

CRESCIMENTO, MORFOLOGIA, PARTIÇÃO DE ASSIMILADOS E PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA EM *PHASEOLUS VULGARIS* L. SUBMETIDO A TRÊS NÍVEIS DE NITROGÊNIO E DOIS REGIMES HÍDRICOS¹

ROBERTO C.L. COSTA², NEI F. LOPES³ e MARCO A. OLIVA⁴

RESUMO - Crescimento, morfologia, partição de assimilados e produção de matéria seca foram estudados em *Phaseolus vulgaris* L. cv. Negrito-897, em casa de vegetação, submetido a três níveis de nitrogênio (50, 125 e 200 ppm de N) e dois regimes hídricos (capacidade de campo \approx -0,03 MPa e estresse hídrico cíclico de -0,03 a -1,0 MPa). O déficit hídrico reduziu a altura das plantas, o número de folíolos, a área foliar e os componentes da produção, mas este efeito foi minimizado por altas doses de nitrogênio. O déficit reduziu as taxas de produção de matéria seca de todos os órgãos. Em plantas túrgidas, o nitrogênio teve um grande efeito na taxa de crescimento de órgãos, principalmente nos legumes. Por outro lado, em plantas com déficit hídrico o N afetou o acúmulo de assimilados somente na fase reprodutiva. A matéria seca das sementes aumentou até a colheita final em todos os tratamentos, provavelmente porque as sementes receberam assimilados de outros órgãos até este tempo. A matéria seca dos pericarpos diminuiu na colheita final, independentemente do regime hídrico e do nível de N, o que mostra que os assimilados foram translocados do pericarpo para as sementes. O regime hídrico mostrou maior efeito sobre a partição de assimilados do que o nível de N. Entretanto, altos níveis de N apresentaram tendência de minimizar o efeito do estresse hídrico.

Termos para indexação: feijão, desenvolvimento, área foliar, água.

GROWTH, MORPHOLOGY, ASSIMILATE PARTITION AND DRY MATTER PRODUCTION IN *PHASEOLUS VULGARIS* L.

ABSTRACT - Growth, morphology, assimilate partition and dry matter production were studied in *Phaseolus vulgaris* L. cv. 'Negrito 897' in greenhouse, under three nitrogen levels (50, 125 and 200 ppm of N) and two water systems, field capacity (\approx -0.03 MPa) and cyclic water stress (-0.03 to -1.0 MPa). Water deficit reduced the plant height, the leaflet number, the leaf area and the yield components but this effect was partially minimized by high nitrogen levels. The water deficit reduced the rates of dry matter production of all plant organs. In well watered plants, nitrogen had a great effect on organs growth rate, mainly on pods. On the other hand, in plants under water stress, N affected the assimilate accumulation only in the reproductive phase. Seed dry matter increased until final harvest in all treatments probably because seeds received assimilates from other organs at this time. The pericarps dry matter diminished at final harvest, independently of water system and nitrogen level, showing that assimilates were translocated from pericarp to seeds. The water system showed greater effect on assimilate partition than nitrogen levels. However, high N levels had a tendency to minimize the water stress effects.

Index terms: common bean, development, leaf area, water.

¹ Aceito para publicação em 8 de abril de 1991.

Extraído 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 Fitosanidade, Fac. Ciências Agrárias do Pará, CEP 66000 Belém, PA.

³ Eng.-Agr., Ph.D., Prof.-Adjunto, Dep. Biol. Vegetal, Univ. Fed. de Viçosa (UFV), CEP 36570 Viçosa, MG.

⁴ Biólogo, Dr. rer.nat., Prof.-Adjunto, Dep. Biol. Vegetal, Univ. Fed. de Viçosa.

INTRODUÇÃO

As alterações de fatores ecológicos e de nutrientes, nos agroecossistemas, podem induzir as plantas a redirecionarem a distribuição de seus fotoassimilados, modificando, conseqüentemente, seu crescimento e morfologia.

O déficit hídrico inibe a atividade fotossintética pela diminuição da absorção de CO₂

causada pelo fechamento dos estômatos (Slatyer 1967, Hsiao & Acevedo 1974, Slavik 1975, Boyer 1976). O estresse de água reduz, também, a taxa de crescimento pela diminuição do tamanho das células e dos espaços intercelulares (Hsiao 1973, Hsiao & Acevedo 1974), promovendo redução na área foliar do feijoeiro e na sua taxa de expansão (Markhart 1985, Lopes et al. 1986). Além disso, a desidratação induz abscisão foliar em virtude da aceleração da senescência (Boyer 1976). Esses efeitos reduzem tanto o crescimento vegetativo quanto o reprodutivo das plantas de feijão, provocados pela diminuição de fotoassimilados disponíveis para a produção de matéria seca e de sementes (Dubetz & Mahalle 1969, Millar & Gardner 1972, O'Toole et al. 1977, Stansel & Smittle 1980, Lawn 1982c, Markhart 1985).

Em feijoeiro, as taxas fotossintéticas são pronunciadamente reduzidas por deficiência de N (Andreeva et al. 1971). Esta redução se deve mais a um aumento da resistência do mesófilo do que, ao fechamento estomático (Ryle & Hesketh 1969). O decréscimo fotossintético também foi associado com redução de proteínas solúveis nas folhas, especificamente com mudanças na síntese e atividade da Rubisco (Andreeva et al. 1972). Por outro lado, um aumento no teor de N foliar de 2,22 para 4,76% produz um incremento considerável na taxa fotossintética do feijoeiro (Oda & Kawata 1970).

O presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de obter informações do efeito da interação água-nitrogênio sobre a morfologia, partição de assimilados e produção de matéria seca de órgãos em plantas de *Phaseolus vulgaris* L. cv. Negrito-897.

MATERIAL E MÉTODOS

Plantas de *Phaseolus vulgaris* L. cv. 'Negrito 897' foram cultivadas em casa de vegetação, adubadas com 50, 125 e 200 ppm de N e submetidas a dois regimes hídricos, capacidade de campo (-0,03 MPa) e estresse hídrico cíclico (-0,03 a -1,0 MPa). As con-

dições do experimento foram descritas previamente por Costa et al. (1989).

As coletas do material vegetal foram efetuadas a intervalos regulares de dez dias, durante todo o ciclo da cultura. Ao todo, foram realizadas oito coletas, sendo a primeira efetuada dez dias depois da emergência das plântulas. Em cada coleta, as plantas foram separadas em partes: folhas, caules com pecíolos, raiz, pericarpo e sementes, e colocados em estufa de ventilação forçada, à temperatura de 75°C, até atingir peso constante, para posterior determinação do peso da matéria seca. Contou-se o número de folhas, flores com botões florais, legumes e sementes, e mediu-se a altura das plantas.

Os valores de todos os parâmetros determinados foram submetidos à análise de variância. Foi efetuada, também, análise de regressão das médias de peso da matéria seca acumulada nas raízes (W_r), caules (W_c) e folhas (W_f), em relação às coletas, com o emprego de polinômios ortogonais. Procurou-se chegar ao polinômio que melhor se ajustasse aos dados primários, de acordo com o proposto por Richards (1969), e estimou-se, desse modo, diariamente, a matéria seca acumulada de cada parte da planta. A curva logística de crescimento foi ajustada aos dados de matéria seca acumulada nos legumes (W_l), por meio de um programa interativo, para minimizar a variância residual. A equação empregada foi $W_l = W_m / (1 + Be^{-Ct})$, sendo W_m a estimativa assintótica do crescimento máximo, C e B constantes de ajustamento, e t, o tempo, em dias. Para determinar os valores instantâneos da taxa de acúmulo de matéria seca de cada parte, empregou-se a derivada da equação ajustada ao peso da matéria seca do órgão vegetal, em relação ao tempo (Radford 1967 e Richards 1969). A área foliar em cada coleta foi determinada utilizando-se o medidor de área LI-COR, modelo LI-3100.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As plantas túrgidas apresentaram altura maior que as estressadas, em todos os níveis de N (Tabela 1). A altura máxima nas plantas mantidas em solo na capacidade de campo foi atingida no 60º dia após a emergência, com exceção de plantas tratadas com 200 ppm de N, que cresceram até a data da última coleta. As plantas que sofreram déficit hídrico e foram tratadas com 50 e 125 ppm de N atingiram a altura máxima no 60º dia após a emergência,

TABELA 1. Altura média das plantas, número médio de folíolos, legumes e sementes, número de sementes por vagem e área foliar média para as três doses de nitrogênio e dois regimes hídricos (CC = Capacidade de campo, e SH = Estresse hídrico cíclico).

| Coleta (Dias após a emergência) | | Altura das plantas (cm) | | | Número de folíolos por vaso | | | Número de legumes por vaso | | | Número de sementes por vaso | | | Número de sementes por vagem | | | Área foliar média (dm ²) | | | |
|---------------------------------------|----|----------------------------|------|------|--------------------------------|-------|-------|-------------------------------|------|------|--------------------------------|-------|-------|---------------------------------|-----|-----|---|------|------|------|
| | | 50 | 125 | 200 | 50 | 125 | 200 | 50 | 125 | 200 | 50 | 125 | 200 | 50 | 125 | 200 | 50 | 125 | 200 | |
| | | ppm N | | | ppm N | | | ppm N | | | ppm N | | | ppm N | | | | | | |
| 10 | CC | 6,7 | 5,8 | 4,7 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1,2 | 1,0 | 0,8 |
| | SH | 7,1 | 6,8 | 5,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1,1 | 1,1 | 0,7 |
| 20 | CC | 11,4 | 10,1 | 9,2 | 27,7 | 26,7 | 21,7 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 6,9 | 5,8 | 4,1 |
| | SH | 9,9 | 8,5 | 7,9 | 19,0 | 17,0 | 16,0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 4,5 | 4,0 | 3,5 |
| 30 | CC | 19,2 | 17,9 | 16,2 | 57,0 | 59,3 | 53,0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 13,8 | 14,3 | 12,9 |
| | SH | 13,8 | 12,3 | 16,6 | 41,7 | 41,0 | 38,0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 8,6 | 8,9 | 6,8 |
| 40 | CC | 32,4 | 33,6 | 38,6 | 101,3 | 110,0 | 113,0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 35,8 | 36,5 | 43,5 |
| | SH | 23,2 | 19,0 | 21,4 | 69,7 | 72,0 | 67,0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 13,2 | 14,2 | 12,8 |
| 50 | CC | 45,2 | 53,2 | 48,5 | 111,7 | 144,7 | 159,0 | 26,0 | 23,3 | 14,3 | - | - | - | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 31,6 | 55,7 | 68,4 |
| | SH | 32,0 | 32,4 | 26,6 | 98,7 | 106,7 | 89,0 | 11,7 | 9,7 | 7,7 | - | - | - | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 23,2 | 27,8 | 22,0 |
| 60 | CC | 51,0 | 58,6 | 49,7 | 132,7 | 155,3 | 179,7 | 61,3 | 73,3 | 67,3 | 196,0 | 208,7 | 138,0 | 3,2 | 2,9 | 2,1 | 48,8 | 64,7 | 68,0 | |
| | SH | 33,7 | 35,3 | 30,0 | 115,3 | 126,3 | 115,7 | 40,0 | 37,3 | 33,0 | 79,0 | 68,7 | 55,3 | 2,0 | 1,9 | 1,7 | 21,3 | 26,4 | 28,3 | |
| 70 | CC | 45,5 | 54,5 | 58,0 | 112,7 | 143,3 | 159,0 | 47,3 | 61,0 | 71,0 | 198,0 | 235,3 | 301,3 | 4,2 | 3,9 | 4,3 | 37,9 | 57,6 | 65,7 | |
| | SH | 34,2 | 35,2 | 39,2 | 103,0 | 134,7 | 138,3 | 35,3 | 33,0 | 36,0 | 120,3 | 124,3 | 137,3 | 3,4 | 3,8 | 3,8 | 14,3 | 27,7 | 34,0 | |
| 80 | CC | 51,3 | 54,7 | 65,5 | 76,7 | 95,7 | 116,7 | 38,0 | 41,6 | 53,0 | 208,3 | 241,3 | 290,0 | 5,5 | 5,8 | 5,5 | 21,7 | 33,3 | 46,1 | |
| | SH | 34,8 | 33,8 | 38,5 | 14,7 | 79,0 | 113,7 | 29,3 | 28,7 | 36,6 | 109,3 | 118,0 | 149,3 | 3,7 | 4,1 | 4,1 | 1,0 | 12,6 | 21,1 | |
| CV (Coletas)% | | 16,76 | | | 11,90 | | | 12,5 | | | 15,38 | | | 20,95 | | | 21,64 | | | |
| S (Coletas) | | 4,87 | | | 9,30 | | | 4,71 | | | 25,44 | | | 0,57 | | | 5,00 | | | |
| F (Coletas) | | ** | | | ** | | | ** | | | ** | | | ** | | | ** | | | |
| CV (Água)% | | 16,77 | | | 12,45 | | | 16,63 | | | 14,35 | | | 5,98 | | | 19,13 | | | |
| S (Água) | | 4,87 | | | 9,94 | | | 6,35 | | | 23,75 | | | 0,16 | | | 4,42 | | | |
| F (Água) | | ** | | | ** | | | ** | | | ** | | | ** | | | ** | | | |
| CV (Nitrogênio)% | | 15,87 | | | 12,47 | | | 21,85 | | | 17,99 | | | 9,28 | | | 23,97 | | | |
| S (Nitrogênio) | | 4,61 | | | 10,00 | | | 8,34 | | | 29,78 | | | 0,25 | | | 5,64 | | | |
| F (Nitrogênio) | | ns | | | ** | | | ns | | | * | | | ns | | | ** | | | |

* Significativo a 5%, pelo teste F.

** Significativo a 1%, pelo teste F.

ns = Não-significativo.

enquanto as plantas que receberam 200 ppm de N atingiram a altura máxima no 70º dia. A diferença de altura entre as plantas túrgidas e estressadas é resultado do déficit hídrico que provoca um decréscimo na turgescência celular, diminuindo o crescimento por alongamento (Hsiao 1973, Brunce 1977, Tyree & Jarvis 1982). Aparentemente, isto é consequência do papel crítico da turgescência nos processos de crescimento e produção (Hsiao et al. 1976). Em condições de campo, trabalhando com feijoeiro, Brandes et al. (1972, 1973) encontraram, também, uma redução no crescimento das plantas no plantio da "seca" em comparação ao das "águas". Entretanto, os efeitos das doses de N, em relação à altura das plantas, mostraram-se não-significativos, o que indica que a altura das plantas foi mais influenciada pelo conteúdo hídrico do solo do que pelos níveis de N.

O déficit hídrico reduziu o número de folíolos, influenciando na área foliar média (Tabela 1). Nas plantas túrgidas, tanto o número de

folíolos como a área foliar média, a partir do 40º dia após a emergência, aumentaram com o incremento da dose de N. Entretanto, nas plantas estressadas, esta relação só foi verificada a partir do 70º dia após a emergência. O número de folíolos e área foliar média decresceram a partir do 60º dia após a emergência, ou seja, início da fase de enchimento das sementes, em ambos os regimes hídricos e para todas as doses de N, o que mostra que houve uma aceleração na senescência das folhas, em virtude da rápida mobilização de assimilados para os drenos economicamente explorados (Fig. 1). Ressalta-se, ainda, que, na última coleta, a abscisão de folhas e a consequente redução da área foliar foram maiores nas plantas estressadas. Essa redução foi minimizada pelo aumento da dose de N, que retardou a abscisão e manteve, praticamente, um alto nível de folíolos na última coleta. Provavelmente, plantas submetidas a déficits hídricos graduais e doses elevadas de N podem promover processos de "endurecimento", tornando-

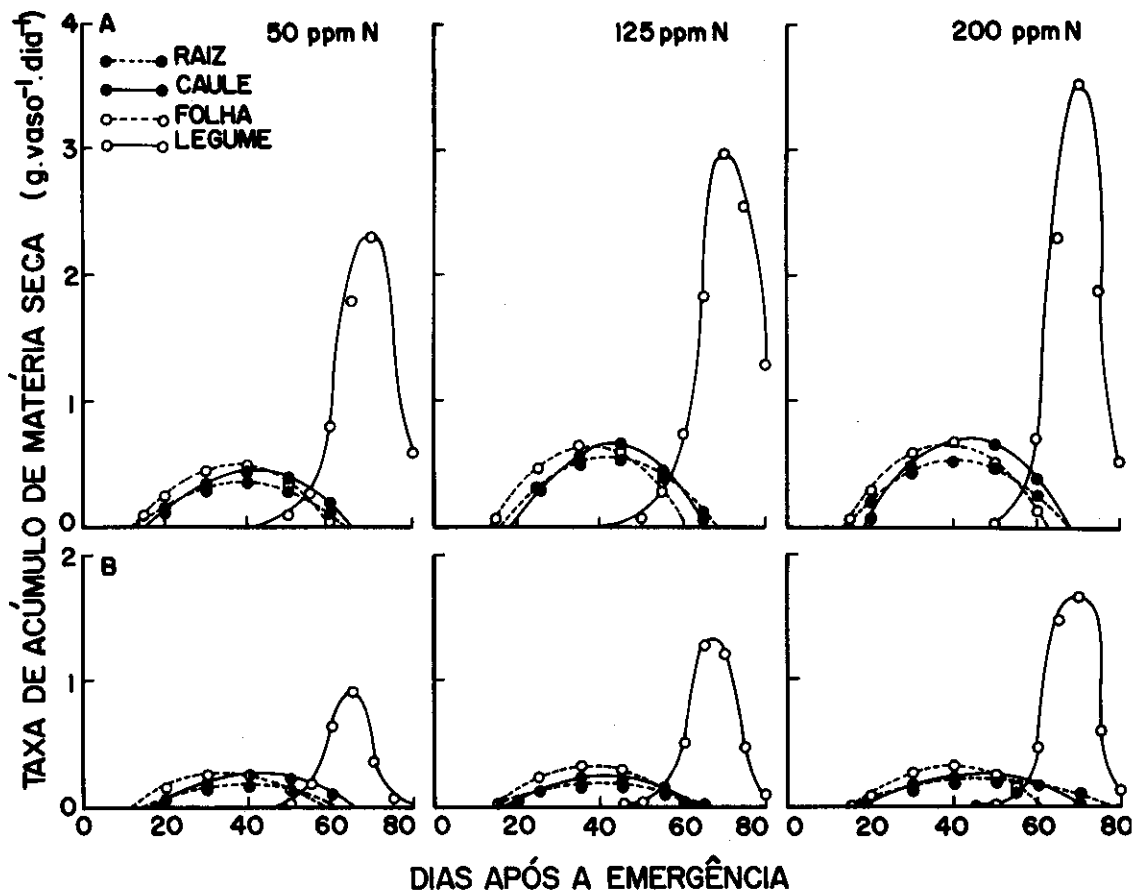


FIG. 1. Taxa de acúmulo de matéria seca das raízes, caules, folhas e legumes de feijoeiro submetido a três doses de nitrogênio e dois regimes hídricos (A = capacidade de campo; B = estresse hídrico).

as menos sensíveis ao estresse de água. De acordo com Jensen (1981), o processo de "endurecimento" pode ser induzido por ajustamento osmótico, por modificações na morfologia foliar e por mudanças na plasticidade das células das folhas. Tal processo pode dar-se pela absorção de solutos inorgânicos e pelo aumento de solutos orgânicos nas folhas. O primeiro efeito direto do déficit hídrico é a redução da área foliar, ocasionada por uma redução no crescimento por alongamento (Boyer 1970, Hsiao 1973, Hsiao & Acevedo 1974, Ritchie 1981). Supressão prolongada da expansão celular, entretanto, pode ter efeito retroalimentador negativo na divisão celular (Hsiao 1973) e restringir o tamanho potencial da

folha. Além disso, supressão da divisão celular poderia levar a um atraso na iniciação foliar (Hsiao et al. 1976). Quando a área foliar é diminuída, pode haver limitação na assimilação de CO_2 , embora não tenha efeito direto sobre a fotossíntese (Hsiao et al. 1976). Com a diminuição da interceptação e absorção da radiação solar ocorreu redução na matéria seca de todos os órgãos da planta (Tabela 2). Além da redução na superfície foliar, muitas espécies, dentre elas o feijoeiro, podem alterar a orientação das folhas em relação à radiação solar incidente, posicionando-se mais ou menos paralelamente aos raios solares, em movimentos denominados paraclitropismos (Dubetz 1969, Lawn 1982a e 1982b). Esse mecanismo,

TABELA 2. Peso da matéria seca de raízes, caules, folhas, flores, legumes, da planta toda, da parte aérea, em g. vaso⁻¹, e relação parte aérea e sistema radicular (PA/SR) para as três doses de nitrogênio e dois regimes hídricos (CC = Capacidade de campo e SH = Estresse hídrico cíclico).

| Coleta (Dias após a emergência) | Raiz | | | Caule | | | Folha | | | Flor | | | Legumes | | | Planta toda | | | Parte aérea | | | PA/SR | | | | | |
|------------------------------------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|---------|------|-------|-------------|-------|------|-------------|------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 50 | 125 | 200 | 50 | 125 | 200 | 50 | 125 | 200 | 50 | 125 | 200 | 50 | 125 | 200 | 50 | 125 | 200 | 50 | 125 | 200 | 50 | 125 | 200 | | | |
| | ppm N | | | ppm N | | | ppm N | | | ppm N | | | ppm N | | | ppm N | | | ppm N | | | ppm N | | | | | |
| 10 | CC | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | - | - | - | - | - | - | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 1,7 | 2,0 | 2,0 | 3,0 | 3,0 |
| | SH | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,4 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | - | - | - | - | - | - | 0,8 | 0,8 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,3 | 0,3 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 3,0 | 2,7 |
| 20 | CC | 1,0 | 0,8 | 0,6 | 0,7 | 0,6 | 2,0 | 1,8 | 1,2 | - | - | - | - | - | - | 3,6 | 3,2 | 2,2 | 2,7 | 2,4 | 1,6 | 2,7 | 3,0 | 2,7 | 3,0 | 2,7 | 2,3 |
| | SH | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,4 | 0,3 | 1,3 | 1,2 | 1,1 | - | - | - | - | - | - | 2,5 | 2,2 | 2,0 | 1,7 | 1,6 | 1,4 | 2,4 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,3 |
| 30 | CC | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,9 | 1,8 | 3,9 | 4,0 | 3,8 | - | - | - | - | - | - | 7,3 | 7,3 | 6,8 | 5,8 | 5,4 | 4,1 | 4,1 | 4,1 | 3,9 | 4,1 | 4,1 | 3,9 |
| | SH | 1,5 | 1,6 | 1,1 | 1,2 | 1,2 | 0,9 | 3,0 | 2,4 | - | - | - | - | - | - | 5,6 | 5,8 | 4,5 | 4,2 | 4,2 | 3,3 | 2,8 | 2,6 | 3,0 | 2,6 | 3,0 | 3,0 |
| 40 | CC | 7,2 | 6,3 | 6,9 | 6,5 | 6,1 | 6,3 | 11,4 | 12,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | - | - | - | 25,2 | 24,0 | 25,7 | 18,1 | 17,7 | 18,8 | 2,5 | 2,8 | 2,7 | 2,8 | 2,7 | 4,1 |
| | SH | 1,7 | 2,2 | 1,8 | 2,7 | 2,4 | 4,6 | 5,3 | 4,8 | 0,1 | 0,1 | 0,008 | - | - | - | 9,2 | 10,4 | 9,0 | 7,4 | 8,1 | 7,3 | 4,4 | 3,7 | 4,1 | 4,1 | 2,1 | 1,6 |
| 50 | CC | 10,6 | 17,0 | 19,7 | 10,0 | 14,5 | 12,8 | 11,3 | 20,3 | 17,9 | 0,4 | 0,5 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 32,6 | 52,5 | 50,9 | 21,9 | 35,5 | 31,2 | 2,1 | 2,1 | 1,6 | 2,1 | 1,6 | 1,6 |
| | SH | 7,9 | 7,7 | 6,7 | 6,0 | 5,9 | 4,8 | 9,2 | 9,7 | 8,7 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,09 | 0,07 | 0,04 | 23,4 | 23,6 | 20,4 | 15,5 | 15,9 | 13,7 | 2,0 | 3,7 | 4,1 | 4,1 | 4,1 |
| 60 | CC | 12,8 | 16,3 | 18,5 | 15,3 | 20,1 | 20,8 | 18,8 | 21,0 | 21,5 | 0,03 | 0,06 | 0,2 | 7,2 | 7,4 | 4,4 | 54,2 | 64,9 | 65,4 | 41,4 | 48,6 | 45,9 | 3,2 | 3,0 | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| | SH | 5,4 | 5,2 | 5,8 | 7,4 | 8,1 | 7,0 | 9,1 | 9,7 | 10,4 | 0,07 | 0,09 | 0,1 | 2,9 | 3,0 | 2,6 | 24,9 | 26,1 | 25,9 | 19,5 | 20,9 | 20,1 | 3,6 | 4,0 | 3,5 | 3,5 | 3,5 |
| 70 | CC | 9,5 | 15,9 | 14,2 | 12,8 | 18,7 | 21,7 | 11,9 | 17,2 | 18,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 22,7 | 24,7 | 26,8 | 56,9 | 77,6 | 80,7 | 47,4 | 60,6 | 66,5 | 5,0 | 3,6 | 4,7 | 4,7 | 4,7 |
| | SH | 5,3 | 7,2 | 7,8 | 6,4 | 8,2 | 8,5 | 5,3 | 9,4 | 10,1 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 9,9 | 13,7 | 15,5 | 27,0 | 38,6 | 41,9 | 21,7 | 31,3 | 34,1 | 4,1 | 4,3 | 4,4 | 4,4 | 4,4 |
| 80 | CC | 9,1 | 15,8 | 18,5 | 10,1 | 14,8 | 15,0 | 10,4 | 11,3 | - | - | - | - | 34,5 | 43,5 | 44,0 | 60,1 | 84,5 | 88,9 | 51,1 | 68,7 | 70,3 | 5,6 | 4,3 | 3,8 | 3,8 | 3,8 |
| | SH | 4,1 | 6,0 | 8,1 | 3,8 | 5,2 | 6,7 | 1,7 | 4,2 | 5,8 | - | - | - | 11,0 | 18,4 | 21,9 | 20,6 | 33,8 | 42,4 | 16,6 | 27,8 | 34,3 | 4,0 | 4,6 | 4,6 | 4,6 | 4,6 |
| CV (Coletas)% | | 31,91 | | | | 12,81 | | 14,87 | | 38,30 | | | 12,99 | | 13,85 | | 11,29 | | | | 14,59 | | | | | | |
| S (Coletas) | | 1,97 | | | | 0,81 | | 1,12 | | 0,05 | | | 1,71 | | 3,69 | | 2,31 | | | | 0,48 | | | | | | |
| F (Coletas) | | ** | | | | ** | | ** | | ** | | | ** | | ** | | ** | | | | ** | | | | | | |
| CV (Água)% | | 46,51 | | | | 16,32 | | 17,80 | | 21,68 | | | 20,34 | | 21,06 | | 18,14 | | | | 31,91 | | | | | | |
| S (Água) | | 2,87 | | | | 1,03 | | 1,33 | | 0,03 | | | 2,67 | | 5,61 | | 3,71 | | | | 1,06 | | | | | | |
| F (Água) | | ** | | | | ** | | ** | | ** | | | ** | | ** | | ** | | | | ** | | | | | | |
| CV (Nitrogênio)% | | 36,88 | | | | 14,89 | | 19,62 | | 25,52 | | | 17,42 | | 17,17 | | 15,29 | | | | 22,75 | | | | | | |
| S (Nitrogênio) | | 2,88 | | | | 0,94 | | 1,47 | | 0,03 | | | 2,29 | | 4,57 | | 3,13 | | | | 0,75 | | | | | | |
| F (Nitrogênio) | | ** | | | | ** | | ** | | ns | | | ** | | ** | | ** | | | | ns | | | | | | |

* Significativo a 5%, pelo teste F.
 ** Significativo a 1%, pelo teste F.
 ns = Não-significativo.

juntamente com o fechamento estomático (Costa et al. 1988), é importante no sentido de reduzir ou evitar desidratação pela redução na perda de água (Lawn 1982a). Como não foram observadas diferenças na taxa assimilatória líquida (Costa et al. 1989), a diminuição na área foliar promoveu a redução na produção de matéria seca de todos os órgãos da planta (Tabela 2).

A redução da área foliar (Costa et al. 1989), bem como o aumento da resistência estomática (Costa et al. 1988), provocada pelo estresse hídrico, diminuiu o processo fotosintético (Costa et al. 1988). Portanto, a diminuição na quantidade de fotoassimilados disponíveis na planta causa modificação na sua distribuição, alterando, dessa maneira, o crescimento e morfologia da planta (Slavik 1975). O N influenciou também a quantidade de fotoassimilados, pois, segundo Andreeva et al. (1971), a deficiência de N em feijoeiro faz decrescer a taxa fotossintética. A deficiência de N reduz a absorção líquida de CO_2 , principalmente pelo aumento na resistência do mesófilo (Ryle & Hesketh 1969).

O déficit hídrico reduziu todos os componentes de produção, independentemente da dose de N, sendo o número de legumes por vaso e o número de sementes por vaso os fatores mais influenciados (Tabela 1). Os maiores rendimentos foram obtidos nas plantas que receberam as maiores adubações nitrogenadas e mantidas em solo na capacidade de campo. Isso se deve, provavelmente, ao fato de as plantas apresentarem maior número de folhas, que proporcionou maior número de axilas e, conseqüentemente, maior número de legumes. Além disso, apresentaram maior área foliar (Costa et al. 1989), que produziu maior quantidade de assimilados, os quais, posteriormente, foram mobilizados para os drenos preferenciais (sementes). Portanto, a redução da produção está relacionada tanto com o déficit hídrico (Dubetz & Mahalle 1969, Stansel & Smittle 1980, Lawn 1982c, Bascur et al. 1985, Markhart 1985) quanto com a deficiência de minerais, em especial o N (Nátr 1975, Almeida et al. 1988a). Existe uma estreita correlação

entre o teor de N nas folhas no início da floração, e o número de legumes na maturação, o que indica que a diferenciação dos legumes é fortemente favorecida pelo suprimento de N, e a degeneração é eficazmente evitada pelo suprimento de carboidratos (Almeida et al. 1988b).

A partição de assimilados entre ramos e raízes depende de vários fatores do meio ambiente. Nesse trabalho, não foram observadas diferenças significativas na relação parte aérea/sistema radicular (PA/SR) (Tabela 2), o que contraria os resultados apresentados por Lopes et al. (1983) e Almeida et al. (1988b) em plantas sombreadas e Markhart (1985) e Lopes et al. (1986) com água.

O déficit hídrico diminuiu acentuadamente a taxa de crescimento de todos os órgãos (Fig. 1). Nas plantas túrgidas, a dose de N teve influência na produção de matéria seca (Tabela 2) e na taxa de crescimento dos diversos órgãos (Fig. 1A). Houve uma correlação positiva entre a taxa de produção de matéria seca das partes, principalmente legumes, e a dose de N (Fig. 1A), o que não ocorreu em plantas estressadas (Fig. 1B), em que essa correlação foi verificada somente em relação à matéria seca dos legumes, o que indica que o N interferiu na acumulação de assimilados, principalmente na fase reprodutiva. Essa interferência se deve, provavelmente, ao aumento no número de folhas e área foliar (Tabela 1), ao aumento na força da fonte de assimilados, e ao incremento do número e tamanho de legumes e de sementes (Tabelas 1 e 2), aumentando, desse modo, a força de dreno metabólico preferencial. Em feijoeiro, a maior translocação de assimilados ocorre durante o enchimento dos legumes e formação de sementes, aumentando, assim, a força do depósito metabólico preferencial (Wallace & Munger 1966, Brandes et al. 1973). Bascur et al. (1985) verificaram que na falta de umidade ocorre um aumento da razão matéria seca de caules e ramos/matéria seca total e uma diminuição no peso das sementes, possivelmente em razão da maior demanda de assimilados por ramos e caules.

Independentemente das condições hídricas e níveis de N, a ordem seqüencial dos drenos metabólicos preferenciais não foi alterada. Inicialmente, as folhas e as raízes foram os drenos metabólicos preferenciais, porém, após certo desenvolvimento, houve mudança para o caule. Todos os órgãos vegetais acumularam matéria seca durante todo o ciclo de crescimento da cultura, atingindo a taxa máxima de acúmulo em torno do 40º/dia após a emergência, coincidentemente com o aparecimento de flores, independentemente, do regime hídrico. Com o início da formação dos legumes, o dreno metabólico preferencial mudou para essa parte da planta de forma definitiva e mais acentuada. O fluxo de metabólitos e água para os legumes é resultado do crescimento vascular promovido por auxinas, aumentando-lhes o poder competitivo em relação aos outros órgãos (Heslop-Harrison 1970). A força do dreno metabólico é o resultado da interação da atividade e do tamanho do dreno. Esses efeitos podem ser medidos através de uma modulação hormonal que, certamente, é influenciada pelo nível de água e dose de N. Segundo Patrick (1982), vários testes com caule de feijão sugerem que auxina e citocinina devem atuar principalmente nos processos de transporte de assimilados no floema, em contraste com ácido

giberélico, que pode exercer uma ação dupla no transporte de assimilados no floema e na força de dreno. Mesmo tendo ocorrido mudanças no dreno metabólico preferencial, os demais órgãos continuaram acumulando matéria seca, embora em taxas menores. Resultados semelhantes foram encontrados em casa de vegetação por Lopes et al. (1983) e Barrigossi et al. (1988) em plantas sombreadas e não-sombreadas, respectivamente.

Os valores máximos da matéria seca das folhas (W_f) foram 16,4; 20,3; 21,5 e 8,3; 10,2; 9,5 g . vaso⁻¹ em plantas mantidas na capacidade de campo e que sofreram estresse hídrico cíclico, em ordem crescente de doses de N, respectivamente (Fig. 2). Esses valores máximos, independentemente do regime hídrico, foram atingidos aproximadamente aos 60 dias após a emergência. O estresse hídrico reduziu drasticamente o acúmulo de matéria seca nas folhas, devido, principalmente, à forte redução no número de folhas. Resultado semelhante foi encontrado por Markhart (1985). Nas plantas túrgidas (Fig. 2A), existiu uma correlação positiva entre as doses de N e o acúmulo de matéria seca das folhas. Nas plantas que sofreram estresse hídrico cíclico, isto não foi verificado (Fig. 2B), tendo ocorrido diferença somente entre a menor (50 ppm) e as outras duas doses

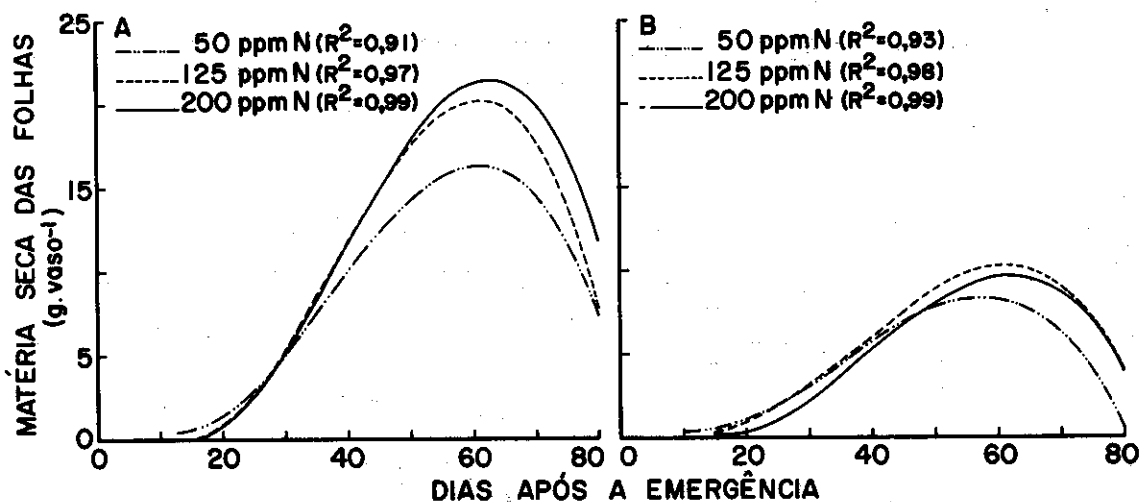


FIG. 2. Matéria seca das folhas de feijoeiro submetido a três doses de nitrogênio e dois regimes hídricos (A = capacidade de campo; B = estresse hídrico).

de N (125 e 200 ppm). Em razão da rápida senescência foliar, W_f decresceu, a partir do 65º dias após a emergência, em todos os tratamentos, coincidindo com o início do período de enchimento de grãos. A senescência foliar é uma consequência da acentuada translocação de assimilados para a formação de grãos. Resultados semelhantes foram obtidos por Lopes et al. (1983) e Almeida et al. (1988a) com essa mesma cultivar, em casa de vegetação e condições de campo, respectivamente.

Os valores máximos da matéria seca acumulada nos caules (W_c) 14,6; 18,8; 21,7 e 8,3; 7,0; 8,6 g . vaso⁻¹ em plantas turgidas e que sofreram estresse hídrico, respectivamente, em doses crescentes de N (Fig. 3). Esses valores máximos de W_c , independente do regime hídrico, foram atingidos, aproximadamente, aos 70 dias após a emergência. O déficit hídrico reduziu drasticamente o acúmulo de matéria seca nos caules, o que coincide com os resultados obtidos por Markhart (1985). As plantas turgidas (Fig. 3A) apresentaram valores que seguiram a mesma tendência das folhas. Entretanto, as plantas estressadas (Fig. 3B), embora tenham apresentado maior valor de W_c quando tratadas com 200 ppm de N, apresentaram menor valor com a dose intermediária (125 ppm), o que mostra uma inversão de tendências

quando comparados com os valores de W_f . Contudo, os valores máximos de W_c ocorreram mais ou menos dez dias após os de W_f , o que indica que os caules foram os drenos preferenciais dos assimilados das folhas, como foram as vagens, posteriormente, de forma mais vigorosa e definitiva (Lopes et al. 1983, Almeida et al. 1988a, Barrigossi et al. 1988).

O déficit hídrico reduziu a matéria seca acumulada nas raízes (W_r) (Fig. 4). Os valores máximos estimados de W_r foram 11,9; 18,7; 18,7 e 5,5; 6,4; 8,5 g . vaso⁻¹ para plantas turgidas e que sofreram estresse hídrico cíclico, respectivamente, em doses crescentes de N. Esses valores foram atingidos no 65º dia após a emergência em plantas turgidas (Fig. 4A) e no 60º, 65º e 80º dia após a emergência em plantas que sofreram estresse hídrico cíclico (Fig. 4B), mostrando o efeito minimizador do N. Os menores valores de W_r encontrados nas plantas que sofreram déficit hídrico foram devidos, provavelmente, à menor disponibilidade de assimilados, visto que a deficiência hídrica reduz o conteúdo de amido, açúcares e carboidratos totais (Woodhams & Kozłowski 1954, Slavik 1975).

O déficit hídrico reduziu acentuadamente a matéria seca dos legumes (W_l) em todas as doses de N (Fig. 5), em razão da baixa produção

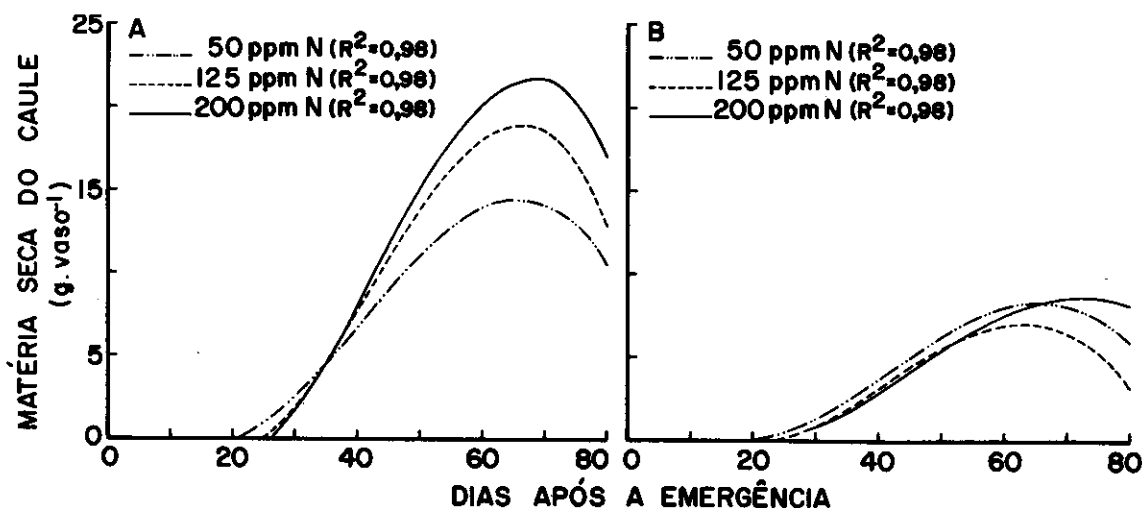


FIG. 3. Matéria seca do caule de feijoeiro submetido a três doses de nitrogênio e dois regimes hídricos (A = capacidade de campo; B = estresse hídrico).

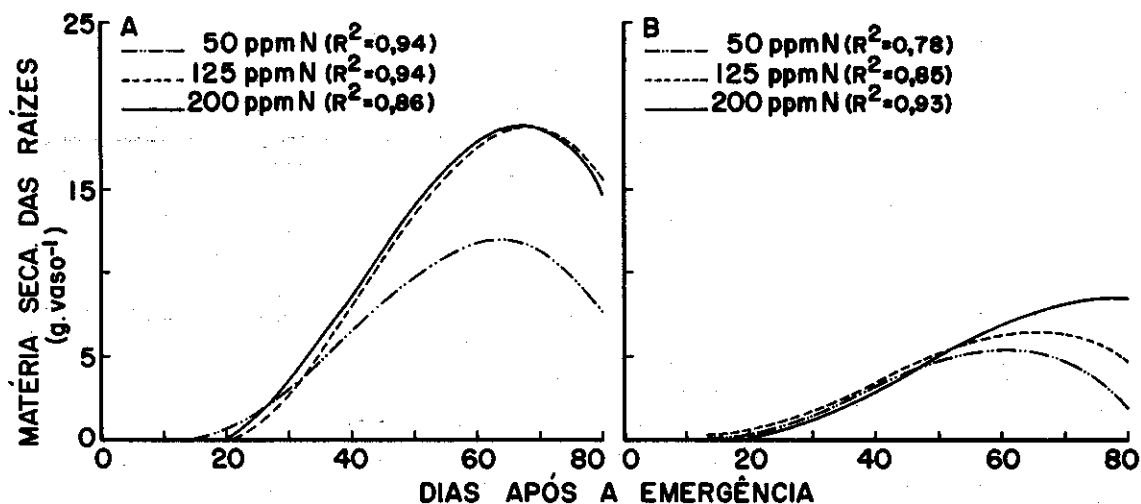


FIG. 4. Matéria seca das raízes de feijoeiro submetido a três doses de nitrogênio e dois regimes hídricos (A = capacidade de campo; B = estresse hídrico).

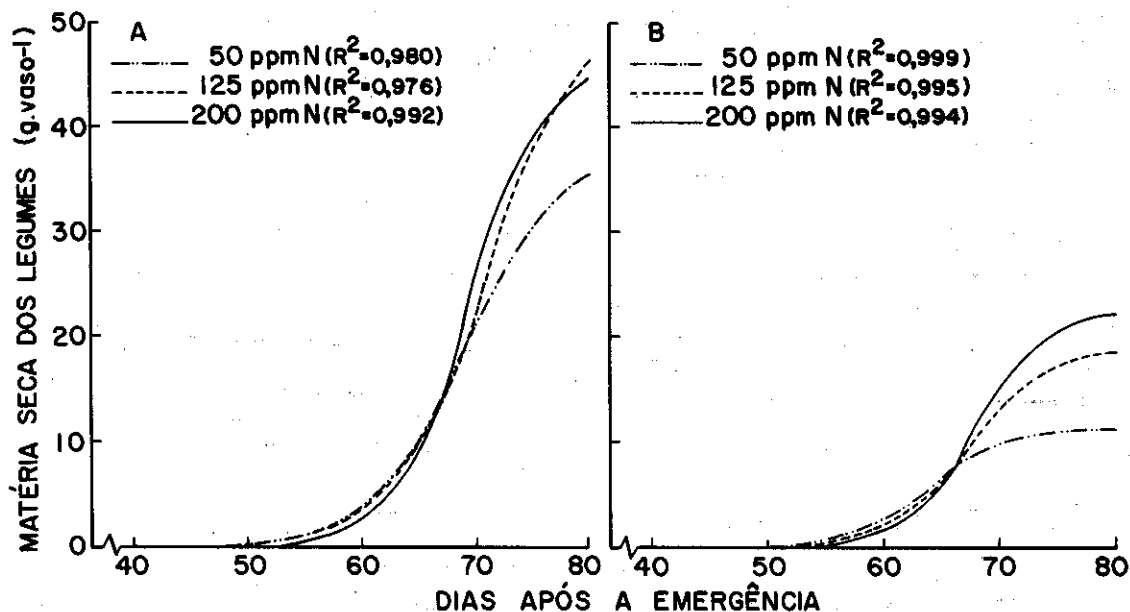


FIG. 5. Matéria seca dos legumes de feijoeiro submetido a três doses de nitrogênio e dois regimes hídricos (A = capacidade de campo; B = estresse hídrico).

de fotoassimilados (Slavik 1975, Turner & Begg 1981). W_1 aumentou até a última colheita, tendendo a um patamar em torno de 80º dia após a emergência, ou seja, na fase de maturação fisiológica das sementes. As plantas que sofreram estresse hídrico (Fig. 5B) apresentaram um aumento de W_1 com o incremento

da dose de N, e as túrgidas (Fig. 5A) mostraram diferenças apenas em relação à menor dose de N. O maior acúmulo de W_1 nas plantas em solo na capacidade de campo e com maiores níveis de N pode estar relacionado com o maior número de folhas (Tabela 1) e maior duração de área foliar (Costa et al. 1989), que

incrementou a força da fonte de assimilados e favoreceu a produção de carboidratos e de legumes (Adams 1971), aumentando, assim, a força de dreno.

O déficit hídrico reduziu o peso da matéria seca dos legumes e de suas partes (Fig. 6). Notou-se uma correlação positiva entre a matéria seca produzida e as doses nitrogenadas em ambos os regimes hídricos. A matéria seca acumulada nos legumes (W_L) e nas sementes (W_S) aumentou até a colheita final em todos os tratamentos, provavelmente porque as plantas estavam ainda vigorosas e essas partes continuaram recebendo assimilados de outros órgãos. A matéria seca acumulada nas sementes (W_S) aumentou acentuadamente, enquanto a matéria seca dos pericarpos (W_P) diminuiu na última colheita, independentemente do regime hídrico e dos níveis de N. Isso indica a rápida

e acentuada translocação de assimilados dos pericarpos e outros órgãos para as sementes. Esse fato é claramente assinalado pelo grande incremento de W_S , a partir de seu aparecimento, em relação aos dos outros órgãos, mostrando serem as sementes, daí por diante, o dreno metabólico preferencial (Lopes et al. 1983, Almeida et al. 1988b, Barrigossi et al. 1988).

CONCLUSÕES

1. O déficit hídrico alterou a morfologia da planta, reduzindo a sua altura, o número de folíolos, a área foliar e os componentes da produção, porém esse efeito foi minimizado, em parte, pelas maiores doses de nitrogênio.

2. A taxa de produção de matéria seca de todos os órgãos do feijoeiro foi aumentada

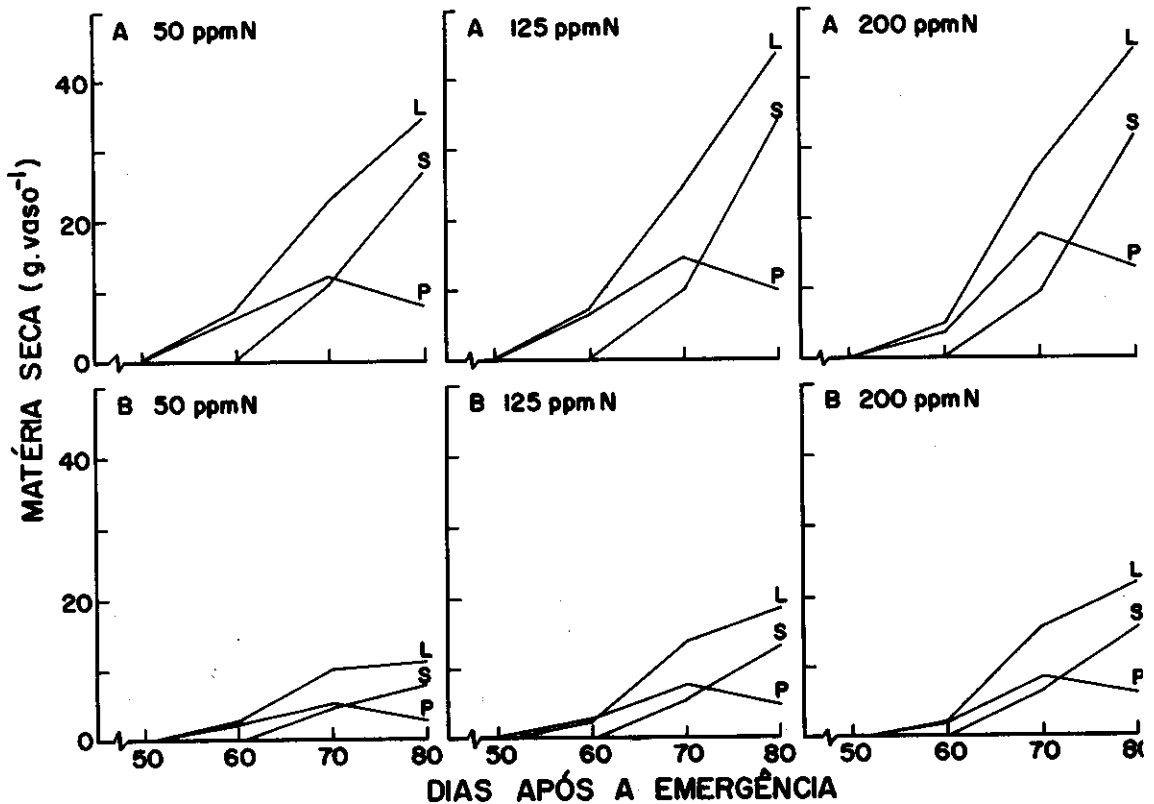


FIG. 6. Matéria seca dos legumes (L), sementes (S) e pericarpo (P) de feijoeiro submetido a três doses de nitrogênio e dois regimes hídricos (A = capacidade de campo; B = estresse hídrico).

com o incremento de nitrogênio e reduzida pelo estresse hídrico. Nas plantas sob déficit hídrico o nitrogênio incrementou o acúmulo de assimilados somente na fase reprodutiva.

3. O regime hídrico teve maior influência na distribuição de assimilados do que os níveis de nitrogênio. Embora, em níveis elevados, esse elemento tende a minimizar o efeito do estresse hídrico.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, W. **Dry bean breeding in the United States**. Campinas: [s.n.], 1971. 14p. Trabalho apresentado no I Simpósio Brasileiro de Feijão.
- ALMEIDA, A.A.F.; LOPES, N.F.; OLIVA, M.A.; BARROS, R.S. Desenvolvimento e partição de assimilados em *Phaseolus vulgaris* submetido a três doses de nitrogênio e três níveis de luz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.23, n.8, p.837-847, 1988a.
- ALMEIDA, A.A.F.; LOPES, N.F.; OLIVA, M.A.; BARROS, R.S. Efeito do nitrogênio e da luz sobre os teores de carboidratos e nitrogênio em *Phaseolus vulgaris*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.23, n.9, p.979-985, 1988b.
- 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. **Soviet Plant Physiology**, v.18, p.591-597, 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. **Soviet Plant Physiology**, v.19, p.213-220, 1972.
- BARRIGOSI, J.A.F.; LOPES, N.F.; CHANDLER, L. Resposta fisiológica do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao forate e suas consequências entomológicas. II. Crescimento, morfologia, partição de assimilados e produção de matéria seca das plantas. **Revista Ceres**, v.35, p.341-354, 1988.
- BASCUR, G.; OLIVA, M.A.; LAING, D. Termometria infrarroja en seleccion de genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) resistentes a se-guia. II. Crecimiento y productividad. **Turrialba**, v.35, p.49-53, 1985.
- BOYER, J.S. Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean and sunflower at various leaf water potentials. **Plant Physiology**, v.46, p.233-235, 1970.
- BOYER, J.S. Water deficit and photosynthesis. In: KOZLOWSKI, T.T. (Ed.). **Water deficits and plant growth**. New York: Academic Press, 1976. v.4, p.153-190.
- BRANDES, D.; MAESTRI, M.; VIEIRA, C.; GOMES, F.R. Efeitos da população de plantas e da época de plantio no crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). II. Análise de crescimento. **Experientiae**, v.15, p.1-21, 1973.
- BRANDES, D.; VIEIRA, C.; MAESTRI, M.; GOMES, F.R. Efeitos da população de plantas e da época do plantio no crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). I. Mudanças morfológicas e produção de matéria seca. **Experientiae**, v.14, p.1-49, 1972.
- BRUNCE, J.A. Leaf elongation in relation to leaf water potential in soybean. **Journal of Experimental Botany**, v.28, p.156-161, 1977.
- COSTA, R.C.L.; LOPES, N.F.; OLIVA, M.A.; BARROS, N.F. Crescimento e conversão de energia solar em *Phaseolus vulgaris* submetido a três doses de nitrogênio e dois regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.24, n.12, p.1439-1450, 1989.
- COSTA, R.C.L.; LOPES, N.F.; OLIVA, M.A.; BARROS, N.F. Efeito da água e do nitrogênio sobre a fotossíntese, respiração e resistência estomática em *Phaseolus vulgaris*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.23, n.12, p.1371-1379, 1988.
- DUBETZ, S. An unusual phototropism induced by drought in *Phaseolus vulgaris*. **Canadian Journal of Botany**, v.47, p.1640-1641, 1969.
- DUBETZ, S.; MAHALLE, P.S. Effect of soil water stress on bush beans (*Phaseolus vulgaris* L.) at three stages of growth. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.94, p.479-481, 1969.
- HESLOP-HARRISON, J. Development, differentiation and yield. In: EASTIN, J.D.; HAS-

- KINS, F.A.; SULLIVAN, C.Y.; VAN BAVEL, C.H.M.; DINAVER, R.C. (Eds.). **Physiological aspects of crop yield**. Madison: American Society of Agronomy, 1970. p.291-321.
- HSIAO, T.C. Plant responses to water stress. **Annual Review Plant Physiology**, v.24, p.519-570, 1973.
- HSIAO, T.C.; ACEVEDO, E. Plant responses to water deficits, water use efficiency and drought resistance. **Agricultural Meteorology**, v.14, p.59-84, 1974.
- HSIAO, T.C.; FERERES, E.; ACEVEDO, E.; HENDERSON, D.W. Water stress and dynamics of growth and yield crop plants. In: LANGE, O.L.; KAPPEN, L.; SCHULZE, E.D. (Eds.). **Water and plant life: problems and modern approaches**. Berlin: Springer-Verlag, 1976. p.281-305.
- JENSEN, C.R. Influence of water and salt stress on water relationships and carbon dioxide exchange of top and roots in beans. **New Phytologist**, v.87, p.285-295, 1981.
- LAWN, R.J. Response of four grain legumes to water stress in South-Eastern Queensland. I. - Physiological response mechanisms. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.33, p.481-496, 1982a.
- LAWN, R.J. Response of four grain legumes to water stress in South-Eastern Queensland. II. Plant growth and soil water extraction patterns. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.33, p.497-509, 1982b.
- LAWN, R.J. Response of four grain legumes to water stress in South-Eastern Queensland. III. Dry matter production, yield and water use efficiency. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.33, p.511-521, 1982c.
- LOPES, N.F.; OLIVA, M.A.; CARDOSO, M.; GOMES, M.M.S.; SOUZA, V.F. Crescimento e conversão da energia solar em *Phaseolus vulgaris* L. submetidos a três densidades do fluxo radiante e dois regimes hídricos. **Revista Ceres**, v.33, p.142-164, 1986.
- MARKHART, A.H. Comparative water relations of *Phaseolus vulgaris* L. and *Phaseolus acutifolius* Gray. **Plant Physiology**, v.77, p.113-117, 1985.
- MILLAR, R.A.; GARDNER, W.R. Effect of soil and plant water potentials of the dry matter production of snap beans. **Agronomy Journal**, v.64, p.559-561, 1972.
- NÁTR, L. Influence of mineral nutrition on photosynthesis and the use of assimilates. In: COOPER, J.P. (Ed.). **Photosynthesis and Productivity in Different Environments**. London: Cambridge University Press, 1975. p.537-555.
- ODA, Y.; KAWATA, K. Effect of carbon dioxide concentrations on dry matter accumulation in bean leaves measured by an improved half-leaf method. **Bulletin of University of Osaka Prefecture, Series E**, v.22, p.39-47, 1970.
- O'TOOLE, J.C.; OZBUN, J.L.; WALLACE, D.H. Photosynthetic response to water stress in *Phaseolus vulgaris* L. **Physiologia Plantarum**, v.40, p.111-114, 1977.
- PATRICK, J.W. Hormonal control of assimilate transport. In: WAREING P.G. (Ed.). **Plant Growth Substances**. London: Academic Press, 1982. p.669-678.
- RADFORD, P.J. Growth analysis formulae, Their use and abuse. **Crop Science**, v.7, p.171-175, 1967.
- RICHARDS, F.J. The quantitative analysis of growth. In: STEWARD, F.C. (Ed.). **Plant Physiology: a treatise**. New York: Academic Press, 1969. p.3-76.
- RITCHIE, J.T. Water dynamics in the soil-plant-atmosphere system. **Plant and Soil**, v.58, p.81-96, 1981.
- RYLE, G.J.A.; HESKETH, J.D. Carbon dioxide uptake in nitrogen-deficient plants. **Crop Science**, v.9, p.451-454, 1969.
- SLATYER, R.O. **Plant-water relationships**. New York: Academic Press, 1967. 366p.
- SLAVIK, B. Water stress, photosynthesis and the use of photosynthates. In: COOPER, J.P. (Ed.). **Photosynthesis and Productivity in**

- Different Environments.** London: Cambridge University Press, 1975. p.511-536.
- STANSEL, J.R.; SMITTLE, D.A. Effects of irrigation regimes on yield and water use of snap beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.105, p.869-873, 1980.
- TURNER, N.C.; BEGG, J.E. Plant-water relations and adaptation to stress. **Plant and Soil**, v.56, p.97-131, 1981.
- TYREE, M.T.; JARVIS, P.G. Water in tissues and cells. In: LANGE, O.L.; NOBEL, P.S.; OSMOND, C.B.; ZIEGLER, H. (Eds.). **Physiological Plant Ecology**. II. Encyclopedia of Plant Physiology New Series. Berlin: Springer-Verlag, 1982. v.128, p.36-71.
- WALLACE, D.H.; MUNGER, H.M. Studies of the physiological basis for yield differences. II. Variations in dry matter distribution among aerial organs for several dry bean varieties. **Crop Science**, v.6, p.503-507, 1966.
- WOODHAMS, D.H.; KOZLOWSKI, T.T. Effects of soil moisture stress on carbohydrate development and growth in plants. **American Journal of Botany**, v.41, p.316-318, 1954.