

Efeito de Variáveis Micrometeorológicas e Disponibilidade Hídrica no Solo sobre Resistência Estomática à Difusão Gasosa em Feijoeiro¹

H. Bergamaschi*, H. J. Vieira**, L. R. Angelocci***,
I. C. Ometto***, O. Brunini****

ABSTRACT

Effects of micrometeorological variables on the stomatal diffusive resistance of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) subjected to different conditions of soil water availability were evaluated in a field experiment at Piracicaba, São Paulo (latitude 22°42'; altitude 576 masl). The common bean cultivar Aroana 80, type II (CIAT classification), was sown in 30 m x 20 m split-plots on July 7, July 22, and August 4, with two levels of soil water availability (irrigated and non-irrigated), during a drought period from Sept. 25 to Oct. 12). Effects of photosynthetically-active radiation (RFA), water vapour saturation deficit in the crop boundary layer (DS), and wind velocity on the stomatal resistance of common beans were evaluated through regression analysis. RFA flux density decreased the stomatal resistance exponentially, with a tendency for stabilization at high intensities, this being the main environmental factor explaining stomatal opening in irrigated plants. Higher wind velocity increases the stomatal resistance exponentially, and it was the second most important environmental factor influencing the stomatal opening in irrigated plants. DS also increased the stomatal resistance exponentially, but only under conditions of water deficiency. Stomatal diffusive resistance appeared to respond to an interaction between the soil water availability and the atmospheric evaporative demand.

RESUMO

Em experimento conduzido a campo, em Piracicaba - SP, Brasil (latitude = 22°42'S; altitude = 576 m), foram avaliados efeitos de variáveis micrometeorológicas sobre a resistência estomática à difusão gasosa em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), submetido a diferentes condições de disponibilidade hídrica no solo. A cultura foi conduzida em três épocas de semeadura (7 de julho, 22 de julho e 4 de agosto de 1983) e em dois níveis de água no solo (com e sem irrigação, durante uma estiagem de 25 de setembro a 12 de outubro) em subparcelas de 30 m x 20 m. Através de análise de regressão, foram avaliados os efeitos dos elementos radiação fotossinteticamente ativa (RFA), déficit de saturação de vapor d'água do ar da camada limite da cultura (DS) e velocidade do vento a 2 m acima do solo, sobre a resistência estomática total de folhas de feijoeiro. Aumentos na densidade de fluxo de RFA diminuíram exponencialmente a resistência estomática, com tendência a estabilizá-la em níveis elevados de luz, sendo a variável que melhor explicou as variações da abertura dos estômatos da cultura irrigada. A velocidade do vento aumentou exponencialmente a resistência estomática, sendo a segunda variável do ambiente que mais influenciou a abertura dos estômatos em plantas irrigadas. O DS também elevou exponencialmente a resistência estomática, mas somente quando submetida a déficit hídrico no solo. A abertura dos estômatos mostrou responder à interação entre a disponibilidade hídrica no solo e à demanda evaporativa da atmosfera.

INTRODUÇÃO

O decréscimo na disponibilidade de água no solo ocasiona queda no potencial da água nas folhas das plantas, levando à perda da turgescência e ao fechamento dos estômatos. Com isto, aumenta a resistência à difusão gasosa, o que determina menor perda de água por transpiração, mas, também, menor fotossíntese pela menor troca gasosa (anidrido carbônico-oxigênio), indispensável a este processo.

A abertura dos estômatos e, portanto, a resistência por eles imposta ao fluxo de vapor d'água é função de vários fatores internos e externos à folha. O ambiente físico externo à planta tem grandes influências sobre as relações hídricas de epiderme das folhas e, consequentemente, sobre os estômatos. Segundo Meidner y Mansfield (14), interações entre o suprimento de água e os fatores do meio ocorrem quase sempre, em condições naturais. Os mecanismos pelos quais estes fatores influenciam a abertura estomática não são inteiramente entendidos, não obstante existirem informações empíricas suficientes que permitem uma descrição geral dessa influência (8).

A abertura estomática depende de processos fotoquímicos, sendo função da densidade de fluxo quântico, da diferença de tensão de vapor d'água folhosa, da temperatura da folha, da concentração de anidrido carbônico, da velocidade do vento e do estado hídrico da folha (10, 13, 20, 21)

1 Recebido para publicação el 11 de julho de 1989
Parte de tese de doutorado do primeiro autor. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), 1984.

* Eng. Agr., Dr., Fac. Agronomia, UFRGS, Porto Alegre, RS, Bra; Bolsista do CNPq.

** Eng. Agr., MS., EMPASC, Florianópolis, SC, Bra

*** Eng. Agr., Dr. ESALQ/USP, Bolsista do CNPq; Eng. Agr. Dr. ESALQ/USP, Piracicaba, SP, Bra.

**** Eng. Agr. Dr., Inst. Agronômico/SAEESP, Campinas, SP, Bra; Bolsista do CNPq.

O mecanismo pelo qual a luz influencia os estômatos ainda não está suficientemente claro. Entretanto, sabe-se que, existindo condições adequadas de potencial da água na folha, de concentração de anidrido carbônico e de temperatura, a resistência à difusão gasosa diminui com aumento da densidade de fluxo luminoso (8). Kuiper (1961), citado por Kanemasu e Tanner (12), também obteve uma relação hiperbólica entre a resistência estomática em feijoeiro e a densidade de fluxo luminoso.

Entretanto, as respostas estomáticas à luz, de abertura de manhã e fechamento à tarde, podem ser influenciadas pela mudança no teor de água na folha. Isto pode ocorrer em dias secos e quentes, quando a queda no teor de água na folha força o fechamento parcial dos estômatos, mesmo com elevado suprimento de luz (14).

Em experimento com feijoeiro, a campo e em câmara de crescimento, Kanemasu e Tanner (12) mostraram que os estômatos de face ventral (adaxial) necessitaram mais luz para sua abertura e foram muito mais influenciados pelo sombreamento do que os da face dorsal (abaxial). No campo, a abertura estomática do feijoeiro acompanhou a disponibilidade de luz, mas foi influenciada, também, pelo potencial da água nas folhas.

Inúmeros trabalhos, citados por Bergamaschi (2), caracterizaram as respostas dos estômatos de várias espécies à luz, todos demonstrando efeito positivo da densidade de fluxo luminoso sobre a abertura estomática; em termos de respostas espectrais, em geral, tem sido comprovada uma ação mais efetiva da luz azul, em relação aos demais comprimentos de onda.

Vários estudos tem demonstrado fechamento de estômatos independente de mudanças no potencial da água na folha ou até acompanhado por aumento no teor de água, indicando boa relação entre a resistência estomática e o déficit de saturação de vapor d'água do ar (6).

Schulze *et al.* (17) consideraram que baixa umidade no ar atua no fechamento estomático, que alta umidade conduz à abertura, e que os estômatos funcionam como o principal sensor de umidade. Partindo desta premissa, iniciaram uma linha de pesquisa, com várias espécies de clima desértico, em Israel. Sob condições de ar seco, tanto mesófitas como xerófitas aumentaram a resistência à difusão gasosa, elevando o conteúdo de água nas folhas, enquanto que o inverso ocorreu com ar úmido. Nestas condições, a resistência estomática do damasqueiro (mesófito) teve resposta direta à demanda evaporativa da atmosfera, excluindo a reação via potencial da água no mesófito, embora a influência da umidade do ar tenha sido maior em plantas com baixo suprimento de água no solo.

Ainda com damasqueiro, Schulze *et al.* (18, 19) mostraram a interação da umidade e da temperatura do ar sobre a resistência estomática, cujo efeito se pronunciou sob déficit hídrico no solo. As variações do potencial da água nas folhas tiveram pequeno efeito sobre o curso diário da resistência à difusão do vapor d'água, mostrando que os mecanismos de controle interno de abertura estomática foram sobrepujados e modificados pelos fatores do meio externo, no caso, temperatura e umidade do ar. Estes trabalhos estão em concordância e dão suporte a outros anteriores, com outras culturas e em outras condições. Posteriormente, pesquisas comprovaram as respostas estomáticas às condições de demanda evaporativa do ar, com diversas culturas, inclusive feijoeiro (2).

Farquhar (7) fez profunda e detalhada explanação da teoria que envolve os mecanismos de resposta estomática às variações na diferença de umidade da folha e do ar, com implicações e interações na transpiração e no balanço de água das folhas. Mecanismos que envolvem interações positivas e negativas entre a folha e o ar adjacente foram descritos, mostrando que as variações de resistência à difusão de gases pelos estômatos são devidas a respostas que se dão, basicamente, ao nível do "aparatus" estomático, como se referiu Aston (1). Assim, pode-se inferir que todos os fatores que interferem na diferença de umidade entre a folha e o ar que a envolve, bem como na resistência da camada limite à troca gasosa, influenciam a abertura estomática, dentre os quais a velocidades do vento, conforme descreveram O'Toole e Hatfield (16).

Partindo de resultados obtidos em condições naturais de campo, este trabalho objetivou determinar as influências de alguns fatores do meio físico sobre a resistência estomática à difusão gasosa, em folhas de feijoeiro

MATERIAL E METODOS

Foi conduzido experimento de campo na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/Universidade de São Paulo, em Piracicaba-SP, à latitude de 22° 42' sul e altitude de 576 m, de junho a novembro de 1983. O clima da região é do tipo fundamental Cwa, pela classificação de Koeppen, sendo o solo do local classificado como terra roxa estruturada.

A cultivar utilizada foi Aroana 80, de hábito de crescimento indeterminado arbustivo, tipo II segundo a classificação do CIAT. Foi semeada manualmente em linhas espaçadas de 0.5 m, obtendo-se em torno de 200 000 plantas ha⁻¹ após estabilizada a emergência.

Em parcelas principais de 60 m x 30 m foram utilizados dois tratamentos de disponibilidade hídrica

no solo: (I) irrigado quando o potencial matricial de água do solo a 0.15 m atingisse -0.05 MPa; (D) - com deficiência hídrica, sem nenhuma irrigação durante uma estiação de 17 dias, a partir de 25 de setembro.

Dentro de cada parcela principal, três épocas de semeadura constituíram as subparcelas: 7 de julho; 22 de julho e 4 de agosto. O período de diferenciação dos tratamentos de disponibilidade hídrica no solo coincidiu como o final de enchimento de grãos e maturação fisiológica, na primeira época; formação e desenvolvimento de legumes, na segunda; formação de botões florais e floração, na terceira. Maiores detalhes do experimento e das condições do período experimental foram apresentadas por Bergamaschi *et al.* (3, 4).

A resistência estomática à difusão gasosa foi determinada ao longo do período do dia, antes e durante a estiação, com a finalidade de obter medidas em diferentes condições de disponibilidade hídrica e demanda evaporativa da atmosfera. Foi utilizado um porômetro de equilíbrio dinâmico ("steady state porometer") marca LI-COR, modelo LI-1600. Com o mesmo equipamento, foi medida a radiação fotossinteticamente ativa (RFA), concomitantemente à resistência estomática, além de outros parâmetros do ar e da folha que não foram utilizados neste estudo.

Em cada horário e em cada subparcela, os dados de porometria foram tomados em oito plantas ao acaso, sendo quatro na face ventral (adaxial) e quatro na face dorsal (abaxial). Para isto, sempre foram utilizados folíolos completamente desenvolvidos e localizados no estrato superior do dossel da cultura. A resistência estomática, em cada horário, foi calculada segundo

Black *et al.* (5), Teare *et al.* (22) e Gates (8), considerando que as resistências das duas faces da folha estão associadas em paralelo. A fórmula para cálculo da soma das duas resistências resulta:

$$r_e = r_1 r_2 / (r_1 + r_2)$$

sendo r_e a resistência estomática total de folha, r_1 a resistência da face dorsal (média de quatro repetições) e r_2 a resistência da face ventral (média de quatro repetições).

Através de análises de regressão simples, pelo método dos mínimos quadrados, foram testados os graus de associação entre a resistência total e as variáveis: (1) radiação fotossinteticamente ativa, medida pelo porômetro em cada leitura de resistência estomática; (2) déficit de saturação de vapor d'água do ar, medido por psicrômetro de pares termo-elétricos, localizados ao nível do topo da cultura; (3) velocidade do vento a 2 m acima do solo, determinada no perfil de vento, médio de 10 min, medido com anemômetros de célula foto-elétrica. Foi utilizado modelo de cálculo testando 25 combinações de transformações das variáveis independente e dependente, para seleção da função que melhor se ajustou a cada uma delas.

Nas análises de regressão foram utilizados resultados observados das 7 h às 15 h, procurando minimizar a interação dos fatores endógenos com os do meio. Na avaliação do efeito simples de cada variável independente, foram impostas condições de contorno, buscando manter os demais fatores do meio em nível não limitante. Este procedimento foi baseado em análise prévia dos resultados, avaliando as tendências da resposta estomática a cada fator do ambiente.

Quadro 1. Análise de regressão linear simples, com transformações de X e Y, de resistência estomática total à difusão gasosa $-Y(s.cm^{-1})$, em função da radiação fotossinteticamente ativa - RFA ($\mu E.m^{-2}.s^{-1}$), déficit de saturação de vapor do ar - DS (mmHg) e velocidade do vento ($m.s^{-1}$), em feijoeiro cultivar Aroana 80 (Piracicaba, SP, 1983).

Var. indep. (x)	Condições de contorno	eq. regressão	r^2	F	nº pares	erro padrão	
						a	b
RFA	DS < 14; vento < 3.0; irrigado	$Y^2 = -4.238 + 9062X^{-1}$	0.897	182.91**	23	2.048	670.087
RFA	DS < 10; vento < 4.0; irrigado	$Y^{-1} = -1.458 + 0.317 \ln X$	0.724	34.164**	15	0.368	0.054
DS	RFA > 750; vento < 3.0; irrigado	$Y^{-1} = 0.900 - 1.870.10^{-3}X^2$	0.331	11.880**	26	0.072	5.424
DS	RFA > 750; vento < 3.0; não irrigado	$Y^{1/2} = 1.176 + 0.003 X^2$	0.710	31.506**	15	0.118	5.267
Vento	RFA < 750; DS < 14.0; irrigado	$Y = 0.965 + 0.109 X^2$	0.632	53.151**	33	0.200	0.015
Vento	RFA > 750; DS < 10.0; irrigado	$1 \ln Y = -0.546 + 0.365 X$	0.790	82.522**	24	0.140	0.040

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($P \leq 0.01$)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Quadro 1 e nas Figuras 1 a 6 são apresentadas análises de regressão simples, associando valores de resistência estomática total de folhas de feijoeiro aos fatores radiação fotossinteticamente ativa, déficit de saturação de vapor d'água do ar junto às plantas e velocidade do vento a 2 m acima do solo. Os modelos apresentados são aqueles que melhor se ajustaram, relacionando a resistência estomática aos fatores citados.

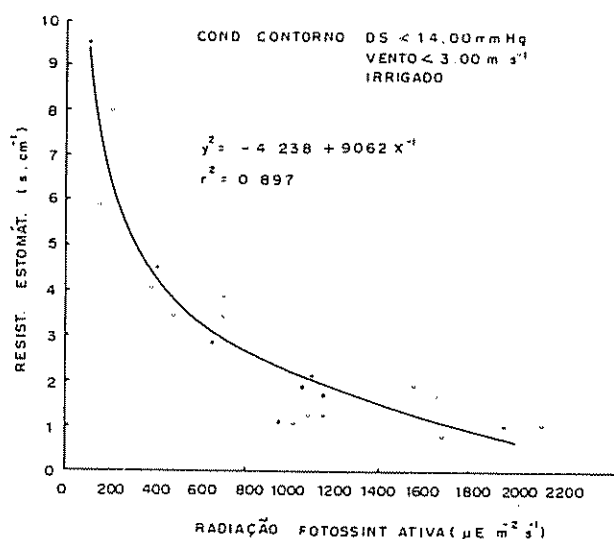


Fig. 1. Resistência estomática à difusão gasosa em feijoeiro irrigado ($s \cdot cm^{-1}$), em função da radiação fotossinteticamente ativa ($\mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$), com déficit de saturação de vapor d'água no ar (DS) inferior a 14 mmHg e velocidade do vento inferior a $3 m \cdot s^{-1}$ (Piracicaba, SP, 1983).

Pode-se verificar que a mudança nos limites de uma das variáveis, apenas, altera o modelo que associa a resistência estomática a outra variável independente, o que mostra interação entre ambas. Contudo, é importante salientar que estas relações de causa-efeito são um tanto restritas pelo fato de que a variação de cada fator, bem como as suas combinações, não abrangem níveis extremos. Como enfatizou Jarvis (10), tal abrangência é difícil de ser obtida em experimentos de campo, onde a densidade de fluxo de radiação solar, a temperatura do ar e o déficit de saturação de vapor d'água do ar, por exemplo, tendem a se correlacionar. Por esta razão, segundo o autor, deve haver uma seleção adequada nos dados de campo para a análise ou, quando possível, controlar artificialmente o ambiente, para que as correlações entre as variáveis do meio sejam minimizadas.

Pela Quadro 1 e Figuras 1 e 2, verifica-se que a resistência estomática esteve associada à densidade de fluxo da radiação fotossinteticamente ativa (RFA)

segundo uma exponencial negativa, concordando com resultados de Kuiper, citado por Kanemasu e Tanner (12). Este efeito direto da densidade de fluxo luminoso sobre a abertura estomática também foi descrito em outras espécies, conforme citações de Bergamaschi (2). As variações de RFA explicaram 90% das variações da resistência dos estômatos quando o déficit de saturação do ar (DS) foi inferior a 14 mm Hg, o vento a 2 m acima do solo teve velocidades inferior a $3 m \cdot s^{-1}$ e as plantas receberam irrigação (Fig. 1). Reduzindo o limite de DS para 10 mm Hg e aumentando a velocidade do vento para $4 m \cdot s^{-1}$, RFA explicou 72% das variações da resistência estomática (Fig. 2).

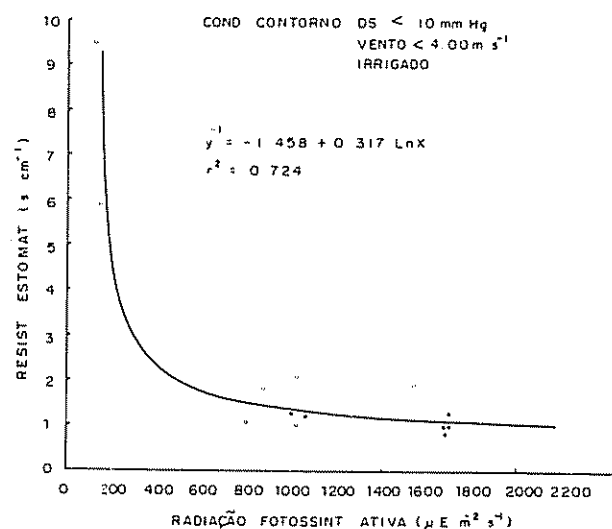


Fig. 2. Resistência estomática à difusão gasosa em feijoeiro irrigado ($s \cdot cm^{-1}$), em função da radiação fotossinteticamente ativa ($\mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$), com déficit de saturação de vapor d'água no ar (DS) inferior a 10 mm Hg e velocidade do vento inferior a $4 m \cdot s^{-1}$ (Piracicaba, SP, 1983).

O déficit de saturação de vapor d'água do ar junto às plantas mostrou aumentar exponencialmente a resistência estomática à difusão gasosa, concordando com resultados de Schulze *et al.* (17, 18, 19) e Moldau e Syber (15). No entanto, na cultura irrigada o DS explicou apenas 33% das variações da abertura estomática (Fig. 3), enquanto que na condição de déficit hídrico esta associação aumentou para 71% (Fig. 4), mantidas a RFA acima de $750 \mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ e a velocidade do vento abaixo de $3 m \cdot s^{-1}$. A maior resposta à umidade e à temperatura do ar (DS combina estes dois elementos), quando as plantas são submetidas à condição de deficiência hídrica no solo foi mostrada por Schulze *et al.* (18, 19). Por outro lado, a baixa resposta observada na condição de irrigação também pode ser devida a que, durante o período analisado, o déficit de saturação junto às plantas não foi muito elevado, atingido extremos de 14 mm Hg, ao

passo que, em parcelas não irrigadas essa variável atingiu 20 mm Hg. De qualquer modo, este efeito exponencial de demanda evaporativa do ar da camada limite sobre a resistência estomática evidencia e interação destes dois fatores (solo e atmosfera) sobre as plantas.

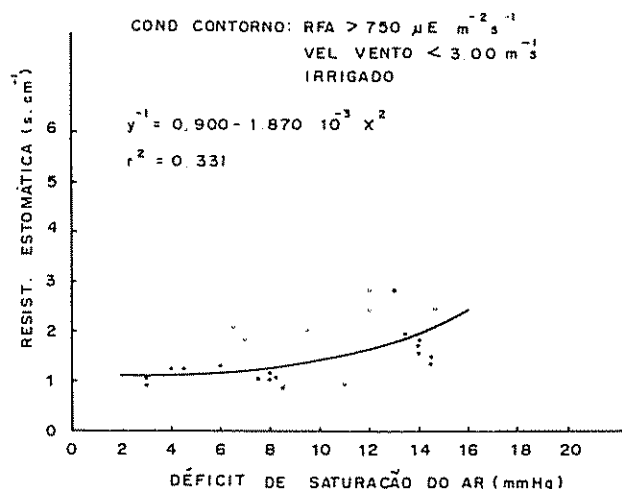


Fig. 3. Resistência estomática à difusão gasosa em feijoeiro irrigado (s cm^{-1}), em função do déficit de saturação de vapor d'água no ar (mm Hg), com radiação fotossinteticamente ativa (RFA) superior a $750 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e velocidade do vento inferior a 3 m s^{-1} (Piracicaba, SP, 1983).

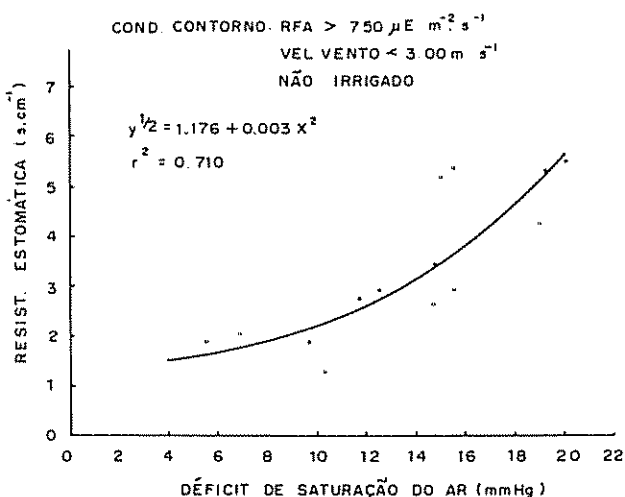


Fig. 4. Resistência estomática à difusão gasosa em feijoeiro não irrigado (s cm^{-1}), em função de déficit de saturação de vapor d'água no ar (mm Hg), com radiação fotossinteticamente ativa (RFA) superior a $750 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e velocidade do vento inferior a 3 m s^{-1} (Piracicaba, SP, 1983).

A resistência estomática aumentou de forma exponencial em resposta à velocidade do vento, concordando com resultados de O'Toole e Hatfield (16). Na

cultura irrigada, com RFA acima de $750 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e com DS inferior a 14 mm Hg, a velocidade do vento explicou 63% das variações na abertura estomática (Fig. 5). Reduzindo o limite do DS para 10 mm Hg, a associação entre aquelas variáveis aumentou para 79% (Fig. 6), indicando que a umidade do ar interferiu no efeito do vento sobre o mecanismo estomático.

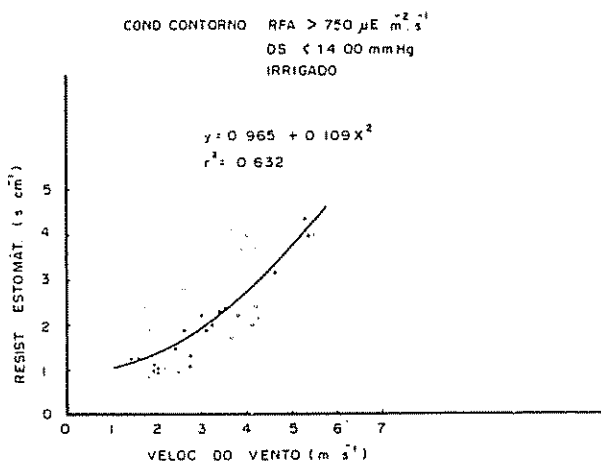


Fig. 5. Resistência estomática à difusão gasosa em feijoeiro irrigado (s cm^{-1}), em função da velocidade do vento (m s^{-1}), com radiação fotossinteticamente ativa (RFA) superior a $750 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e déficit de saturação de vapor d'água no ar (DS) inferior a 14 mm Hg (Piracicaba, SP, 1983).

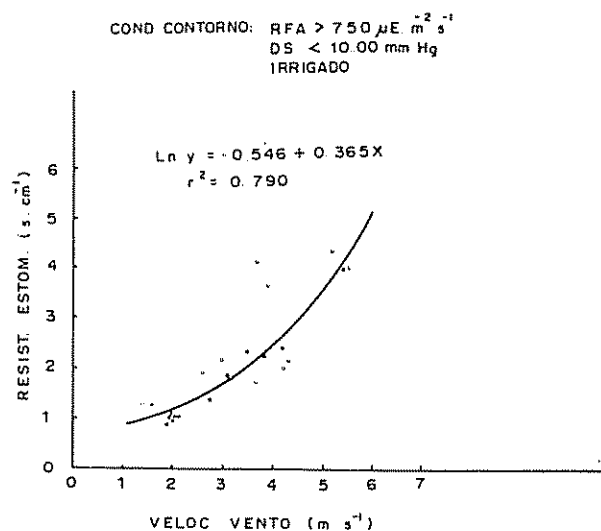


Fig. 6. Resistência estomática à difusão gasosa em feijoeiro irrigado (s cm^{-1}), em função da velocidade do vento (m s^{-1}), com radiação fotossinteticamente ativa (RFA) superior a $750 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e déficit de saturação de vapor d'água no ar (DS) inferior a 10 mm Hg (Piracicaba, SP, 1983).

As respostas dos estômatos à demanda evaporativa da atmosfera e à disponibilidade hídrica do solo

mostram que o fechamento estomático é um mecanismo sensível e destinado a reduzir o déficit hídrico nas plantas para suportar determinados períodos de seca, conforme referiram-se Kanemasu e Tanner (11) e Hsiao *et al.* (9), muito embora as respostas em termos de desenvolvimento da planta e da superfície foliar tenham-se mostrado ainda mais sensíveis (2).

CONCLUSÕES

Para as condições sob as quais foram obtidos os resultados, conclui-se que:

Na ausência de limitações por outros fatores, a resistência dos estômatos do feijoeiro esteve associada à densidade de fluxo da radiação fotossinteticamente ativa segundo uma exponencial negativa, sendo a variável do meio que melhor explicou as variações da abertura estomática na cultura irrigada.

A velocidade do vento aumentou exponencialmente a resistência estomática, sendo a segunda variável do ambiente que melhor explicou as alterações da abertura dos estômatos em plantas irrigadas.

O déficit de saturação de vapor d'água do ar da camada limite da cultura também aumentou exponencialmente a resistência estomática à difusão gasosa. Entretanto, este efeito somente se pronunciou em plantas sujeitas a deficiência hídrica no solo.

A resistência estomática do feijoeiro mostrou responder à interação entre a disponibilidade hídrica no solo e a demanda evaporativa da atmosfera, bem como entre as variáveis analisadas.

LITERATURA CITADA

- ASTON, M.J. 1976. Variation of stomatal diffusive resistance with ambient humidity in sunflower (*Helianthus annuus*). Australian Journal of Plant Physiology 3:489-501.
- BERGAMASCHI, H. 1984. Perda de água e desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob diferentes condições de disponibilidade hídrica no solo e da atmosfera. Tese Ph.D. Piracicaba, ESALQ/USP. 204 p.
- BERGAMASCHI, H.; VIEIRA, H.J.; OMETTO, J.C.; ANGELOCCI, L.R.; LIBARDI, P.L. 1988a. Deficiência hídrica em feijoeiro. I. Análise de crescimento e fenologia. Pesquisa Agropecuária Brasileira 23(7):733-743.
- BERGAMASCHI, H.; OMETTO, J.C.; VIEIRA, H.J.; ANGELOCCI, L.R.; LIBARDI, P.L. 1988b. Deficiência hídrica em feijoeiro. II. Balanço de energia. Pesquisa Agropecuária Brasileira 23(7):745-757.
- BLACK, T.A.; TANNER, C.B.; GARDNER, W.R. 1970. Evapotranspiration from a snap bean crop. Agronomy Journal 62:66-69.
- BLACK, C.R.; SQUIRE, C.R. 1979. Effects of atmosphere saturation deficit on the stomatal conductance on pearl millet (*Pennisetum typhoides* S. e H.) and groundnut (*Arachis hypogaea* L.). Journal of Experimental Botany 30:935-945.
- FARQUHAR, G.D. 1978. Feedforward responses of stomata to humidity. Australian Journal of Plant Physiology 5:787-800.
- GATES, D.M. 1980. Biophysical ecology. New York, Springer-Verlag. 611 p.
- HSIAO, T.C.; O'TOOLE, J.C.; FOODMAR, V.S. 1979. Water stress as a constraint to crop production in the tropics. In Conferência Priorities for Alleviating Soil-Related Constraints to Food Production in the Tropics (1979, Los Baños, Philippines). IRRI. (Preprinted Paper).
- JARVIS, P.G. 1976. The interpretations of the variations in leaf water potential and stomatal conductance found in the field. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Serie B- Biological Sciences 273:593-610.
- KANEMASU, E.T.; TANNER, C.B. 1969a. Stomatal diffusion resistance of snap beans. I. Influence of leaf water potential. Plant Physiology 44:1547-1552.
- KANEMASU, E.T.; TANNER, C.B. 1969b. Stomatal diffusion resistance of snap beans. II. Effect of light. Plant Physiology 44:1542-1546.
- KAUFMANN, M.R. 1976. Water transport through plants: Current perspectives. In Transport and transfer processes in plants. I.F. Wardlaw, J.B. Passoura (Eds). New York, Academic Press. 484 p.
- MEIDNER, H.; MANSFIELD, T.A. 1968. Physiology of stomata. London, Mc Hill. 179 p.
- MOLDAU, K.A.; SYBER, A.Y. 1975. Effect of air humidity on the conductivity of stomata and mesophyll of beans leaves at two values of soil moisture. Soviet Plant Physiology 21(4):663-668.
- O'TOOLE, J.C.; HATFIELD, J.L. 1983. Effect of wind on the crop water stress index derived by infrared thermometry. Agronomy Journal 75:811-817.
- SCHULZE, E.D.; LANGE, O.L.; BUSCHBOM, U.; KAPPEN, L.; EVENARI, M. 1972. Stomatal responses to changes in humidity in plants growing in the desert. Planta 108:259-270.
- SCHULZE, E.D.; LANGE, O.L.; KAPPEN, L.; BUSCHBOM, U.; EVENARI, M. 1973. Stomatal responses to changes in temperature at increasing water stress. Planta 110:29-42.

- 19 SCHULZE, E.D.; LANGÉ, O.L.; KAPPEN, L.; EVENARI, M.; BUSCHBOM, H. 1975. The role of air humidity and leaf temperature in controlling stomatal resistance of *Prunus armeniaca* L. under desert conditions. II. The significance of leaf water status and interval carbon dioxide concentration. *Oecologia* 18:219-233.
- 20 SIVAKUMAR, M.V.K.; SHAW, R.H. 1979. Stomatal conductance and leaf water potential of soybeans under moisture stress. *Iowa State Journal of Research* 54(1):17-27.
- 21 SLATYER, R.O. 1967. *Plant-water relationships*. New York. Academic Press. 366 p.
- 22 TEARE, I.D.; KANEMASU, E.T.; POWERS, N.L.; JACOBS, H.S. 1973. Water use efficiency and its relations to crop canopy area, stomatal regulation and root distribution. *Agronomy Journal* 65:207-211.

RESEÑA DE LIBROS

GROOT, J.J.R.; WILLIGEN P. DE; VERBERNE, E.L.J. (EDS.). 1990. Nitrogen turnover in the soil-crop system. Dordrecht, Holanda, Kluwer Academic Publ. 388 p.

La investigación agrícola moderna tiene entre sus retos el alcanzar una producción económicamente adecuada, sin causar deterioro ambiental. El manejo correcto de los abonos con base en N inorgánico no es fácil en los sistemas productivos. Un conocimiento y una representación adecuada, por medio de modelos de este ciclo del N en suelos, plantas y aguas, son la meta de muchas investigaciones que se llevan a cabo, especialmente en algunas regiones de Europa Occidental donde la aplicación de abono es frecuente, el clima relativamente húmedo y los requerimientos de limpieza ambientales elevados.

El Instituto para Investigaciones de Fertilidad de Suelos de Holanda celebró su centenario reuniendo investigadores en este campo, especialmente de Europa Occidental y un representante de Canadá. Se evaluaron los diferentes sistemas de modelaje, tomando como referencia datos registrados en Holanda. Así se observó su utilidad para asesorar a los agricultores y determinar las áreas que requieren investigación adicional.

Se denotó que muchos de los modelos predecían el comportamiento del trigo, cultivo usado para este estudio; pero, en cuanto a la suerte del N en el suelo, todavía se necesita mayor investigación, sobre todo para determinar las pérdidas en el suelo y su llegada a

las aguas subterráneas, reservas de agua potable en muchos casos.

La información resumida indicó, con cierta frecuencia, que modelos muy sofisticados y con una gran cantidad de datos no contribuyeron más a lograr mejores predicciones que los sencillos.

El libro refleja la gran preocupación de muchos investigadores de países industrializados y el progreso alcanzado en este campo, donde aún hay bastante por hacer, como por ejemplo aclarar el comportamiento del N en el suelo, especialmente en su relación con la masa microbiana, expuesta a cambios rápidos, lo que sin duda es uno de los temas cuyo conocimiento contribuirá a la comprensión total del sistema. Por otro lado hace falta información referente a las condiciones de los trópicos húmedos, donde el uso de N inorgánico es considerable y presenta problemas. Las condiciones climáticas especiales de estas regiones presentaron enfoques nuevos, que tal vez, algún día, permitirán el empleo de un modelo universal para cada cultivo.

Los capítulos tienen bibliografías más o menos completas. Lastimosamente el libro no tiene un índice que habría hecho más sencillo su uso. Sin duda es una referencia muy útil en un campo de gran actualidad: el agrícola y de conservación ambiental.

ELEMER BORNEMISZA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA