

Transpiração em Plantas de Algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC.) Cultivadas no Semi-Árido Nordestino

Peter Marshall Fleming

Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN/CNEN - Caixa Postal 941 – Pampulha
CEP 30123-970 Belo Horizonte, MG - fleming@npd.ufpe.br

Antônio Celso Dantas Antonino, Rejane Magalhães Pimentel, Carlos Alberto B. de Oliveira Lira
Gilberto Dias Alves, Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral

Departamento de Energia Nuclear – UFPE - Av. Prof. Luiz Freire 1000 – Cid. Universitária – CEP 54740-540 Recife, PE
acda@npd.ufpe.br, pimentel@ufpe.br, cabol@npd.ufpe.br, giba@npd.ufpe.br, jcabral@npd.ufpe.br

Recebido: 21/01/02 – revisado: 14/04/03 – aceito: 13/11/03

RESUMO

A transpiração da algaroba (*Prosopis spp.*) foi determinada durante seis dias na estação seca, entre 31/08 e 05/09/2001, estimando o fluxo de água no interior do xilema hidroativo, utilizando-se a técnica de dissipação térmica. A área de estudo, localizada na Fazenda São Bento, município de Coxixola-PB (7° 41' S e 36° 38' O), consistiu de bosque cultivado com 53 plantas de algaroba e um estrato herbáceo dominado por diferentes espécies de gramíneas. Foram selecionados três indivíduos de algaroba, apresentando altura, diâmetro do caule e volume de copa semelhantes. O valor médio do fluxo de seiva diário foi de 3,76 L d⁻¹. A transpiração média diária foi de 0,17 mm d⁻¹, representando 4,4% da evapotranspiração de referência. Os valores de transpiração resultaram de um eficiente controle da abertura e fechamento estomático.

Palavras-Chave: Algaroba, Semi-Árido

INTRODUÇÃO

A algaroba, *Prosopis juliflora* (Sw.) DC., ocupa extensas áreas no Nordeste do Brasil, principalmente locais de várzea com solos aluviais profundos. Projetos governamentais e não governamentais incentivaram o plantio da algaroba em sua grande maioria, em solos agricultáveis e em áreas com e sem vegetação nativa. Este procedimento visava o reflorestamento e a produção de vagens, as quais são usadas extensivamente para alimentação animal, especialmente durante a estação seca (Antonino, 1992; Dutton, 1992).

No Brasil, a presença de indivíduos de algaroba (*P. juliflora*) tornou-se predominante em regiões de semi-árido, devido à sua surpreendente capacidade de adaptação às condições ambientais existentes.

Essa espécie tem a vantagem de permanecer com as folhas verdes durante a estação seca e manter uma grande produção de vagens durante este período, apesar da limitada oferta de água.

A literatura apresenta contradições quanto à utilização da água por diferentes espécies de *Prosopis*. Wan e Sosebee (1991) caracterizaram *Prosopis glandulosa* como “extravagante” no uso da água, enquanto que Ibrahim (1992), encontrou espécies de *Prosopis* utilizando a água de

maneira muito eficiente. Não foram encontradas determinações quanto ao uso da água por espécies de *Prosopis* estabelecidas no Nordeste do Brasil.

A importância da utilização da água por árvores, associada aos estudos de hidrologia de bacias, reside na possibilidade de avaliar o papel desempenhado pela transpiração em florestas e matas. Diversos pesquisadores reconhecem uma inaplicabilidade de algumas metodologias alternativas (Dugas, Heuer e Mayeux, 1992; Hatton, Moore e Reece, 1995; Granier, Biron e Lemoine, 2000). Métodos micrometeorológicos têm a desvantagem de serem limitados quanto à heterogeneidade e à topografia do solo.

A eficiência na utilização de água por espécies lenhosas tem sido avaliada através da medição direta do fluxo de seiva no xilema hidroativo. Além disso, estas medidas permitem estimar a transpiração nestas plantas.

Visando avaliar o uso da água pela planta, este trabalho objetivou determinar a transpiração da algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC.), por intermédio da estimativa do fluxo de água no interior do xilema hidroativo.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo está localizada na Fazenda São Bento, no município de Coxixola-PB (7° 41' S e 36° 38' O)

(Fig. 1), situado na microrregião do Cariri Ocidental, a qual está inserida na mesorregião da Borborema. O clima é do tipo Bsh, semi-árido, distinguido como quente e seco, com chuvas de verão, alcançando os índices mais baixos de precipitação do estado, com média anual de 400 mm, caracterizando-se por sua irregularidade.

A área estudada consistiu de um bosque cultivado com 53 plantas de algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC.) e um estrato herbáceo dominado por diferentes espécies de gramíneas. O solo apresentou impedimento rochoso a partir de 1,20 m de profundidade.

Foram selecionados três indivíduos de algaroba, apresentando altura, diâmetro do caule e volume de copa semelhantes. As medidas do fluxo de seiva no xilema hidroativo foram realizadas durante seis dias, entre 31/08 e 05/09/2001.

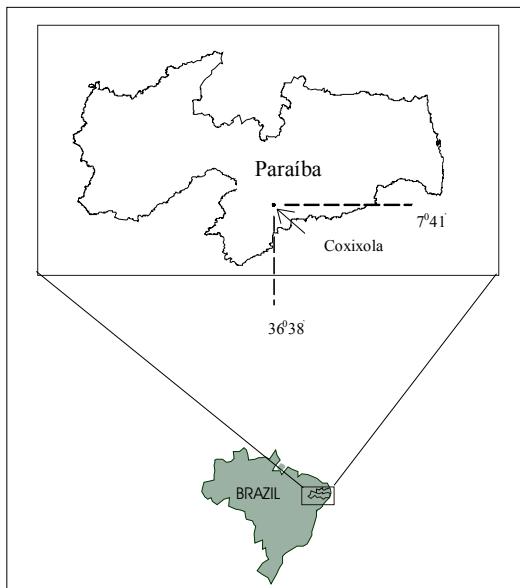


Figura 1 - Localização da área de estudo no Município de Coxixola-PB.

Medidas do fluxo de seiva

A técnica da dissipação térmica (Granier, 1985, 1987) foi usada para medir o fluxo de seiva em três árvores de algaroba. Essas medidas foram feitas utilizando sensores de dissipação térmica (Modelo TDP-30, Dynamax, Inc., Huston, TX) (Fig. 2), operando com potência constante (Granier, 1987). O sensor é composto de duas sondas térmicas cilíndricas, uma superior aquecedora e uma inferior de referência, contendo um termopar de cobre-constantã. Além do termopar, a sonda superior possui uma resistência aquecedora com potência de 0,20 W, a qual possibilita um aumento na sua temperatura variando entre 8 e 10°C, quando a velocidade da seiva é próxima de zero.

As sondas, cada uma com 30 mm de comprimento e 1,3 mm de diâmetro, foram inseridas perpendicularmente, na região do xilema hidroativo do caule, separadas verticalmente por uma distância de 40 mm. Em cada árvore foi instalado um sensor, a 0,90 m da superfície do solo, para evitar o aquecimento por condução de calor do solo. A área do tronco, onde foram instalados os sensores, foi isolada termicamente para evitar o aquecimento direto pelo sol e minimizar as flutuações de temperatura.

Aos sensores foi conectada uma central de aquisição de dados (Modelo CR10X, Campbell Scientific Inc, USA), possibilitando o monitoramento simultâneo das três árvores. Os dados de diferenças de temperatura foram lidos a cada 60 segundos, sendo as médias armazenadas a cada 30 minutos.

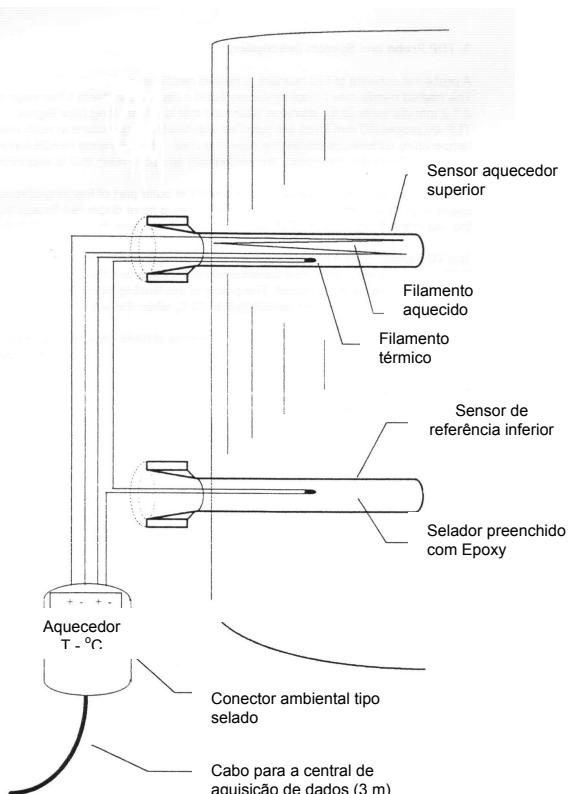


Figura 2 - Sensores de velocidade de fluxo de seiva, Modelo TDP-30. (Dynamax, 1997).

A velocidade do fluxo de seiva (cm.s^{-1}) por unidade de área do xilema foi obtida usando a relação empírica obtida para várias espécies (Granier, 1985, 1987):

$$v = 0,0119 K^{1,23} \quad (1)$$

com K, denominado de "índice de fluxo" da seiva do xilema:

$$K = \left(\frac{\Delta T_{MAX} - \Delta T}{\Delta T} \right) \quad (2)$$

onde, ΔT_{MAX} e ΔT são as diferenças de temperatura, quando o fluxo é nulo e maior que zero, respectivamente.

O fluxo de seiva ($\text{cm}^3 \text{ h}^{-1}$) foi calculado multiplicando-se a velocidade de fluxo pela área de xilema hidroativo (S_{AX}) por

$$F_s = v \cdot S_{AX} \cdot 3600 \quad (3)$$

A transpiração diária foi calculada dividindo-se o fluxo total pela área projetada da copa de cada indivíduo.

Uma vez que a transpiração é dependente da área foliar, da área do xilema hidroativo, do fluxo de seiva, das condições atmosféricas e da água no solo (Mencuccini e Grace, 1994; Vertessy et al., 1995; Naves-Barbiero et al., 2000), esses fatores foram analisados.

A área foliar total de um indivíduo foi obtida através da numeração de todos os seus ramos e a contagem do número de folhas presentes, multiplicado pelo valor de área foliar média. A área foliar média foi obtida empregando-se o mesmo procedimento utilizado para a medida da área do xilema hidroativo.

A medida da área transversal média do xilema hidroativo foi obtida através de imagens digitalizadas em scanner e utilização do programa de análise de imagens Image Tool 2.0 (UTHSCSA, 1995/6).

Num caule, em vista transversal, o xilema localizado na região central é inativo, apresentando uma coloração mais escura, variando entre preto, castanho e vermelho, decorrente do acúmulo de diferentes tipos de resíduos presentes na seiva mineral que foi conduzida por estas células. Mais externamente, as células do xilema hidroativo são sempre de uma coloração clara (próxima ao branco), decorrente da condução de água e minerais, sem o início da acumulação de produtos residuais.

A área transversal média do xilema hidroativo foi observada através do corte do caule, numa altura de 0,90cm da superfície do solo, em 3 indivíduos semelhantes àqueles onde foram inseridas as sondas para a medição do fluxo de seiva do xilema hidroativo.

Dados climáticos

A cerca de 100 metros do local de estudo foi instalada uma estação meteorológica com um pluviôgrafo para a medida da precipitação pluviométrica, um piranômetro para a medida da radiação global e sensores para as medidas da temperatura, da umidade do ar e da velocidade do vento, posicionado a 2,0 m acima da superfície do solo. Os sensores foram conectados a uma central de aquisição

(Modelo CR10X, Campbell Scientific Inc, USA), possibilitando o monitoramento automático dessas leituras. Os dados foram obtidos a cada 60 segundos, com as médias armazenadas a cada 30 minutos.

A região em estudo se caracteriza por uma estação chuvosa (fevereiro a abril) e uma estação seca (demais meses). De janeiro a novembro/2001, a precipitação acumulada foi de 434,2mm. No primeiro semestre, de janeiro a junho, a precipitação foi de 355,42mm, correspondendo a 82%. Só o mês de março, foi o responsável por 52% da precipitação do período, perfazendo um total de 226,8mm.

A evapotranspiração de referência (E) foi obtida usando a equação de Penman-Monteith, considerando um gramado com altura entre 0,10 e 0,15 m (Pereira et al., 1997):

$$E = \frac{\Delta(Rn - G) + \rho c_p \frac{DPV}{r_a}}{\lambda \left[\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_c}{r_a} \right) \right]} \quad (4)$$

onde, Rn é a radiação líquida ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), G é o fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), ρ é a massa específica do ar seco ($1,26 \text{ kg m}^{-3}$), c_p é o calor específico do ar seco à pressão constante ($1,005 \cdot 10^{-3} \text{ MJ kg}^{-1} \text{ C}^{-1}$), DPV é o déficit de pressão de vapor (kPa), λ é o calor latente de evaporação (MJ kg^{-1}), Δ é a declividade da curva de pressão de vapor (kPa $^{\circ}\text{C}^{-1}$), γ é a constante psicrométrica (kPa $^{\circ}\text{C}^{-1}$), r_a e r_c são a resistência aerodinâmica e a resistência do dossel arbóreo (69 s m^{-1}), respectivamente.

A razão entre r_c e r_a foi calculada por (Pereira et al., 1997):

$$\frac{r_c}{r_a} = 0,33 \cdot U_2 \quad (5)$$

onde, U_2 é a velocidade do vento medida a 2 m.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As folhas de algaroba constituíram-se de quatro folíolos, com cerca de 20 foliolos cada um. A área média de cada foliolulo foi de $0,13 \text{ cm}^2$ e a área média foliar foi de $10,4 \text{ cm}^2$. Como as plantas apresentaram um número médio de folhas em torno de 22,490 por indivíduo, a área foliar total por indivíduo foi de, aproximadamente, $23,39 \text{ m}^2$. A área projetada da copa por indivíduo foi de, aproximadamente, $22,00 \text{ m}^2$. O índice de área foliar (IAF) foi de $1,04 \text{ m}^2/\text{m}^2$.

A área do xilema hidroativo da algaroba constituiu-se de uma faixa localizada a 2-3 mm da superfície externa do caule, com uma espessura média de 0,7 mm, correspondendo a uma área média de $31,7 \text{ cm}^2$.

Árvores de *Acacia frigescens* J.H. Willis, cultivadas na Austrália, pertencentes à mesma família da algaroba (Fabaceae), apresentaram valores de 36,33 m² para área foliar e 121,3 cm² para área de xilema hidroativo (Vertessy et al., 1995). No Brasil, Naves-Barbiero et al. (2000), estudando arbustos em Brasília, determinaram a área foliar (0,05 e 4 m²), a área de xilema hidroativo (43,5 e 24 cm²) e o fluxo de seiva (1,56 e 2,0 L dia⁻¹) para *Rapanea guianensis* e *Roupala montana*, respectivamente.

Essas variações podem estar relacionadas às características morfológicas específicas e/ou a uma elevada demanda evaporativa, à qual essas plantas estão submetidas (Mencuccini e Grace, 1994; Vertessy et al., 1995).

Uma maior disponibilidade hídrica no solo, especialmente para plantas freatófitas como a algaroba, estimula uma maior produção de biomassa foliar, indicando uma ativa e eficiente condutividade hidráulica através do xilema hidroativo do caule (McGinnies e Arnold, 1939 citados por Wan e Sosebee, 1991; Nilsen et al., 1983).

A redução na área foliar é um mecanismo utilizado pelas plantas em resposta à seca. Entretanto, uma vez que a área de xilema hidroativo não se altera em plantas adultas, a manutenção da área foliar pode ser mantida em consequência da abertura e fechamento estomático. Isto provoca uma redução na perda de água por transpiração e redução do fluxo de seiva no interior do xilema hidroativo. Informações acerca desses aspectos em algaroba, cultivadas no semi-árido brasileiro, ainda não são conhecidas na literatura.

Deve-se lembrar que a algaroba apresenta folhas constituídas por pequenos foliolos, significando reduzidas áreas de lâmina foliar. Esta característica permite um amplo aproveitamento da radiação solar, provocando uma elevação da temperatura no interior da folha, a qual é reduzida pela ventilação proporcionada pela maior proporção entre a área da lâmina e a margem da folha. Além disso, foi observada uma significativa queda dos foliolos em épocas de seca, ao mesmo tempo em que ocorria uma produção reduzida de novos foliolos, mantendo, assim, uma área foliar mínima, e fazendo com que a planta permanecesse sempre verde durante todo o ano.

A eficácia na manutenção da massa foliar e produção de vagens em algaroba, sob condições de seca no semi-árido brasileiro, provavelmente se deve a um eficiente mecanismo de condutância estomática, associado a um não menos eficiente comportamento hidráulico do xilema hidroativo.

É fato comprovado que as variações na área do xilema hidroativo estão diretamente relacionadas à manutenção da área foliar transpirante (Mencuccini e Grace, 1994; Vertessy et al., 1995). Vertessy et al. (1995) encontraram altas correlações entre a área do xilema hidroativo e valores de transpiração em árvores de *Acacia* cultivadas na Austrália.

O fluxo de seiva e a transpiração foram obtidos para o período de 31/08 a 05/09/2001. Neste intervalo foi registrado um único evento de precipitação pluviométrica, entre 16 e 22 horas do dia 02/09, quando choveu 10,2 mm.

O valor médio da radiação global diária foi de 20,8 MJ m⁻², com valores máximos e mínimos de 23,5 e 17,8 MJ m⁻², respectivamente, para os dias 31/08 e 02/09.

O valor médio da evapotranspiração de referência foi de 3,9 mm d⁻¹, com valores máximos e mínimos de 4,6 e 3,0 mm d⁻¹, respectivamente, para os dias 31/08 e 02/09.

As figuras 3, 4 e 5 apresentam, respectivamente, a evolução da radiação global, do déficit de pressão de vapor e do fluxo de seiva em função do tempo. Observou-se que o comportamento do fluxo de seiva seguiu o da radiação global, porém o fluxo de seiva atingiu o seu valor máximo em torno das 10 horas da manhã, enquanto que a demanda evaporativa continuou aumentando. Isto indica que houve um controle estomático da transpiração por parte da planta.

Os valores máximos do fluxo de seiva medido foram de 0,42, 0,41 e 0,55 L h⁻¹ para os dias 31/08, 02/09 e 04/09, respectivamente.

A figura 6 apresenta os valores diários do fluxo de seiva para o período estudado. Observou-se que, após a chuva, houve um aumento do fluxo de seiva durante o dia, passando de um valor médio diário de 3,39 para 4,13 L d⁻¹. O valor médio do fluxo de seiva diário foi de 3,76 L d⁻¹.

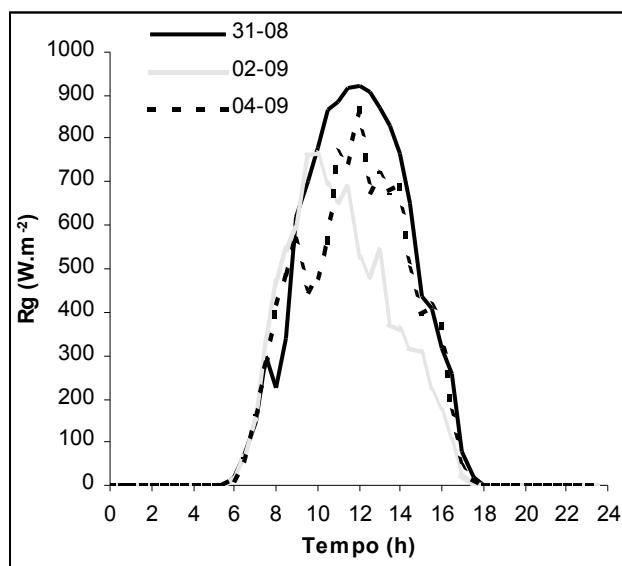


Figura 3 - Evolução da radiação global em Coxixola-PB, no período de 31/08 a 05/09/2001.

A transpiração média diária foi de 0,17 mm d⁻¹ sendo um valor muito pequeno quando comparado ao

valor médio da evapotranspiração de referência que foi de $3,9 \text{ mm d}^{-1}$. Este valor representou 4,4% da evapotranspiração de referência.

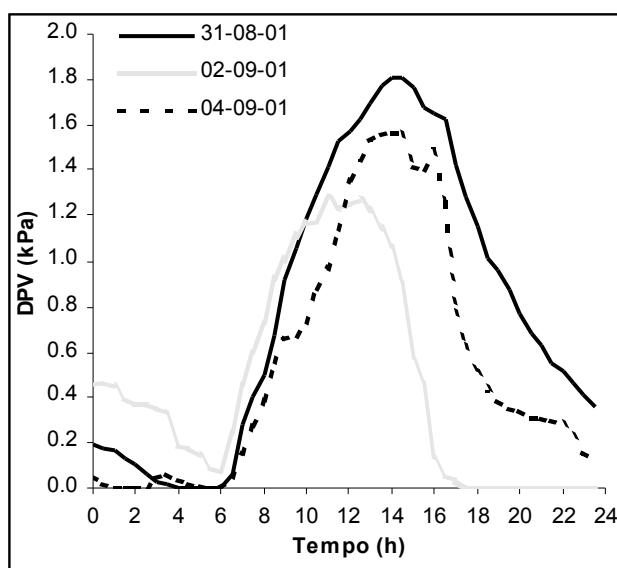


Figura 4 - Déficit de pressão de vapor em Coxixola-PB, no período de 31/08 a 05/09/2001.

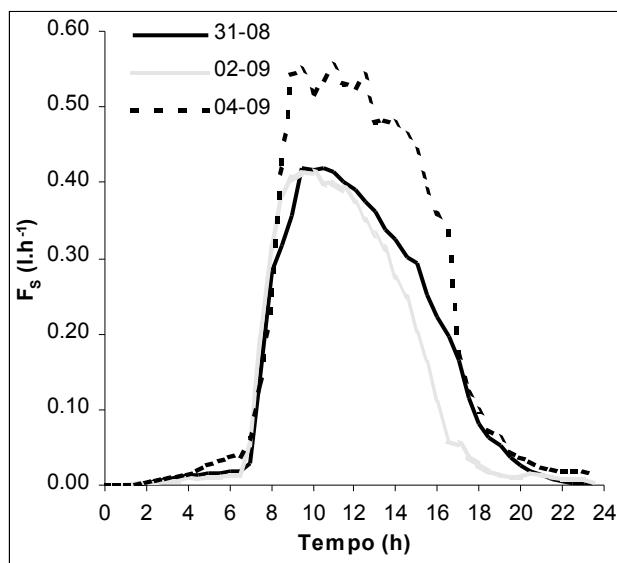


Figura 5 - Fluxo de seiva em função do tempo, em 4 plantas de algaroba, cultivadas em Coxixola-PB, no período de 31/08 a 05/09/2001.

Embora algumas espécies de algaroba tenham sido consideradas “extravagantes” quanto à utilização da água do solo (Wan e Sosebee, 1991), *P. juliflora* apresentou reduzidos valores de fluxo de seiva e transpiração. Este comportamento foi consequência de um controle estomático eficiente.

Comparando valores obtidos entre a algaroba e *Rapanea guianensis* (Lam.) Lundell, arbusto sempre verde do cerradão brasileiro, foi observado que os valores de fluxo de seiva e de transpiração se mostraram elevados e reduzidos, respectivamente (Naves-Barbiero et al., 2000). Foi constatado que em arbustos do cerradão brasileiro, a elevada temperatura e a demanda evaporativa atmosférica foram os principais fatores responsáveis pela redução no fluxo de seiva, através do controle estomático (Naves-Barbiero, 2000).

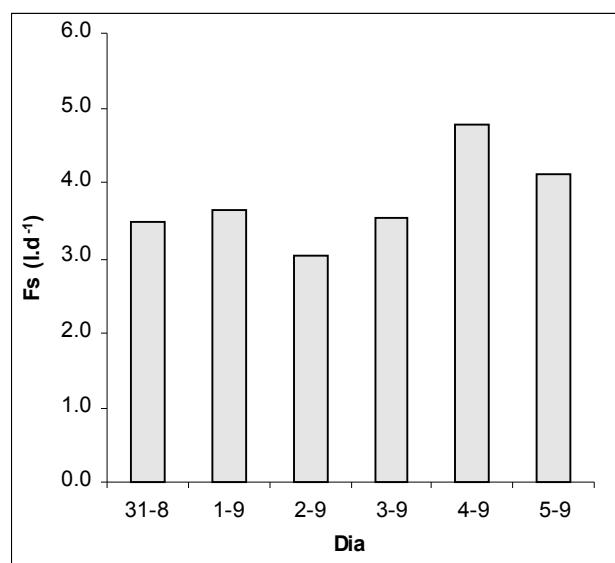


Figura 6 - Valores diários do fluxo de seiva, em plantas de algaroba, cultivadas em Coxixola-PB, para o período de 31/08 a 05/09/2001.

Essas diferenças mostram haver comportamentos específicos em resposta às características morfológicas das plantas e as condições ambientais às quais elas estão submetidas.

CONCLUSÕES

A reduzida transpiração média diária da algaroba ($0,17 \text{ mm d}^{-1}$), estabelecida em solo raso durante a estação seca, sugere o controle estomático como o mecanismo predominante para a adaptação à baixa disponibilidade hídrica.

O método da dissipação térmica se mostrou viável para a determinação do fluxo de seiva e estimativa da transpiração em plantas de algaroba.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq pelo apporte financeiro dado ao primeiro autor e ao Engenheiro Agrônomo, José

Romualdo de Sousa Lima, pelo apoio na montagem da instrumentação.

REFERÊNCIAS

- ANTONINO, M.O. (1992) Algarobeira: a contribution to Brazil's semi-arid north-east., em Dutton, R.W. (ed.) *Prosopis* species, aspects of their value, research and development. Durham, University of Durham, Centre for Overseas Research & Development. Proceedings of the *Prosopis* Symposium, pp.43-45.
- DUGAS, W.A.; HEUER, M.L.; MAYEUX, H.S. (1992) Diurnal measurements of honey mesquite transpiration using stem flow gauges. *Journal of Range Management*. v. 45, n. 1, pp. 99-102.
- DUTTON, R.W (1992) *Prosopis* species, aspects of their value, research and development. Durham, University of Durham, Centre for Overseas Research & Development. Proceedings of the *Prosopis* Symposium. 320p.
- DYNAMAX INC. (1997) A thermal sap velocity probe for measurement of sap flow in plants. Instrumentation catalog, Dynamax Inc, Houston TX 23p.
- GRANIER, A. (1985) Une Nouvelle Méthode Pour la Mesure du Flux de Sève Brute dans le Tronc des Arbres, *Ann. Sci. For.* v. 42, n. 2, pp. 193-200.
- GRANIER, A. (1987) Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements. *Tree Physiology*, n. 3, pp. 309-320.
- GRANIER, A.; BIRON, P.; LEMOINE, D. (2000) Water balance transpiration and canopy conductance in two beech stands. *Agricultural and Forest Meteorology*. v. 100, pp. 291-308.
- HATTON, T.J.; MOORE, S.J.; REECE, P.H. (1995) Estimating stand transpiration in a *Eucalyptus populnea* woodland with the heat pulse method: measurement errors and sampling strategies. *Tree Physiology*, v.15, pp. 219-227.
- IBRAHIM, K.M. (1992) *Prosopis* species in south-western United States, their utilization and research., em Dutton, R.W. (ed.) *Prosopis* species, aspects of their value, research and development. Durham, University of Durham, Centre for Overseas Research & Development. Proceedings of the *Prosopis* Symposium, pp.83-115.
- MENCUCCINI, M.; GRACE, J. (1994) Climate influences the leaf/sapwood area ratio in Scots pine. *Tree Physiology*, v. 15, pp. 1-10.
- NAVES-BARBIERO, C.C.; FRANCO, A.C.; BUCCI, S.J.; GOLDSTEIN, G. (2000) Fluxo de seiva e condutância estomática de duas espécies lenhosas sempre-verdes no campo sujo e cerradão. *R. Bras. Fisiol. Veg.* v. 12, n. 2, pp. 119-134.
- NILSEN, E.T.; SHARIFI, M.R.; RUNDEL P.W.; JARREL, W.M.; VIRGINIA, R.A. (1983). Diurnal and seasonal water relations of the desert phreatophyte *Prosopis glauca* (honey mesquite) in the Sonoran desert of California. *Ecology*, v. 64, pp. 1381-1393.
- PEREIRA, A. R.O.; VILLA NOVA, N.A.O.; SEDIYAMA, G.C. (1997) Evapo(transpi)ração. FEALQ, Piracicaba, 183p.
- UTHSCSA. (1995) Programa de análise de imagens, Image Tool, University of Texas Health Science Center. San Antonio.
- VERTESSY, R.A.; BENYON, R.G.; O'SULLIVAN, S.K.O.; GRIBBEN, P.R. (1995) Relationships between stem diameter, sapwood area, leaf area and transpiration in a young mountain ash forest. *Tree Physiology*, v. 15, pp. 559-567.
- WAN, C.O.; SOSEBEE, R.E. (1991) Water relations and transpiration of honey mesquite on 2 sites in west Texas. *Journal of Range Management*. v. 44, n. 2, pp. 156-160.

Transpiration of *Prosopis juliflora* (Sw) Dc Cultivated in the Brazilian Northeastern Semi-Arid

ABSTRACT

Prosopis transpiration was determined in the dry season, from August 31st to September 5th 2001, by measuring water flux inside an active xylem with a thermal sap velocity probe. Field studies were carried out at a site with 53 *Prosopis juliflora* trees on "São Bento" farm, in the Coxixola district, state of Paraíba, Northeastern Brazil. Three similar-sized individuals were chosen for monitoring. The average sap flow was 0.17 mm per day corresponding to 4.4% of reference evapotranspiration. Transpiration values are the result of an efficient control of stomatal opening and closing.

Key Words: *Prosopis juliflora*(Sw), Semi-Arid