 7. pp, 565-568, **Plant, Celt and Environment**, v. 11, p.569-571, 1988.

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

PIMENTEL, C. et al. Effects of changes in the photosynthetic photon flux density on net gas exchange of *Citrus limon* and *Nicotiana tabacum*. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.16 n. 2, 2004.

REIS, A. R. et al. Metodologia e técnicas experimentais diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. **Bragantia**, v. 65, n. 1, p. 163-171, 2006.

REZENDE, J. de O. **Solos Coesos dos Tabuleiros Costeiros**: limitações agrícolas e manejo. Salvador: SEAGRI-SPA, 2000. 117 p.il. (Série Estudos Agrícolas).

SAMPAIO, A. P. R. **Déficit hídrico com ênfase na assimilação de carbono, potencial hídrico foliar, transpiração e condutância estomática em *Talisia esculenta*, (A. ST.- HIL.) RADLK.** 2005. 41 p. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana. 2005.

SILVA, E. C. et al. Comportamento estomático e potencial da água da folha em três espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico. **Acta Botânica Brasilica**. V. 17, n. 2, p.231-246, 2003.

SCHULZE et al. Response to or P. J. Kramer's article 'Changing concepts regarding plant water relations', Volume 11, Number 7. pp, 565-568, **Plant, Celt and Environment**, v. 11, p.573-576, 1988.

SOUZA, C. R.; SOARES, A. M.; REGINA, M. A. Trocas gasosas de mudas de videira, obtidas por dois porta-enxerto, submetidos à deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 36, v. 10, p. 121 – 1230, 2001.

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

TURNER, N. C. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 58, p. 339-366, 1981.

VIEIRA JÚNIOR et al., Relações entre o potencial e a temperatura da folha de plantas de milho e sorgo submetidas a estresse hídrico. **Acta Science Agronomica** v. 29, n. 4, p.555-561, 2007.

## **CAPÍTULO 2**

### **COMPORTAMENTO FISIOLÓGICO DE TANGERINEIRAS SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup> Artigo a ser submetido ao Conselho Editorial do periódico científico Ciência e Agrotecnologia

## COMPORTAMENTO FISIOLÓGICO DE TANGERINEIRAS SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA

Humberto Lucas Santos de Sant' Anna

Manoel Teixeira de Castro Neto

**RESUMO:** A citricultura nordestina é desenvolvida sob condições de sequeiro, sendo a restrição de água um fator limitante ao desenvolvimento da cultura. Objetivou-se avaliar os efeitos do déficit hídrico sobre parâmetros fisiológicos das tangerineiras 'Cleópatra', 'Sunki da Flórida' e 'Sunki Tropical', visando identificar as que apresentassem melhores respostas à seca. O experimento foi desenvolvido no viveiro de mudas do Campo Experimental II no Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB). Quando as plantas apresentaram nove meses de idade foram avaliadas em diferentes regimes hídricos (irrigação - 1 e 3 dias; déficit hídrico - 3, 5, 7 e 11 dias; reirrigação - 1, 2 e 3 dias), sendo monitorado o estado hídrico das plantas através do conteúdo relativo de água (CRA), as trocas gasosas com um analisador de gases a infravermelho portátil (IRGA) e os pigmentos fotossintéticos (clorofila *a*, *b* e *total*) com clorofilômetro Soil Plant Analytical Division Value (SPAD). As leituras obedeceram ao curso diário (6, 8, 10, 12, 14 e 16 horas), sendo realizadas em três plantas, duas leituras por planta, totalizando seis repetições por variedade. As tangerineiras apresentaram níveis semelhantes de desidratação e de recuperação após o déficit hídrico, proporcionando o mesmo padrão nas trocas gasosas. Os pigmentos fotossintéticos mantiveram-se estáveis durante os regimes hídricos, indicando bom funcionamento do aparelho fotossintético das variedades estudadas. A tangerineira 'Sunki da Flórida' parece ter um mecanismo que lhe permite menor 'status' hídrico em situação não limitante de água. A tangerineira 'Cleópatra' demonstrou ser a menos sensível ao estresse, apresentando maior eficiência no uso da água (EUA) no máximo déficit hídrico. As três tangerineiras expressam características promissoras como genótipos adaptados à condições de seca.

**Palavras chaves:** *Citrus reshni*, *C. sunki*, relações hídricas, trocas gasosas, clorofila.



## PHYSIOLOGICAL BEHAVIOR OF MANDARINS UNDER WATER DEFICIT CONDITIONS

Humberto Lucas Santos de Sant' Anna  
Manoel Teixeira de Castro Neto

**ABSTRACT:** The northeastern citrus industry is developed under drought conditions. This work aimed to evaluate the effects of water stress on some physiological parameters of 'Cleopatra' 'Sunki da Florida', and 'Sunki Tropical' mandarins in order to identify that one with the best answer under water stress condition. The experiment was carried out under the netting shade nursery of the Experimental Station II of the Federal University of the Reconcavo of Bahia. When the plants were nine months old their relative water content (RWC), gas exchange rates, and photosynthesizing pigments were evaluated for irrigation and water deficit conditions. The reading followed the course of the day (6, 8, 10, 12, 14, and 16 hours) using six repetitions for each genotype, using three plants. All the mandarins had gas exchange rates and relative water contents alike. Genotypes showed reduced RWC and lower gas exchanged rates under water deficit conditions, and a slow recovery during the re-irrigation period. The levels in chlorophyll *a* and *b* did not show any change under whatever treatment the plants were exposed to. The 'Sunki da Florida' mandarins seems to have a mechanism that allows it to higher water status under nonlimiting water conditions. All the mandarins demonstrated promising characteristics for the adaptation to water stress conditions.

**Key words:** *Citrus reshi*, *C. sunki*, water relation, gas exchange rate, chlorophyll.

## INTRODUÇÃO

Embora o Brasil se destaque como maior produtor mundial de citros e exportador de suco concentrado congelado de laranja (Silva, 2008), no sistema produtivo deve-se considerar a grande diversificação agroclimática do País e suas condições particulares de cultivo, compreendendo uma multiplicidade de ambientes, nos quais se verifica a ocorrência de geadas ocasionais ou frequentes e/ou estresses hídricos ou térmicos (CERQUEIRA, 2004).

A citricultura nordestina está concentrada na Grande Unidade de Paisagem de Tabuleiros Costeiros, região caracterizada por precipitações pluviais anuais de 1.000 mm a 1.200 mm, distribuídas em 8 a 10 meses, com dois a seis meses de deficiência hídrica, sendo o uso de irrigação praticamente nulo.

Entre os vários fatores limitantes à produção vegetal, o déficit hídrico é o que mais afeta o crescimento da planta, pois além de interferir nas relações hídricas das plantas, alterando-lhes o metabolismo, é um fenômeno que acontece em grandes áreas de cultivo (NOGUEIRA et al., 2001).

Em citros, a resposta estomática é um dos mecanismos de adaptação das plantas a períodos de déficit hídrico. Os estômatos atuam como reguladores da perda de água pela transpiração, respondendo ao déficit hídrico com a alteração da abertura do poro a uma faixa crítica de valores do potencial hídrico foliar (MACHADO et al., 2002; CERQUEIRA et al., 2004).

Um das decisões mais importantes na implantação de um pomar de citros é a escolha do porta-enxerto, pois este tem a capacidade de influenciar as relações hídricas e trocas gasosas da copa (Medina & Machado, 1998), além de apresentar comportamento fisiológico próprio, inerente à sua configuração genética.

Os pomares cítricos nordestinos apresentam vulnerabilidade pelo fato de estarem alicerçados, em sua totalidade, sob um único porta-enxerto, o limoeiro 'Cravo' (*Citrus limonia* Osbeck). Portanto, programas visando ao desenvolvimento de novas variedades de porta-enxertos adaptadas a esse ecossistema fazem-se necessários.

A citricultura paulista, que também tem o limoeiro 'Cravo' como sustentáculo, tem apresentado uma tendência, ainda tímida, em relação à busca de novos porta-enxertos resistentes/tolerantes a fatores bióticos e abióticos.

Dentre esses porta-enxertos, podemos citar as tangerineiras 'Cleópatra' (*C. reshni* hort. Ex Tanaka) e 'Sunki' (*C. sunki* (Hayata) hort. Ex Tanaka). Em 2004, nos pomares paulistas 18,8% das mudas estavam enxertadas em tangerineira 'Cleópatra' e apenas 4,2% para a tangerineira 'Sunki' (BLUMER et al., 2004).

A tangerineira 'Cleópatra' é tolerante à tristeza, exocorte, xiloporose, declínio e à morte súbita do citros (MSC) e também ao frio e a solos calcários. Apresenta média resistência à gomose de *Phytophthora*. Apresenta tolerância moderada à seca (EMBRAPA, 2005).

A tangerineira 'Sunki' vem sendo utilizada no estado de São Paulo desde o início do século passado. Ela apresenta tolerância à tristeza, à xiloporose, ao declínio e à MSC, porém é intolerante à exocorte e susceptível à gomose de *Phytophthora*. Apresenta médio vigor no desenvolvimento em viveiros (Pompeu Junior, 2005), além de ser compatível com a laranja 'Pera' (*C. sinensis* (L.) Osbeck) (FUNDECITRUS, 2008). Apresenta tolerância moderada à seca (EMBRAPA, 2005).

De acordo com Nogueira et al. (2001), genótipos que apresentam diversidade na resposta ao estresse hídrico constituem excelentes materiais para serem utilizados em programas de melhoramento genético. O emprego de caracteres fisiológicos é de grande importância na avaliação da tolerância à seca de diferentes genótipos por elucidarem alterações relacionadas com a produtividade e a qualidade dos frutos (NOGUEIRA et al., 2002).

Investigações relacionadas ao comportamento dos citros em condições de baixa disponibilidade hídrica vêm sendo desenvolvidas (MACHADO et al., 2002; MACHADO et al., 2005; DONATO et al., 2007). Essas pesquisas, entretanto, foram voltadas à compreensão dos processos fisiológicos em mudas já enxertadas ou em plantas adultas em produção. Pesquisas direcionadas à identificação de novos genótipos destinados a condições tropicais ainda são raras.

Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o conteúdo relativo de água, as trocas gasosas e os pigmentos fotossintéticos em três tangerineiras visando identificar as que apresentam melhores respostas ao déficit hídrico, sendo relativamente tolerantes à seca.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Estação Experimental II da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), no município de Cruz das Almas – BA, a 12°40'19" de Latitude Sul e 39°06'22" de Longitude Oeste de Greenwich, tendo 220 m de altitude. O clima se caracteriza por ser tropical quente úmido, Aw a Am, segundo a classificação de Köppen. A pluviosidade anual da região é de 1.224 mm, assim como a temperatura média anual de 22,45 °C e a umidade relativa de 80% (ALMEIDA, 1999).

As variáveis climáticas: radiação global, temperatura média do ar, umidade relativa do ar e o déficit de pressão do ar, referentes ao período do experimento, foram fornecidas pela estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2008), localizada próximo ao experimento.

Neste estudo foram empregadas variedades de tangerineiras utilizadas como porta-enxerto, indicadas pelo Programa de Melhoramento Genético de Citros da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical (PMG Citros), a saber: Sunki da Flórida, Sunki Tropical e Cleópatra. A 'Sunki Tropical' trata-se de um clone nucelar mutante da 'Sunki da Flórida', identificado pelo PMG Citros (SOARES FILHO et al., 2002).

Para a formação dos *seedlings* (pés-francos ou plantas obtidas de sementes), sementes das mencionadas variedades-porta-enxerto foram retiradas de frutos maduros obtidos de plantas matrizes do Banco Ativo de Germoplasma de Citros da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. Após lavagem e secagem, as sementes foram postas para germinar em bandejas de isopor tipo colméia preenchidas com composto orgânico estabilizado (fibra de dendê, farinha de rocha e esterco de galinha na proporção de 1:1:1) sob condições de viveiro de mudas.

Após dois meses da semeadura (Abril/2008) foram selecionados 60 *seedlings* de origem nucelar, dentre os mais vigorosos, que apresentavam dois pares de folhas permanentes, transferindo-os para vasos cítricos com capacidade de 7 litros (*citrospote*), preenchidos com uma mistura do composto orgânico estabilizado (mesmo da sementeira) e areia lavada, na proporção de 1:1.

Durante o período experimental foram realizados os seguintes tratamentos culturais: capina manual das plantas invasoras; adubação via foliar com Nipokan

108 (Fênix Agroindústria, Brasil) a 1,5% a cada quinze dias, da transferência para o *citrospote* até o início das avaliações; e controle químico da lavra minadora-dos-citros, *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae), com aplicações do produto comercial Decis 25 CE (Bayer CropScience, França).

As plantas receberam irrigações periodicamente dos sete meses de idade, após transferência para os vasos, até o momento em que foram submetidas à deficiência hídrica progressiva (novembro/2008), mediante a interrupção da irrigação. Após apresentarem sintomas de murcha nas folhas e taxas de fotossíntese próximas de zero, as plantas foram novamente irrigadas.

Durante a aplicação dos regimes hídricos (irrigação, déficit hídrico e reirrigação) foram monitoradas as trocas gasosas: fotossíntese (A), transpiração (E) e condutância estomática; o conteúdo relativo de água na folha (CRA); e o teor de clorofila *a*, *b* e *total*. Através da relação dos valores de 'A' e 'E' calculou-se a eficiência do uso da água (EUA).

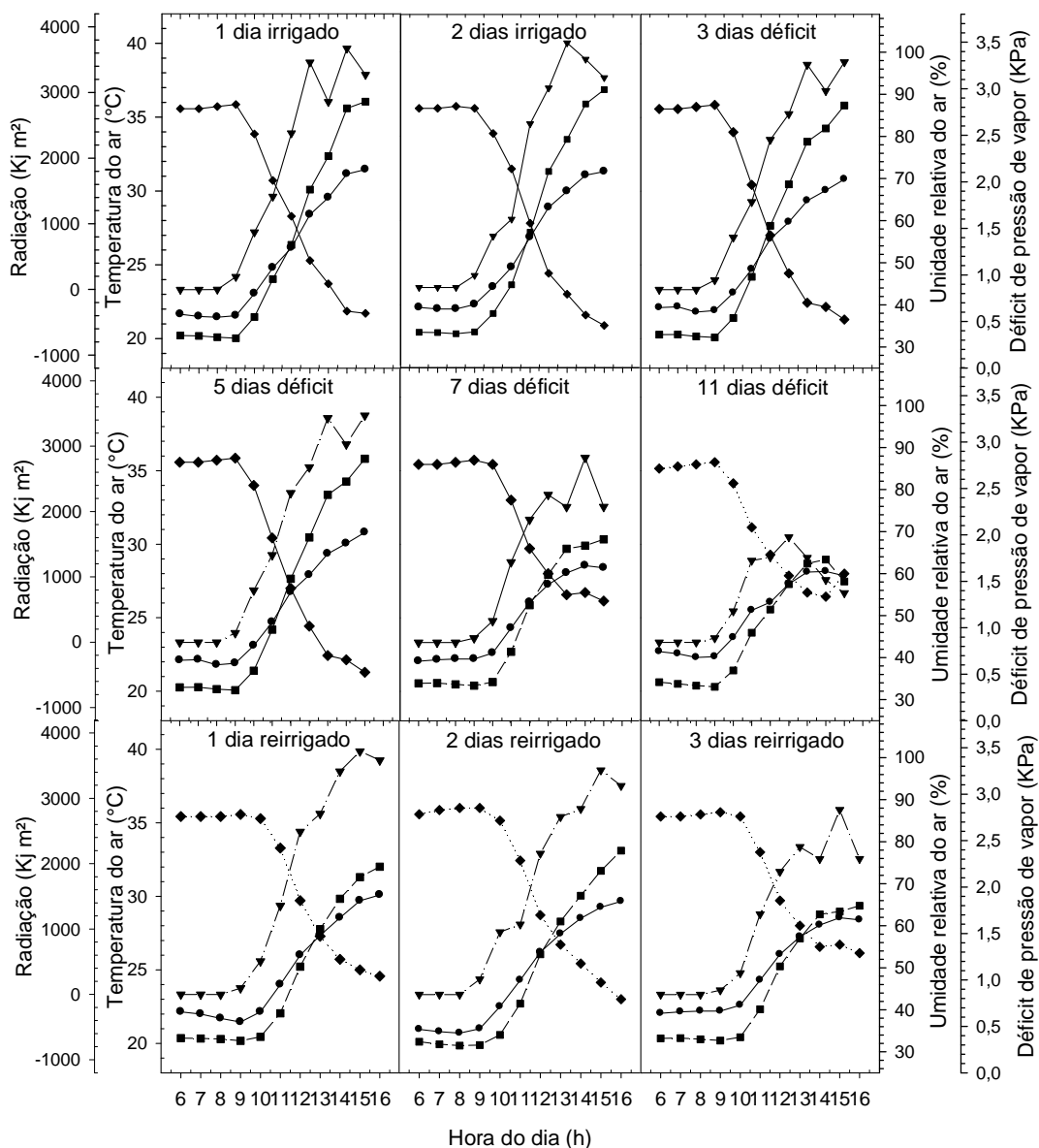
As medições de trocas gasosas foram realizadas com um analisador de gases a infravermelho portátil (IRGA), modelo LCA4 (ADC Corp. England, USA), com uma taxa de fluxo ajustada para  $350 \mu\text{mol s}^{-1}$  e razão estomática de 0,5. Essas variáveis foram medidas ao longo do dia às 6, 8, 10, 12, 14 e 16 horas, considerando a quarta folha madura a contar do ápice. Foram realizadas duas leituras por folha em três plantas, totalizando seis leituras por variedade, em cada horário.

O CRA foi determinado após as leituras de trocas gasosas, às 14 horas, seguindo metodologia descrita por Turner (1981), em folhas na posição mediana das plantas, sendo utilizadas em três plantas por variedade.

Os teores de clorofila *a*, *b* e *total* foram estimados por um medidor portátil de clorofila ClorofiLOG CFL1030 (Falker, Brasil), nas mesmas folhas e períodos em que foram realizadas as medidas de trocas gasosas, sendo cinco leituras por folha em três plantas, totalizando 15 leituras por variedade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis climáticas registradas durante a execução do experimento são apresentadas na Figura 1.



**Figura 1.** Dados climatológicos no período experimental. Cruz das Almas, BA 2009. ● Temp.; ■ DPV; ◆ UR%; ▼ Rad.

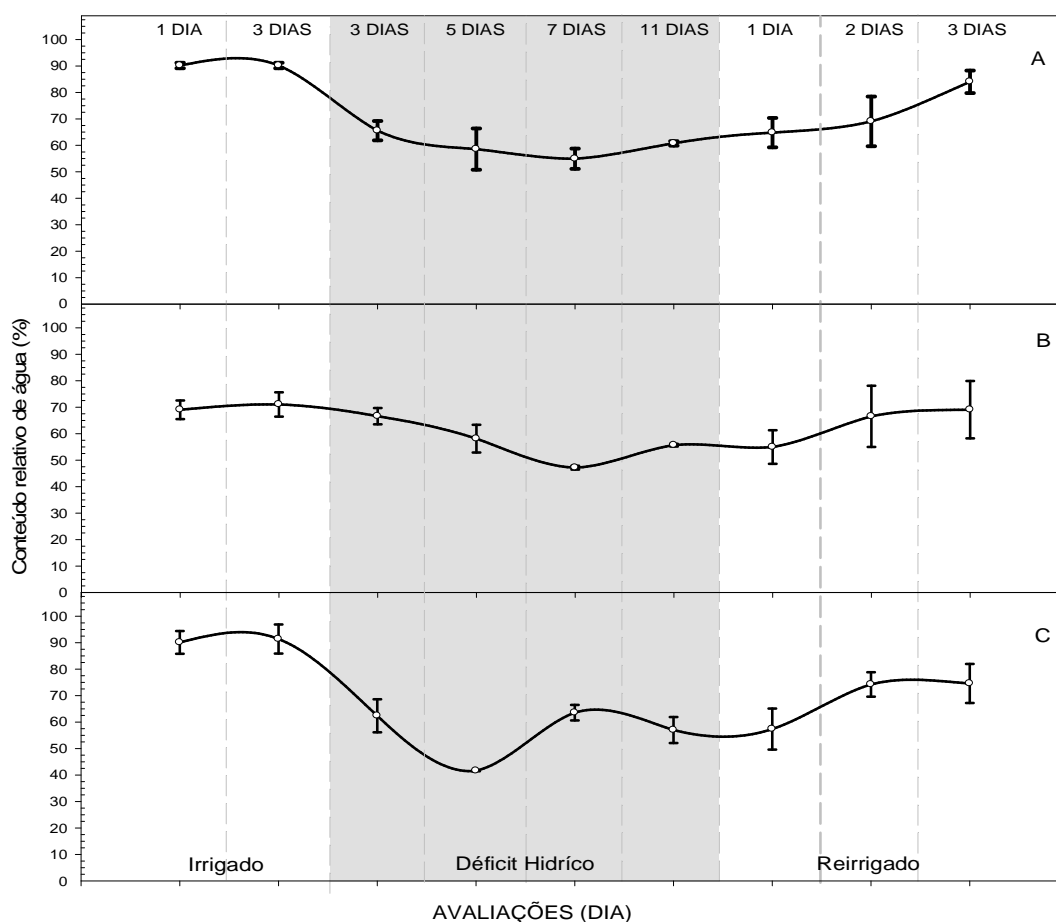
Pode-se constatar que os valores para as variáveis ambientais foram de 20,5 °C a 31,8 °C; 33% a 89,5%; 0,25 kPa a 3,15 kPa; 59,3 Kj m<sup>2</sup> a 3.760 Kj m<sup>2</sup>, respectivamente, para temperatura, umidade relativa do ar, déficit de pressão do ar e radiação fotossinteticamente ativa.

De forma geral, as condições climáticas mantiveram-se semelhantes durante o regime de irrigação até o 5º dia de déficit hídrico. Entretanto, a partir do 7º dia de restrição hídrica observou-se diminuição na radiação solar, na temperatura do ar, e no déficit de pressão de vapor, e aumento na umidade

relativa do ar no período da tarde. Com 11 dias de suspensão hídrica esse decréscimo ficou mais evidente, possivelmente ocasionada por céu nublado, com temperaturas mais amenas e umidade relativa do ar próxima a 60%. No período em que as plantas foram reirrigadas as características climáticas apresentaram configurações semelhantes às iniciais do experimento.

Trabalhos que envolvem o monitoramento de aspectos fisiológicos sob condições naturais são afetados pelas condições climáticas, mas dão uma oportunidade para melhor entender os fatores que mais influenciam o metabolismo das plantas.

Na tentativa de conhecer o 'status' hídrico das tangerineiras estudadas, monitorou-se o conteúdo relativo de água (CRA) durante os períodos de irrigação, déficit hídrico e reirrigação (Figura 2).



**Figura 2.** Conteúdo relativo de água em plantas de tangerineiras 'Cleópatra' (*C. reshni* hort. Ex Tanaka) (A), 'Sunki da Flórida' (*C. sunki* (Hayata) hort. Ex Tanaka) (B) e 'Sunki Tropical' (*C. sunki* (Hayata) hort. Ex Tanaka) (C) submetidos a diferentes regimes hídricos. As barras representam desvio-padrão (n=6). Cruz das Almas – BA. 2009.

Na fase de irrigação as tangerineiras 'Cleópatra' e 'Sunki Tropical' apresentaram CRA semelhantes, de 90%, e a 'Sunki da Flórida' de 71%.

Com a aplicação do estresse hídrico, a 'Cleópatra' e a 'Sunki Tropical' apresentaram redução no CRA de 27,30% e 31,71%, respectivamente, com 3 dias de estresse, entretanto, o menor valor só foi verificado com 5 dias de estresse. A 'Sunki da Florida' apresentou o menor CRA com 7 dias de estresse, com redução de 33,61%, em comparação com o período irrigado. Como para esse período as condições climáticas foram praticamente estáveis, a redução do CRA dos genótipos foram consequência direta da maior pressão de déficit hídrico devido à falta de água no solo. Em um solo sem recarga de água, sua condição hídrica diminui gradualmente.

Aos 11 dias de estresse hídrico, a 'Cleópatra' e a 'Sunki da Flórida' apresentaram aumento no CRA. Essa alteração pode ser justificada pelas mudanças climáticas ocorridas na região nesse dia de avaliação, com diminuição do DPV do ar e da radiação (Figura 1).

A demanda evaporativa é um dos fatores que afetam o 'status' de água das folhas de citros, sendo observado decréscimo do potencial hídrico com o aumento do déficit de pressão de vapor do ar e da transpiração (MACHADO et al., 2002). O contrário também é verdadeiro. O CRA de plantas pode aumentar para uma mesma condição de umidade do solo desde quando haja uma redução da demanda evaporativa. Com isso a planta estabelece um novo equilíbrio refazendo sua condição hídrica.

Ao final do período de déficit hídrico pôde-se observar que as folhas encontravam-se num ponto de murcha bastante avançada e enroladas, sintoma típico de plantas sob severo estresse hídrico, porém sem registro de abscisão foliar.

Manfron et al. (1996) observaram que plantas de trigo (*Triticum aestivum* (L.) THELL) sob irrigação apresentaram aumento significativo do conteúdo relativo de água proporcional ao aumento do potencial hídrico na folha ( $\Psi_w$ ). Entretanto, em plantas sem irrigação foi observado diminuição gradativa no potencial hídrico e no conteúdo relativo de água, demonstrando correlação entre essas duas variáveis, sendo possível determinar o 'status' de água da planta através destas. Essa correlação também foi verificada por Carvalho (2005) avaliando as relações



hídricas em espécies de paricá (*Schizolobium* sp.), o mesmo se dando com Pankovic et al. (1999) em híbridos de girassol (*Heliantus annus* L.).

Na verdade, ainda existe uma grande controvérsia quanto ao efeito do potencial hídrico sobre os aspectos fisiológicos. Para Turner (1981) o efeito do potencial hídrico é viabilizado mediante seus componentes osmótico e de turgescência. Como o CRA é uma representação do estado hídrico da planta em máxima turgescência, muitos autores (Kramer, 1983; Kramer e Boyer, 1995) sugerem que os fatores fisiológicos são mais responsivos ao CRA que ao potencial hídrico da planta.

Cerqueira et al. (2004), avaliando variedades cítricas submetidas ao déficit hídrico, observaram redução significativa no potencial hídrico, à medida que aumentava os dias de deficiência hídrica do solo, atingindo valores do  $\Psi_w$  significativo entre os genótipos no 8º dia de estresse e valores críticos com 12 dias de estresse.

Para condições semelhantes de suspensão de rega, os genótipos aqui estudados apresentaram comportamento diferente, com redução significativa no CRA em um período menor de estresse, entre 5 e 7 dias, podendo a velocidade de desidratação ter sido influenciada pelas condições ambientais diferentes das que foram submetidas as plantas, a idade que proporcionou aos genótipos maior área foliar ou a própria genética.

Resultados semelhantes aos de Cerqueira et al. (2004) foram descritos por outros autores para plantas de citros submetidas ao déficit hídrico, onde o potencial da água nas folhas decresceu progressivamente em função do número de dias sem irrigação (Medina et al., 1999; Gomes et al., 2004; Donato et al., 2007), fato esse também observado por Oliveira et al. (2002) em plantas de pupunheira (*Bactris gasipaes* Kunth).

Tão importante quanto estudar a velocidade com que uma espécie entra em estado de déficit hídrico é avaliar sua capacidade de recuperação.

As variedades estudadas não apresentaram recuperação significativa no CRA após o 1º dia da retomada na irrigação. Valores significativos foram observados com 2 dias de reirrigação. A tangerineira 'Cleópatra' apresentou acréscimo de 18,98% do último dia de déficit ao 2º dia de reirrigação, chegando ao final do experimento com 84,03% ( $\pm 4,25$ ) de conteúdo relativo de água.

A tangerineira 'Sunki da Flórida' apresentou aumento no CRA de 54,96% ( $\pm 6,34$ ) para 66,55% ( $\pm 11,55$ ), acréscimo de 17,41%, permanecendo assim até o 3º dia de reirrigação, sendo a única variedade que manteve o CRA semelhante ao do início do experimento. O CRA da 'Sunki Tropical' apresentou aumento de 57,37% ( $\pm 7,75$ ) para 74,23% ( $\pm 4,62$ ), acréscimo de 22,60%, chegando ao final do experimento a 74,58% ( $\pm 7,38$ ).

Cerqueira et al. (2004), avaliando vários genótipos de citros, observaram recuperação do potencial hídrico com 1 dia de reirrigação para a laranja 'Azeda' e para o híbrido TSK x CTTR – 002, em contrapartida, o limoeiro 'Cravo' só restabeleceu seu 'status' hídrico após 4 dias. Sampaio (2005) observou recuperação imediata do potencial hídrico em mudas de pitombeira [*Talisia esculenta* (A. ST.-HIL.)] após 1 dia de reirrigação, voltando ao 'status' hídrico foliar semelhante ao do início do experimento.

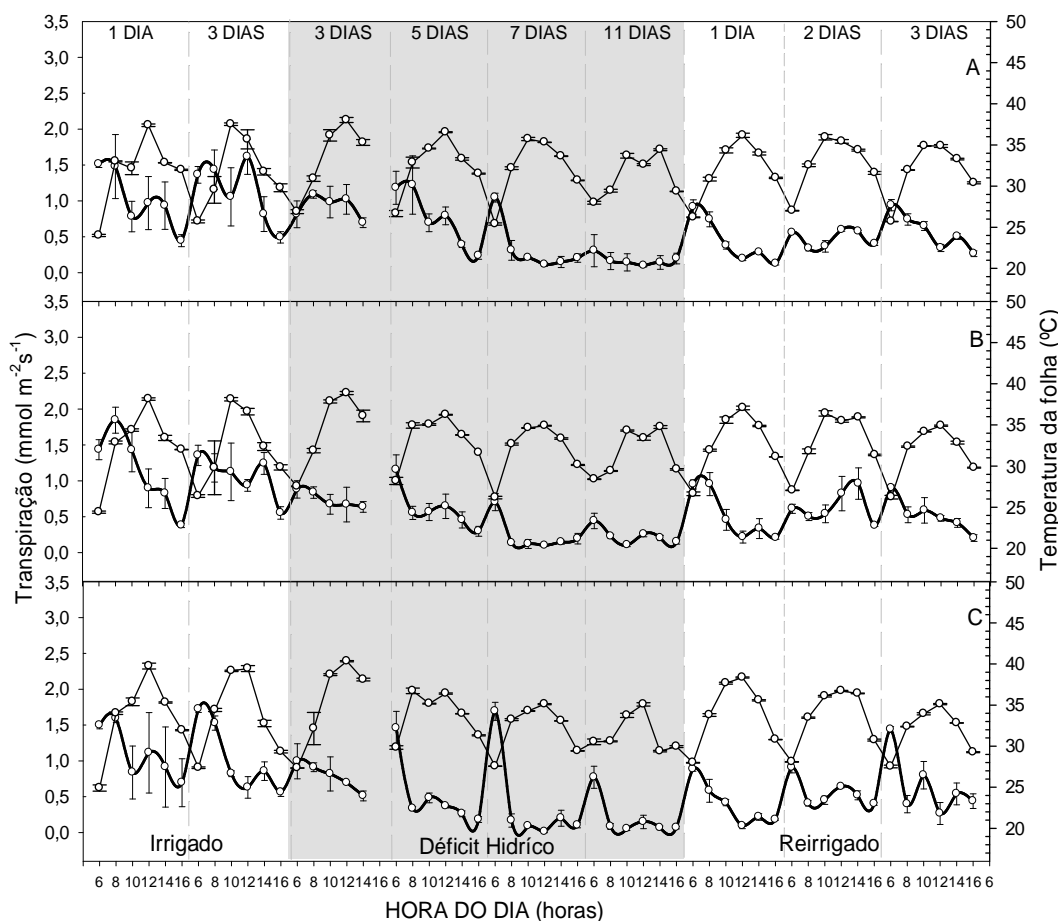
O CRA reflete a dinâmica do balanço de água da folha, isto é, o resultado entre a água que entra na folha e a que sai por transpiração (MACHADO et al., 1999). Essa relação tem sido amplamente demonstrada para um grande número de espécies, refletindo a atuação dos estômatos em resposta à perda de vapor de água.

A intensidade dessa transpiração varia com a ação de fatores internos (área superficial, distribuição e número dos estômatos) e de fatores externos (luz, umidade do ar, temperatura e disponibilidade de água no solo). Pode ser controlada pela planta, que consegue aumentar ou diminuir a perda de água, dependendo do ambiente em que se encontra. Como a abertura dos estômatos depende do grau de saturação hídrica das células estomáticas, pode haver grande restrição da transpiração quando o déficit de água na planta for muito grande (CERQUEIRA et al., 2004).

Durante o período de irrigação, os porta-enxertos apresentaram altas taxas de transpiração que variaram entre 0,77 e 2,38; 0,72 e 1,98; e 0,50 e 2,15  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para tangerineira 'Cleópatra', 'Sunki da Flórida' e 'Sunki Tropical', respectivamente (Figura 3).

Os horários de maior demanda transpiratória ocorreram às 8 e 12 horas. Esse aumento às 8 horas parece estar relacionado à maior abertura estomática, associado, possivelmente, a um maior potencial hídrico recuperado na noite

anterior. Para o horário de 12 horas pode estar associado à maior diferença de pressão de vapor entre a folha e o ar e aumento na temperatura da folha.



**Figura 3.** Transpiração (—) e temperatura da folha (—) em plantas de tangerineiras ‘Cleópatra’ (*C. reshni* hort. Ex Tanaka) (A), ‘Sunki da Flórida’ (*C. sunki* (Hayata) hort. Ex Tanaka) (B) e ‘Sunki Tropical’ (*C. sunki* (Hayata) hort. Ex Tanaka) (C) submetidos a diferentes regimes hídricos. As barras representam desvio-padrão (n=6). Cruz das Almas – BA. 2009.

Considerando o tratamento hídrico de suspensão da irrigação, observou-se queda progressiva da transpiração do 3º ao 11º dia. O mesmo foi verificado para o CRA, o que reforça o efeito do déficit hídrico sobre essa variável.

No 1º dia sem irrigação as tangerineiras já expressavam o efeito do déficit hídrico, entretanto, a partir do 5º dia de estresse o horário de taxa transpiratória relativamente alta foi identificado somente pela parte da manhã, com valores máximos às 6 horas, sendo reduzida ao longo do dia, manifestando leve recuperação ao entardecer (às 16 horas).

Com 11 dias de déficit hídrico, os genótipos ainda conseguiam manter as taxas de transpiração pela manhã, às 6 horas, de  $0,63 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ('Cleópatra'),  $0,44 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ('Sunki da Flórida') e  $0,56 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ('Sunki Tropical'). Por outro lado, as plantas apresentaram baixíssima transpiração no período da tarde, chegando a valores próximos de zero, não havendo mais recuperação no final da tarde.

Laranjeira 'Valência' (*C. sinensis*) em combinação com o limoeiro 'Cravo' (*C. limonia*) e *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. mantiveram suas taxas transpiratórias elevadas em torno de  $3,5 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  até que o potencial do substrato alcançasse valores de  $-0,04 \text{ MPa}$ , decrescendo a partir daí para valores em torno de  $1,0 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (MEDINA ; MACHADO, 1998).

Sob condições de deficiência hídrica, o fluxo de água na folha se torna insuficiente para a manutenção da turgescência foliar, atuando diretamente no declínio da transpiração (LARCHER, 2004).

No 1º dia após a reirrigação a taxa transpiratória das tangerineiras alcançou valores próximos a  $1,0 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , com recuperação acentuada no período da manhã. Entretanto, com 3 dias de reirrigação os genótipos não haviam recuperado taxas transpiratórias semelhantes as verificadas no início do experimento (Figura 3).

Resultados de recuperação após déficit hídrico também foram relatados por Cerqueira et al. (2004) para o limoeiro 'Cravo' (*C. limonia*), onde o mesmo apresentou recuperação na taxa de transpiração após 4 dias de reirrigação. Sampaio (2005) observou que plantas de pitombeira não apresentaram recuperação das taxas transpiratória após 3 dias de reirrigação.

Essa lenta recuperação pode está relacionada ao acúmulo de ácido abscísico (ABA) nos tecidos da planta. Gomes et al. (2004) observaram para laranjeiras doces (*C. sinensis*) e limoeiro 'Cravo' (*C. limonia*) submetidos a déficit hídrico que a taxa de transpiração não foi totalmente recuperada antes da redução do nível de ABA nas folhas.

Do total de água absorvido pela planta, cerca de 95% são utilizados para manter o equilíbrio térmico por transpiração (VIEIRA JUNIOR et al., 2007). A variação na transpiração, portanto, afeta diretamente a temperatura da planta, notadamente a temperatura foliar.

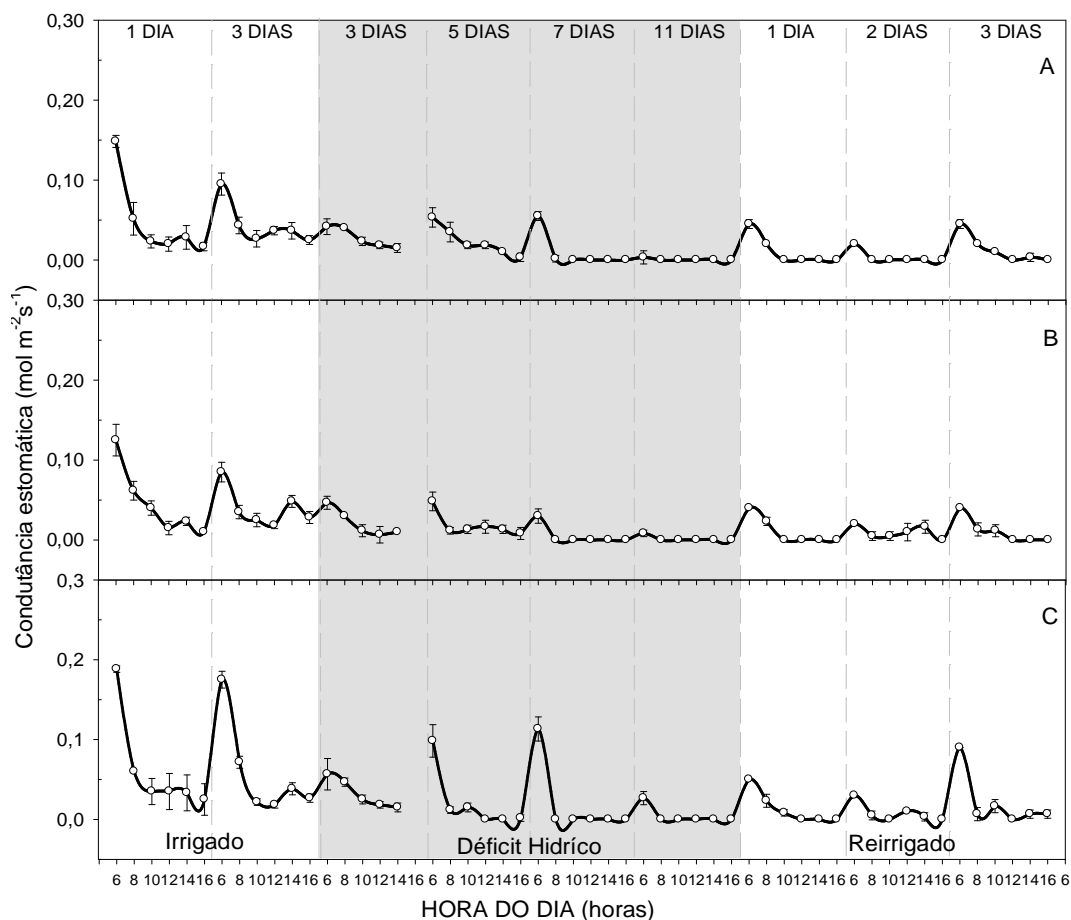
Para os genótipos estudados foi verificado comportamento semelhante para a temperatura da folha durante todo o período experimental, independente dos regimes hídricos (Figura 3), proporcionando às plantas a mesma sensação térmica. Os aumentos da temperatura foliar durante o dia podem ser pronunciados em plantas submetidas à seca e/ou à alta irradiância de luz solar (TAIZ ; ZEIGER, 2004). Portanto, o padrão térmico observado neste trabalho parece estar mais relacionado à radiação solar (Figura 6) do que ao déficit hídrico.

Machado et al. (2005), relataram que a faixa ideal para citros está entre 25 °C e 30 °C. Neste trabalho a tangerineira 'Cleópatra' apresentou variação na temperatura foliar de 24,01 °C a 38,04 °C, a 'Sunki da Flórida' entre 24,41 °C e 38,87 °C, e a 'Sunki Tropical' de 24,91 °C a 39,17 °C (Figura 3), com valores, portanto, acima dos indicados pelos referidos autores.

As tangerineiras apresentaram valores elevados de condutância estomática no início da manhã (às 6 horas), de  $0,17 \pm 0,02 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para a tangerineira 'Cleópatra',  $0,16 \pm 0,01 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para a tangerineira 'Sunki da Flórida' e para 'Sunki Tropical' de  $0,18 \pm 0,03 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Figura 4), decrescendo gradualmente durante o dia.

Durante a fase de suspensão da irrigação os valores da condutância foram reduzidos sensivelmente até chegarem a valores críticos ( $0,0 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) com 11 dias após a imposição do tratamento. Sob o efeito do estresse, a condutividade estomática apresentou um padrão semelhante ao da transpiração. Em períodos de baixa disponibilidade hídrica os valores máximos da condutividade estomática foram observados no início do dia.

Assim como nesses genótipos, mudas de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) do material clonal de CCP76 enxertadas sobre CCP09 submetidas a seis dias de estresse hídrico (Matos et al., 2003) e mudas de pitombeira submetidas a 24 dias de déficit hídrico (Sampaio, 2005), apresentaram picos de maior abertura estomática às 6 horas da manhã e valores decrescentes ao longo do dia.



**Figura 4.** Condutância estomática em plantas de tangerineiras ‘Cleópatra’ (*C. reshni* hort. Ex Tanaka) (A), ‘Sunki da Flórida’ [*C. sunki* (Hayata) hort. Ex Tanaka] (B) e ‘Sunki Tropical’ [*C. sunki* (Hayata) hort. Ex Tanaka] (C) submetidos a diferentes regimes hídricos. As barras representam desvio-padrão (n=6). Cruz das Almas – BA. 2009.

Machado et al. (2002) acreditam que esse tipo de resposta dos estômatos ao aumento do DPV e da temperatura durante o período da tarde, seja uma adaptação à seca para garantir a conservação do conteúdo relativo de água, principalmente em regiões onde há alta demanda atmosférica. Mas recentemente, Machado et al. (2006) observaram que em laranja ‘Natal’ (*C. sinensis*) enxertada sobre limoeiro ‘Cravo’ a condutância estomática também apresentou decréscimo progressivo entre o período da manhã e o da tarde, com valores máximos às 9 horas e valores mínimos próximo às 17h30.

Sob condições de baixa disponibilidade hídrica, cultivares de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) restringiram perdas de água com a diminuição da condutividade estomática em função de uma maior demanda evaporativa do ar, e

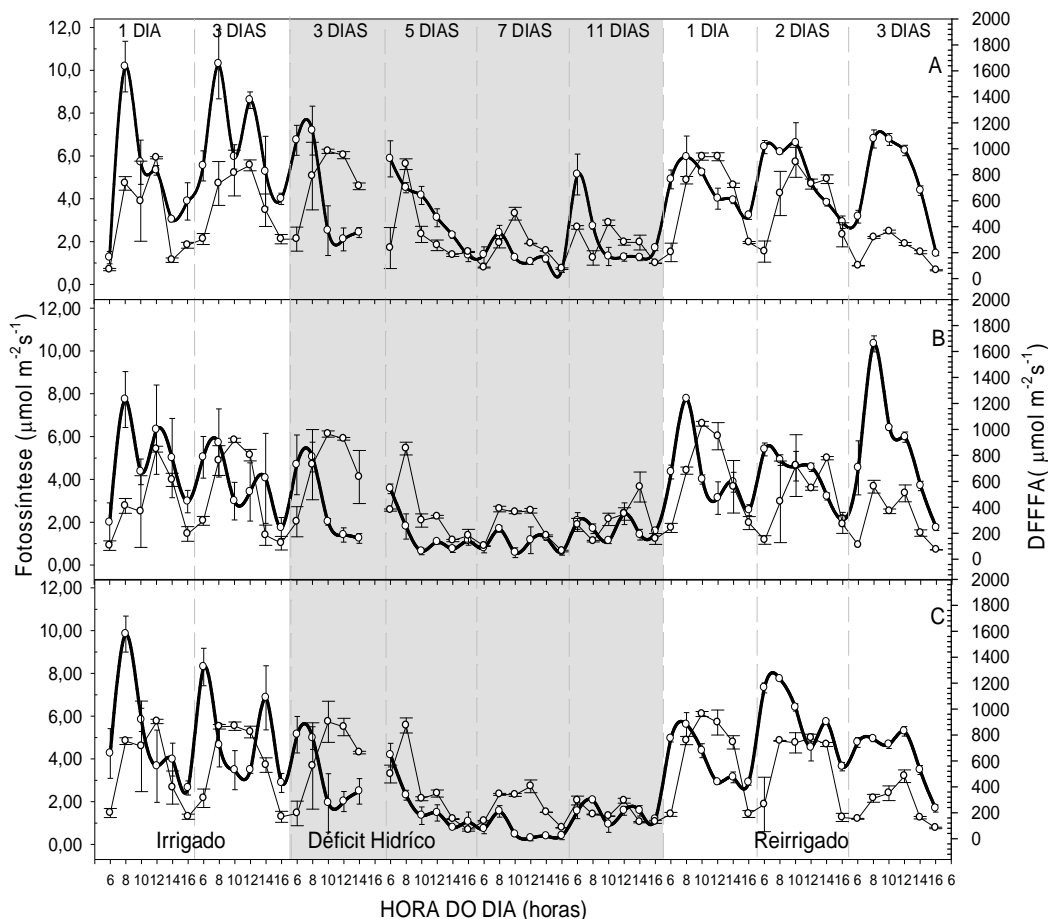
mesmo quatro dias após as mudanças ambientais não conseguiram recuperar as medidas de condutância (PORTO, 1989).

No 1º dia de recuperação as tangerineiras responderam bem à reirrigação, saindo de valores nulos (déficit hídrico) para valores próximos de  $0,05 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Entretanto, o período de re-hidratação não foi suficiente para que os genótipos voltassem a apresentar a condutância estomática semelhante a do início do experimento. Assim como para a transpiração, o retorno das taxas de condutância parece depender do decréscimo da concentração de ABA que foi translocado para a parte aérea da planta (GOMES et al., 2004).

Nas plantas superiores, a fotossíntese representa o único processo de conversão de fontes físicas e químicas de energia em carboidratos, ou seja, é a transformação do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) capturado pelas plantas em um estado que seja compatível com as necessidades das células (TAIZ ; ZAIGER, 2004). A eficiência na assimilação de  $\text{CO}_2$  é influenciada por fatores internos e externos o que pode limitar o rendimento fotossintético dos indivíduos.

A taxa máxima de fotossíntese alcançada pelas plantas, quando irrigadas, foi observada às 8 horas, com valor de  $10,17 \pm 1,18 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para a tangerineira 'Cleópatra',  $7,73 \pm 1,31 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para a tangerineira 'Sunki da Flórida' e  $9,84 \pm 0,84 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para 'Sunki Tropical'. Valores observados no início da manhã (Figura 5).

Para *C. sinensis* enxertado em limoeiro 'Cravo' e 'Trifoliata', Medina et al. (1999) obtiveram valores máximos de fotossíntese de  $7-8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  às 9h30. Machado et al. (2006) descrevem taxas de fotossíntese em torno de  $9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para laranjeira 'Natal' enxertada em limoeiro 'Cravo' às 8 horas. Em combinação de laranjeira 'Valência' com tangerineira 'Cleópatra', com três anos idade, Machado et al. (2002) relatam que as taxas fotossintéticas foram de  $10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  no período da manhã (das 9 às 11 horas). Para essa mesma combinação, Ribeiro et al. (2006) verificaram taxas de assimilação de  $\text{CO}_2$  de  $13 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .



**Figura 5.** Fotossíntese (—) e densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativa (DFFFA) (—) em plantas de tangerineiras ‘Cleópatra’ (*C. reshni* hort. Ex Tanaka) (A), ‘Sunki da Flórida’ (*C. sunki* (Hayata) hort. Ex Tanaka) (B) e ‘Sunki Tropical’ (*C. sunki* (Hayata) hort. Ex Tanaka) (C) submetidos a diferentes regimes hídricos. As barras representam desvio-padrão (n=6). Cruz das Almas – BA. 2009.

O padrão do comportamento da taxa de fotossíntese das variedades de citros estudadas apresentou dois picos máximos de assimilação de  $\text{CO}_2$  sob irrigação, um pela manhã e outro pela tarde, sendo maiores, entretanto, no primeiro horário, corroborando com as observações de Machado et al. (2002). Essa característica está relacionada ao aumento do déficit de pressão de vapor e da temperatura do ar no período da tarde, acarretando queda na condutância estomática foliar.

Após o estabelecimento do período de estresse, a máxima taxa fotossintética alcançada foi de  $7,14 \pm 1,14$ ;  $5,04 \pm 0,7$  e  $5,14 \pm 0,85 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para ‘Cleópatra’, ‘Sunki da Flórida’ e ‘Sunki Tropical’, respectivamente, no



primeiro dia de suspensão hídrica, alcançando valores ainda menores com o aumento da pressão do déficit hídrico. Com 7 dias de estresse as plantas cítricas apresentaram valores críticos para a fotossíntese. A tangerineira 'Cleópatra' apresentou valores mínimos de  $0,67 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , redução de 93,45% em relação ao valor máximo encontrado quando as plantas foram irrigadas. As tangerineiras 'Sunki da Flórida' e 'Tropical' apresentaram redução de 92,49% e 96,83%, respectivamente.

Gomes et al. (2004) mostraram que plantas *C. sinensis* apresentaram taxas de fotossíntese próximas de zero com dez dias de suspensão hídrica, evidenciando baixo controle nas trocas gasosas. Medina et al. (1999) relataram que foram necessário nove dias sem irrigação para a fotossíntese atingir valores negligíveis durante grande parte do dia, quando o potencial de água às 7 horas da manhã estava entre -2,0 e -2,5 MPa, respectivamente para laranjeiras doces sob limoeiro 'Cravo' e *P. trifoliata*, respectivamente.

Ainda para laranja doce, Machado et al. (1999) observaram que com a diminuição do conteúdo relativo de água a taxa de fotossíntese também decaiu, chegando a valores próximos a  $1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  quando o CRA aproxima-se de 60%.

Dependendo da espécie e da natureza da desidratação, a taxa de fotossíntese pode atingir valores próximos de zero sem significativo declínio da capacidade fotossintética do mesófilo (CHAVES, 1991).

Uma leve recuperação nas taxas de fotossíntese foi observada com 11 dias de suspensão da irrigação. Esse comportamento, possivelmente, está relacionado ao aumento do conteúdo relativo de água nas plantas, reafirmando a relação entre a assimilação de carbono e o 'status' hídrico das plantas (Figura 2).

Após a fase de suspensão hídrica as plantas foram reirrigadas. Essa mudança na disponibilidade de água no solo fez com que as plantas respondessem positivamente, recuperando sensivelmente as taxas de fotossíntese no 1º dia de reirrigação.

A maior recuperação foi expressa pelas tangerineiras 'Sunki Tropical' (94,64%), sendo seguida pela 'Sunki da Flórida' (92,52%) e 'Cleópatra' (88,44%), sendo o período da manhã o responsável por essas taxas, possibilitado por uma maior abertura estomática, observado pelos valores da condutância estomática (Figura 4).

Ao final das avaliações a tangerineira 'Sunki da Flórida' foi a única que apresentava taxas de fotossíntese similares às alcançadas na primeira avaliação, quando as plantas estavam sendo irrigadas.

Souza et al. (2004), afirmam que o lento aumento da taxa fotossintética sugere que mecanismos fotoquímicos ou bioquímicos ligados à fotossíntese podem ser afetados pela falta de água. Machado et al. 1999, observaram que em laranjeira 'Valência', mesmo após 4 dias de reirrigação, ainda não era o observado recuperação total das taxas fotossintéticas.

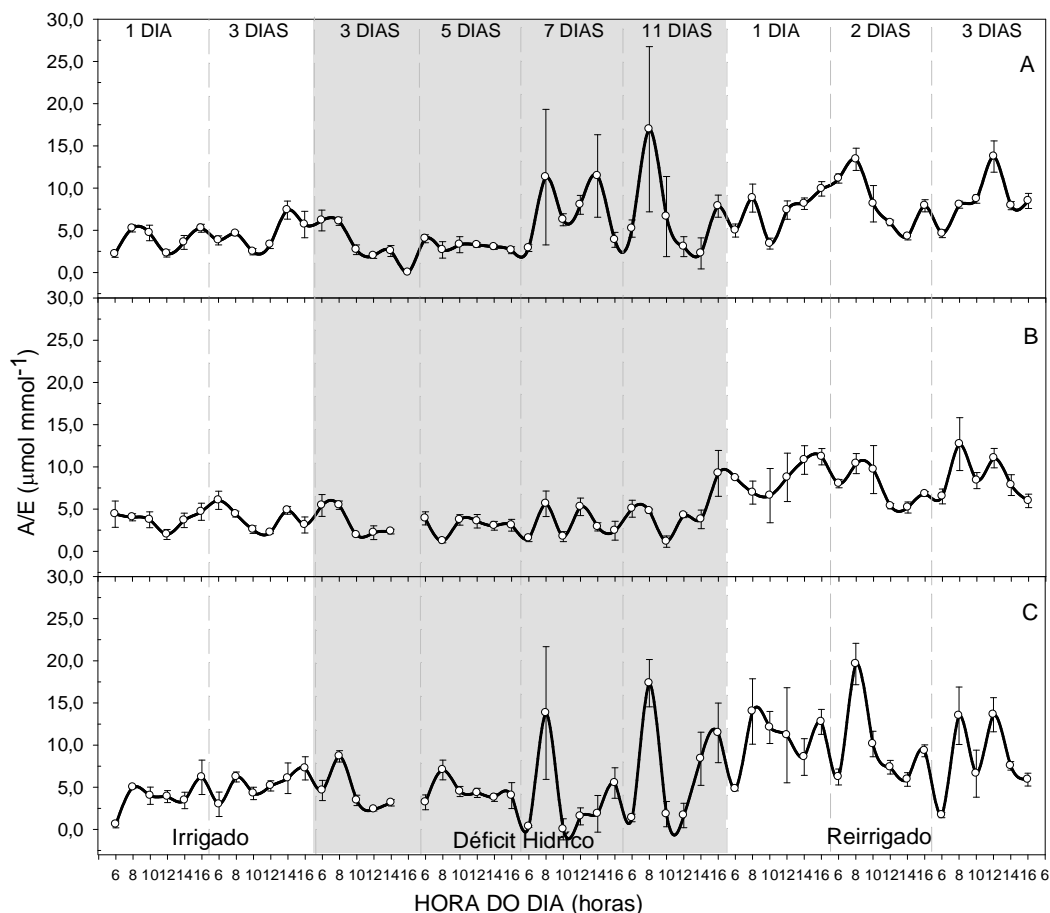
O decréscimo do CRA provocou redução na assimilação do CO<sub>2</sub>, porém analisando a Figura 5, observamos que independente do regime hídrico, os maiores valores de fotossíntese foram registrados para uma faixa de densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos entre 600 e 800  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

Níveis de irradiância ideal para fotossíntese, condutância e transpiração para os citros são descritos por diversos autores. Habermann et al. (2003) obtiveram máxima fotossíntese em laranjeiras 'Pera' com radiação na faixa de 600  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Pimentel et al. (2004) descreveram que para *C. limon* a saturação da fotossíntese (fotoinibição) é alcançada na faixa de 600 a 800  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Conforme estudos de Machado et al. (2005), a laranjeira 'Valência' apresentou ponto de saturação de luz ao redor de 750  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , em 'Murcott' (híbrido) e limeira ácida 'Tahiti' (*C. latifolia* (Yu Tanaka) Tanaka) o ponto de saturação não ficou bem definido, pois acima de 1000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  foram constatadas respostas positivas para a fotossíntese.

A relação entre a fotossíntese e a transpiração define a eficiência do uso da água (EUA), sendo utilizada para demonstrar a capacidade que os vegetais têm de absorver e assimilar CO<sub>2</sub> em detrimento da perda de água através de vapor.

De maneira geral, as tangerineiras 'Cleópatra', 'Sunki da Flórida' e 'Sunki Tropical' tiveram o mesmo desempenho durante todo o experimento (Figura 6).

Para o período em que as plantas foram irrigadas normalmente e o solo apresentava-se com boa condição de umidade, o maior valor na EUA para 'Cleópatra' foi de  $6,32 \pm 0,84 \mu\text{mol mmol}^{-1}$ ;  $4,65 \pm 0,49 \mu\text{mol mmol}^{-1}$  para 'Sunki da Flórida' e  $6,35 \pm 0,50 \mu\text{mol mmol}^{-1}$  para 'Sunki Tropical'.



**Figura 6.** Eficiência no uso da água em plantas de tangerineiras ‘Cleópatra’ (*C. reshni* hort. Ex Tanaka) (A), ‘Sunki da Flórida’ (*C. sunki* (Hayata) hort. Ex Tanaka) (B) e ‘Sunki Tropical’ (*C. sunki* (Hayata) hort. Ex Tanaka) (C) submetidos a diferentes regimes hídricos. As barras representam desvio-padrão (n=6). Cruz das Almas – BA. 2009.

Esses resultados indicam que em condições de disponibilidade hídrica no solo esses genótipos mantêm suas trocas gasosas sem nenhuma restrição. Como ainda não é possível determinar qual fator é responsável pela percepção da condição hídrica (Kramer, 1988; Passioura, 1988; Schulze et al., 1988), podemos assumir que nessas tangerineiras o controle da perda de água é estomático. Outros mecanismos que conferem à planta um aumento na eficiência do uso da água, como elasticidade da parede celular e ajustamento osmótico, não foram abordados neste estudo.

Em laranja ‘Valência’ enxertada em ‘Cleópatra’ cultivada em vasos com o solo em capacidade de campo (-0,23 MPa), a EUA permaneceu em aproximadamente  $2,0 \mu\text{mol mmol}^{-1}$  no horário matutino (MACHADO et al., 2002).

Até o 5º dia de déficit hídrico as plantas apresentaram o mesmo desempenho fisiológico do observado quando estavam irrigadas. Isso demonstra que apesar de os genótipos estarem em situação de defasagem hídrica, eles mantiveram os níveis de troca gasosas constantes. Situação semelhante foi observado por Erismann et al. (2006) em amendoim cultivado em vasos e mantido irrigado, onde a relação fotossíntese/transpiração mantiveram-se em aproximadamente  $5,6 \mu\text{mol mmol}^{-1}$ .

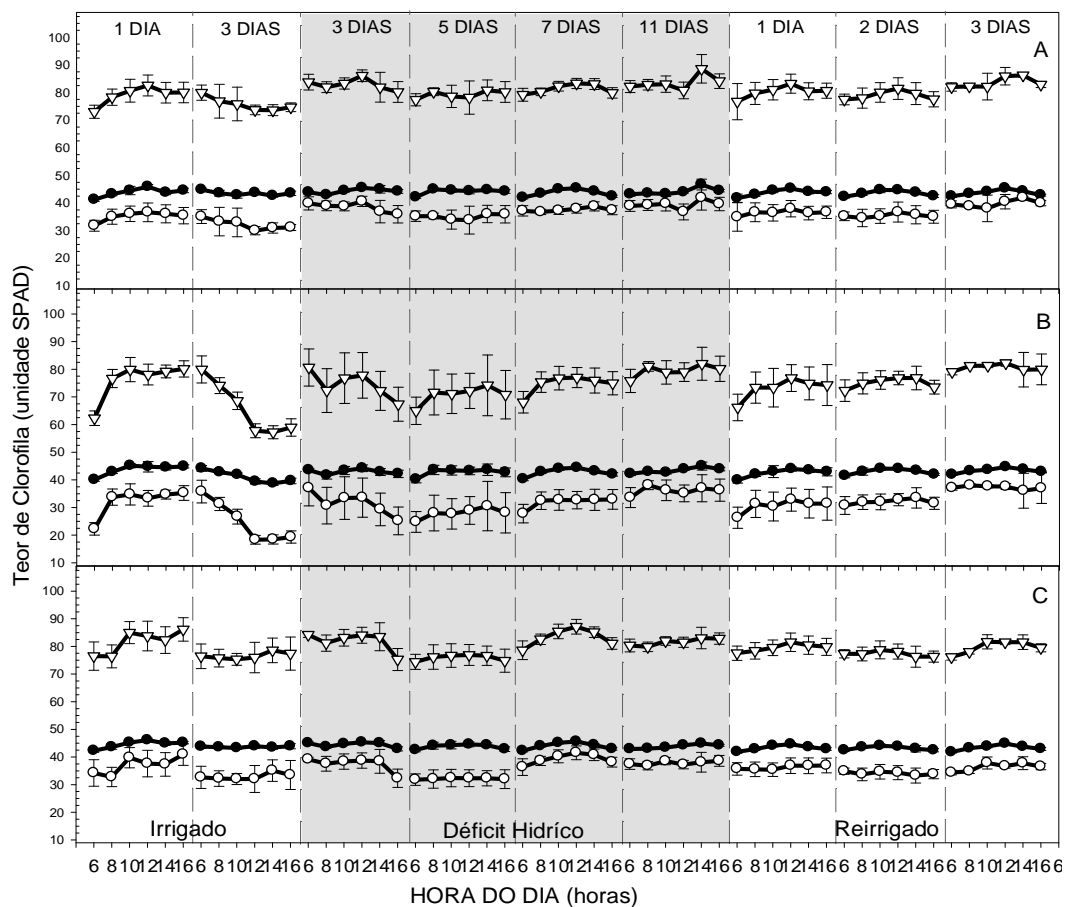
A partir do 7º dia de suspensão da irrigação há um aumento significativo na EUA, evidenciado pela redução mais acentuada na transpiração do que na fotossíntese (Figura 2 e 5). Com os dados apresentados na Figura 6, verifica-se que a tangerineira 'Cleópatra' apresentou o maior valor ( $23,34 \pm 6,22 \mu\text{mol mmol}^{-1}$ ). As demais tangerineiras também tiveram aumento na EUA, embora menor.

É interessante observar que com esse controle estomático esses genótipos podem maximizar o uso de água quando em condição de déficit hídrico (Figura 6), conferindo-lhes um mecanismo de aumento da assimilação de  $\text{CO}_2$  para a produção de carboidratos. Neste sentido, Rocha e Moraes (1997) também encontraram aumento da eficiência do uso da água quando a transpiração e a condutância foram menores. Também, Machado et al. (2002) observaram incremento na eficiência do uso da água de 14% em laranja 'Valência' enxertada em 'Cleópatra' em detrimento da redução das trocas gasosas.

Os níveis da EUA sob déficit hídrico permaneceram os mesmos após a reirrigação das plantas, possivelmente pela manutenção de níveis de ABA nos poros estomáticos.

Na tentativa de observar mudanças na assimilação de  $\text{CO}_2$ , devido a variações nos pigmentos fotossintéticos, monitorou-se a atividade da clorofila *a*, *b* e *total* durante todo o experimento (Figura 7). Observou-se que esses teores mantiveram-se estáveis, independente da condição hídrica adotada.

Para a tangerineira 'Cleópatra', as clorofilas *a*, *b* e *total* apresentaram valores médios de  $43,88 \pm 0,66$ ;  $36,64 \pm 2,57$  e  $80,51 \pm 3,04$  unidade SPAD, respectivamente. As leituras SPAD de clorofilas *a*, *b* e *total* para a tangerineira 'Sunki da Flórida' foram de  $42,86 \pm 0,88$ ;  $31,65 \pm 3,87$  e  $74,50 \pm 4,61$ , respectivamente. Valores médios de  $43,81 \pm 0,57$ ;  $35,94 \pm 2,66$  e  $79,74 \pm 3,08$  de leitura SPAD foram lidos para as clorofilas *a*, *b* e *total*, respectivamente, em tangerineira 'Sunki Tropical'.



**Figura 7.** Teor de clorofila *a* (●), *b* (○) e *total* (▼) (unidades SPAD) em plantas de tangerineiras ‘Cleópatra’ (*C. reshni* hort. Ex Tanaka) (A), ‘Sunki da Flórida’ (*C. sunki* (Hayata) hort. Ex Tanaka) (B) e ‘Sunki Tropical’ (*C. sunki* (Hayata) hort. Ex Tanaka) (C) submetidos a diferentes regimes hídricos. As barras representam desvio-padrão (n=6). Cruz das Almas – BA. 2009.

Segundo Reis et al. (2006) os maiores valores das leituras SPAD são encontrados em folhas novas por estas possuírem maior capacidade de síntese de clorofila, portanto, maior intensidade de verde. Durante toda a fase do experimento, foi observado que as folhas das plantas permaneceram sempre verdes, com perda de brilho e intensidade de cor conforme prolongamento do déficit hídrico, porém sem nenhuma mancha necrótica. Isso sugere que o estresse aplicado não foi suficiente para degradar os principais pigmentos fotossintéticos. Sendo assim, o mecanismo bioquímico da fotossíntese não foi afetado pelas temperaturas da folha que alcançaram valores próximos a 39 °C.

Diferente dos resultados encontrados neste trabalho, Gonçalves (2008) observou decréscimo significativo (19,6%) nos teores de pigmentos fotossintéticos nas folhas de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), analisadas com medidor portátil SPAD-502, sob estresse severo.

Assim, apesar de outros processos na planta, tais como divisão e expansão celular, responderem primeiro à seca, um declínio no índice SPAD é uma medida rápida e sensível, que pode ser usada como ferramenta de seleção de tolerância a estresse (O' NEIL et al., 2006).

## CONCLUSÕES

As tangerineiras apresentam configurações semelhantes de desidratação e de recuperação após o déficit hídrico, refletindo num mesmo padrão nas trocas gasosas.

Os pigmentos fotossintéticos mantêm-se estáveis durante os diferentes regimes hídricos, indicando bom funcionamento do aparelho fotossintético em todos os genótipos.

A tangerineira 'Sunki da Flórida' parece ter um mecanismo que lhe permite menor 'status' hídrico em situação não limitante de água.

A tangerineira 'Cleópatra' demonstra ser a menos sensível ao estresse, apresentando maior eficiência no uso da água (EUA) no máximo déficit hídrico.

As variedades expressam características promissoras relativamente à adaptação a condições de seca.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, O. A. **Informações metereológicas do CNP:** mandioca e fruticultura tropical. Cruz das Almas – BA: EMBRAPA / CNPMF. 1999. 35p. (EMBRAPA / CNPMF. Documentos, 34).

BLUMER, S.; SALVA, R.; POMPEU JUNIOR, J. Evolução do uso dos porta-enxertos nos viveiros de mudas cítricas de São Paulo. (compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 18., Florianópolis, 2004. **Anais**. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 2004.

CARVALHO, C. J. R. Respostas de plantas de *Schizolobium amazonicum* [S. *parahyba* var. *amazonicum*] e *Schizolobium parahyba* [*Schizolobium parahybum*] à deficiência hídrica. **Revista Árvore**, v. 29, n. 006, p. 907-914,

2005.

CERQUEIRA, E. C. et al. Resposta de porta-enxertos de citros ao déficit hídrico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, p.515-519, 2004.

CHAVES, M. M. Effects of water deficits on carbon assimilation. **Journal of Experimental Botany**, v.42, n.234, p.1-16, 1991.

DONATO, S. L. R. et al. Respostas de combinações de variedades copa e porta-enxerto de citros à deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.10, p. 1507-1510, 2007.

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Sistema de Produção para Pequenos Produtores de Citros do Nordeste. Sistema de Produção, 17, 2005.

ERISMANN, N. M.; MACHADO, E. C.; GODOY, I. J. Capacidade fotossintética de genótipos de amendoim em ambiente natural e controlado **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 7, p. 1099-1108, 2006.

FUNDECITRUS. **Fundo de Defesa da Citricultura**. Disponível em: <<http://www.fundecitrus.com.br>>. Acesso em 08 fev. 2008.

GOMES, M. M. A. et al. Interactions between leaf water potential, stomatal conductance and abscisic acid content of orange trees submitted to drought stress. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v. 16, n. 3, p. 155-161, 2004

GONÇALVES, E. R. **Fotossíntese, osmorregulação e crescimento inicial de quatro variedades de cana-de-açúcar submetida à deficiência hídrica**. 2008. 66p. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2008.

HABERMANN, G. et al. CO<sub>2</sub> assimilation, photosynthetic light response curves, and water relations of 'Pera' sweet orange plants infected with *Xylella fastidiosa*. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 15, p. 79-87, 2003.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em 17 dez. 2008.

KRAMER, P. J. **Water Relations of Plants**, Orlando: Academic Press. 1983, 489p.

KRAMER, P. J. Changing concepts regarding plant water relations. **Plant, Cell and Environment**, v. 11, n. 7, p. 565-568, 1988.

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**, San Diego: Academic Press. 1995. 495p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**, São Carlos, SP: Rima artes, 2004. 531p.

MACHADO, E. C.; MEDINA, C. L.; GOMES, M. M. A. Teor de água no substrato de crescimento e fotossíntese em laranja 'Valência'. **Bragantia**, v. 58, p. 217-226, 1999.

MACHADO E. C. et al. Variação sazonal da fotossíntese, condutância estomática e potencial da água na folha de laranja 'valência'. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 1, p. 53-58, 2002.

MACHADO, E. C. et al. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 1161-1170, 2005.

MACHADO, E. C. et al. Fluxo de seiva e fotossíntese em laranja 'Natal' com clorose variegada dos citros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 911-918, 2006.

MANFRON, P. A. et al. Influência da deficiência hídrica no crescimento e produtividade do trigo (*Triticum aestivum* (L.) Thell). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 4, n. 2, p. 39-47, 1996.

MATOS, N. N.; TEXEIRA JUNIOR, A. C.; SILVEIRA, J. A. G. da. Influência do porta-enxerto no comportamento fisiológico de mudas de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) submetidas a estresses. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 1, p. 27-31, 2003.

MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C. Trocas gasosas e relações hídricas em laranja 'Valência' enxertada sobre limoeiro 'Cravo' e trifoliata e submetida à deficiência hídrica. **Bragantia**, v. 57, n. 1, p. 15-22, 1998

MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C.; GOMES, M. M. A. Condutância estomática, transpiração e fotossíntese em laranja 'Valência' sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 11, p. 29-34, 1999.

NOGUEIRA, R. J. M. C. et al. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, n. 1, p. 75-87, 2001.

NOGUEIRA, R. J. M. C. et al. Curso Diário das perdas de vapor d' água, da temperatura e do potencial de água da folha em germoplasma de carambola (*Averrhoa carambola* L.). **Acta Botanica Brasilica**, v. 16, n. 2, p. 217-223, 2002.

O'NEIL, P. M.; SHANAHAN, J. F.; SCHEPERS, J. S. Use of chlorophyll fluorescence assessments to differentiate corn hybrid response to variable water conditions. **Crop Science**, v. 46, p. 681-687, 2006.

OLIVEIRA, M. P. J. de et al. fotossíntese, condutância estomática e



transpiração em pupunheira sob deficiência hídrica. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 1, p.59-63, 2002.

PANKOVIC, D. et al. Acclimation to long-term water deficit in the leaves of two sunflower hybrids: photosynthesis, electron transport and carbon metabolism. **Journal of Experimental Botany**, v. 50, p. 127-138. 1999.

PASSIOURA, J. B. Response to or P. J. Kramer's article 'Changing concepts regarding plant water relations', Volume 11, Number 7. pp, 565-568, **Plant, Celt and Environment**, v. 11, p.569-571, 1988.

PIMENTEL, C. et al. Effects of changes in the photosynthetic photon flux density on net gas exchange of *Citrus limon* and *Nicotiana tabacum*. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.16, n. 2, 2004.

POMPEU JUNIOR, J. Porta-enxertos. In: MATTOS JUNIOR, D.; NEGRI, J. D.; PIO, R. M. POMPEU JUNIOR, J. **Citros**. Campinas:FUNDAG, 2005, p. 63-104.

PORTO, M. C. C. condutância foliar em cultivares de mandioca. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.1, n. 1, p. 93-98, 1989.

REIS, A. R. et al. Metodologia e técnicas experimentais diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. **Bragantia**, v. 65, n. 1, p. 163-171, 2006.

ROCHA, A. M. S.; MORAES, J. A. P. Estresse hídrico e trocas do CO<sub>2</sub> gasoso e vapor d'água em plantas jovens envasadas de *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 9, n. 1, p. 43-48, 1997.

RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C.; OLIVEIRA, R. F. Temperature response of photosynthesis and its interaction with light intensity in sweet orange leaf discs under non-photorespiratory condition. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, 2006.

SAMPAIO, A.P.R. **Déficit hídrico com ênfase na assimilação de carbono, potencial hídrico foliar, transpiração e condutância estomática em *Talisia esculenta***, (A. ST.-HIL.) RADLK. 2005. 41 p. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana. 2005.

SILVA, R. P da. **Organogênese *in vitro* em laranja azeda (*Citrus aurantium* L.) e transformação genética de limão 'Cravo' (*Citrus limonia* L.Osbeck) e laranja 'Valência' (*Citrus sinensis* L. Osbeck) com o gene da replicase do Marafivirus**. 2008. 102 p. Tese (Doutorado em Agronomia: Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 2008.

SOARES FILHO, W. dos S. et al. 'Tropical': uma nova seleção de tangerina 'Sunki'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 127-132, 2002.

SOUZA, R. P. et al. Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic changes in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. **Environmental and Experimental Botany**, n. 51, p. 45-56, 2004.

SCHULZE et al. Response to or P. J. Kramer's article 'Changing concepts regarding plant water relations', Volume 11, Number 7. pp, 565-568, **Plant, Cell and Environment**, v. 11, p.573-576, 1988.

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

TURNER, N. C. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. **Plant and Soil**, v. 58, p. 339-366, 1981.

VIEIRA JÚNIOR et al. Relações entre o potencial e a temperatura da folha de plantas de milho e sorgo submetidas a estresse hídrico. **Acta Science Agronomica** v. 29, n. 4, p.555-561, 2007.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os citros adaptaram-se bem as condições climáticas do Brasil estando presente em diversas áreas cultivadas. A região Nordeste está implantada notadamente no baixo platô costeiro, denominado de Grande Unidade de Paisagem de Tabuleiros Costeiros, caracterizado principalmente pelos horizontes coesos e pela má distribuição de chuvas, as quais se concentram entre os meses de abril e setembro. Essas condições impõem às plantas cítricas períodos de déficit hídrico, acarretando distúrbios fisiológicos, anatômicos e metabólicos, refletindo diretamente na produção.

Também, sabe-se que o porta-enxerto exerce influência sobre as características da copa da planta, particularmente sobre a qualidade do fruto e na tolerância a estresses ambientais.

Portanto, a identificação de novos porta-enxertos adaptados a condições de restrições hídricas foi o alvo de nossa pesquisa, avaliando caracteres fisiológicos que determinassem o estado hídrico das plantas, a capacidade de assimilação de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e os teores de pigmentos fotossintéticos responsáveis pela captação de energia (radiação solar), sendo esses capazes de determinar o nível de tolerância de genótipos cítricos à seca.

Os resultados desta pesquisa possibilitaram identificar que os genótipos tiveram o CRA e as trocas gasosas influenciados pelo déficit hídrico, e lenta recuperação com a reirrigação. Os pigmentos fotossintéticos não foram afetados pela deficiência hídrica, configurando-se semelhantes em todos os genótipos. Ao final do estudo, aponta-se o limoeiro 'Cravo Santa Cruz' e a tangerineira 'Cleópatra' como os menos sensíveis ao déficit hídrico e maior poder de recuperação, características estas desejáveis em porta-enxertos destinados ao cultivo em regiões sujeitas a períodos de deficiência hídrica.

Considerando-se a importância da atividade citrícola para o País e a sua possível expansão e potencialização no Nordeste brasileiro, aliado à escassez de

informações quanto aos problemas a serem estudados nesta região, destaca-se o mérito das informações aqui apresentada. Sob pressão de estresse hídrico os genótipos avaliados neste estudo tiveram seu 'status' de água diminuído, mas, mesmo assim, mantiveram alguma atividade de captação de CO<sub>2</sub>. Os pigmentos fotossintetizantes, como a clorofila *a* e *b* foram sempre mantidos em níveis estáveis, demonstrando que a redução na assimilação do CO<sub>2</sub> não foi causada pela desnaturação da clorofila. Em resumo, os dados da eficiência do uso da água (EUA) sugerem que o controle estomático é responsável por regular a perda d'água em situação de déficit hídrico.

As informações aqui apresentadas não são conclusivas a ponto de sugerirmos aos melhoristas um novo fator para aumentar a tolerância das plantas cítricas ao estresse hídrico. Contudo, os resultados nos direcionam a novos estudos sobre a condutividade hidráulica em genótipos de citros e a possibilidade de verificar se há alguma contribuição do ajustamento osmótico para adaptação à seca.