

ALTERAÇÕES NA RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DE VAPOR DAS FOLHAS E RELAÇÕES HÍDRICAS EM ACEROLEIRAS SUBMETIDAS A DÉFICIT DE ÁGUA

REJANE J. MANSUR C. NOGUEIRA¹, JOSÉ ANTÔNIO P. V. DE MORAES², HÉLIO ALMEIDA BURITY³, E EGÍDIO BEZERRA NETO⁴

Laboratório de Fisiologia Vegetal, Departamento de Biologia, UFRPE, Dom Manoel de Medeiros, s/nº, Dois Irmãos, 52171-900, Recife, PE, Brasil.

RESUMO - Plantas jovens de acerola propagadas sexuada e assexuadamente foram submetidas a um déficit hídrico de 20 dias de suspensão da irrigação. No decorrer desse período, foram determinados a acumulação de prolina, o potencial da água na folha (Ψ_w), o potencial osmótico, o teor relativo de água (TRA), a resistência difusiva (R_s), a transpiração (E) e a temperatura foliar (T_f), além de mensurados a radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e o déficit de pressão de vapor (DPV) do ar na câmara do porômetro. O aumento da concentração de prolina para os dois tipos de plantas ocorreu a partir do 5º dia de suspensão de rega, sendo de 38,1 vezes mais que o controle para as plantas oriundas de sementes e de 26,4 vezes para as enxertadas, no 10º dia de suspensão da irrigação. Os valores mínimos de Ψ_w nas plantas sob severo estresse hídrico variaram de -4,5 a -5,7 MPa, sendo o menor deles verificado nas plantas de origem sexuada. Estas apresentaram ainda os maiores valores para E ($0,9 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) e para concentração de prolina ($20,42 \text{ mg.g}^{-1} \text{ MS}$), e os menores para o TRA (38,4 %) e para a R_s (940 s.m^{-1}), no final do experimento. As aceroleiras desenvolveram estratégias de sobrevivência à seca, com características diferenciadas, em função do prolongamento do estresse, o qual influenciou significativamente os parâmetros avaliados, com exceção da temperatura foliar.

TERMOS ADICIONAIS PARA INDEXAÇÃO: *Malpighia emarginata*, tolerância à seca, transpiração, prolina.

MODIFICATIONS IN VAPOR DIFFUSION RESISTENCE OF LEAVES AND WATER RELATIONS IN BARBADOS CHERRY PLANTS UNDER WATER STRESS

ABSTRACT- Young sexually and asexually propagated Barbados cherry plants were submitted to water deficit (20 days without irrigation). During this period the accumulation of proline, water potential of branches, osmotic potential, the relative water content of leaves, the leaf diffusive resistance, the

Recebido: 29/9/1998 – Aceito: 2/5/2000

1. Bióloga, Professora do Departamento de Biologia/UFRPE, Rua Teles Júnior, 155/1602, Aflitos, 52050-040, Recife-PE. «alisboa@elogica.com.br»

2. Biólogo, Professor Titular, Departamento de Botânica/UFSCar, Via Washington Luís, km 235, 13.565-905, São Carlos-SP.

3. Engenheiro Agrônomo, Bolsista do CNPq, PhD, Pesquisador da EMBRAPA/IPA - Av. Gal. San Martin, 1371, 50761-000, Recife-PE. «burity@ipa.br»

4. Engenheiro Agrônomo, PhD, Professor do Departamento de Química/UFRPE

transpiration rate and leaf temperature in the cuvette were determined. In addition, photosynthetically active radiation (PAR) and vapor pressure deficit (VPD) were measured in the porometer cuvette. The concentration of proline for both types of plants began to increase on the fifth day without watering, and reached 38.1 times the concentration in the control plants grown from seeds and 26.4 times the concentration in grafted plants on the tenth day without watering. The lowest levels of leaf water potential in the plants suffering from severe water stress varied from -4.5 to -5.7 MPa, the lowest values being observed in the sexually propagated plants. These plants also showed the highest values for transpiration ($0.9 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) and proline concentration ($20.42 \text{ mg.g}^{-1} \text{ DM}$), the lowest for relative water content of the leaves (38.4%) and diffusive resistance (940 s.m^{-1}) at the end of the experiment. The Barbados cherry plants developed strategies for surviving drought, with differences between various characteristics, resulting from prolonged stress, which significantly influenced the parameters evaluated, with the exception of leaf temperature.

ADDITIONAL INDEX TERMS: *Malpighia emarginata*, drought tolerance, grafting, proline, transpiration, vegetative propagation.

INTRODUÇÃO

Entre os vários fatores limitantes da produção vegetal, o déficit hídrico ocupa posição de destaque, pois além de afetar as relações hídricas nas plantas, alterando-lhes o metabolismo, é fenômeno que ocorre em grandes extensões de áreas cultiváveis.

O emprego de caracteres fisiológicos e/ou bioquímicos adequados para seleção pode beneficiar o melhoramento genético com o objetivo de se obter materiais com tolerância a condições de seca. Vários parâmetros têm sido estudados para avaliar a resposta das espécies vegetais ao estresse hídrico, destacando-se o potencial hídrico foliar (Morgan, 1991), potencial osmótico e conteúdo relativo de água (Gesch *et al.*, 1992), a condutância estomática e a transpiração (Eckstein e Robison, 1996), a temperatura foliar (Cascardo *et al.*, 1993) e a acumulação de prolina (Hanson e Hitz, 1982). Para algodão, tem-se proposto caracteres como condutância estomática, transpiração e a atividade fotossintética para a seleção de genótipos por tolerância à seca (Lopez *et al.*, 1993). Para amendoim, Nogueira *et al.*, (1998b) propõem o potencial da água foliar, a resistência estomática, bem como a acumulação de prolina nas folhas como indicadores de resistência a esse caráter.

Esses estudos assumem uma real importância, em vista de que, nos vários tipos de

vegetação encontrados na natureza, a produtividade é considerada mais intimamente relacionada com a água disponível para as plantas do que com qualquer outro fator ambiental (Salisbury e Ross, 1991). Portanto, a capacidade de as plantas se manterem túrgidas é tida como uma característica necessária para a garantia da produção, em locais onde ocorre o déficit hídrico.

Dentre as diversas mudanças metabólicas induzidas em plantas quando submetidas a estresses abióticos, destaca-se uma marcada acumulação de uma mistura complexa de ácidos orgânicos, açúcares e aminoácidos, a qual tem sido denominada de ajustamento osmótico.

É comprovado na literatura que a prolina em sua forma livre se acumula, não só em resposta à carência de água, como também pelos efeitos da salinidade e baixas temperaturas. Essa acumulação vem sendo observada em tecidos e órgãos vegetais, especialmente em folhas destacadas (Stewart, 1972), plantas intactas (Singh *et al.*, 1973), folhas maduras (Lawlor e Fock, 1977), folhas em crescimento (Riazi *et al.*, 1985) e, recentemente, na seiva do floema (Girousse *et al.*, 1996).

Os níveis de prolina nas plantas antes de sofrerem um estresse são sempre baixos, podendo variar de 1 a $5 \mu\text{mol. g}^{-1}$ de M.S. em muitas espécies, como arroz, sorgo, milho, trigo e cevada (Hanson, 1980). Segundo o mesmo autor, a prolina começa a se acumular nessas espécies quando o potencial da água foliar se reduz a $-1,0$ MPa.

Enfatiza, ainda, que é comum um aumento de 20 a 100 vezes na concentração desse aminoácido, após a exposição das plantas a poucos dias de estresse, verificando-se, portanto, grande variação intra e interespecífica no grau desses aumentos. Por outro lado, o aumento da concentração de prolina tem sido relacionado com a diminuição do potencial da água da folha (Blum e Ebercon, 1976), com o conteúdo relativo de água (Patil *et al.*, 1984) e com a resistência à difusão de vapor (Waldren e Teare, 1974). Dessa forma, o conteúdo relativo de água, sendo um dos principais determinantes da atividade metabólica e da sobrevivência foliar, tem, portanto, sido utilizado como um indicador importante de tolerância à seca (Schonfeld *et al.*, 1988).

Acessos que possuem diversidade nas respostas ao estresse hídrico constituem excelente material para ser utilizado em programas de melhoramento. Com relação à cultura da acerola, observa-se que na maioria dos pomares comerciais plantas originadas de sementes, apresentam grande variabilidade quanto ao porte, arquitetura da copa, produtividade, e características físico-químicas dos frutos. Dessa forma, torna-se necessário o uso de técnicas eficientes para melhor selecionar clones, variedades e cultivares que possam ser utilizadas para a produção de mudas que atendam às exigências dos mercados nacional e internacional. Para tanto, é importante o conhecimento dos mecanismos que conferem as respostas diferenciais.

Nogueira e Moraes (1998), estudando três matrizes de acerola durante períodos de estiagem, verificaram entre os genótipos diferenças significativas no controle da abertura estomática. Considerando-se que houve um crescimento acentuado no cultivo de acerola em vários Estados brasileiros, estendendo-se atualmente a regiões com escassez e irregularidade de chuvas, o estabelecimento e o estudo de parâmetros para obtenção de variedades tolerantes à seca tornam-se prioritários, uma vez que estudos sobre as relações hídricas da aceroleira são praticamente inexistentes na literatura.

Com o presente trabalho, teve-se como objetivo avaliar, em plantas jovens de acerola

oriundas de dois tipos de propagação, as respostas ao estresse hídrico por meio das determinações do acúmulo de prolina, teor relativo de água, potencial água e da resistência à difusão de vapor da folha, transpiração e temperatura foliar.

MATERIAL E MÉTODOS

A espécie vegetal identificada como *Malpighia emarginata* DC foi propagada sexualmente (utilizando-se várias matrizes com alta produtividade, sem seleção) e assexuadamente pelo processo de enxertia de garfagem em fenda cheia no topo. Este processo foi realizado em porta-enxertos com três meses de idade (com a mesma espessura do garfo), com amarrão de fita plástica de um só estádio e câmara úmida. Para tanto, foram utilizadas estacas semi lenhosas da matriz UFRPE 20 (acesso com alta produtividade e alto teor de vitamina C nos frutos), utilizando-se substrato composto de uma mistura de pó de coco + terra vegetal + húmus + cinzas, distribuído em partes iguais em sacos de polietileno de 6 kg. Paralelamente, desenvolveram-se as mudas de pé-franco, cujas sementes foram plantadas dez dias antes da enxertia, coincidindo a germinação com o pegamento das mudas enxertadas, obtendo-se assim, as mudas de pé-franco e enxertia com a mesma idade. Todo esse procedimento foi realizado no pomar comercial Acerolândia, localizado no Município de Paudalho, Zona da Mata Norte do Estado de Pernambuco, a 7° 55' 58.3" de latitude Sul, 35° 08' 12.8" de longitude Oeste e 70m de altitude. O referido município, distante 44 km da capital, apresenta clima quente e úmido, com temperatura e precipitação pluviométrica média anual de 25°C e 1702,1 mm, respectivamente, e meses chuvosos de março a julho (Fundação de Desenvolvimento Municipal do..., 1994).

Após quatro meses sob condições de irrigação e tratos culturais uniformes, as plantas, de mesma idade, foram transferidas para casa-de-vegetação sem controle ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, mantidas durante dois meses (junho e julho de 1996) na capacidade de campo e, então divididas em dois lotes: um

submetido ao tratamento de deficiência hídrica, mediante suspensão da irrigação por um período de 20 dias, e o outro, diariamente irrigado (controle). Tanto as plantas propagadas por sementes como as propagadas assexuadamente tinham aproximadamente 6 meses na época da diferenciação dos tratamentos hídricos. No vigésimo primeiro dia após o início da aplicação do estresse hídrico, as plantas foram re-irrigadas.

A resistência à difusão de vapor da folha (Rs) e à transpiração (E) foram medidas com o auxílio de porômetro de equilíbrio dinâmico (Licor, LI-1600), entre nove e dez horas da manhã, utilizando-se folhas adultas, de mesma idade, completamente expandidas e situadas na parte mediana do ramo principal. O porômetro permitiu, também, a medida da temperatura das folhas (Tf), temperatura do ar e da umidade relativa da câmara porométrica (“cuvette”) e a radiação fotossinteticamente ativa (PAR) no nível da folhagem, sendo calculado o déficit de pressão de vapor do ar (DPV) na câmara, segundo Vianello e Alves (1991). As medições do PAR foram tomadas com o auxílio de um sensor quântico (LI-Cor Inc) acoplado ao porômetro.

O potencial da água na folha (Ψ_w) foi mensurado mediante uso de uma câmara de pressão (Scholander *et al.*, 1965), entre 10 e 11h da manhã, durante o período do estresse, utilizando-se sempre as folhas nas quais foram feitas as determinações porométricas. Os ramos, com duas folhas, eram envoltos em papel-filme antes de serem cortados das plantas para evitar a desidratação e imediatamente colocados na câmara, sempre próxima às plantas, para, então, proceder-se às avaliações. A taxa de aumento de entrada de gás na câmara foi mantida constante para todas as medidas.

O teor relativo de água (TRA) foi avaliado em folhas do mesmo ramo utilizado para a determinação do Ψ_w , segundo método descrito por Cascardo *et al.*, (1993), com pequenas adaptações. Foram pesados 6 discos foliares de cada repetição, acomodados em placas de Petri forradas com papel de filtro e contendo água deionizada suficiente para embeber por 12 h, no

escuro e a 10°C, quando, então, era determinada a massa fresca saturada. Após secagem em estufa com circulação de ar a 75°C, por um período de 4 h, a matéria seca foi obtida e o cálculo do T.R.A. realizado utilizando-se a fórmula: T.R.A. = (Massa fresca – Massa seca/ Massa saturada - massa seca). 100.

Para a quantificação de prolina foram utilizadas amostras de folhas maduras completamente expandidas, tomadas entre 9h e 10 h, mediante método adaptado de Bates *et al.* (1973). A matéria fresca (250 mg), colocada em tubo de ensaio contendo 5 mL de ácido sulfosalicílico, foi triturada e centrifugada por 3 minutos a 2600 rpm. Utilizando-se 1 mL do extrato e adicionando-se 1 mL de ácido acético + 1 mL de ninidrina ácida, deixou-se em banho-maria por 1 hora a 100°C. Após o desenvolvimento da cor, as amostras foram resfriadas em banho de gelo, sendo adicionadas às mesmas 2 mL de tolueno para a separação das fases. Desprezando-se a fração incolor, a leitura das amostras da fração corada e dos padrões foi realizada colorimetricamente a 520 nm.

O potencial osmótico foi determinado no final do experimento, utilizando-se duas plantas para cada tratamento, controle e estressado (após 24 horas de re-irrigação), por meio da construção de uma curva pressão-volume que envolve uma série de pares de medidas do volume de seiva extraída e do inverso do potencial da água, utilizando-se a câmara de pressão de Scholander (Roberts e Knoerr, 1977; Melkonian *et al.*, 1982; Perez e Moraes, 1991). Para minimizar o efeito do ambiente e da hora do dia entre tratamentos, as medições foram realizadas no interior do Laboratório, entre 16 e 18 h em dois dias consecutivos, utilizando-se em cada dia uma repetição de cada tratamento. O incremento de pressão aplicado foi de 0,2 MPa e o tempo de espera da saída da seiva para a espécie em estudo foi de 5 minutos. O procedimento utilizado nessa determinação foi baseado no descrito em Vilela e Moraes (1986).

As análises estatísticas foram baseadas em um modelo fatorial com 2 formas de

propagação (sexuada x assexuada), 2 regimes hídricos (irrigado x não irrigado), com 4 repetições. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F, correlações simples e regressão linear. Para comparação das médias, utilizou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Prolina, potencial da água na folha (Ψ_w) e teor relativo de água

Foram observadas diferenças significativas nos teores de prolina, T.R.A. e Ψ_w entre as plantas irrigadas e não-irrigadas, como também entre as formas de propagação dos genótipos estudados.

Conforme mostra a Figura 1 a, alterações na concentração de prolina só foram verificadas a partir do quinto dia de supressão hídrica, sendo registrado no décimo dia um aumento de 38,1 vezes maior que o controle para plantas oriundas de sementes e 26,4 vezes mais para as plantas assexuadas (enxertadas), totalizando uma acumulação média de 18,03 e 10,17 mg.g⁻¹ M.S., respectivamente. Esse aumento coincidiu com a queda de Ψ_w das plantas estressadas que, nesse dia, chegou a -4,3 MPa para sexuada e -1,8 para assexuada (Figura 1 b). No vigésimo dia de supressão de água, estas últimas praticamente dobraram a concentração de prolina (19,59 mg.g⁻¹ M.S.), ao passo que o Ψ_w foi reduzido para -4,5 MPa. O decréscimo verificado no Ψ_w durante o período do estresse foi muito mais rápido e acentuado nas plantas oriundas de sementes (sexuadas).

Para potenciais de -1,6 MPa (enxertadas) e -1,9 MPa (sexuadas), aos cinco dias de suspensão de rega, não foi verificada acumulação de prolina em plantas de acerola.

Martinez e Moreno (1992), estudando duas variedades peruanas de batata durante 10 dias de estresse hídrico e igual período de re-irrigação, constataram que a mais tolerante havia acumulado mais do dobro de prolina (40 mg.g⁻¹ M.S.) até o 10º dia de estresse, quando comparada com a mais

sensível (18 mg.g⁻¹ M.S.). Quando as plantas foram recuperadas, o nível de prolina caiu rapidamente, chegando ao das plantas-controle no 6º dia de re-hidratação.

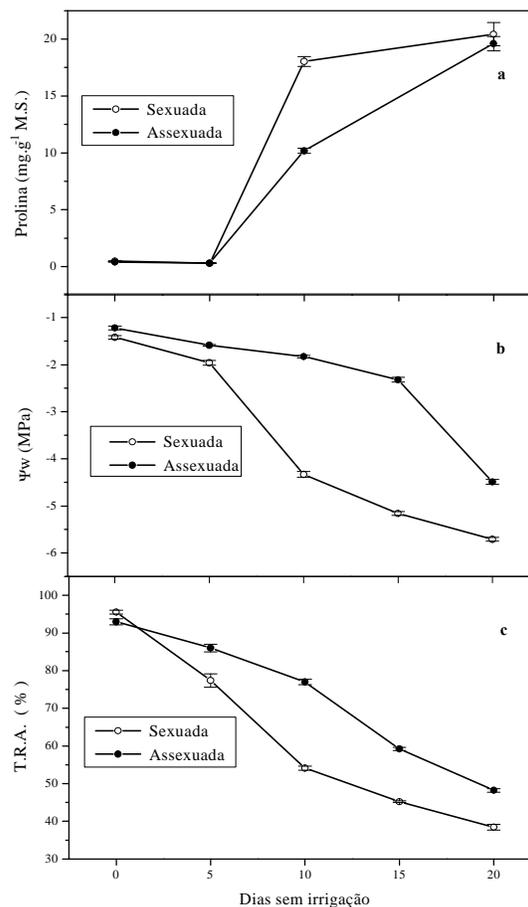


FIGURA 1 – Teor de prolina (a), potencial da água nas folhas (b) e teor relativo de água - T.R.A. (c) em aceroleiras propagadas sexuada e assexuadamente, submetidas a estresse hídrico induzido pela suspensão da irrigação. Os pontos representam valores médios de pelo menos 4 determinações, e as barras, o desvio-padrão.

Analisando-se a concentração de aminoácidos na seiva do floema de plantas de alfafa submetidas a estresse hídrico e relacionando o acúmulo de prolina com o potencial da água foliar, Girousse *et al.*, (1996) observaram que a concentração desse aminoácido foi maior quando o potencial reduziu de -1,0 para -2,0 Mpa; sugerindo

que o mesmo poderia ser transportado para os tecidos meristemáticos, com a finalidade de contribuir com o ajustamento osmótico dos tecidos em crescimento.

Embora as aceroleiras de origem sexuada, procedentes de várias matrizes no décimo dia de estresse, tenham acumulado mais 7,86 mg de prolina por grama de matéria seca do que as plantas oriundas de enxertia, no vigésimo dia essa diferença caiu para 0,83 mg.g⁻¹ M.S. O maior acúmulo de prolina verificado no décimo dia de estresse nas sexuadas pode ter induzido a queda brusca de Ψ_w dessas plantas. Segundo Pálfi e Juhász (1971); sob iguais condições de déficit hídrico, as variedades resistentes sintetizam mais prolina que as menos resistentes. Trabalhando com duas variedades de amendoim, Nogueira *et al.* (1998b) verificaram alta concentração de prolina na variedade resistente à seca, mesmo quando cultivada no tratamento-controle. No presente estudo observou-se que para as plantas enxertadas, procedentes de um só genótipo, foi necessário o prolongamento do estresse para induzir o aumento da concentração da prolina.

Os valores mínimos do Ψ_w ocorreram em plantas sob severo estresse hídrico (20 dias de suspensão de rega) e, nessa ocasião, praticamente não existia mais água disponível para suprir a demanda transpiratória, visto que a umidade do solo com base em volume foi reduzida de 28,9% para 6,3% (sexuadas) e de 29,7% para 6,4% (enxertadas). Segundo Schulze *et al.*, (1987) um mesmo potencial da água foliar pode ser observado em plantas sem restrição de disponibilidade hídrica, ou naquelas submetidas a um estresse hídrico, de acordo com os níveis de perda do vapor da água pela transpiração. Com 20 dias de suspensão da rega, as aceroleiras reduziram significativamente a abertura estomática, comprovada pela redução da transpiração e pelos mais altos valores de resistência difusiva registrados. Nesse caso, Ψ_w está relacionado à falta temporária de água no solo (Carlson *et al.*, 1979). Após a re-irrigação, os valores de Ψ_w das aceroleiras equipararam-se aos do tratamento-

controle, com recuperação da turgescência foliar. É importante registrar que três dias após a re-irrigação foi observada abscisão foliar parcial, com maior intensidade nas plantas oriundas de sementes.

Vale salientar que a transpiração revelou uma correlação inversa significativa com o Ψ_w , tanto para as plantas enxertadas ($r = -0,889$) como para as sexuadas ($r = -0,852$).

O T.R.A. das aceroleiras, em função do prolongamento do estresse hídrico, variou de 95,5 a 38,4% nas sexuadas e de 92,9 a 48,2% nas enxertadas (Figure 1 c). É evidente uma redução menos acentuada desse parâmetro nas plantas enxertadas, com conseqüente manutenção da turgescência foliar numa ampla faixa de valores de potencial da água. Segundo Begg e Turner (1976), a manutenção da turgescência durante alterações na disponibilidade de água para as plantas, pode garantir a sobrevivência das mesmas, mediante a continuidade dos processos metabólicos. No final do experimento, a se verificar um T.R.A. abaixo de 50% para as aceroleiras estressadas, conclui-se que as plantas não tolerariam uma maior desidratação, pois, algumas delas, principalmente as oriundas de sementes, já demonstravam sinais de murcha severa, embora tenham se recuperado poucas horas após a re-irrigação. Cascardo *et al.*, (1993) também verificaram sinais de murcha severa em plantas jovens de seringueira com irrigação suspensa por aproximadamente trinta dias, com um T.R.A. de 60% e um potencial da água foliar de -1,7 MPa.

Resistência difusiva, transpiração e temperatura foliar

Os efeitos do estresse hídrico sobre a resistência à difusão de vapor da folha em plantas jovens de acerola (Figura 2 a) foram avaliados por meio de acréscimos na magnitude dos valores dessa variável. A resistência foliar à difusão de vapor em plantas estressadas foi maior nas plantas sexuadas do que nas enxertadas, variando de 150 a 1270 s.m⁻¹ e de 150 a 1140 s.m⁻¹, respectivamente, sendo os maiores valores verificados no décimo-quinto dia de suspensão de rega, nos dois tipos de

plantas; as diferenças entre os valores observados no décimo-quinto e no vigésimo dia foram pequenas, principalmente nas propagadas assexuadamente.

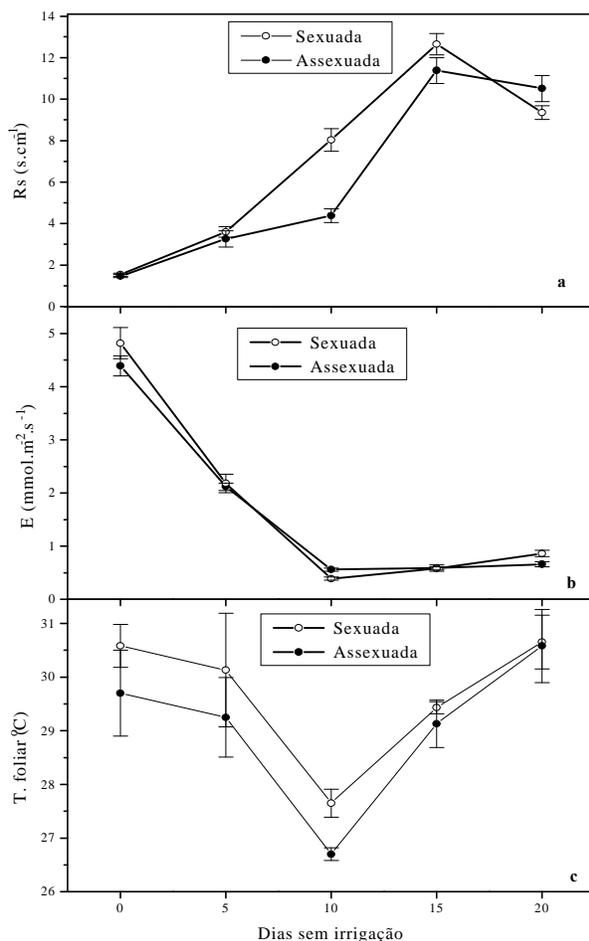


FIGURA 2 - Resistência foliar à difusão de vapor (a), transpiração (b) e temperatura foliar (c) em aceroleiras propagadas sexuada e assexuadamente e submetidas a estresse hídrico induzido pela suspensão da irrigação. Os pontos representam valores médios de pelo menos 4 determinações, e as barras, o desvio-padrão.

Nogueira e Moraes (1998), trabalhando com aceroleiras enxertadas, com oito meses de idade, cultivadas em um pomar comercial, verificaram variações genótípicas com relação à resistência foliar. Durante a estação seca, os valores máximos ocorreram às 11h, sendo o

mínimo registrado ($880 s \cdot m^{-1}$) para a matriz UFRPE 2B-E, o máximo ($3110 s \cdot m^{-1}$), para UFRPE 4D-E, e o intermediário ($2410 s \cdot m^{-1}$), para a UFRPE 5E-E. Segundo os mesmos autores a resistência foliar à difusão de vapor correlacionou-se significativamente com a umidade relativa do ar, que, por ocasião das medidas acima citadas, era de aproximadamente 45%. Os valores relativamente mais baixos encontrados em nosso estudo, quando comparados aos observados pelos autores acima citados, podem estar associados à época em que o mesmo foi conduzido: estação chuvosa, quando se verifica uma diminuição do PAR e da temperatura do ar, os quais contribuem para a redução da demanda atmosférica por água, conforme pode-se deduzir pelos dados apresentados na Figura 3.

Os períodos crescentes de estresse hídrico causaram decréscimos na transpiração nas plantas dos dois “tipos de propagação” (Figura 2 b). Observa-se que as mesmas apresentaram padrões de comportamento semelhantes durante os períodos de medidas, isto é, os valores máximos, ao redor de $4,5 mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$, ocorreram nas plantas isentas de estresse, decresceram acentuadamente até o décimo dia de suspensão de rega e mantiveram-se com pouca variação até o final do experimento. Em aceroleiras irrigadas com água salinizada ($C_2 S_1$), cultivadas na zona semi-árida de Pernambuco, no início da estação seca, as taxas de transpiração medidas entre 6h e 18h variaram de $0,75 mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ a $4,5 mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$, sendo estes verificados às 6h e às 10h, respectivamente (Nogueira *et al.*, 1998a). No presente estudo, as aceroleiras aos 20 dias de suspensão de rega apresentaram taxas de transpiração que variaram de $0,66$ a $0,86 mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$.

Por esses resultados, expostos acima, de certa forma infere-se que o comportamento estomático ao longo do estresse depende mais do potencial da água da folha e sua relação com o potencial da água no solo do que de outros fatores do ambiente, tais como luz e umidade relativa, corroborando com os resultados encontrados nos trabalhos de Sivukamar e Shaw

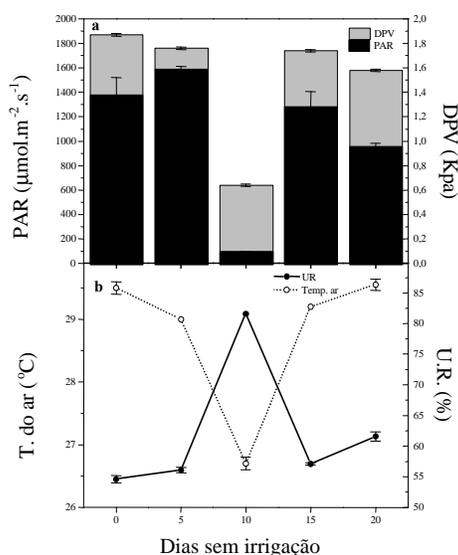


FIGURA 3 - Radiação fotossinteticamente ativa (PAR) no nível das folhas, déficit de pressão de vapor de água (DPV), temperatura do ar e umidade relativa do ar (UR) na câmara porométrica em aceroleiras cultivadas sob estresse hídrico. Os pontos representam valores médios de 8 determinações, e as barras, o desvio-padrão.

(1978). O fechamento parcial ou total dos estômatos, decorrente do prolongamento do estresse, foi influenciado pelo potencial da água que, no caso deste estudo, foi mais negativo para as sexuadas do que para as plantas enxertadas (Fig. 1 b e 2 b). Essa diferença deve ser atribuída ao caráter genético das plantas estudadas, pois o material enxertado, procedente da matriz UFRPE 20, difere das demais quanto à forma das folhas e frutos, como também na arquitetura da copa. Nesse aspecto, as mudas propagadas sexuadamente não apresentam variações fenotípicas, exceto quanto a forma dos frutos. O fechamento estomático causado por valores críticos de Ψ_w já foi observado anteriormente (Zabadal, 1974; Denmead e Millar, 1976; Pazzetti *et al.*, 1992).

A diferença de temperatura foliar em plantas com e sem estresse fundamenta-se no estado hídrico das plantas, no comportamento estomático e na perda de calor latente por meio

da transpiração. Entretanto, todo esse processo muda para cada espécie, conforme a intensidade e duração do estresse hídrico. Na Figura 2 c observa-se um mesmo padrão de comportamento ao longo do estresse para os dois tipos de propagação das aceroleiras estudadas, verificando-se os maiores valores da temperatura foliar nas sexuadas, com exceção da última medida. As oscilações observadas na temperatura foliar podem ser explicadas pelas variações microclimáticas da “cuvette” do porômetro, no período de avaliação (Figura 3). A temperatura do ar (Figura 3 b) durante o período experimental foi inferior à da folha, sendo a diferença entre elas um pouco mais acentuada nas sexuadas, embora não tenha ultrapassado 1 °C. A radiação fotossinteticamente ativa variou de 1119,7 a 1520 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ e o DPV (Figura 3 a) não ultrapassou a 1,87 kPa, apresentando o menor valor (0,68 kPa) no décimo dia de suspensão de rega, ocasião em que foram registrados os menores valores de temperatura foliar e do ar.

As plantas enxertadas quando submetidas a 20 dias de supressão de água apresentaram maior Ψ_w e maior T.R.A. do que as propagadas por sementes. Com relação aos teores de prolina, nesse mesmo período houve pouca variação entre elas (Figura 1 a, b e c).

Potencial osmótico

Pelas curvas de pressão-volume para cálculo do potencial osmótico em plantas jovens de acerola (Figuras 4 e 5, a e b) demonstrou-se uma diminuição dessa variável no tratamento estressado quando comparado ao controle, nos dois tipos de plantas estudadas. Nas plantas enxertadas essa diminuição foi de -1,51 MPa (controle) para -2,23 MPa (estressado), ao passo que nas plantas oriundas de sementes o Ψ_{os} reduziu de -1,85 para -2,35 MPa, respectivamente. Nesse caso, as enxertadas apresentaram maior diferença entre o potencial osmótico das plantas-controle (π_1) e das

estressadas (π_2) que as sexuadas. Ao observar a Figura 1 c, verifica-se que as plantas enxertadas durante todo o período de estresse mantiveram o T.R.A. superior ao das sexuadas, estando, portanto, de acordo com Hsiao *et al.*, (1984), que sugeriram que a diminuição do potencial osmótico durante o estresse hídrico é geralmente associada a um mecanismo que induz à turgescência.

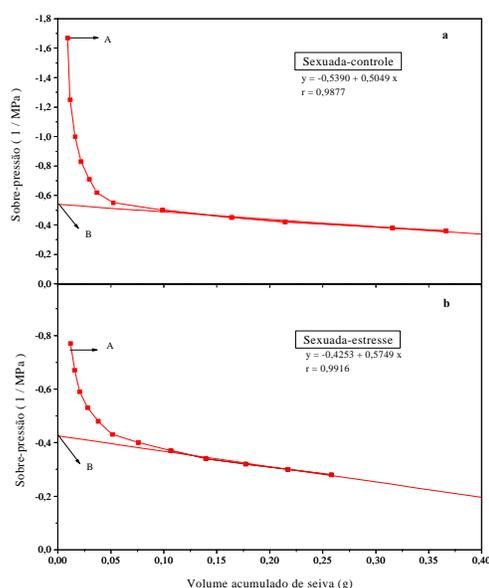


FIGURA 4 - Curva pressão-volume para cálculo do potencial osmótico (ponto B) em aceroleiras propagadas sexuadamente, irrigadas (a) e submetidas a 20 dias de suspensão de rega (b). O ponto A representa o Ψ_w inicial.

Segundo Prado (1991), plantas jovens de *Copaifera langsdorffii*, durante estresse hídrico induzido artificialmente, reduziram o potencial osmótico do tratamento-controle para o estressado de -1,89 MPa para -2,05 MPa, respectivamente.

Avaliando-se o potencial osmótico em folhas de trigo, em função de níveis de água no solo e estádios de crescimento, Vilela e Moraes (1986) verificaram um maior ajustamento nos tratamentos em que o estresse hídrico foi mais lento. Dentre as cultivares por eles estudadas, a IAC-21 evidenciou maior ajuste no estágio de perfilhamento, com uma diminuição no potencial

osmótico de -0,97 MPa (controle) para -1,4 MPa (plantas estressadas). Comparando-se resultados com os encontrados neste estudo, observamos que as diferenças do potencial osmótico entre as plantas com disponibilidade hídrica satisfatória e aquelas que sofreram estresse hídrico foram mais acentuadas nas aceroleiras (-0,72 MPa para as enxertadas e -0,5 MPa para sexuadas) do que em trigo (-0,43 MPa), conforme Vilela & Moraes (1986) e em copaíba (-0,16 MPa), segundo Prado (1991). Isso sugere que houve uma resposta de adaptação das aceroleiras ao estresse hídrico, confirmando os trabalhos de Begg e Turner (1976), os quais reconhecem que o ajuste osmótico é uma resposta em nível de adaptação das plantas e tem grande importância na manutenção do crescimento, aumentando a sobrevivência das mesmas durante períodos de seca.

Para o estudo das correlações entre a quantidade de prolina e demais variáveis, levaram-se em consideração todas as observações de forma generalizada, ou seja, os tratamentos hídricos (controle e estressado) não foram isolados (Tabela 1).

TABELA 1 - Valores de correlação linear simples (r) da concentração de prolina (P) em função da resistência foliar à difusão de vapor (R_s), transpiração (E), temperatura foliar (TF), teor relativo de água (TRA) e potencial da água nas folhas (Ψ_w) em plantas de acerola propagadas sexuada e assexuadamente e cultivadas em casa-de-vegetação.

Variáveis	Propagação	
	Sexuada	Assexuada
	r	
Prolina X R_s	0,9690**	0,9447**
Prolina X E	-0,8175**	-0,7640*
Prolina X TF	-0,4505ns	-0,1309ns
Prolina X TRA	-0,9382**	-0,9654**
Prolina X Ψ_w	-0,9940**	-0,9205**

** significativa a 1% de probabilidade; * significativa a 5% de probabilidade; ns – não-significativa.

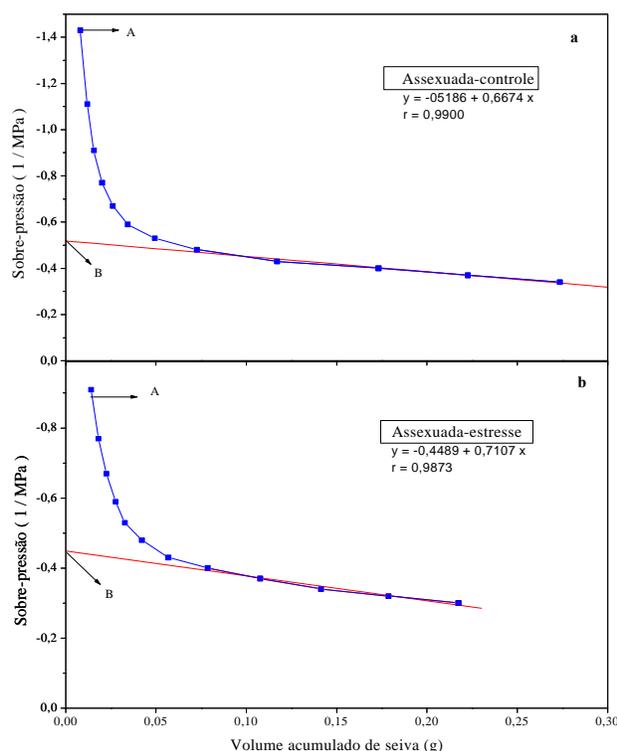


FIGURA 5 - Curva pressão-volume para cálculo do potencial osmótico (ponto B) em aceroleiras enxertadas, irrigadas (**a**) e submetidas a 20 dias de suspensão de rega (**b**). O ponto A representa o Ψ_w inicial.

A acumulação de prolina esteve intimamente relacionada com a resistência foliar à difusão de vapor, o TRA e o potencial da água da folha, tanto nas plantas sexuadas como nas enxertadas. Entretanto, tal comportamento não foi verificado com relação à temperatura foliar, sendo baixa para as plantas sexuadas e inexistente para as enxertadas (Tabela 1).

A magnitude das correlações encontradas entre Prolina x R_s e Prolina x Ψ_w demonstram uma dependência muito forte entre essas variáveis, de forma positiva e negativa, respectivamente. Tais resultados também têm sido observados para outras espécies. Segundo Waldren e Teare (1974) e Blum e Ebercon (1976), o aumento na concentração de prolina tem sido relacionado com a redução do Ψ_w da folha e com o aumento da R_s .

No presente trabalho as plantas oriundas de sementes acumularam prolina mais rapidamente, com maior resistência à difusão de vapor e menor Ψ_w que as enxertadas. Pálfi e Juhász (1971), trabalhando com cultivares consideradas resistentes e sensíveis à seca, verificaram que as primeiras apresentaram o mesmo comportamento das aceroleiras aqui estudadas. Também foi observado por Nadina Nieves *et al.*, (1994) maior acúmulo de prolina em folhas de pomelo (*Citrus paradisi*) cultivado sob estresse hídrico. Dessa forma, é possível que a prolina, sendo uma das substâncias que atuam no ajustamento osmótico, tenha contribuído para esse mecanismo nas plantas sob estresse; porém, os resultados do presente trabalho são insuficientes para a confirmação desse ajuste.

Com base nas condições experimentais deste estudo e nos parâmetros analisados, constatou-se que o estresse hídrico de 20 dias de suspensão de irrigação atuou na regulação das relações hídricas das aceroleiras, restringindo a transpiração e aumentando a resistência à difusão de vapor; reduzindo o Ψ_w , o teor relativo de água e promovendo acumulação de prolina livre nas folhas. O período-limite para induzir as modificações bruscas em todos os parâmetros analisados para os dois tipos de plantas foi de cinco dias de suspensão de rega; as plantas enxertadas (oriundas da matriz UFRPE 20) sofreram menos as injúrias provocadas pelo estresse hídrico. Em face da variabilidade fenotípica observada na aceroleira é provável que as diferenças observadas no presente estudo tenham sido muito mais influenciadas pelos materiais do que pelos tipos de propagação. Dessa forma, sugere-se que para estudos dessa natureza sejam utilizadas mudas propagadas assexuadamente com genótipos selecionados.

REFERÊNCIAS

- BATES, L.S. ; WALDREN, R.P. ; & TEARE, I.D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, 39:205-207, 1973.

- BEGG, J.E.; & TURNER, N.C. Crop water deficits. **Advance in Agronomy**, New York, 28:161-217, 1976.
- BLUM, A.; & EBERCON, A. Genotypic responses in sorghum to drought stress. III. Free proline accumulation and drought resistance. **Crop Science**, 16:428-431, 1976.
- CARLSON, R.E.; MONEM, N.N.; ARJMAND, O.; & SHAW, R.H. Leaf conductance and leaf-water potential relationships for two soybeans cultivars grown under controlled irrigation. **Agronomy Journal**, 71:321-325, 1979.
- CASCARDO, J.C. de M.; OLIVEIRA, L.E.M. de; & SOARES, A.M. Disponibilidade de água e doses de gesso agrícola nas relações hídricas da seringueira. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, 5:31-34, 1993.
- DENMEAD, O.T.; & MILLAR, B.D. Field studies of the conductance of wheat leaves and transpiration. **Agronomy Journal**, 68:307-311, 1976.
- ECKSTEIN, K.; & ROBINSON, J.C. Physiological responses of banana (*Musa* AAA; Cavendish sub-group) in the subtropics. VI. Seasonal responses of leaf gas exchange to short-term water stress. **Journal of Horticultural Science**, 71:679-692, 1996.
- FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO MUNICIPAL DO INTERIOR DE PERNAMBUCO (Recife, PE). Histórico do município de Paudalho. In: FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO DO INTERIOR DE PERNAMBUCO (Recife, PE). **Perfil Municipal do Interior de Pernambuco**. Recife, 1994. p.639-642.
- GESCH, R.W.; KENEFICK, D.G.; & KOEPKE, J.A. Leaf water adjustment and maintenance in hard red wheat. **Crop Science**, 32:180-186, 1992.
- GIROUSSE, C.; BOURNOVILLE, R.; & BONNEMAIN, J. L. Water deficit-induced changes in concentrations in proline and some other amino acids in the phloem sap of alfafa. **Plant Physiology**, 111:109-113, 1996.
- HANSON, A.D. Interpreting the metabolic responses of plants to water stress. **HortScience**, Alexandria, 5:623-629, 1980.
- HANSON, A.D.; & HITZ, W.D. Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, 33:163-203, 1982.
- HSIAO, T.C.; O'TOOLE, J.C.; YAMBAD, E.B.; & TURNER, N.C. Influence of osmotic adjustment on leaf tissue death in rice (*Oryza sativa* L.). **Plant Physiology**, 75:338-341, 1984.
- LAWLOR, D.W.; & FOCK, H. Water stress induced changes in the amounts of photosynthetic assimilation products and respiratory metabolites of sunflower leaves. **Journal Experimental of Botany**, 28:329-337, 1977.
- LOPEZ, J.M.; LEIDI, E.O.; LOPEZ, M.; & GUTIERREZ, J.C. Fotossíntesis, conductancia estomática, eficiencia en el uso del agua e temperatura foliar de cultivares de algodón en respuesta al estrés hídrico. **Investigación Agraria: Producción y Protección Vegetales**, 8:1, p.17-27, 1993.
- MARTINEZ, C.A.; & MORENO, U. Expresiones fisiológicas de resistencia a la sequía en dos variedades de papa sometidas a estrés hídrico. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, 4:1, p. 33-38, 1992.
- MELKONIAN, J.J.; WOLF, J.; & STEPONKUS, P.L. Determination of volumetric modulus of elasticity by pressure volume relations. **Crop Science**, 122:116-123, 1982.

- MORGAN, J.M. Adaptation to water deficits in three grain legume species. Mechanisms of turgor maintenance. **Field Crops Research**, 29:91-106, 1991.
- NADINA NIEVES, A.; GONZALEZ, J.L.; GONZALEZ, J.F.; ACOSTA, R.; BORROTO RODRIGUES, C.G.; & BLANCO, M. Determinação em condições controladas da possível relação estresse hídrico - indicador de floração em pomelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 16: 63-70, 1994.
- NOGUEIRA, R.J.M.C.; & MORAES, J.A.P.V. Ecofisiologia da acerola I - Resistência difusiva e temperatura foliar. In: SEMINÁRIO REGIONAL DE ECOLOGIA, 8, 1996. São Carlos. **Anais...** São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, 1998, v.8, p.1085-1091.
- NOGUEIRA, R.J.M.C.; BURITY, H.A; & MORAES, J.A.P.V. Transpiração e potencial hídrico foliar em aceroleiras (*Malpighia emarginata* L.) cultivadas na zona semi-árida de Pernambuco. **Revista Científica Rural**, 3:75-81, 1998a.
- NOGUEIRA, R.J.M.C.; SANTOS, R.C.; BEZERRA NETO, E.; & SANTOS, V.F. Comportamento fisiológico de duas cultivares de amendoim submetidas a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 33:1963-1969, 1998b.
- PÁLFI, G.; & JUHÁSZ, J. The theoretical basis and practical application of a new method of selection for determining water deficiency in plants. **Plant and Soil**, 34:503-507, 1971.
- PATIL, S.J.; PANCHAL, Y.C.; & JANARDHAN, K.V. Effect of short term moisture stress on free proline and relative water content in different plant parts of maize genotypes. **Indian Journal of Plant Physiology**, 27:322-327, Dec. 1984.
- PAZZETTI, G.A.; CANO, M.A.O.; & RESENDE, M. Aplicação da termometria por infravermelho a irrigação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.): parâmetros fisiológicos. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, 4:27-31, 1992.
- PEREZ, S.C.J.G.A.; & MORAES, J.A.P.V. Determinações de potencial hídrico, condutância estomática e potencial osmótico em espécies dos estratos arbóreo, arbustivo e herbáceo de um cerrado. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, 3: 27-37, 1991.
- PRADO, C.H.B.A. **Trocas gasosas em planta jovem de *Copaifera langsdorffii*, Desf., durante estresse hídrico induzido artificialmente por ausência de rega.** São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 1991. 93p. Dissertação Mestrado.
- RIAZI, A.; MATSUDA, K.; & ARSLAN, A. Water-stress induced changes in concentrations of proline and other solutes in growing regions of young barley leaves. **Journal of Experimental Botany**, 36:1716-1725, 1985.
- ROBERTS, S.W.; & KNOERR, K.R. Components of water potential estimated from xylem pressure measurements in five trees species. **Oecologia**, 40:330-337, 1977.
- SALISBURY, F.B.; & ROSS, C.W. **Plant physiology**. 4ed., California: Wadsworth Publishing Company, 1991. 682 p.
- SCHOLANDER, P.F.; HAMMEL, H.T.; HEMMINGSEN, E.A.; & BRADSTREET, E.D. Sap pressure in vascular plants. **Science**, 148: 339-346, 1965.
- SCHONFELD, M.A.; JONHSON, R.C.; CARVER, B.F.; & MORNHINWEG, D.W. Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. **Crop Science**, 28:526-531, 1988.

- SCHULZE, E.D.; ROBICHAUX, R.H.; GRACE, J.; RUNDEL, P.W.; & EHLERUNGER, J.R. Plant water balance. **BioScience**, 37:30-37, 1987.
- SINGH, T.N.; PALEG, L.G.; & ASPINALL, D. Stress metabolism III. Variations in response to water deficit in the barley plant. **Australian Journal of Biology Science**, 26: 65-76, 1973.
- SIVUKAMAR, M.V.K.; & SHAW, R.H. Relative evaluation of water stress indicators of soybeans. **Agronomy Journal**, 70:619-623, 1978.
- STEWART, C.R. The effect of wilting on proline metabolism in excised bean leaves in the dark. **Plant Physiology**, 51:508-511, 1972.
- VILELA, E. de A.; & MORAES, J.A.P.V. Ajustamento osmótico em folhas de trigo em função de níveis de água no solo e estádios de crescimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 11:1129-1137, 1986.
- VIANELLO, R.L.; & ALVES, A.R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: Imprensa Universitária da UFV, 1991. 449 p.
- WALDREN, R.P.; & TEARE, I.D. Free proline accumulation in drought-stressed plants under laboratory conditions. **Plant and Soil**, 40:689-692, 1974.
- ZABADAL, T.J. A water-potential threshold for the increase of abscisic in leaves. **Plant Physiology**, 53:125-127, 1974.