

ABSORÇÃO E RESISTÊNCIA AO MOVIMENTO DA ÁGUA NO CACAUEIRO¹

SOLANGE MARIA COSTA DE AMORIM² e RAÚL RENÉ VALLE³

RESUMO – Estudou-se o efeito da temperatura radicular na resistência ao movimento de água, em plântulas de cacau (*Theobroma cacao* L.), cv. Catongo em casa de vegetação e a temperaturas radiculares de 10°, 20°, 30° e 40°C. Folhas das posições basais, intermediárias e apicais, com idades semelhantes, foram cobertas com papel laminado e recobertas com sacos de polietileno preto. Medições de potencial hídrico e seus componentes, transpiração, fotossíntese, temperatura das folhas e condutância estomática foram feitas por psicrometria, nas folhas descobertas adjacentes às folhas cobertas. Os resultados sugerem que a resistência ao fluxo da água no cacaueiro é independente da posição foliar no caule e relaciona-se diretamente com o fluxo da transpiração e com a variação dos gradientes de potencial hídrico, que é determinado por temperaturas radiculares superiores a 30°C. As trocas gasosas, nas diferentes temperaturas do solo, relacionaram-se com o potencial de água da planta.

Termos para indexação: *Theobroma cacao*, cacau, temperatura radicular.

ABSORPTION AND WATER MOVEMENT RESISTANCE IN CACAO

ABSTRACT – The effects of root temperature on water movement resistance were studied on cacao *Theobroma cacao* L. seedlings under greenhouse conditions at root temperatures of 10°, 20°, 30° e 40°, on leaves covered with aluminum foil and black plastic bags and on uncovered leaves. The leaves were located at base, at the intermediate part and at the apex of the stem. Measurements of water potential and its components, transpiration, photosynthesis, temperature, and stomatic conductance were done by psychrometry in the uncovered leaves adjacent to the covered ones. The results suggest that the resistance to water movement does not depend on the position of the leaves in the stem, but depends on the transpirational flux, and that the water potential gradients across the plant vary at temperatures greater than 30°C. Gas exchanges at different root temperatures depend on the water status of the plant.

Index terms: *Theobroma cacao*, cacao, root temperature.

INTRODUÇÃO

O cacaueiro (*Theobroma cacao*, L.) é uma planta típica dos climas tropicais e subtropicais, onde o consumo de água pelos vegetais é geralmente alto. Poucas plantas cultivadas são tão sensíveis à deficiência de água e, praticamente, todos os seus processos fisiológicos são afetados pela falta de umidade no solo.

A deficiência de água no solo reduz a produção total, influencia a renovação das folhas e a flora-

ção (Alvim 1977), afetando mais a produção que o pegamento de flores e mumificação de frutos jovens em plantas adultas de cacau (Machado & Alvim 1981).

O Processo de transpiração controla a absorção e a translocação de água e sais minerais e é fator importante na dissipação de energia como forma de resfriamento. As flutuações na transpiração são acompanhadas por variações simultâneas na força motriz e no gradiente de potencial hídrico das folhas (Black 1979), modificando a assimilação de dióxido de carbono (Farquhar & Sharkey 1982). Relações lineares entre o potencial hídrico da folha e o gradiente de transpiração são frequentemente encontradas em plantas lenhosas (Barrs 1971).

¹ Aceito para publicação em 1° de fevereiro de 1993.

Extraído da Tese de Mestrado da autora

² Bióloga, M.Sc., Prof^a Substituta, Dep. de Botânica I.B./UFBA, CEP 40210.

³ Eng.-Agr., Ph.D., CEPEC/CEPLAC. Caixa Postal 07, Itabuna/BA, CEP 45000.

Zimmerman (1965) e Kramer (1974) demonstraram que a temperatura do solo afeta o fluxo de água do solo para a planta e a relação do potencial hídrico e seus componentes com as trocas gasosas e a dinâmica de absorção de água (Black 1979).

Uma das analogias mais usadas para o estudo do movimento de água no sistema solo-planta-atmosfera é a comparação desse processo com o fluxo de eletricidade no sistema de condução (Lei do Ohm). Essa analogia define o fluxo de água como uma função direta da diferença de potencial hídrico entre as partes estudadas e inversamente proporcional à resistência (Gradmann 1928). Esses conceitos foram desenvolvidos por Honert (1948) e largamente usados nas décadas subsequentes (Boyer 1974). Dependendo da resistência ao fluxo da água na planta, uma defasagem entre a água transpirada e a absorvida pelas raízes é causada, provocando, conseqüentemente, déficit hídrico nas folhas. Isto ocasiona um aumento do gradiente de potencial hídrico entre as folhas e o solo, cujo resultado final é o incremento de fluxo da água para a planta.

Considerando o modelo desenvolvido por Honert (1948), este estudo visa: (1) investigar o efeito de diferentes temperaturas do solo na resistência ao movimento da água em plântulas de cacau, e (2) estabelecer relações entre o potencial hídrico e seus componentes com a fotossíntese.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação, no Centro de Pesquisa do Cacau (CEPEC), em Itabuna, Bahia. Plântulas de cacau da variedade Catongo foram cultivadas em vaso de plástico com capacidade para cinco litros de solo, que consistiu numa mistura de areia lavada e autoclavada com pó de serra na proporção de 2:1.

As plântulas foram irrigadas com solução nutritiva (Hoagland 1948) em diferentes concentrações (1/4, 1/2, 3/4) e completa, de acordo com seu desenvolvimento. A cada três dias os vasos foram irrigados com água corrente para evitar acidificação do meio e manter o pH do solo entre 0,7 e 7,5. O pH foi controlado por um pHmetro Micronal, modelo B221. As amostragens foram realizadas entre as 10 e as 13h, em plântulas selecionadas com oito meses de idade, em estádio de desenvolvimento semelhante. Cada amostragem consistiu de

três repetições num desenho experimental completamente casualizado.

A região radicular foi submetida a banhos de gelo para a obtenção das temperaturas constantes de 10°C e 20°C e a banho-maria nas temperaturas de 30° e 40°C. Nessas condições, foram cobertas com papel laminado (Neumann et al. 1974) e recobertas com sacos de polietileno preto (Begg & Turner 1970) as folhas de idades semelhantes das posições basal, intermediária e apical. Após 16 horas de equilíbrio, quatro discos foliares foram coletados das folhas cobertas e descobertas (adjacentes), nas três posições do caule, para as medições do potencial hídrico e osmótico. Os discos foliares foram colocados em psicrômetros de termopar tipo Spanner (1951). O sinal em microvolts, dos psicrômetros, foi medido através de um microvoltímetro Wescor, modelo HT-33T, após serem equilibrados em banho-maria a uma temperatura de 30°C por quatro horas. O potencial osmótico foi estimado, após ruptura da parede celular nos discos foliares e equilíbrio em banho-maria por quatro horas, em temperatura constante de 30°C (Bennett et al. 1986). A ruptura das paredes celulares nos discos foliares foi efetuada colocando-se os psicrômetros em N líquido por um minuto. O potencial de turgor foi estimado pela diferença entre o potencial hídrico e osmótico.

A temperatura radicular foi controlada usando-se um termômetro Incoterm-IM, com coluna de mercúrio de 76 mm. O sistema de fotossíntese LI-6000 PPS foi utilizado nas medições de fotossíntese, transpiração e condutância estomática, temperatura da folha e radiação solar. O uso eficiente da água (unidade de carbono fixado por unidade de água transpirada) foi estimado dividindo-se a fotossíntese pela transpiração. O resultado foi expresso em mmol CO₂/mol H₂O (Valle et al. 1985).

Os resultados foram analisados de acordo com a equação de Honert (1948), $F = \Delta Ph / R$, onde Ph representa o gradiente do potencial hídrico, R, a resistência ao movimento de água na planta, e F, o fluxo de água.

Análise de variância e de correlação foram realizadas com o Processamento Geral de Modelos Lineares, e a análise de regressão, que forneceu modelos de predição da resistência ao movimento de água, foi realizada com o procedimento Stepwise do Sistema de Análise Estatística (SAS Institute 1982).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variação do potencial hídrico em função das temperaturas radiculares de 10°, 20°, 30° e 40°C

foi mais pronunciada nas folhas apicais do que nas basais e intermediárias (Fig. 1). Nestas folhas, o potencial hídrico manteve-se constante em, aproximadamente, $-3,50$ e $-4,00 \times 10^5$ Pa, respectivamente, em todas as temperaturas estudadas. O potencial hídrico nas folhas apicais manteve-se constante em cerca de $-3,30 \times 10^5$ Pa nas temperaturas de 10° e 20°C e aumentou para, aproximadamente, $-2,20 \times 10^5$ Pa nas temperaturas de 30° e 40°C . A variação do potencial hídrico nas plantas de cacau neste estudo foi de $-1,30 \times 10^5$ Pa. O suprimento de água para as raízes foi limitado, em decorrência da diminuição da condutividade hidráulica no solo na temperatura de 10°C (Kramer 1974).

A condutividade hidráulica no solo, nas temperaturas de 20°C e 30°C , foi maior, o que ocasionou o aumento do potencial hídrico. Nas temperaturas de 30°C e 40°C , modificações nas membranas das células radiculares, provavelmente, desnaturação de proteínas, provocaram uma brusca queda do potencial hídrico das folhas basais. Observou-se, porém, que o potencial de turgor das folhas intermediárias e apicais foi mantido, o que sugere uma condição de ajustamento osmótico

nestas folhas (Lybeck 1958, Scholander et al. 1965, Jones 1978, Turner et al. 1978).

No intervalo de 10°C a 30°C de temperatura radicular, com diferenças no potencial hídrico foliar, foi observado um aumento linear na taxa de transpiração das folhas intermediárias e apicais. A transpiração das folhas basais foi constante no intervalo de 10°C a 20°C e aumentou no intervalo de 20°C a 30°C (Fig. 2). Nesse intervalo, as folhas intermediárias, com a lâmina complementemente formada, transpiram mais do que as folhas apicais, igualmente jovens, mas com a lâmina incompleta, e do que as folhas basais, mais velhas. Os resultados indicam que a condutância estomática e a interna mudam com a idade das folhas (Goode & Higgs 1973, Constable & Rawson 1980). Independentemente da posição das folhas, a taxa de transpiração foi menor nas temperaturas do solo de 10° e de 40°C do que nas temperaturas de 20° e de 30°C .

Nas determinações do efeito da temperatura do solo sobre a resistência ao fluxo da água em plântulas de cacau, verificou-se que houve maiores resistências nas temperaturas radiculares de 10° e 40°C , independentemente das posições foliares. A

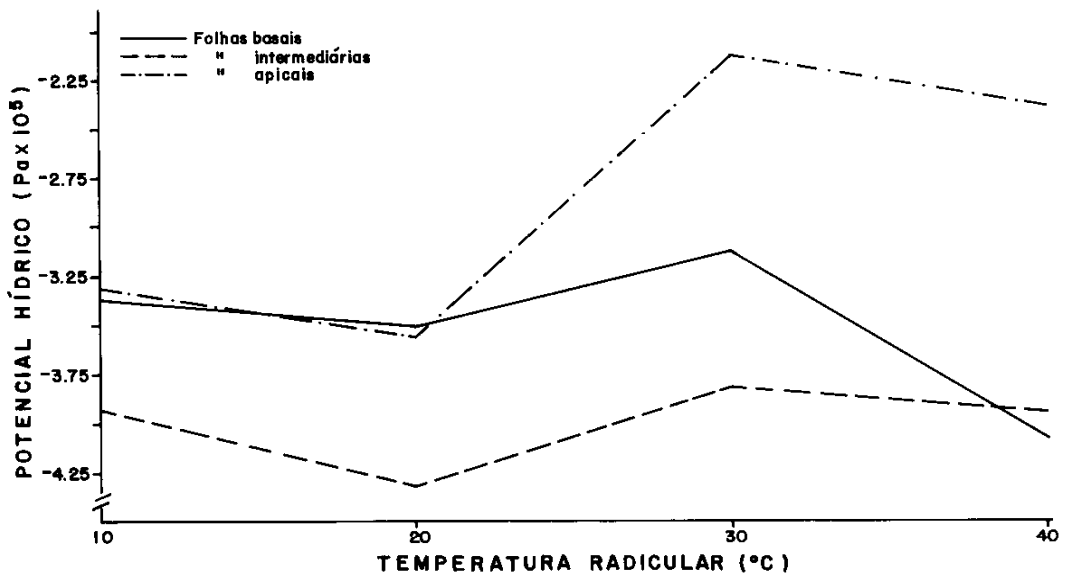


FIG. 1. Potencial hídrico das folhas basais, intermediárias e apicais em função da variação da temperatura na região radicular.

redução da absorção da água nessas temperaturas mostrou que o cacau é altamente dependente da temperatura radicular (Fig. 3). A resistência ao fluxo da água, nas condições deste experimento, afetou indiretamente a fotossíntese das plântulas de cacau, principalmente nas folhas intermediárias e apicais (Fig. 4).

O uso eficiente da água é uma medida relativa do grau de eficiência com que os processos de fotossíntese e transpiração interagem (Fig. 5). A análise de correlação apresentou um coeficiente de 0,59 ($P < 0,05$) entre a resistência ao fluxo da água e o uso eficiente da água. O maior uso eficiente da água foi observado nas folhas basais, nas temperaturas extremas de 10° e de 40°C, relacionando-se com a taxa de transpiração em menor proporção do que com a taxa de fotossíntese. Comparando-se os resultados obtidos com os relatados por Valle et al. (1985), utilizando plantas de soja (*Glycine max* (L.) Merr.), o cacau mostrou-se

menos eficiente na fixação de dióxido de carbono do que a soja, sob condições similares de resistência estomática.

Os valores dos parâmetros mensurados foram utilizados para a construção de modelos estatísticos de predição da resistência à absorção de água no cacau (Tabela 1). A taxa de transpiração foi o parâmetro que deu o maior coeficiente de determinação para modelos utilizando uma só variável. Este modelo explicou 74% da variação dos dados de resistência em função das posições foliares e temperatura do solo. O melhor modelo utilizando duas variáveis, potencial osmótico e transpiração, explicou 83% da variação de resistência. A partir dos modelos com três variáveis, a predição da resistência aumentou notavelmente. O melhor modelo, com três variáveis, utilizou os dados de transpiração, dióxido de carbono na cavidade subestomática e uso eficiente de água, e explicou 95% da variação nos dados de resistência ao fluxo de água.

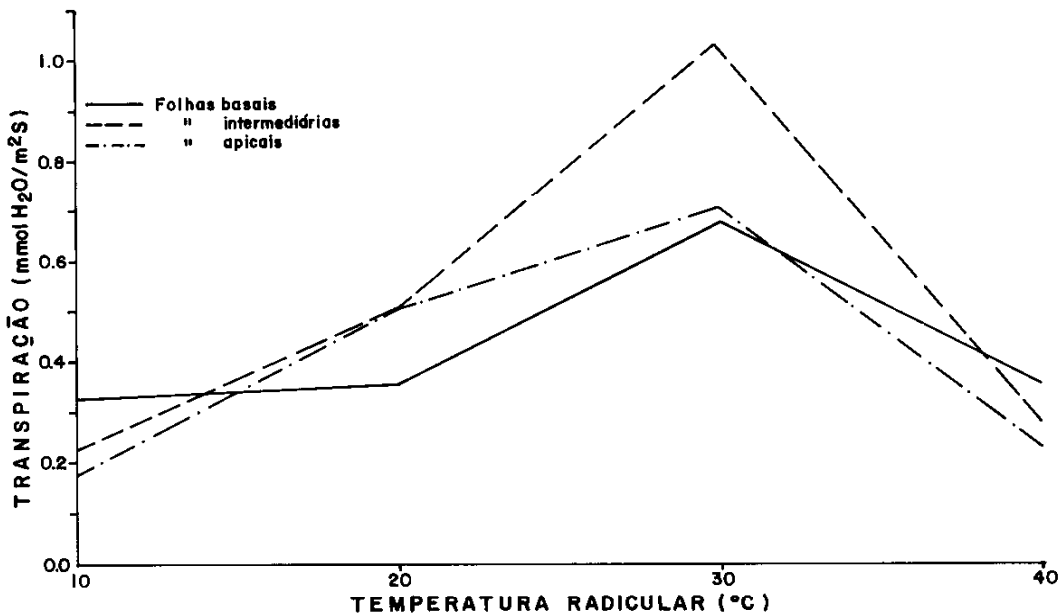


FIG. 2. Taxa de transpiração de plantas de cacau submetidas a diferentes temperaturas na região radicular.

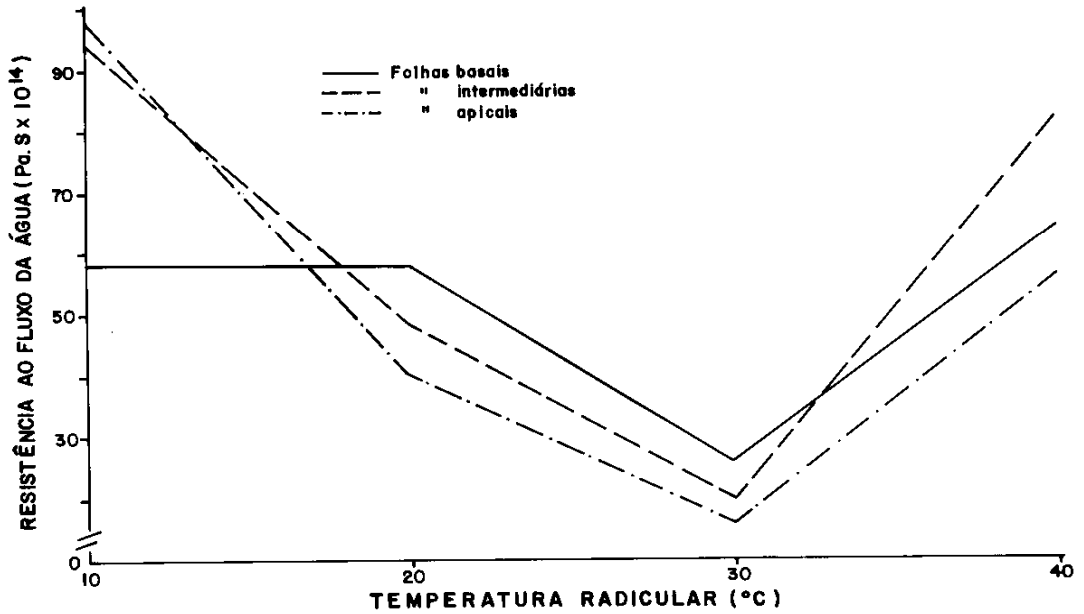


FIG. 3. Resistência ao fluxo de água em função da variação da temperatura na região radicular em folhas basais, intermediárias e apicais de plantas de cacau.

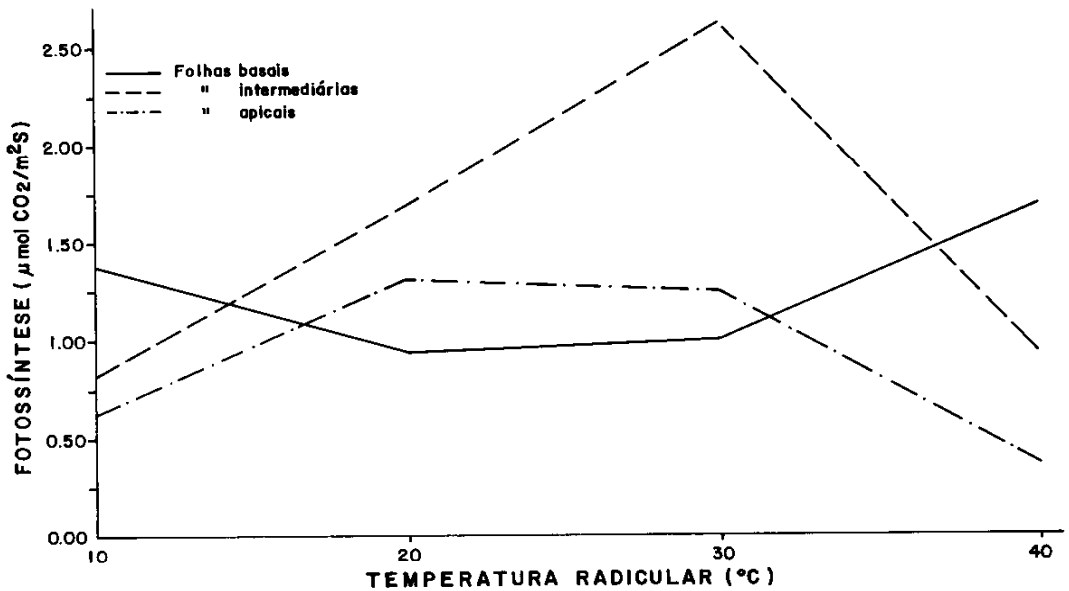


FIG. 4. Taxa de fotossíntese em função da temperatura radicular em folhas basais, intermediárias e apicais de plantas de cacau.

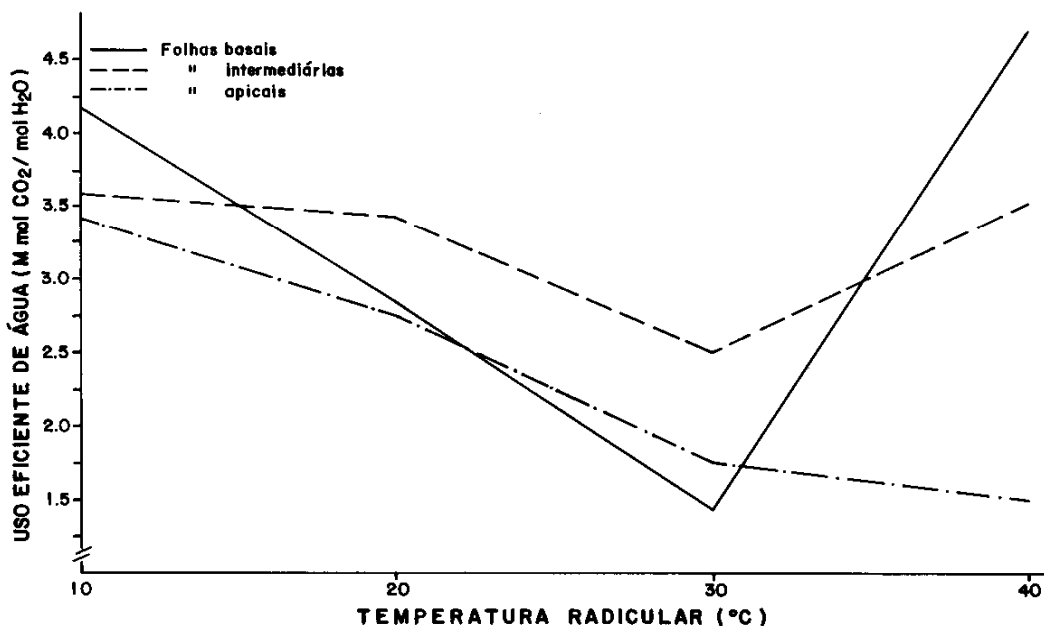


FIG. 5. Relação entre o uso eficiente de água e a temperatura da região radicular em folhas basais, intermediárias e apicais de plantas de cacau.

TABELA 1. Modelos estatísticos de predição da resistência ao movimento da água (RES). Os melhores modelos, dependendo do número de parâmetros utilizados, estão indicados por B.

Equações	n ²
RES = 96,11 - 92,22TR*	0,74B
RES = 61,26 - 11,22Po - 100,60TR	0,83B
RES = 33,83 - 11,91Po - 102,78Tr + 0,1Ci	0,89
RES = 3,45 - 71,94TR - 0,17Ci + 13,02UEA	0,95B
RES = 3,99 - 865,63Cs - 40,15TR - 0,166Ci + 14,7UEA	0,97
RES = 142,02 - 3,82Tl - 1840,69Cs + 0,143Ci + 13,0UEA	0,98B
RES = 144,84 - 4,35Ph - 3,92Tl - 1955,5Cs + 0,127Ci + 9,25UEA	0,99
RES = 31,01 - 0,61TRAT - 9,11Ph - 2117,03Cs + 0,097Ci + 8,58UEA	0,99B
RES = 32,14 - 0,64TRAT - 9,75Ph - 3,69Pt - 2067,2Cs - 0,09Ci + 7,72UEA	0,99B

* TR = Transpiração, Po=Potencial osmótico, Ci=Dióxido de carbono na câmara subestomática, UEA=uso eficiente de água, Cs=Condutância estomática, Pt=potencial de turgor, Ph=potencial hídrico, TRAT=temperatura radicular. Onde n² = coeficiente de determinação.

CONCLUSÕES

1. A resistência ao movimento da água em cacau depende do fluxo de transpiração, e os gradientes de potencial hídrico na planta são constan-

tes a temperaturas radiculares menores ou iguais a 20°C e variam a temperaturas superiores a 30°C.

2. As trocas gasosas em folhas de plântulas de cacau, sob diferentes temperaturas radiculares, es-

tão relacionadas com o potencial hídrico da planta.

REFERÊNCIAS

ALVIM, P. de T. Cacao. In: ALVIM, P. de T.; KOZLOWSKI, T. T. (Eds). *Ecophysiology of Tropical Crops*. [S.l.]: Academic Press, Inc., 1977. p.279-310.

BARRS, H. D. Cycling variations in stomatal aperture, transpiration and leaf water potential under constant environmental conditions. *Annual Reviews of Plant Physiology*, v.22, p.223-236, 1971

BEGG, J. E.; TURNER, N. C. Water potencial gradients in field tobacco relations. *Plant Physiology*, v.46, p.343-346, 1970.

BENNETT, J. M.; CORTES, P. M.; LOREN, G. F. Comparison of water potential components measured with a thermocouple psychrometer and a pressure chamber and effects of starch hydrolysis. *Agronomy Journal*, v.78, p.239-244, 1986.

BLACK, R. C. the relationship between transpiration, water potential and resistance to water movement in sunflower (*Helianthus annuus*, L.) *Journal of Experimental Botany*, v.30, n.15, p.235-243, 1979.

BOYER, J. S. Water transport in plants: Mechanisms of apparent changes in resistance during absorption. *Planta*, Berl., v.117, p.187-207, 1974.

CONSTABLE, G. A.; RAWSON, H. M. Effects of leaf position, expansion and age on photosynthesis, transpiration and water use efficiency of water on cotton. *Australian Journal of Plant Physiology*, v.7, p.89-100, 1980.

FARQUHAR, G. D.; SHARKEY, T. D. Stomatal conductance and photosynthesis. *Annual Reviews of Plant Physiology*, v.33, p.17-345, 1982.

GOODE, J. E.; HIGGS, K. M. Water osmosis and pressure potential relationship in apple leaves. *Journal of Horticultural Science*, v.48, p.203-215, 1973.

GRADMANN, H. Untersuchungen über die Wasserverhältnisse des Bodens als Grundlage des Pflanzenwachstums. *Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik*, v.69, p.1-100, 1928.

HOAGLAND, D. R. Lecture on the inorganic nutrition of plants. *Chronica Botanica*, p.48-71, 1948.

HONERT, T. C. van der. Water transport in plants as a catenary process. *Discussions of the Faraday Society*, v.3, p.146-153, 1948.

JONES, M. M. Osmotic adjustment in leaves of sorghum in response to water deficits. *Plant Physiology*, v.16, p.122-126, 1978.

KRAMER, P. J. Fifty years of progress in water relations research. *Plant Physiology*, v.54, p.463-471, 1974.

LYBECK, B. R. Winter freezing in relation to the resistance of sap in tall trees. *Plant Physiology*, v.34, p.482-486, 1958.

MACHADO, R. C. R.; ALVIM, P. de T. Efeito da deficiência hídrica no solo sobre a renovação de folhas, floração e estado de água no cacauero. *Revista Theobroma*, v.11, n.3, p.183-191, 1981.

NEUMANN, H. H. THURTHELL, G. W.; STEVENSON, R. K. 'In situ' measurements of leaf water potential and resistance to water flow in corn, soybean and sunflower at several transpiration rates. *Canadian Journal of Plant Science*, v.54, p.175-184, 1974.

SAS INSTITUTE. *SAS user's guide: Statistics*. Cary. N. C., 1982. 584p.

SCHOLANDER, P. F.; HAMMEL, H. T.; BRADSTREET, E. D.; HEMMINGSEN, E. A. Sap pressure in vascular plants. *Science*, v.149, p.339-346, 1965.

SPANNER, D. C. The Peltier effect and its use in the measurement of suction pressure. *Journal of Experimental Botany*, v.2, p.145-168, 1951.

TURNER, N. C., BEGG, E. J.; TOUNET, M. L. Osmotic adjustment of sorghum and sunflower crops in response to water deficit and its influence on the water potential at which stomata close. *Australian Journal of Plant Physiology*, v.5, p.597-608, 1978.

VALLE, R.; MISHOE, J. W.; JONES, J. W.; ALLEN JUNIOR, L. H. Transpiration rate and water use efficiency of soybean leaves adapted to different CO₂ environments. *Crop Science*, v.25, p.477-482, 1985.

ZIMMERMAN, M. M. Effects of low temperature on the ascent sap in trees. *Plant Physiology*, v.39, p.568-572, 1965.