

EFEITO DA ÁGUA E DO NITROGÊNIO SOBRE A FOTOSÍNTESE, RESPIRAÇÃO E RESISTÊNCIA ESTOMÁTICA EM *PHASEOLUS VULGARIS*¹

ROBERTO C. LOBO DA COSTA², NEI F. LOPES³, MARCO A. OLIVA⁴ e NAIRAN F. DE BARROS⁵

RESUMO - Foram estudadas a fotossíntese líquida, a respiração e a resistência estomática em *Phaseolus vulgaris* L. cv. 'Negrito 897', em condições de casa de vegetação, adubado com três doses de nitrogênio (50, 125 e 200 ppm) e submetido a dois regimes hídricos, capacidade de campo ($\approx -0,03$ MPa) e déficit hídrico cíclico (de $\approx -0,03$ a $\approx -1,0$ MPa). As medições foram realizadas no primeiro, no terceiro e no quinto trifólio. A resistência estomática aumentou com o déficit hídrico, a fotossíntese decresceu e a respiração aumentou. Nas plantas túrgidas, a fotossíntese líquida aumentou com o incremento na dose de nitrogênio, sendo acompanhada de decréscimo na resistência estomática, com exceção do quinto trifólio, que aumentou com o incremento na dose de nitrogênio. A respiração no escuro não apresentou nítida relação com as doses de nitrogênio e resistência estomática nas três folhas estudadas. Nas plantas estressadas, não houve uma relação entre a fotossíntese e as doses de nitrogênio das três folhas estudadas. Os resultados demonstraram que esses fatores foram mais influenciados pelo regime hídrico do que pelo nível de nitrogênio. Todavia, o nitrogênio, de modo geral, promoveu maior adaptação das plantas ao estresse hídrico, minimizando o seu efeito.

Termos para indexação: feijão, balanço de CO₂, déficit hídrico, nível de nitrogênio.

PHOTOSYNTHESIS, RESPIRATION AND STOMATAL RESISTANCE IN *PHASEOLUS VULGARIS* AS A FUNCTION OF WATER AND NITROGEN LEVELS

ABSTRACT - Net photosynthesis, respiration and stomatal resistance were studied in *Phaseolus vulgaris* L. cv. Negrito-897, under three nitrogen levels (50, 125 and 200 ppm) and two water regimes, field capacity (≈ -0.03 MPa) and cyclic water deficit (-0.03 to -1.0 MPa), in the greenhouse. The determinations were made on the first, third and fifth leaves. Stomatal resistance and dark respiration increased with water deficit while photosynthesis decreased. Plants grown at field capacity showed an increase in the net photosynthetic rate and a decrease in stomatal resistance with increasing nitrogen levels. The fifth leaf exhibited an increase in stomatal resistance with enhanced nitrogen levels. Dark respiration rates did not show a clear relation with nitrogen levels and stomatal resistance in all leaves studied. In stressed plants, there was no relation between photosynthetic rates and nitrogen levels in the three leaves ages. The physiological parameters studied were more affected by water regime than by nitrogen level. However, nitrogen promoted a marked plant adaptation to water stress by reducing its effect.

Index terms: common bean, CO₂ balance, water deficit, nitrogen level.

INTRODUÇÃO

Água e nitrogênio (N) encontram-se estreitamente relacionados com processos fisiológicos básicos. A eficiência no uso de água e a eficiência

no uso do N são incrementadas com a fertilização nitrogenada e com o suprimento de água, respectivamente.

Em feijoeiro, a fotossíntese líquida decresce em resposta ao déficit de água nas folhas, e essa resposta se deve principalmente ao aumento crescente da resistência estomática (Kanemasu & Tanner 1969, Kanemasu et al. 1969). Contudo, aumentos na resistência do mesófilo e decréscimo na atividade da ribulose 1,5 bisfosfato carboxilase-oxigenase (RUBISCO) parecem também contribuir em menor escala (O'Toole et al. 1977).

Geralmente, a diminuição do potencial de água da folha também influi na respiração e na expansão foliar. Contudo, a expansão foliar é inibida antes e mais severamente do que a fotossíntese e a respiração (Boyer 1970). O aumento na resistência

¹ Aceito para publicação em 12 de fevereiro de 1988. Parte da Tese apresentada para obtenção do Grau de Mestre em Fisiologia Vegetal à UFV, pelo primeiro autor.

² Biólogo, M.Sc., Prof. - Assist., Dep. Biol. Vegetal e Fitossanidade, Fac. Ciências Agrárias do Pará, CEP 66000 Belém, PA.

³ Eng. - Agr., Ph.D., Prof. - Adj., Dep. Biol. Vegetal, Universidade Federal de Viçosa (UFV), CEP 36570 Viçosa, MG.

⁴ Biólogo, Dr. rer. nat., Prof. - Adj., Dep. Biol. Vegetal, UFV.

⁵ Eng. - Florestal, Ph.D., Prof. - Adj., Dep. de Solos, UFV.

estomática conduz uma elevação na temperatura foliar, incrementando a taxa de respiração escura do feijoeiro, pois esta aumenta exponencialmente com a temperatura (Sale 1975).

Por outro lado, em feijoeiro, a deficiência de N provoca mudanças na resistência difusiva do CO_2 em virtude de um aumento na resistência do mesófilo e em menor extensão na resistência estomática (Ryle & Hesketh 1969), com redução nas taxas fotossintéticas (Andreeva et al. 1971, 1972), promovida por mudanças na síntese e atividade da RUBISCO.

A deficiência de N é acentuada pelo estresse hídrico, mas o grau do déficit varia com a espécie (Greenwood 1976).

Tendo em vista a interação da água, dióxido de carbono e N na produtividade do feijoeiro, sob condições-limites de disponibilidade de água e N, foi estudado o efeito da combinação de dois regimes hídricos e três doses de N sobre a fotossíntese, respiração e resistência estomática em plantas de *Phaseolus vulgaris* L.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação em Viçosa, utilizando-se plantas de *Phaseolus vulgaris* L. cv. 'Negrito 897'.

Utilizou-se solo proveniente da camada superficial (0-20 cm) de um Latossolo-Vermelho álico (LVa) textura argilosa, misturado com areia fina lavada, na proporção de 3:1 (solo:areia) e homogeneizado. Após a obtenção dos resultados da análise química do solo, procedeu-se a uma adubação básica com 160 ppm de K na forma de cloreto de potássio, 400 ppm de P na forma de superfosfato simples e o correspondente a 4.000 kg/ha de um calcário dolomítico com PRNT de 120%. Subseqüentemente, procedeu-se à esterilização com brometo de metila, por 72 horas. Após a eliminação completa do gás, 5 kg de solo foram colocados em vasos de plástico não perfurados, procedendo-se a uma incubação durante 13 dias, sendo a umidade do solo mantida em torno de 70% da capacidade de campo. Foram semeadas seis sementes por vaso, deixando-se duas plantas após o desbaste.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em um fatorial 2 x 3, em que os fatores foram dois regimes hídricos (capacidade de campo e estresse hídrico cíclico), e três doses de N (50, 125 e 200 ppm). A unidade experimental consistiu de duas plantas/vaso. Todos os vasos foram mantidos na capacidade de campo até o oitavo dia após a emergência, quando teve início a indução do estresse hídrico cíclico. O conteúdo hídrico do solo foi controlado, diariamente,

durante todo o experimento, pelo método gravimétrico, e depois extrapolado para uma curva de retenção de umidade do solo (Fig. 1).

O estresse hídrico foi conseguido por meio de suspensão da irrigação, até que o conteúdo de água atingisse, aproximadamente, -1,0 MPa e, onde o solo era irrigado, até a capacidade de campo (-0,03 MPa). O processo de desidratação e reidratação correspondia a um ciclo de déficit hídrico e, durante o experimento, aplicaram-se a 14 ciclos de estresse.

A adubação nitrogenada foi feita em cobertura, utilizando-se nitrato de sódio. Cada dose do elemento foi dividida e aplicada em duas épocas; uma, na véspera da semeadura (25, 75 e 125 ppm de N), e outra, 25 dias após a emergência das plântulas (25, 50 e 75 ppm N).

Aplicou-se uma solução com os micronutrientes, conforme descrição de Waugh & Fitts (1966), com algumas modificações (Costa 1986), em cobertura aos 10, 20, 30 e 40 dias da emergência das plântulas.

Foram aplicados Thiodan CE (0,5%) e Karathane P.M. (1 g/l) para controle de *Diabrotica speciosa* Germ.; *Polyphagotarsonemus latus* e *Erysiphe polygone* DC, respectivamente.

A fotossíntese líquida (P_n), a respiração escura (R_D) e a resistência estomática (R_{st}) foram determinadas no primeiro, terceiro e quinto trifólio, em ordem cronológica, e em quatro idades (18, 21, 24 e 27 dias após a emergência da folha), com duas repetições de P_n e R_D e quatro repetições para as medições de R_{st} . O controle da idade foi iniciado quando as folhas apresentavam aproximadamente 2 mm de tamanho. Os resultados serão apresentados como médias das quatro idades foliares, por não haver diferenças significativas entre os valores.

As medições de P_n e R_D foram efetuadas potencialmente numa solução referencial e corrigidas para o volume do sistema e pressão barométrica local (Zünker & Kreeb 1970). Na determinação de P_n , o trifólio não destacado foi introduzido numa câmara de assimilação com temperatura de $25^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$, densidade do fluxo radiante de 34 W/m^2 e fluxo de ar de 0,3 l/min. Após um período de estabilização de cinco minutos, a taxa máxima de P_n foi obtida após dois minutos de iluminação.

A respiração escura foi medida na noite anterior às medições da fotossíntese, utilizando-se o mesmo método das medições de P_n , apenas substituindo-se a área foliar (A_f) pelo peso em gramas da matéria seca da folha (W_f) medida.

A resistência estomática (R_{st}) foi determinada por meio de um porômetro de difusão do tipo Lambda LI-60, com sensor horizontal LI-158 na superfície abaxial das folhas (Kanemasu et al. 1969), antes das medições da fotossíntese, evitando a nervura central e os bordos dos folíolos.

Todos os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e suas médias comparadas pelo teste de Duncan.

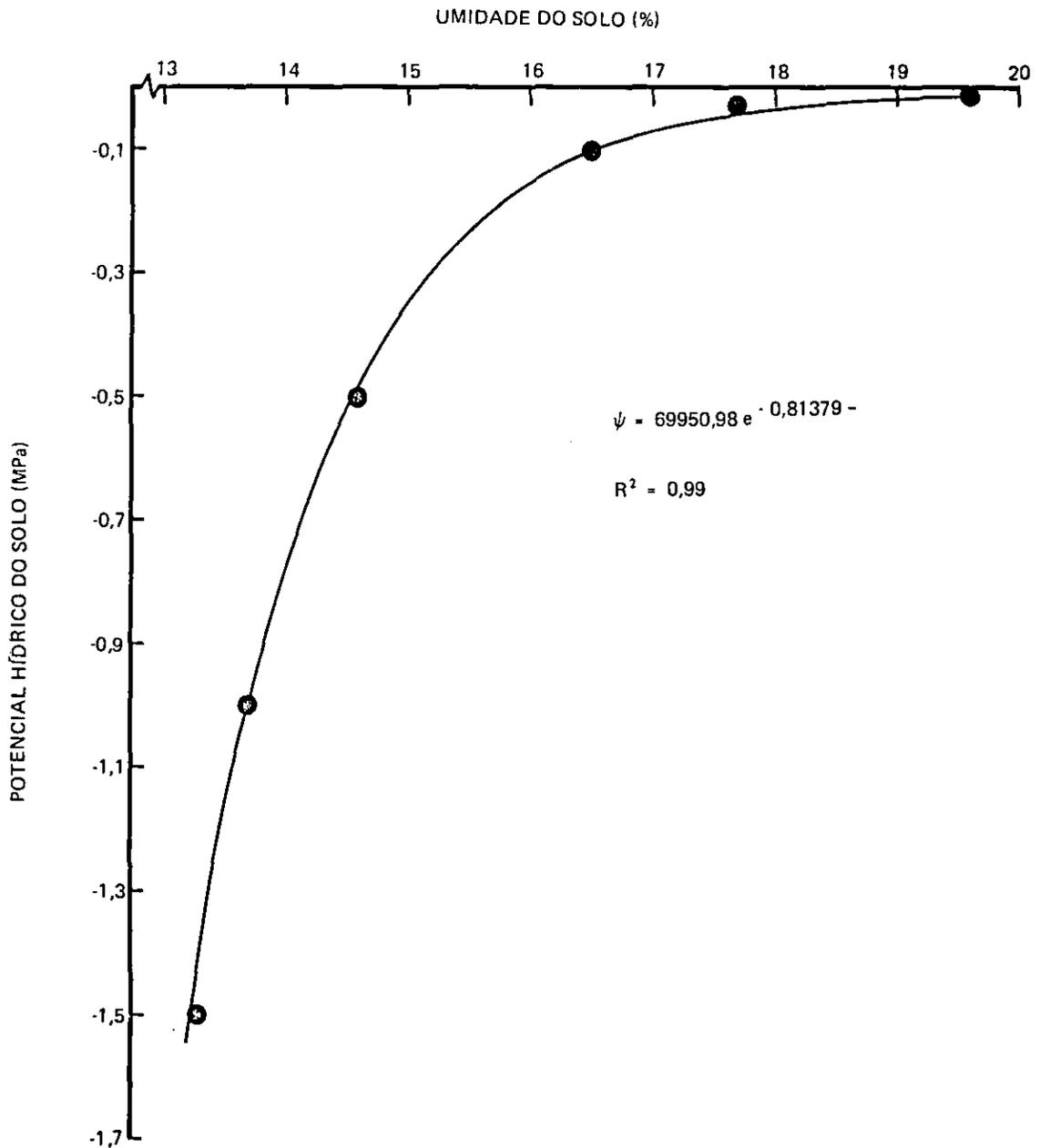


FIG. 1. Curva de retenção de umidade do solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As taxas fotossintéticas líquidas (P_n) foram reduzidas drasticamente pelo estresse hídrico, sendo o regime hídrico preponderante ao nível de N (Tabela 1 e Fig. 2). Comparando os três trifólios

estudados, notou-se que as diferenças em P_n entre as plantas túrgidas e estressadas foram maiores no primeiro trifólio (Tabela 1). Isto indica, possivelmente, um "endurecimento" (adaptação) das plantas ao déficit hídrico, com a idade. Além disso, a amplitude dos ciclos de estresse era maior no co-

TABELA 1. Fotossíntese líquida ($\text{mg} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) de três folhas de feijoeiro submetido a dois regimes hídricos, capacidade de campo ($\approx -0,03 \text{ MPa}$) e estresse hídrico cíclico ($\approx -0,03$ a $-1,0 \text{ MPa}$) e três níveis de nitrogênio:

Doses de N (ppm)	Primeiro trifólio			Terceiro trifólio			Quinto trifólio		
	Capacidade de campo	Estresse hídrico	Média	Capacidade de campo	Estresse hídrico	Média	Capacidade de campo	Estresse hídrico	Média
50	7,61	6,18	6,90 a	5,44	4,40	4,92 a	6,90	3,85	5,38 b
125	8,86	5,28	7,07 a	5,93	4,86	5,40 a	6,80	4,20	5,50 b
200	8,78	4,59	6,68 a	6,25	4,11	5,18 a	7,45	5,70	6,58 a
Média	8,42 A	5,35 B	6,89 X	5,87 A	4,46 B	5,16 Y	7,05 A	4,58 B	5,82 XY

* Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Duncan a 1%.

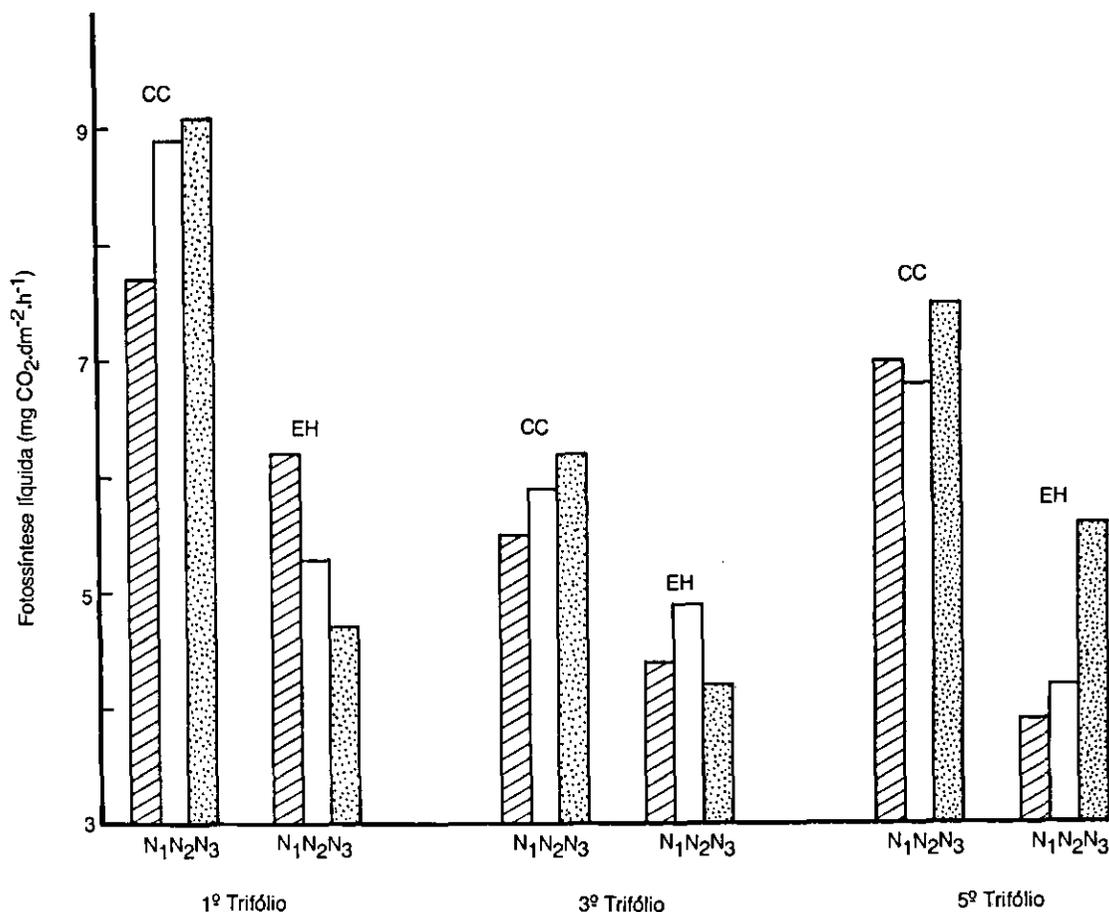


FIG. 2. Fotossíntese líquida de três folhas de feijoeiro submetido a dois regimes hídricos (CC = capacidade de campo; SH = estresse hídrico) e três níveis de nitrogênio ($N_1 = 50 \text{ ppm N}$; $N_2 = 125 \text{ ppm N}$ e $N_3 = 200 \text{ ppm N}$).

meço do experimento que ao final. As plantas que não sofreram déficit hídrico apresentaram a tendência de aumento em P_n com o incremento na dose de N independentemente da idade da folha. Entretanto, o efeito da dose de N sobre P_n das plantas com déficit hídrico não mostrou uma tendência clara em relação à idade foliar. No primeiro trifólio, P_n aumentou com o incremento na dose de N, resultante, provavelmente, do comportamento da resistência estomática em relação às doses de N (Tabela 2 e Fig. 4). No quinto trifólio, a redução em P_n pelo déficit hídrico foi minimizada pelo aumento na dose de N, e no terceiro trifoliolo não houve interação clara das doses de N e nem o estresse hídrico.

Essas variações podem ser explicadas pelo fato de a segunda adubação nitrogenada ter sido realizada na véspera do começo das medições do primeiro trifólio, o que indica que a resposta ao tratamento com N foi mais claramente evidenciada no quinto trifólio, visto ser a redução da fotossíntese com o decréscimo da adubação nitrogenada acompanhada por um aumento na resistência estomática (Tabela 2 e Fig. 4). De modo geral, a redução da fotossíntese pelo déficit hídrico é resultado do aumento da resistência estomática.

Neste trabalho, os resultados podem indicar apenas que a redução da fotossíntese (Tabela 1 e Fig. 2) foi ocasionada pelo fechamento dos estômatos, visto que as plantas que apresentaram menor fotossíntese foram as de maior resistência estomática (Tabela 2 e Fig. 4). Embora muitos autores (Troughton 1969, Redshaw & Meidner 1971, Plaut 1971, Plaut & Bravdo 1973, Castro 1977) indiquem que as taxas fotossintéticas de plantas submetidas a déficit hídrico sejam limitadas por resistências intracelulares na fase líquida, além das resistências intercelulares da fase gasosa, existem resultados que sugerem controle estritamente estomático da fotossíntese (Barrs 1968b, Troughton & Slatyer 1969, Boyer 1970).

A fotossíntese líquida do quinto trifólio das plantas mantidas em solo na capacidade de campo aumentou com o incremento na dose de N. Entretanto, não foi observada uma relação entre P_n e R_{st} , pois R_{st} aumentou também com a dose de N. Possivelmente, isto foi ocasionado por uma redução na densidade estomática com incremento na

dose de N, pois o número de estômatos por folíolo é de controle genético e praticamente constante. Porém a área foliar aumentou com o incremento na dose de N (Costa 1986), proporcionando menor densidade de estômatos e maior resistência estomática. Yoshida (1979) encontrou uma correlação positiva entre a frequência estomática e a fotossíntese líquida, mostrando que cultivares de cevada com maiores frequências de estômatos apresentavam maior fotossíntese líquida. Nas plantas estressadas, que apresentaram praticamente a mesma área foliar (Costa 1986), com o aumento da dose de N ocorreu uma relação entre o aumento de P_n e a R_{st} . A fotossíntese líquida aumentou com o incremento da dose de N, enquanto a R_{st} decresceu.

Nas plantas túrgidas, a fotossíntese líquida aumentou com o incremento da dose de N, independentemente da idade das folhas, enquanto nas plantas estressadas essa relação foi somente observada no quinto trifólio.

A assimilação líquida de CO_2 em feijão decresce com a deficiência de N (Ryle & Hesketh 1969). Segundo esses mesmos autores, a inibição de fotossíntese em plantas deficientes de N é acompanhada de grande aumento da resistência do mesófilo (R_m), em menor grau na R_{st} , mostrando que R_m apresenta maior sensibilidade ao N do que R_{st} . Esse aumento em R_m deve-se principalmente a um aumento na resistência à carboxilação. O aumento no teor de N foliar necessariamente conduz a um aumento na síntese de proteína e, conseqüentemente, aumento na concentração da RUBISCO. De acordo com Stocking & Ongum (1982), cerca de 75% do conteúdo de N das células verdes está nos cloroplastos. De outro modo, Andreeva et al. (1972) mostraram que o decréscimo na taxa de fotossíntese das folhas de feijoeiro, induzido pela deficiência de N, estava associado com o decréscimo de proteínas. Mudanças na síntese e atividade de RUBISCO podem efetivamente regular a taxa fotossintética (Andreeva et al. 1971).

O estresse hídrico aumentou a resistência estomática (R_{st}) em todas as folhas e prevaleceu sobre o nível de N (Tabela 2 e Fig. 4). Entretanto, os estômatos não responderam somente ao estresse hídrico, já que a correlação entre abertura estomática e balanço hídrico nem sempre é perfeita

TABELA 2. Resistência estomática ($s.cm^{-1}$) de três folhas de feijoeiro submetido a dois regimes hídricos, capacidade de campo ($\approx -0,03$ MPa) e estresse hídrico cíclico ($\approx -0,03$ a $1,0$ MPa), e três níveis de nitrogênio:

Doses de N (ppm)	Primeiro trifólio			Terceiro trifólio			Quinto trifólio		
	Capacidade de campo	Estresse hídrico	Média	Capacidade de campo	Estresse hídrico	Média	Capacidade de campo	Estresse hídrico	Média
50	8,3	8,3	8,3 a	7,0	8,1	7,5 a	6,7	11,8	9,3 a
125	6,6	10,4	8,5 a	6,5	9,3	7,9 a	8,1	9,8	9,0 a
200	6,2	12,9	9,6 a	4,8	8,8	6,8 a	9,9	7,3	8,6 a
Média	7,0 B	10,5 A	8,8 X	6,1 B	8,7 A	7,4 X	8,2 A	9,6 A	9,0 X

* Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Duncan a 1%.

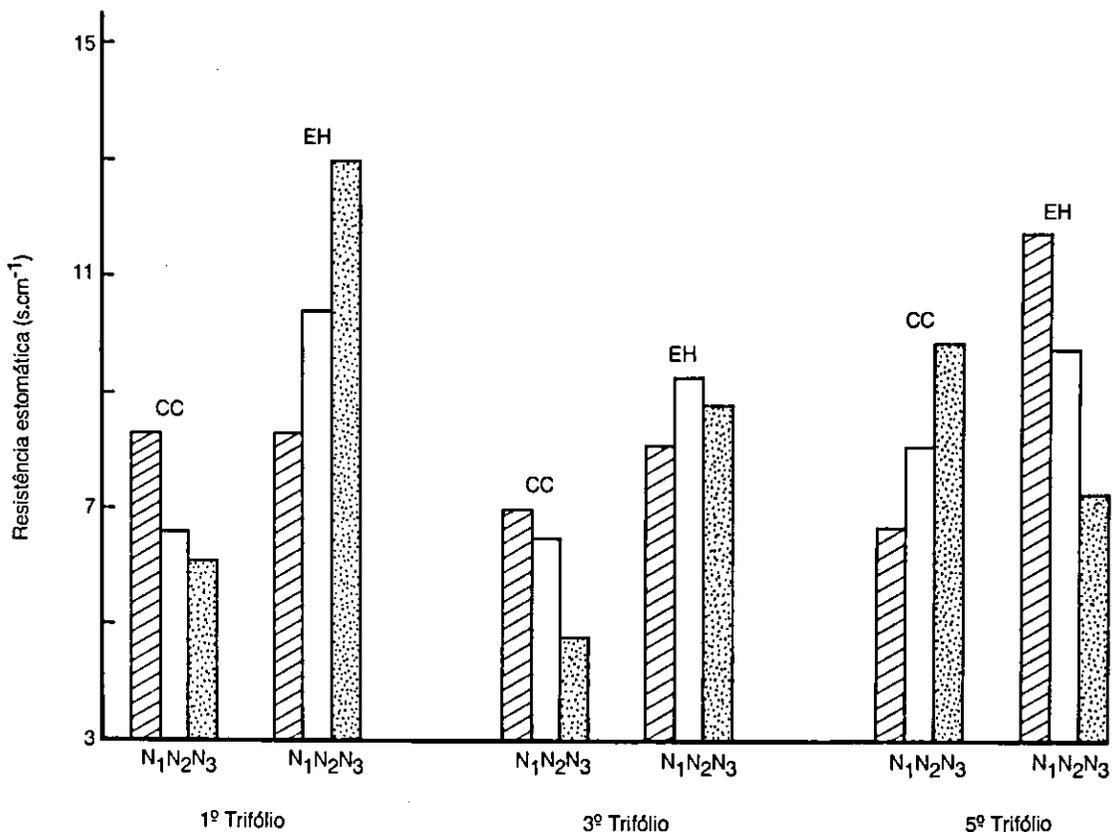


FIG. 3. Respiração escura de três folhas de feijoeiro submetido a dois regimes hídricos (CC = capacidade de campo e SH = estresse hídrico) e três níveis de nitrogênio ($N_1 = 50$ ppm N; $N_2 = 125$ ppm N e $N_3 = 200$ ppm N).

ta, diversos outros fatores afetam a abertura estomática.

Por outro lado, quando as plantas entram em desequilíbrio hídrico, as células-guardas tornam-se menos túrgidas e a abertura estomática decresce

até o completo fechamento dos estômatos. O déficit da água não altera, normalmente, a abertura estomática até um valor crítico e, à medida que o déficit aumenta, após aquele valor crítico, o fechamento progressivo ocorre até completar-se. No pri-

meiro e no terceiro trifólio, o incremento na dose de N salientou o efeito do déficit hídrico na R_{st} , enquanto no quinto trifólio o aumento na dose de N minimizou o efeito do estresse. Entretanto, a influência da dose de N em R_{st} não parece muito clara entre as diversas folhas com a mesma idade fisiológica, mas com idade cronológica diferente.

Vale salientar que a segunda adubação nitrogenada foi aplicada na véspera das medições do primeiro trifólio, razão por que não foi possível observar diferenças marcantes entre as doses de N no primeiro e no terceiro trifólio. No quinto trifólio, contudo, a R_{st} aumentou com o incremento no nível de N para as plantas túrgidas e foi reduzido com a dose de N nas plantas estressadas. Isto mostra que a interação N x água aumenta a área foliar (Costa 1986), diminuindo a densidade de estômatos e, conseqüentemente, uma R_{st} por área maior.

Nas plantas estressadas, essa tendência não foi observada, pois não houve diferenças entre as áreas foliares das plantas nos três tratamentos nitrogenados. Segundo Ryle & Hesketh (1969), plantas de feijão deficientes em N aumentaram o R_{st} , embora o primeiro efeito seja um grande aumento da resistência do mesófilo (R_m). É possível que esse aumento em R_m se deva principalmente a um aumento na resistência de carboxilação.

Em geral, a taxa respiratória (R_D) das plantas com déficit hídrico foi maior do que a das túrgidas, e essa tendência mostrou-se independente da idade cronológica da folha (Tabela 3 e Fig. 3). Essas diferenças entre plantas túrgidas e estressadas podem ser explicadas pelo aumento na R_{st} das

plantas estressadas (Tabela 2 e Fig. 4). que reduziu a transpiração e aumentou a temperatura foliar, ocasionando o incremento das taxas metabólicas da folha. Não houve tendência clara da evolução da taxa respiratória com as doses de N, em ambos os regimes hídricos, mostrando que R_D foi mais influenciado pela condição hídrica do que pelo nível de N. No primeiro trifólio, o aumento na dose de N minimizou o efeito do estresse hídrico no R_D . Entretanto, no terceiro e no quinto trifólio, as doses de N salientaram o efeito estimulador do estresse hídrico sobre a taxa respiratória. É provável que o efeito da dose de N sobre R_D tenha sido mascarado pela forma com que R_D foi expressa, em relação à matéria seca, e não ao conteúdo proteico, o que poderia expressar melhor a realidade. Tornam-se necessários dados adicionais que confirmem essa produção irregular de CO_2 . É importante salientar que, quando o estresse hídrico é imposto, ocorre primeiramente um aumento na taxa respiratória, seguido por sua redução, quando as plantas se adaptam ao estresse. Entretanto, se o estresse é provocado gradualmente, a primeira fase pode não tornar-se evidente, e um declínio progressivo na taxa respiratória é observado com o incremento do estresse.

Em estudos de balanços de CO_2 em plantas, deve-se correlacionar a atividade da RUBISCO (Dickmann 1971b) pois o mecanismo fotossintético não opera em baixas concentrações de enzimas do ciclo de Calvin (Dickmann 1971a). Tanto o estresse hídrico como a deficiência de N diminuem a atividade da RUBISCO (Dickmann 1971a, Andreeva et al. 1972). Portanto, em futuros tra-

TABELA 3. Taxa respiratória ($mg\ CO_2 \cdot g\ MS^{-1} \cdot h^{-1}$) de três folhas de feijoeiro submetido a dois regimes hídricos, capacidade de campo ($\approx -0,03\ MPa$) e estresse hídrico cíclico ($\approx 0,03$ a $-1,0\ MPa$), e três níveis de nitrogênio*.

Doses de N (ppm)	Primeiro trifólio			Terceiro trifólio			Quinto trifólio		
	Capacidade de campo	Estresse hídrico	Média	Capacidade de campo	Estresse hídrico	Média	Capacidade de campo	Estresse hídrico	Média
50	17,2	23,2	20,2 a	9,1	12,3	10,7 b	11,8	11,3	11,6 b
125	16,2	17,6	16,9 b	10,3	15,8	13,1 a	11,0	15,5	13,3 a
200	17,4	17,8	17,6 b	9,6	14,4	12,0 a	9,9	15,8	12,8 a
Média	16,9 B	19,5 A	18,2 X	9,7 B	14,2 A	11,9 Y	10,9 B	14,2 A	12,6 Y

* Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Duncan a 1%.

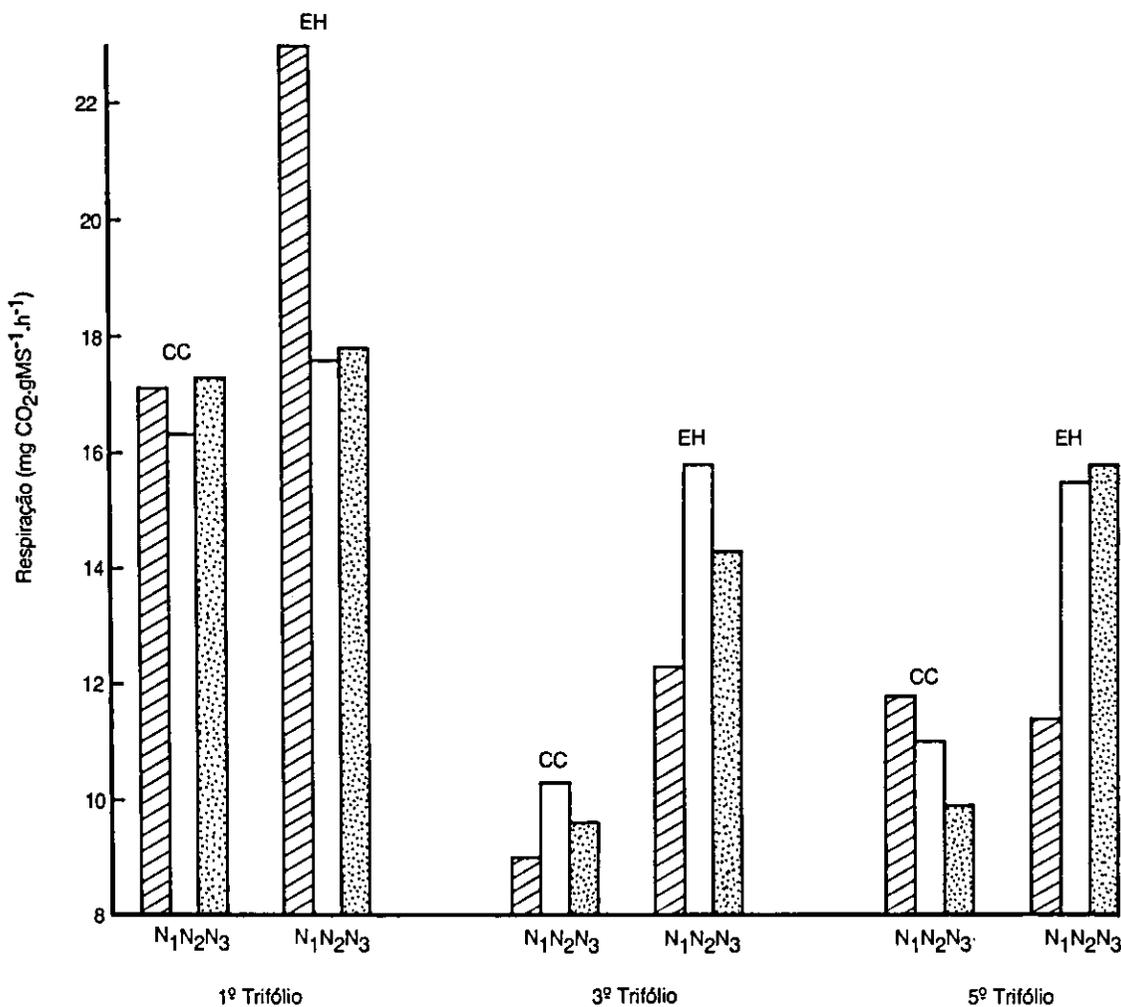


FIG. 4. Resistência estomática de três folhas de feijoeiro submetido a dois regimes hídricos (CC = capacidade de campo e SH = estresse hídrico) e três níveis de nitrogênio (N₁ = 50 ppm N; N₂ = 125 ppm N e N₃ = 200 ppm N).

balhos relacionados com N e água, devem-se fazer maiores relações entre esses dois fatores e os parâmetros fisiológicos, tais como atividade da enzima RUBISCO, níveis de prolina, atividade da redutase do nitrato, potencial hídrico foliar e teor relativo de água.

CONCLUSÕES

1. Houve estreita relação entre as taxas fotossintéticas líquida, respiratória e resistência estomática dentro de cada regime hídrico.
2. A resistência estomática e a taxa respiratória

ria aumentaram com o déficit hídrico, mas a taxa fotossintética líquida diminuiu com o estresse.

3. Nas plantas crescidas em solo na capacidade de campo, a taxa fotossintética líquida aumentou com o incremento na dose de N, enquanto a taxa respiratória não apresentou nítida relação com doses de N e com a resistência estomática.

4. Os maiores efeitos fisiológicos foram ocasionados pelo regime hídrico do que pelo N. Entretanto, o N, de modo geral, promoveu maior adaptação das plantas ao estresse hídrico, minimizando o seu efeito.

REFERÊNCIAS

- ANDREEVA, T.F.; AVDEEVA, T.A.; VLASOVA, M.P.; THYOK, N.T.; NICHIPOROVICH, A.A. Effect of nitrogen nutrition on the structure and function of the photosynthetic apparatus in plants. *Sov. Plant Physiol.*, 18:591-7, 1971.
- ANDREEVA, T.F.; THYOK, N.T.; VLASOVA, M.P.; NICHIPOROVICH, A.A. Effect of nitrogen nutrition on photosynthetic activity in leaves of different tiers and productivity of horse bean plants. *Sov. Plant Physiol.*, 19:213-20, 1972.
- BARRS, H.D. Determination of water deficits in plant tissues. In: KOZLOWSKI, T.T., ed. *Water deficits and plant growth*. New York, Academic, 1968a. v. 1, p.235-368.
- BARRS, H.D. Effect of cyclic variations in gas exchange under constant environmental conditions on the ratio of transpiration to net photosynthesis. *Physiol. Plant.*, 21:918-22, 1968 b.
- BOYER, J.S. Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean and sunflower at various leaf water potentials. *Plant Physiol.*, 46:233-5, 1970.
- CASTRO, T.A. Efeito do déficit hídrico sobre a fotossíntese e a respiração em *Phaseolus vulgaris* L. e *Phaseolus bracteolatus* D.C. Viçosa, UFV, 1977. 37p. Tese Mestrado.
- COSTA, R.C.L. da. Efeito de níveis de água e de doses de nitrogênio sobre o crescimento, morfologia, partição de assimilados e troca de CO₂ em *Phaseolus vulgaris* L. Viçosa, UFV, 1986. 90p. Tese Mestrado.
- DICKMANN, D.I. Chlorophyll, Ribulose - 1,5 diphosphate carboxylase, and Hill reaction activity in developing leaves of *Populus deltoides*. *Plant Physiol.*, 48: 143-5, 1971 a.
- DICKMANN, D.I. Photosynthesis and respiration by developing leaves of cottonwood (*Populus deltoides* Bartr.). *Bot. Gaz.*, 132:253-9, 1971 b.
- GREENWOOD, E.A.N. Nitrogen stress in plants. *Adv. Agron.*, 28:1-35, 1976.
- KANEMASU, E.T. & TANNER, C.B. Stomatal diffusion resistance of snap beans. I. Influence of leaf-water potential. II. Effect of light. *Plant Physiol.*, 44: 1542-55, 1969.
- KANEMASU, E.T.; THURTELL, G.W.; TANNER, C.B. Design, calibration and field use of stomatal diffusion porometer. *Plant Physiol.*, 44:881-5, 1969.
- O'TOOLE, J.C.; OZBUN, J.L.; WALLACE, D.H. Photosynthetic response to water stress in *Phaseolus vulgaris* L. *Physiol. Plant.*, 40:111-4, 1977.
- PLAUT, Z. Inhibition of photosynthetic carbon-dioxide fixation in isolated spinach chloroplasts exposed to reduced osmotic potentials. *Plant Physiol.*, 48: 591-5, 1971.
- PLAUT, Z. & BRAVDO, B. Responses of carbon-dioxide fixation to water stress. *Plant Physiol.*, 52:28-32, 1973.
- REDSHAW, A.J. & MEIDNER, H. Effect of water stress on the resistance to uptake of carbon dioxide in tobacco. *J. Exp. Bot.*, 23:229-40, 1971.
- RYLE, G.J.A. & HESKETH, J.D. Carbon dioxide uptake in nitrogen-deficient plants. *Crop Sci.*, 9:451-4, 1969.
- SALE, P.J.M. Productivity of vegetable crops in a region of high solar input. IV. Field chamber measurements of fresh beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and cabbages (*Brassica oleraceae* L.). *Aust. J. Plant Physiol.*, 2: 461-79, 1975.
- STOCKING, C.R. & ONGUM, A. The intracellular distribution of some metallic elements in leaves. *Am. J. Bot.*, 49:284-9, 1962.
- TROUCHTON, J.H. Plant water status and carbon dioxide exchange of cotton leaves. *Aust. J. Biol. Sci.*, 22: 289-302, 1969.
- TROUGHTON, J.H. & SLATYER, R.O. Plant water status, leaf temperature and the calculated mesophyll resistance to carbon dioxide of cotton leaves. *Aust. J. Biol. Sci.*, 22:815-27, 1969.
- WAUGH, D.H. & FITTS, J.W. Soil test interpretation studies; laboratory and potted plant. Raleigh, North Carolina State University Agricultural Experiment Station, 1966. 33p. (International Soil Testing Technical Bulletin, 3)
- YOSHIDA, T. Relationship between stomatal frequency and photosynthesis in barley. *Jap. Agric. Res. Q.*, 13(2):101-5, 1979.
- ZÜNKER, E. & KREEB, K. Untersuchungen zur potentiometrischen Messung de Photosyntheserate. *Ber. Dtsch. Bot. Ges.*, 83:245-57, 1970.