

TROCAS GASOSAS E COMPONENTES DE CRESCIMENTO EM PORTA-ENXERTOS DE CITROS SUBMETIDOS À RESTRIÇÃO HÍDRICA

JANIVAN FERNANDES SUASSUNA¹; PEDRO DANTAS FERNANDES²; KALYNE SONALE ARRUDA DE BRITO¹; RONALDO DO NASCIMENTO¹; ALBERTO SOARES DE MELO² E MARCOS ERIC BARBOSA BRITO³

¹Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola – Universidade Federal de Campina Grande, Campus Campina Grande, Avenida Aprígio Veloso, 882, CEP 58429-140, Campus Campina Grande, PB. E-mail (s): jf.su@hotmail.com; line.brito@hotmail.com; ronaldo@deag.ufcg.edu.br

²Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Universidade Estadual da Paraíba, Campus I, Rua das Baraúnas, 351, CEP 58429-500, Campina Grande, PB. E-mail (s): pdantas@pq.cnpq.br; alberto@uepb.edu.br

³Unidade Acadêmica de Ciências Agrárias - Universidade Federal de Campina Grande, Campus Pombal, Rua Jairo Vieira Feitosa, 1770, CEP 58.840-000, Campus Pombal, PB. E-mail: marcoseric@ccta.ufcg.edu.br

1 RESUMO

O uso de porta-enxertos tem importante função na citricultura, por sua influência no rendimento e na tolerância da variedade-copa aos fatores de estresse, como a deficiência hídrica, necessitando-se identificar genótipos tolerantes. Assim, foi desenvolvido este experimento com o objetivo de avaliar o crescimento e as alterações nas trocas gasosas em porta-enxertos de citros submetidos à restrição hídrica. Estudaram-se os fatores manejo hídrico (sem estresse e com estresse) e genótipo (10 genótipos potenciais de uso como porta-enxertos de citros), no delineamento experimental em blocos casualizados, com três repetições, sendo a parcela constituída de 15 plantas úteis. Foram avaliadas, variáveis de crescimento (número de folhas, altura de plantas e diâmetro do caule dos porta-enxertos) e fisiológicas (condutância estomática (g_s), transpiração (E), fotossíntese líquida (A) e concentração interna de CO_2 (C_i), estimando-se, ainda, a eficiência instantânea do uso da água ($EiUA = A/E$) e a eficiência instantânea da carboxilação ($EiC = A/C_i$). Concluiu-se que a deficiência hídrica reduziu a taxa de fotossíntese nos porta-enxertos 'TSKC x TRENG-256', 'TSKC x (TR x LCR) - 059', 'TSKC x TRENG - 264' e 'LCRC', a necessitarem de irrigação quando cultivados em áreas com baixa pluviosidade. O crescimento dos porta-enxertos foi limitado pelo déficit hídrico, sendo o diâmetro do caule a variável menos prejudicada. O híbrido 'TSKFL x CTTR-017' é menos sensível ao déficit hídrico, sem alterações nas trocas gasosas ou no crescimento.

Palavras-chave: Variedades e híbridos; déficit hídrico, tolerância.

SUASSUNA, J. F.; FERNANDES, P. D.; BRITO, K. S. A.; NASCIMENTO, R. do;
MELO, A. S. de; BRITO, M. E. B.
GAS EXCHANGE AND GROWTH COMPONENTS IN CITRUS ROOTSTOCKS
UNDER WATER RESTRICTION

2 ABSTRACT

Rootstocks play an important role in citrus crop because of their influence on yield and tolerance of the scion variety to stress factors, such as water stress. Therefore, identification of tolerant genotypes to this factor is very important. Based on these considerations, an experiment was conducted to evaluate growth and gas exchanges in citrus rootstocks under water stress. The following factors were studied: water management (with and without stress) and genotype (10 potential genotypes as citrus rootstocks). The experimental design was randomized blocks with three replications, and the plot consisted of 15 effective plants. The following parameters were evaluated: growth variables (number of leaves, plant height and stem diameter of rootstocks) and physiological variables (stomatal conductance (g_s), transpiration (E), net photosynthesis (A) and internal concentration of CO_2 (C_i)). Also, the instantaneous efficiency of water use ($EiUA = A/E$) and instantaneous efficiency of carboxylation ($EiC = A/C_i$) were estimated. Water deficit reduced the photosynthesis rates in the 'TSKC x TRENG256', 'TSKC x (TR x LCR) - 059', 'TSKC x TRENG - 264' and 'LCRC' rootstocks. These rootstocks require irrigation when grown in low rainfall areas. Rootstock growth was limited by water deficit, and stem diameter was the least susceptible variable to damage. The 'TSKFL x CTTR-017' hybrid is less sensitive to water deficit, with no changes in gas exchange or growth.

Keywords: Varieties and hybrids, water deficit, tolerance.

3 INTRODUÇÃO

A deficiência hídrica afeta diversos processos bioquímicos, fisiológicos e morfológicos das plantas, notadamente, por aumentar a resistência difusiva ao vapor de água, mediante o fechamento estomático, o que reduz a transpiração e o suprimento de dióxido de carbono para o processo fotossintético, com diminuição do crescimento celular e aumento da fotorrespiração (Shinozaki & Yamaguchi-Shinozaki, 2007).

Em pomares cítricos, é comum a ocorrência de déficit hídrico, ocasionando redução e, até paralisação do crescimento das plantas (Mattos Junior et al., 2005), em especial quando cultivadas em áreas de pluviosidade irregular, a exemplo da região Nordeste do Brasil, a segunda maior produtora do País (IBGE, 2012). Nessa região, devido à ocorrência de longos períodos de estiagem, é necessário que os porta-enxertos cítricos tenham boa capacidade de adaptação a tais condições, o que torna relevante a identificação de genótipos tolerantes (Brito et al., 2012). Além disso, a necessidade hídrica das plantas cítricas varia com a combinação copa/porta-enxerto, sistema de plantio, estágio de desenvolvimento, idade e condições climáticas (Mattos Junior et al., 2005).

Na tolerância à seca, os mecanismos fisiológicos podem variar de acordo com a severidade e a duração do estresse, dependendo ainda a severidade dos efeitos em função da fase fenológica e do material genético. Genótipos com diversidade na resposta ao estresse hídrico têm potencial para serem utilizados em programas de melhoramento genético de plantas (Peixoto et al., 2006). Nesse sentido, são vários os parâmetros fisiológicos que podem ser empregados na avaliação da tolerância das espécies vegetais ao déficit hídrico, por estarem relacionados aos mecanismos fisiológicos dos vegetais, os quais refletem ajustes de adaptação e de produção da cultura (Jifon & Syvertsen, 2003; García-Tejero et al., 2010).

Portanto, é indispensável o conhecimento das respostas de espécies cítricas à limitação hídrica, sobretudo, na fase de porta-enxertos, devido à sua influência na tolerância da cultivar-copa e, futuramente, no desenvolvimento e produção das plantas adultas (Brito et al., 2012). Essa informação fornecerá subsídios ao cultivo em áreas com restrição de água, haja vista que são escassas as informações disponíveis acerca dessa temática na região do Semiárido brasileiro. Nesse contexto, objetivou-se, com este trabalho, avaliar o crescimento e as alterações nas trocas gasosas em porta-enxertos de citros submetidos à restrição hídrica.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida em ambiente protegido, nas instalações da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, com coordenadas geográficas 7°15'18" de latitude S e 35°52'28" de longitude O, a uma altitude de 550 m. As médias de temperatura mínima, média e máxima no interior do ambiente durante o período de condução da pesquisa foram de 16,95 °C, 22,64 °C e 32,60 °C.

Estudaram-se os fatores manejo hídrico (MH) e genótipos de porta-enxerto (PE), compondo um fatorial 2 x 10 (2 manejos hídricos x 10 genótipos potenciais de uso como porta-enxertos), arranjados no delineamento experimental em blocos casualizados, com três repetições. A parcela experimental foi constituída de 15 plantas úteis de cada genótipo, totalizando 300 plantas por repetição. Os manejos hídricos estudados foram: MH₁ - umidade no substrato dos recipientes correspondente ao nível de 100% do conteúdo hídrico próximo à capacidade de campo (CC) durante todo o transcorrer do experimento, ou seja, sem estresse por déficit hídrico (SE); e MH₂ – umidade no substrato correspondente ao nível de 50% da CC. Neste caso, com estresse por déficit hídrico (CE) dos 60 aos 135 dias após a semeadura (DAS) e duração de 75 dias de restrição hídrica.

O fator 'PE' foi constituído por 10 genótipos potenciais de uso como porta-enxertos de citros, entre variedades tradicionais e híbridos com potencial de tolerância à seca (Tabela 1), fornecidos pelo Programa de Melhoramento Genético de Citros – PMG Citros.

Tabela 1. Relação de genótipos (variedades e híbridos) de porta-enxertos de Citros tradicionais utilizados na pesquisa para estudo sob estresse hídrico.

Ordem	GENÓTIPOS (abreviaturas e nomes)
1	LCRSTC – Limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ (<i>C. limonia</i> Osbeck)
2	TSKC {Tangerineira ‘Sunki’ [<i>C. sunki</i> (Hayata) hort. ex Tanaka] seleção comum} x TRENG– 256 {Trifoliata [<i>P. trifoliata</i> (L.) Raf.] ‘English’ - 256}
3	TSKC x {LCR [Limoeiro ‘Cravo’ (<i>C. limonia</i> Osbeck)] x TR [Trifoliata (<i>Poncirus trifoliata</i> (L.) Raf.)] – 059
4	TSKFL {Tangerineira ‘Sunki’ [<i>C. sunki</i> (Hayata) hort. ex Tanaka] seleção ‘da Flórida’} x CTC25 {Citrange [<i>C. sinensis</i> x <i>P. trifoliata</i> (L.) Raf.] C25} – 010
5	TSKFL x CTTR {Citrange [<i>C. sinensis</i> x <i>P. trifoliata</i> (L.) Raf.] ‘Troyer’} – 017
6	TSKC x TRENG – 264; 7 - CTSW [Citrumelo (<i>C. paradisi</i> Macfad x <i>P. trifoliata</i>) ‘Swingle’]
7	CTSW [Citrumelo (<i>C. paradisi</i> Macfad x <i>P. trifoliata</i>) ‘Swingle’]
8	LCRC - Limoeiro Cravo Comum (<i>C. limonia</i> Osbeck)
9	TSKFL x LRM [Limoeiro ‘Rugoso Mozael’ (<i>C. jambhiri</i> Lush.) seleção de Mozael] – 007
10	LVK – Limoeiro ‘Volkameriano’ (<i>C. volkameriana</i> V. Tem. & Pasq.)

Para cultivo dos porta-enxertos, foram utilizados tubetes com capacidade volumétrica de 288 mL, preenchidos com 300 g de substrato composto de uma parte de solo de textura média e outra parte de substrato comercial (1:1). O substrato comercial foi constituído à base de casca de pinus, vermiculita e húmus; foram determinados os atributos físico-químicos da mistura do substrato comercial com o material de solo, obtendo-se os seguintes resultados: cálcio (4,14 mmol_c dm⁻³); magnésio (2,63 mmol_c dm⁻³); sódio (2,56 mmol_c dm⁻³); potássio (0,14 mmol_c dm⁻³); hidrogênio (2,11 mmol_c dm⁻³); alumínio (0,00 mmol_c dm⁻³); carbonato de cálcio qualitativo: ausência; carbono orgânico: 0,64%; matéria orgânica: 1,10%; nitrogênio: 4,86%; fósforo assimilável determinado pelo método de Mehlich-1; (6,84 mg/100g); pH H₂O (1:2,5): 6,84; condutividade elétrica – suspensão solo-água: 1,55 mS cm⁻¹.

Com a umidade do substrato na capacidade de campo (CC), foram postas a germinar três sementes por recipiente e, após uniformização da germinação, procedeu-se o desbaste do excesso de plântulas, deixando-se apenas a de maior vigor. No período correspondente à germinação e ao crescimento inicial das plantas (até 60 DAS), as irrigações foram feitas com frequência diária em todas as parcelas, de forma a manter o substrato úmido.

Após 60 DAS, as irrigações foram realizadas diariamente com uso de becker graduado, aplicando-se um volume único às plantas, conforme cada manejo hídrico, em função do consumo hídrico médio das plantas. O volume aplicado foi estimado por pesagem

do conjunto tubete + substrato + planta para todos os genótipos, visto que o consumo hídrico se manteve igual entre genótipos. Para tanto, diariamente e no mesmo horário, a pesagem foi realizada para verificação da quantidade de água consumida e, posteriormente, os volumes necessários foram repostos para manter a capacidade hídrica de cada tratamento, conforme as Equações (1 e 2), em que foi considerado o volume de água igual à sua massa. No tratamento de estresse hídrico (MH₂), o volume de água aplicado (V_a) foi disponibilizado às plantas quando a umidade no substrato estava abaixo de 50% do conteúdo hídrico correspondente ao da capacidade de campo, conforme a equação 2.

$$V_a = Pm100\%CC - P_a \quad (1)$$

$$V_a = Pm50\%CC - P_a \quad (2)$$

Em que:

V_a = Volume de água a ser aplicado (mL);

P_a = Peso atual dos tubetes com substrato (g);

$Pm100\%CC$ = Peso médio dos tubetes com substrato e teor de umidade na CC (g); e

$Pm50\%CC$ = Peso médio dos tubetes com substrato e 50% do teor de umidade da CC (g).

As adubações de cobertura também foram realizadas semanalmente, com nitrogênio, fósforo, potássio e micronutrientes, aplicando-se 10 mL por tubete da solução de 10 g de fosfato monoamônico (MAP) + 5 g de nitrato de potássio + 1 g do produto comercial Albatroz® (N-P-K-Mg: 7-17-35-3, + micronutrientes), dissolvidos em um litro de água.

As variáveis de trocas gasosas foram mensuradas com uso do equipamento analisador de trocas gasosas modelo LCpro+, contendo um IRGA (Infra Red Gas Analyser). Tais avaliações foram realizadas aos 135 DAS, no horário entre 9 e 10 h da manhã, sob densidade de fluxo de fótons fotossintéticos de 1200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Magalhães Filho et al., 2008). As avaliações foram realizadas em folhas completamente expandidas e não sombreadas, tendo como critério de escolha, a terceira ou quarta folha a partir do ápice. Foram obtidas as leituras das seguintes variáveis: condutância estomática (g_s) ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), fotossíntese líquida (A) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração (E) ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e concentração interna de CO₂ (C_i) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$). Por meio da relação entre a fotossíntese líquida (A) e a transpiração (E), obteve-se a eficiência instantânea no uso da água ($EiUA$) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$] e a eficiência instantânea da carboxilação (EiC) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$], foi obtida pela relação A/C_i .

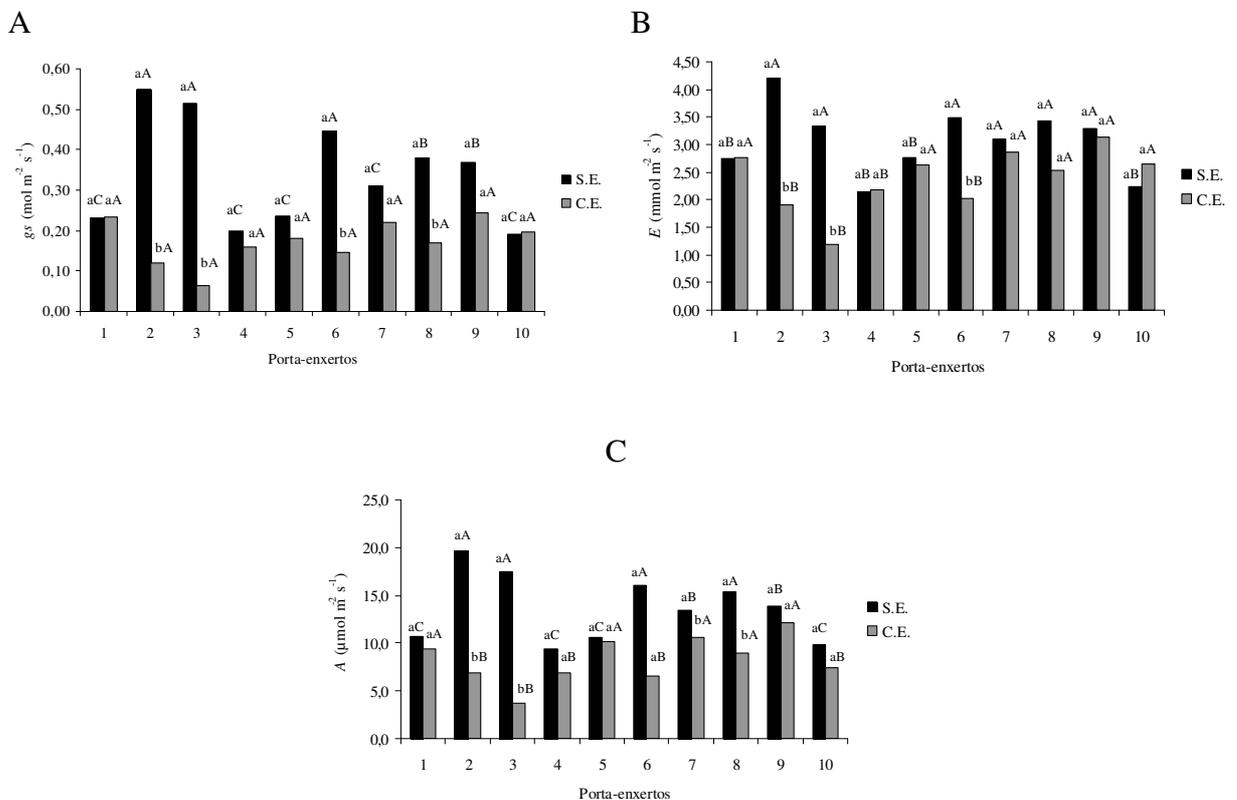
Na análise do crescimento das plantas, foram avaliados quinzenalmente, a partir dos 75 DAS (15 dias após o início dos tratamentos de estresse hídrico), o número de folhas (NF), a altura de plantas (ALT) e o diâmetro do caule (DC). A contagem das folhas foi feita considerando-se aquelas completamente expandidas e em estado funcional na planta; a altura das plantas (cm) foi medida tomando-se como referência a distância do colo da planta até a inserção da última folha formada; já o diâmetro do caule (mm) foi medido com uso de um paquímetro digital, a uma altura aproximada de 2 cm da superfície do substrato.

Os dados obtidos das variáveis analisadas foram submetidos à análise de variância (teste F) por meio do programa Sisvar 5.1 (Ferreira, 2008). Na avaliação do efeito comparativo entre os genótipos, procedeu-se a análise por aglutinação de médias pelo teste de Scott-Knott, $p < 0,05$ (Scott & Knott, 1974) para o fator porta-enxerto.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os porta-enxertos de citros mantiveram classificação semelhante nas avaliações de g_s , E e A (Figura 1). O comportamento de cada genótipo reflete os mecanismos específicos de trocas gasosas entre a planta e o meio externo, visto que, quando g_s é limitada para reduzir a perda de água (E), o influxo de CO_2 para o interior da célula também diminui, o que compromete a taxa de fotossíntese líquida (A) (Shimazaki & Yamaguchi-Shinozaki, 2007; Taiz & Zeiger, 2009; Brito et al., 2012).

Figura 1. Condutância estomática (A), transpiração (B) e taxa de fotossíntese líquida (C) em porta-enxertos de citros sem e com estresse hídrico. Em cada porta-enxerto, barras com a mesma letra minúscula indicam não haver diferença significativa entre as médias dos manejos hídricos; entre os porta-enxertos, barras com mesma letra maiúscula indicam que os porta-enxertos pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott, $p < 0,05$; S.E = sem estresse e C.E = com estresse.



Porta-enxertos: 1 – LCRSTC; 2 - TSKC x TRENG-256; 3 - TSKC x (LCR x TR)-059; 4 - TSKFL x CTC25-010; 5 - TSKFL x CTTR-017; 6 - TSKC x TRENG-264; 7 – CTSW; 8 – LCRC; 9 - TSKFL x LRM-007 e 10 – LVK

A maior condutância estomática foi encontrada nos genótipos ‘TSKC x TRENG–256’, ‘TSKC x (LCR x TR)–059’, ‘TSKC x TRENG–264’ e ‘LCRC’, quando as plantas estavam sem restrição hídrica, havendo redução em g_s no regime hídrico de 50% da capacidade de campo (Figura 1A). Mesmo com essa redução, os valores de g_s nas plantas sob déficit hídrico

ficaram na faixa de 0,1 a 0,3 mol m⁻² s⁻¹, intervalo de valores comumente observado em plantas de citros (Mattos Junior et al., 2005).

Os porta-enxertos 'LCRSTC', 'TSKFL x CTC25-010', 'TSKFL x CTTR-017', 'CTSW' e 'LVK' não tiveram a condutância estomática afetada, significativamente, pelo déficit hídrico (Figura 1A). Esse pode ser um indicativo da ocorrência de ajustamento fisiológico mais eficiente nesses genótipos. Isso se explica pelo fato de a redução na condutância estomática, em consequência do déficit hídrico, aumentar a resistência estomática ao fluxo de vapor d'água das folhas através dos estômatos para a atmosfera externa a fim de manter o potencial hídrico nas folhas (Taiz & Zeiger, 2009).

Na transpiração (*E*), assim como observado para *g_s*, registrou-se depleção significativa (*p*<0,05) entre os manejos hídricos em três genótipos ('TSKC x TRENG-256', 'TSKC x (LCR x TR)-059' e 'TSKC x TRENG-264'), com maiores valores nas plantas manejadas sem restrição hídrica (Figura 1B). As plantas desses genótipos, quando sob estresse hídrico, transpiraram menos, com reduções de 54,63%, 64,52% e 41,52% em *E*, respectivamente. Essa tendência foi similar àquela registrada na condutância estomática (*g_s*), em função do regime de estresse hídrico, em virtude do fechamento parcial dos estômatos restringir tanto a saída de vapor de água quanto à entrada de CO₂ no interior da célula. Apesar da redução, os valores encontrados para a transpiração estão dentro da faixa de 1,0 e 12 mmol (H₂O) m⁻² s⁻¹ preconizada para laranja (Mattos Junior et al., 2005). Entretanto, a maior taxa de transpiração observada nesta avaliação foi de apenas 4,21 mmol (H₂O) m⁻² s⁻¹ verificado no 'TSKC x TRENG-256', quando as plantas não foram submetidas a estresse hídrico.

Cerqueira et al. (2004) ressaltam que a abertura dos estômatos, que é diretamente relacionada à condutância estomática, depende do grau de saturação hídrica das células estomáticas, podendo haver restrição da transpiração caso o déficit de água na planta seja alto. Esses autores acrescentam, ainda, que a intensidade da transpiração varia com a ação de fatores internos, área superficial, distribuição e número dos estômatos e de fatores externos, como: luz, umidade do ar, temperatura e disponibilidade de água no solo.

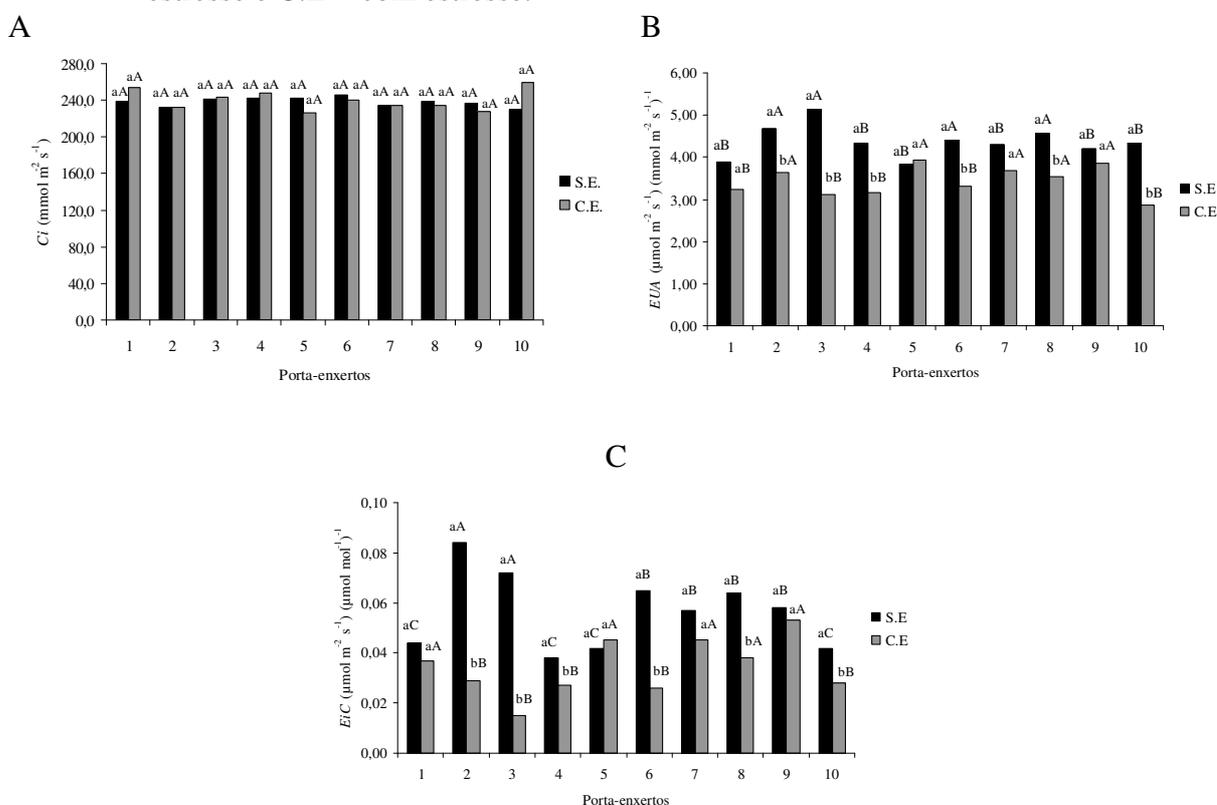
Na fotossíntese líquida (Figura 1C), notou-se influência do manejo hídrico nos porta-enxertos 'TSKC x TRENG-256', 'TSKC x (LCR x TR)-059', 'TSKC x TRENG-264' e 'LCRC', nos quais também houve prejuízos em *g_s* e *E* devido ao déficit hídrico. Nesses genótipos, foi mensurada diminuição na fotossíntese líquida da ordem de 65,20%, 78,84%, 59,41% e 42,11% nas plantas submetidas à deficiência hídrica. Decréscimos em *g_s* e, consequentemente, em *A*, induzidos pelo déficit hídrico, são resultados comumente relatados em espécies cultivadas (Pimentel, 2004; Singels et al., 2005; Chaves et al., 2009), conforme encontrado no presente trabalho.

No manejo hídrico de 50% da CC, os genótipos 'LCRSTC', 'TSKFL x CTTR-017', 'CTSW', 'LCRC' e 'TSKFL x LRM-007' foram os que tiveram maior taxa de fotossíntese líquida (9,35, 10,15, 10,61, 8,92 e 12,11 μmol m⁻² s⁻¹), mesmo com valores médios menores que os registrados no tratamento sem estresse hídrico; esse fato é um indicativo da presença de mecanismo de ajuste fisiológico favorável nesses porta-enxertos, em condições adversas de restrição de umidade no substrato de cultivo. É interessante mencionar que, em citros, o limite para esse parâmetro está entre 4,0 e 10 μmol m⁻²s⁻¹ (Machado et al., 2010; Mattos Junior et al., 2005), e taxas menores que 4,0 μmol m⁻²s⁻¹ traduzem condição de estresse hídrico nas plantas (Medina & Machado, 1999). Assim, o porta-enxerto 'TSKC x (LCR x TR)-059', sob déficit hídrico, foi o único com taxa de fotossíntese líquida menor que 4,0 μmol m⁻²s⁻¹, e, com isso, pode ter expressado condição de estresse mais severo devido à deficiência hídrica.

Vários autores (Medina & Machado, 1999; Ribeiro & Machado, 2007; Ribeiro et al., 2009; Machado et al., 2010) explicam que em função da resistência estomática associada ao fluxo de água no sistema solo-planta-atmosfera, ocorre defasagem entre a absorção de água pelas raízes e a transpiração e, por isso, se considera o fechamento parcial dos estômatos uma estratégia para evitar desidratação excessiva ou uma consequência de desbalanço hídrico na epiderme das folhas, o qual leva à redução da fotossíntese.

Na concentração interna de CO₂ ou concentração de CO₂ na câmara subestomática (*C_i*), não se constatou diferença significativa entre os fatores estudados nem em função da interação entre eles (Figura 2A). Apesar de o fechamento parcial dos estômatos, evidenciado neste trabalho pela diminuição da condutância estomática, causar redução de *C_i*, não houve variação significativa desse parâmetro entre os tratamentos hídricos, fato explicado pelo provável decréscimo na atividade fotossintética (Machado et al., 2010). Entretanto, nos porta-enxertos 'LCRSTC' e 'LVK' foram registrados valores de *C_i* mais altos (acima de 250 mmol m⁻² s⁻¹) nas plantas sob déficit hídrico, denotando-se uma possível diminuição na carboxilação, baseando-se em informações contidas em Mattos Junior et al. (2005), segundo os quais, usualmente, é de 240 a 250 mmol m⁻² s⁻¹ a faixa de *C_i* encontrada em plantas cítricas.

Figura 2. Concentração interna de CO₂ (A), eficiência instantânea no uso da água (B) e eficiência instantânea da carboxilação (C) em porta-enxertos de citros sem e com estresse hídrico. Em cada porta-enxerto, barras com a mesma letra minúscula indicam não haver diferença significativa entre as médias dos manejos hídricos; entre os porta-enxertos, barras com mesma letra maiúscula indicam que os porta-enxertos pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott, p<0,05; S.E = sem estresse e C.E = com estresse.



Porta-enxertos: 1 – LCRSTC; 2 - TSKC x TRENG-256; 3 - TSKC x (LCR x TR)-059; 4 - TSKFL x CTC25-010; 5 - TSKFL x CTTR-017; 6 - TSKC x TRENG-264; 7 – CTSW; 8 – LCRC; 9 - TSKFL x LRM-007 e 10 – LVK

Quanto à eficiência instantânea do uso da água (*EiUA*), expressa pela relação entre a fotossíntese líquida e a transpiração (*A/E*), os resultados foram distintos entre os porta-enxertos. A *EiUA* foi reduzida significativamente nos genótipos 'TSKC x TRENG-256', 'TSKC x (LCR x TR)-059', 'TSKFL x CTC25-010', 'TSKC x TRENG-264', 'LCRC' e 'LVK'. Entretanto, sob restrição hídrica 'TSKC x TRENG-256' e 'LCRC' tiveram maior eficiência, além de 'TSKFL x CTTR-017', 'CTSW' e 'TSKFL x LRM-007' (Figura 2B). Por estes resultados, depreende-se haver mecanismos de adaptação ao estresse hídrico, nesses genótipos, resultando em maior eficiência na manutenção do equilíbrio entre *A* e *E*, sendo eles o 'LCRSTC', 'TSKFL x CTTR - 017', 'CTSW' e o 'TSKFL x LRM - 007'. Na presente pesquisa foram encontrados valores na faixa de 1,5 a 4,1 [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$], semelhantes aos resultados mencionados por Mattos Junior et al. (2005).

Quando as plantas não estavam sob estresse hídrico, as taxas da *EiUA* oscilaram entre 3,83 a 5,25 [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$] e, sob déficit hídrico, variaram entre 2,87 e 3,92 [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$]. Deve-se esclarecer que durante as trocas gasosas, a absorção de dióxido de carbono do meio externo, via estomática, resulta também, em perda de água e a planta, para poder diminuir essa perda restringe a entrada de CO_2 . Essa interdependência expressa pela relação *A/E* relaciona a quantidade de carbono que a planta fixa por cada unidade de água que se perde nesse processo (Jaimez et al., 2005; Shimazaki & Yamaguchi-Shinozaki, 2007; Taiz & Zeiger, 2009), sendo desejável a absorção do máximo de CO_2 com o mínimo de perda de água.

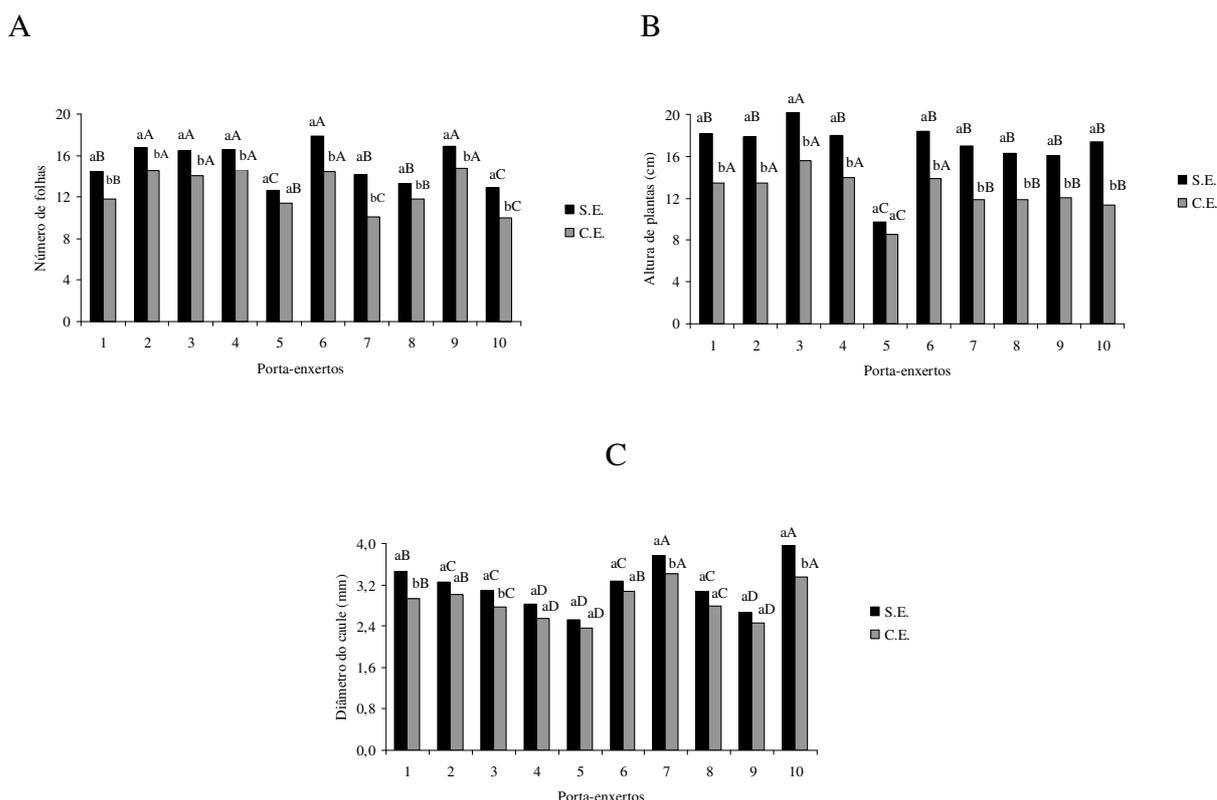
A eficiência instantânea da carboxilação (*EiC*) (Figura 2C) é a relação usada para estudar os fatores não-estomáticos que interferem na taxa fotossintética e tem relação com a taxa de fotossíntese líquida e a concentração de CO_2 no interior da câmara subestomática (Konrad et al., 2005; Machado et al., 2005). Pelos resultados, constatou-se redução nas médias de *EiC* das plantas submetidas ao estresse dos porta-enxertos 'TSKC x TRENG-256', 'TSKC x (LCR x TR)-059', 'TSKC x TRENG-264', 'LCRC' e 'LVK'. É provável que tal resultado seja reflexo de maior assimilação de CO_2 em relação ao CO_2 encontrado na câmara subestomática nesses genótipos, pois é notório que, se C_i aumenta em consequência da taxa de abertura dos estômatos, a relação *A/C_i* também aumenta. Em outra hipótese, a entrada de CO_2 no mesófilo foliar pode ter diminuído em função do decréscimo de *g_s*, mas o consumo de CO_2 no cloroplasto pode, também, ter sido reduzido.

Os porta-enxertos que tiveram maiores valores de *EiC* sob estresse hídrico foram 'LCRSTC', 'TSKFL x CTTR-017', 'CTSW', 'LCRC', e 'TSKFL x LRM-007', com valores médios entre 0,037 e 0,053 [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$], ou seja, em consonância com os resultados relatados por Mattos Junior et al. (2005) em plantas de laranja, que estiveram ao redor de 0,0476 [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$]. Acrescente-se que 'LCRSTC' e 'TSKFL x CTTR-017' não tiveram maior classificação quanto à relação *A/C_i*, quando sob umidade ideal, porém passaram a estar no grupo de melhor desempenho sob déficit hídrico, e isso indica que, em tais porta-enxertos, não houve limitação na carboxilação em situação adversa de estresse.

Em relação aos componentes de crescimento, apresentam-se na Figura 3 os dados quantificados na avaliação de crescimento realizada aos 135 DAS. Em número de folhas (Fig. 3A), constatou-se redução significativa imposta pelo tratamento de déficit hídrico em todos os porta-enxertos, excetuando-se 'TSKFL x CTTR-017', onde não houve diferença estatística entre as médias dos dois manejos hídricos. Entre os porta-enxertos, foram classificados com menor número de folhas na condição de estresse hídrico, o 'CTSW' e o 'LVK'. Destaque-se que os porta-enxertos foram agrupados de forma semelhante quanto à produção de folhas nas duas situações de manejo hídrico, relacionando-se esse fato às características genéticas de

cada material estudado, já que mantiveram a mesma tendência independente da condição de deficiência hídrica.

Figura 3. Número de folhas (A), altura de plantas (B) e diâmetro do caule (C) de porta-enxertos de citros sem e com estresse hídrico. Em cada porta-enxerto, barras com a mesma letra minúscula indicam não haver diferença significativa entre as médias dos manejos hídricos; entre os porta-enxertos, barras com mesma letra maiúscula indicam que os porta-enxertos pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott, $p < 0,05$; S.E = sem estresse e C.E = com estresse.



Porta-enxerto: 1 – LCRSC; 2 - TSKC x TRENG-256; 3 - TSKC x (TR x LCR)-059; 4 - TSKFL x CTC25-010; 5 - TSKFL x CTTR-017; 6 - TSKC x TRENG-264; 7 – CTSW; 8 – LCRC; 9 - TSKFL x LRM-007 e 10 – LVK

Galbiatti et al. (2005), estudando regimes hídricos em porta-enxertos cítricos, registraram variações em número de folhas, com destaque ao limoeiro ‘Cravo’. Nessa pesquisa foram constatadas mais folhas nos híbridos trifoliados, fato relacionado às características do gênero ‘*Trifoliata*’ (Schafer et al., 2006; Fochesato et al., 2007). Portanto, híbridos provenientes desse porta-enxerto também possuem tal característica. Por serem as folhas constituintes do aparato fotossintético das plantas, sua maior produção e expansão contribuem para a realização de fotossíntese e, conseqüentemente, aumento no rendimento da cultura. Tal relação pode ser evidenciada pelos dados apresentados na Figura 1C, em que alguns porta-enxertos trifoliados tiveram, também, altas taxas fotossintéticas.

Vê-se, na Figura 3B, que o manejo hídrico exerceu influência significativa ($p < 0,05$) na altura dos porta-enxertos, excetuando-se apenas o genótipo ‘TSKFL x CTTR-017’, tal como observado em relação ao número médio de folhas. Nos demais porta-enxertos, identificaram-

se reduções mais expressivas na altura de 'LCRSC' (26,15%), 'CTSW' (30,29%), 'LCRC' 26,72% e a maior redução em 'LVK' da ordem de 34,55%, em comparação às plantas mantidas em substrato com 50% da umidade que correspondeu à capacidade de campo.

As menores plantas foram as do híbrido 'TSKFL x CTTR-017', independentemente do manejo hídrico, registrando-se altura média em torno de 8,5 cm (Figura 3B). Ressalte-se que o porte menor do porta-enxerto 'TSKFL x CTTR-017' não o caracteriza, necessariamente, como sensível, pois sob estresse não externou redução significativa no crescimento. Ressalte-se que nos genótipos de melhor classificação os decréscimos foram superiores a 20% em relação à condição de cultivo sem estresse. Essa característica morfológica deve estar associada à sua constituição genética, pois resultados promissores de potencial para cultivo sob déficit hídrico foram descritos por Cerqueira et al. (2004) para o 'TSKFL x CTTR-017', assim como por Fernandes et al. (2011) com esse mesmo genótipo sob estresse salino.

Na avaliação do diâmetro do caule (Figura 3C), constataram-se reduções significativas nos genótipos 'LCRSTC', 'TSKC x (LCR x TR)-059', 'CTSW' e 'LVK' quando cultivados em 50% da CC, porém o 'CTSW' e o 'LVK' tiveram as médias mais expressivas nas condições sem e com estresse hídrico. Por outro lado, os genótipos 'TSKFL x CTC25-010', 'TSKFL x CTTR-017' e 'LCRC' e 'TSKFL x LRM-007' cresceram menos em diâmetro, independentemente do manejo hídrico, apesar de não terem sofrido redução significativa no DC em condição de déficit hídrico.

Pelos resultados discutidos, constatou-se menor potencial em espessamento do caule em materiais provenientes de cruzamentos com Tangerina Sunki da Flórida, ao contrário de 'Citrumelo Swingle' e 'limoeiro 'Volkameriano' (CTSW e LVK), que têm maiores diâmetros de caule. Ressalte-se que, por ser o momento da enxertia determinado pelo diâmetro do porta-enxerto, a precocidade neste componente é uma característica desejável, como enfatizam Serrano et al. (2004).

6 CONCLUSÕES

A deficiência hídrica durante a formação de porta-enxertos compromete as trocas gasosas nos genótipos de citros 'TSKC x TRENG- 256', 'TSKC x (LCR x TR) - 059', 'TSKC x TRENG - 264' e 'LCRC', pelo que sugere-se o uso da irrigação caso esses materiais sejam utilizados na citricultura da região Nordeste.

Os genótipos 'LCRSTC', 'TSKFL x CTTR-017', 'CTSW', e 'TSKFL x LRM-007' foram, com frequência, mais eficientes nas trocas gasosas, sem prejuízos no seu desempenho fisiológico sob restrição hídrica.

O crescimento dos genótipos potenciais de uso como porta-enxertos de citros é limitado pelo déficit hídrico, porém o diâmetro de caule é a variável menos prejudicada.

O híbrido 'TSKFL x CTTR-017' tem menor porte, mas é menos susceptível ao déficit hídrico, sem alterações significativas nos componentes de crescimento e nas trocas gasosas.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRITO, M. E. B.; SOARES, L. A. A.; FERNANDES, P. D.; LIMA, G. S.; SÁ, F. V. S.; MELO, A. S. Comportamento fisiológico de combinações copa/porta-enxerto de citros sob estresse hídrico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 27, supl., p. 857-865, 2012.

CERQUEIRA, E. C.; CASTRO NETO, M. T.; PEIXOTO, C. P.; SOARES FILHO, W. S. LEDO, C. A. S.; OLIVEIRA, J. G. Resposta de porta-enxertos de citros ao déficit hídrico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 515-519, 2004.

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

FERNANDES, P. D.; BRITO, M. E. B.; GHEYI, H. R.; SOARES FILHO, W. S.; MELO, A. S.; CARNEIRO, P. T. Crescimento de híbridos e variedades porta-enxerto de citros sob salinidade. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 259-267, 2011.

FERREIRA, D. F. SISVAR: Um programa para análise de ensino de estatística. **Revista Científica Symposium**, Lavras, v. 6, n. 2, p.36-41, 2008.

FOCHESATO, M. L SOUZA, P. V. D.; SCHÄFER, G.; MACIEL, H. S. Crescimento vegetativo de porta-enxertos de citros produzidos em substratos comerciais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 970-975, 2007.

GALBIATTI, J. A.; CAVALCANTE, I. H. L.; CALZAVARA, S. A.; SILVA, V. L.; FREDDI, O. S. Substratos e lâmina de irrigação em espécies cítricas. **Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 4, p. 357-364, 2005.

GARCÍA-TEJERO, I.; ROMERO-VICENTE, R.; JIMÉNEZ-BOCANEGRA, J. A.; MARTINEZ-GARCIA, G.; DURÁN ZUAZO, V. H.; MURIEL-FERNÁNDEZ, J. L. Response of citrus trees to deficit irrigation during different phenological periods in relation to yield, fruit quality, and water productivity. **Agricultural Water Management**, Oxford, v. 97 n. 5, p. 689-699, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO GEOGRAFIA ESTATISTICA. Sidra. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl>>. Acesso em: 29 jan. 2013.

JAIMEZ, R. E.; RADA, F.; GARCÍA-NÚÑEZ, C.; AZÓCAR, A. Seasonal variations in leaf gas exchange of plantain cv. 'Hartón' (*Musa AAB*) under different soil water conditions in a humid tropical region. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 104, n. 1, p. 79-89, 2005.

JIFON, J. L.; SYVERTSEN, J. P. Moderate shade can increase net gas exchange and reduce photoinhibition in citrus leaves. **Tree Physiology**, Oxford, v.23, n.2, p.119-127, 2003.

KONRAD, M. L. F.; SILVA, J. A. B.; FURLANI, P. R.; MACHADO, E. C. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 3, p. 339-347, 2005.

MACHADO, E. C.; SCHMIDT, P. T.; MEDINA, C. L.; RIBEIRO R. V. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 12, p. 1161-1170, 2005.

- MACHADO, D. F. S. P.; MACHADO, E. C.; MACHADO, R. S.; RIBEIRO, R. V. Efeito da baixa temperatura noturna e do porta-enxerto na variação diurna das trocas gasosas e na atividade fotoquímica de laranjeira 'valência'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n. 2, p. 351-359, 2010.
- MAGALHÃES FILHO, J. R.; AMARAL, L. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C. Deficiência hídrica, trocas gasosas e crescimento de raízes em laranjeira 'valência' sobre dois tipos de porta-enxerto. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 75-82, 2008.
- MATTOS JUNIOR, D.; NEGRI, J. D.; PIO, R. M.; POMPEU JUNIOR, J. **Citros C498**. Campinas: Instituto Agrônômico e Fundag, 2005. 929p.
- MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C. Trocas gasosas e relações hídricas em laranjeira 'Valência' enxertada sobre limoeiro 'Cravo' e 'Trifoliata' e submetida à deficiência hídrica. **Bragantia**, Campinas, v. 57, n. 1, p. 15-22, 1999.
- PEIXOTO, C. P.; CERQUEIRA, E. C.; SOARES FILHO, W. S.; CASTRO NETO, M. T.; LEDO, C. A. S.; MATOS, F. S.; OLIVEIRA, J. G. Análise de crescimento de diferentes genótipos de citros cultivados sob déficit hídrico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 439-443, 2006.
- PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: Edur, 2004. 191p.
- RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C. Some aspects of citrus ecophysiology in subtropical climates: re-visiting photosynthesis under natural conditions. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 19, n. 4, p. 393-411, 2007.
- RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C.; SANTOS, M. G.; OLIVEIRA, R. F. Photosynthesis and water relations of well-watered orange plants as affected by winter and summer conditions. **Photosynthetica**, Prague, v. 47, n. 2, p. 215-222, 2009.
- SCHÄFER, G.; SOUZA, P. V. D.; KOLLER, O. C. SCHWARZ, S. F. Desenvolvimento vegetativo inicial de porta-enxertos cítricos cultivados em diferentes substratos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 6, p. 1723-1729, 2006.
- SERRANO, L. A. L.; SERRANO, L. A. L.; MARINHO, C. S.; CARVALHO, A. J. C.; MONNERAT, P. H. Efeito de sistemas de produção e doses de adubo de liberação lenta no estado nutricional de porta-enxerto cítrico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 524-528, 2004.
- SHINOZAKI, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. Gene networks involved in drought stress response and tolerance. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 58, n. 2, p. 221-227, 2007.
- SINGELS, A.; DONALDSON, R. A.; SMIT, M. A. Improving biomass production and partitioning in sugarcane: theory and practice. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 291-303, 2005.

SCOTT, A.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v. 30, n. 3, p. 507-12, 1974.

TAIZ, T.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2009. 828p.