

EFEITO DA DENSIDADE DO FLUXO RADIANTE SOBRE A NODULAÇÃO DA SOJA¹

ELENA MELGES², NEI F. LOPES³, MARCO A. OLIVA⁴ e MARIA M. SOUZA GOMES⁵

RESUMO - Estudou-se, em condições de campo, o efeito do nível da radiação solar incidente (30%, 50%, 70% e 100%) na nodulação da soja (*Glycine max* (L.) Merrill cv. 'UFV-2'. O sombreamento reduziu o número médio, a matéria seca e a taxa de crescimento dos nódulos, e acelerou a senescência nodular. O número, a matéria seca e a taxa de crescimento dos nódulos declinaram rapidamente no período de enchimento das vagens, mostrando haver uma competição por assimilados entre as sementes e os nódulos. O conteúdo de nitrogênio foi positivamente relacionado com a densidade do fluxo da radiação solar.

Termos para indexação: *Glycine max*, radiação solar, teor de nitrogênio.

THE EFFECT OF RADIANT FLUX DENSITY ON SOYBEAN NODULATION

ABSTRACT - The effect of light flux density (30%, 50%, 70% and 100% of sunlight) on soybean (*Glycine max* (L.) Merrill cv. UFV-2) nodulation was studied under field conditions. Shade reduced the number, dry weight, growth rate of nodules, and also accelerated their senescence. Nodule number, dry weight and growth rate decayed quickly during pod filling, evidencing a competition for assimilate between seeds and nodules. Nitrogen content was shown to be related to light flux density.

Index terms: *Glycine max*, solar radiation, nitrogen content.

INTRODUÇÃO

Os nódulos das raízes da soja são repletos de bactérias simbióticas (*Bradyrhizobium japonicum*), as quais fertilizam com N a planta e, em contrapartida, recebem carbono e energia da planta hospedeira.

Vários experimentos com soja (Rocha et al. 1970, Wahua & Miller 1978, Trang & Giddens 1980) evidenciam uma relação direta entre a densidade do fluxo de luz e a fixação do dinitrogênio (N₂), embora haja uma densidade máxima do fluxo de luz além da qual a simbiose é prejudicada (Orcutt & Fred 1935). A interferência da densidade da radiação solar no processo de fixação do N₂ deve ser indireta, por meio da intensidade da fotossíntese, que abastece os nódulos de fotoassimilados indispensáveis para fixação do N molecular (Bach et al. 1958, Sampaio & Döbereiner 1968, Rocha et al. 1970). Assim, a disponibilidade de açúcares é o principal fator limitante da nodulação (Hardy & Havelka 1976).

Em condições de campo, há outros fatores, não diretamente relacionados com a disponibilidade de fotoassimilados, tais como especificidade dos dois simbiontes, estado hídrico, grau de aeração e teor de nutrientes do solo, que influenciam, em maior ou menor grau, a fixação do N₂ (Vicent 1965, Gibson 1977).

O presente trabalho teve por finalidade verificar a influência da redução da densidade da radiação solar na nodulação da soja em um sistema agrônomico de plantio.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em condições de campo, entre 28.11.81 e 22.4.82, em solo de textura argilosa e fertilidade média, classificado como Podzólico Vermelho-Amarelo câmbico fase terraço, no município de Viçosa, MG. O clima é classificado como Cwa, sendo que os dados de radiação solar, precipitação pluvial, temperatura e umidade relativa do ar foram apresentados previamente (Melges et al. 1989a), estando situados dentro das normais da região.

A área demarcada para realização do experimento foram incorporados 200 kg e calcário dolomítico/ha. Após o preparo do solo, a área foi sulcada, recebendo, nos sulcos, uma adubação básica, correspondente a 20 kg/ha de N, 100 kg/ha de P₂O₅ e 60 kg/ha de K₂O, na forma de sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente. A seguir, foi feita a semeadura da cultivar UFV-2, inoculada com cultura comercial de *Bradyrhizobium japonicum* (marca Nitrogen, Laboratório Leivas Leite S.A.).

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas, com três repetições. Cada parcela representava uma época de coleta do material, sendo efetua-

¹ Aceito para publicação em 15 de junho de 1988.

Parte da tese apresentada para obtenção do Grau de Mestre em Fisiologia Vegetal à UFV pela autora.

² Bióloga, M.Sc., Profa. - Assist., Dep. de Biol., UEM, CEP 87020 Maringá, PR.

³ Eng. - Agr., Ph.D., Prof. - Adj., Dep. de Biol. Veg., UFV, CEP 36570 Viçosa, MG.

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

⁵ Bióloga, M.Sc., Bolsista da SIF, Dep. de Biol. Veg., UFV.

da a intervalos regulares de catorze dias durante todo o ciclo da cultura, e era formada de quatro subparcelas, correspondentes a quatro níveis de radiação solar (30%, 50%, 70% e 100%). O sombreamento artificial foi obtido com telas de plástico pretas, que propiciaram 30%, 50% e 70% de redução da radiação solar incidente, alterando a qualidade da luz e diminuindo a temperatura da copa sem modificar a temperatura e a umidade relativa do ar sob as telas (Melges et al. 1989a).

Os nódulos foram retirados de raízes de dez plantas por subparcela, lavados sobre peneira, contados e levados a uma estufa de ventilação forçada, à temperatura de 75°C, determinando-se a matéria seca dos nódulos.

O N-total foi determinado, em várias etapas do desenvolvimento da soja, por meio da reação do íon amônio com fenol alcalino (Cataldo et al. 1974), após digestão sulfossilicídica (McClure & Israel 1979) de amostra da matéria seca de raiz, caule, folha, pericarpos e sementes.

Foram efetuadas análises de variância do número e da matéria seca dos nódulos, bem como do conteúdo (mg de N/planta) e do teor de N (mg/g de MS), e de regressão curvilínea das médias do peso dos nódulos secos e do conteúdo e teor de N em cada coleta, 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). Para obtenção da taxa de produção de matéria seca dos nódulos (C_N) e da taxa de acúmulo de N, empregou-se a derivada da equação ajustada à matéria seca dos nódulos (W_N) e ao conteúdo de N-total, em relação ao tempo. (Radford 1967, Richards 1969).

Empregou-se a escala de Fehr & Caviness (1977) para assinalar os estádios de crescimento e desenvolvimento da soja.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O número médio de nódulos por planta aumentou em proporção direta ao aumento da radiação solar, a partir do 70º dia após a emergência (Tabela 1). Embora a maioria dos relatos (Wahua & Miller 1978, Trang & Giddens 1980) indique redução do número de nódulos por planta em soja submetida a sombreamento artificial, Rocha et al. (1970), trabalhando com soja, em casa de vegetação, observaram aumento do número de nódulos em plantas que cresciam sob 27% da luz total. Esse aumento, segundo os autores, foi resultado da deficiência de carboidratos apresentada pelas plantas, o que, aparentemente, favoreceu a proliferação da bactéria nas raízes. O decréscimo da disponibilidade de carboidratos nas plantas cultivadas sob reduzidos níveis de radiação, neste experimento, não favoreceu a associação *Bradyrhizobium* - raiz.

A longevidade de um nódulo não está bem definida, mas parece que seu desenvolvimento começa seis dias após o plantio (Vest et al. 1973) e, dependendo das condições de crescimento, a fixação do N_2 , em condições de campo, pode ser detectada três ou

quatro semanas depois do plantio, estendendo-se até perto da maturidade da planta (Weber et al. 1971). Esse período, provavelmente, não é o período de atividade de um simples nódulo, mas, sim, de uma série de nódulos (Vest et al. 1973). Neste experimento, a ocorrência de nódulos aparentemente sem atividade, apresentando cor e consistência fora dos padrões normais, com início de deterioração no período de máxima nodulação, e a senescência total dos nódulos próximo à maturidade das plantas confirmam esses relatos.

O número de nódulos apresentou valores máximos sob todos os níveis de radiação, aos 84 dias após a emergência. Após esse período, a diminuição do número de nódulos foi mais drástica nos tratamentos sombreados, o que demonstra que a redução da radiação solar incidente acelerou a senescência nodular, fato também observado por Wahua & Miller (1978). O reduzido número de nódulos parece também depender do número de raízes, visto que com sombreamento ocorreu menor produção de raízes (Melges et al. 1989c). Resultados semelhantes foram relatados por Trang & Giddens (1980).

A matéria seca acumulada nos nódulos (W_N), por planta e por área de terreno, encontra-se na Tabela 1 e na Fig. 1. Verificou-se redução do peso da matéria seca dos nódulos das plantas cultivadas sob sombreamento. Essa redução deveu-se principalmente à diminuição no número de nódulos e à senescência nodular acelerada.

A interferência da radiação solar no processo de fixação do N_2 deve ser indireta, através da intensidade fotossintética, que, por sua vez, fornece material energético necessário à fixação do N molecular (Bach et al. 1958, Sampaio & Döbereiner 1968, Rocha et al. 1970). Assim, a disponibilidade de carboidratos é o principal fator limitante da nodulação (Hardy & Havelka 1976). Portanto, a redução de W_N e do número de nódulos de plantas sob sombreamento devem ser encarados como resultado das menores taxas assimilatórias líquidas (Melges et al. 1989b) apresentadas por essas plantas, o que resultou em menor suprimento de fotoassimilados, tanto para o crescimento das plantas como para a formação de nódulos.

A evolução de W_N , sob todos os níveis de radiação, apresentou três fases (Fig. 1): a primeira, anterior à floração, quando o aumento foi lento; a segunda, após a floração, quando o incremento foi rápido, alcançando um pico no início do período de formação de vagens; e a terceira, quando W_N declinou rapidamente a partir do início do período de enchi-

mento das vagens. Tendência semelhante foi observada por Neves et al. (1985), em condições de campo, com a cultivar Santa Rosa. Os valores máximos de W_n foram alcançados aos 94, 88, 87 e 83 dias

TABELA 1. Número médio de nódulos e matéria seca acumulada nos nódulos, sob os quatro níveis de radiação solar.

Nível de radiação solar (%)	Coleta (dias após a emergência)	Número médio de nódulos		Matéria seca acumulada nos nódulos	
		por planta	por m ²	mg/planta	g.m ⁻²
100	14	8,7	333,0	25,5	0,98
	28	28,8	1062,5	33,2	1,21
	42	39,6	1402,9	75,3	2,65
	56	73,4	2528,5	152,9	5,25
	70	87,3	2961,8	150,7	6,11
	84	203,1	6888,9	385,1	13,11
	98	143,2	4912,7	253,2	8,70
	112	92,3	3306,6	191,1	6,80
	126	32,0	1069,7	105,3	3,26
70	14	7,2	269,1	20,4	0,73
	28	30,1	1007,8	29,3	0,98
	42	40,8	1503,8	112,7	4,19
	56	70,2	2285,7	127,9	4,13
	70	62,1	2237,0	134,4	4,76
	84	160,0	5729,7	313,6	11,16
	98	94,6	4434,3	159,5	5,76
	112	43,7	1056,5	138,4	4,62
	126	18,8	695,1	42,0	1,56
50	14	5,4	184,6	16,6	0,57
	28	25,3	913,5	23,6	0,85
	42	35,6	1347,0	60,9	2,29
	56	67,6	2559,3	99,1	3,80
	70	79,0	2965,4	129,2	4,82
	84	105,2	3445,3	198,5	6,52
	98	72,4	2574,0	128,5	4,56
	112	38,1	1397,3	90,3	3,29
	126	6,6	242,8	10,4	0,4
30	14	4,2	142,8	10,2	0,36
	28	22,3	830,5	15,7	0,58
	42	26,1	903,9	39,6	1,37
	56	42,5	1429,6	96,8	3,21
	70	55,8	1896,4	105,7	3,61
	84	97,6	3268,5	171,4	5,75
	98	49,0	1834,4	79,9	2,93
	112	17,6	567,4	36,7	1,24
	126	5,1	186,9	1,2	0,04
C.V. (coletas)		44,17	42,04	67,72	61,88
S (coletas)		24,43	864,93	70,80	2,25
F (coletas)		++	++	++	++
C.V. (nível de radiação)		19,76	22,24	26,25	59,32
S (nível de radiação)		11,08	435,84	27,45	2,76
F (nível de radiação)		++	++	++	++

++ Significativo ao nível de 1%.

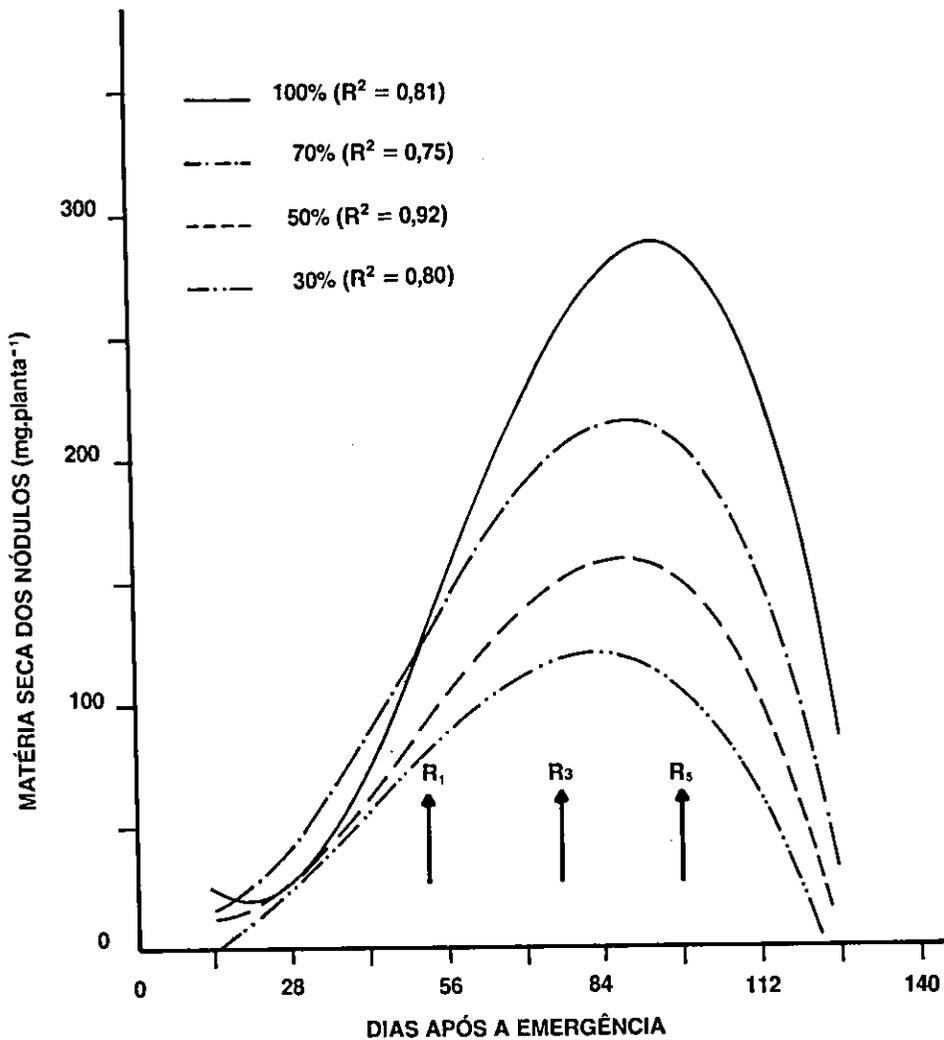


FIG. 1. Matéria seca acumulada nos nódulos de plantas cultivadas sob quatro níveis de radiação solar, sendo R_1 o início da floração, R_3 o início da formação da vagem e R_5 o início da formação da semente.

após a emergência, em ordem decrescente do nível de luz. A partir dessas datas, as taxas de crescimento dos nódulos (Fig. 2) tornaram-se negativas, o que indica que a senescência sobrepujou o crescimento. É possível que a taxa máxima de fixação do N_2 , neste experimento, tenha sido alcançada nesse mesmo período, confirmando observações de Wahua & Miller (1978). Esses autores relatam, ainda, que a atividade nodular manteve-se muito baixa e não foi influenciada pelo estágio de crescimento nos níveis de 63%,

80% e 93% de redução da radiação solar. Altas taxas de fixação, assim como elevado número e peso dos nódulos, tiveram duração limitada, e parece provável que a senescência nodular tenha sido a causa desse fato (Peat et al. 1981).

As taxas de acúmulo de matéria seca dos nódulos (C_N) foram tanto mais elevadas quanto maior a densidade da radiação solar (Fig. 2). A tendência foi de as plantas sombreadas anteciparem suas taxas máximas. Os valores máximos de C_N foram de 5,45, 3,85,

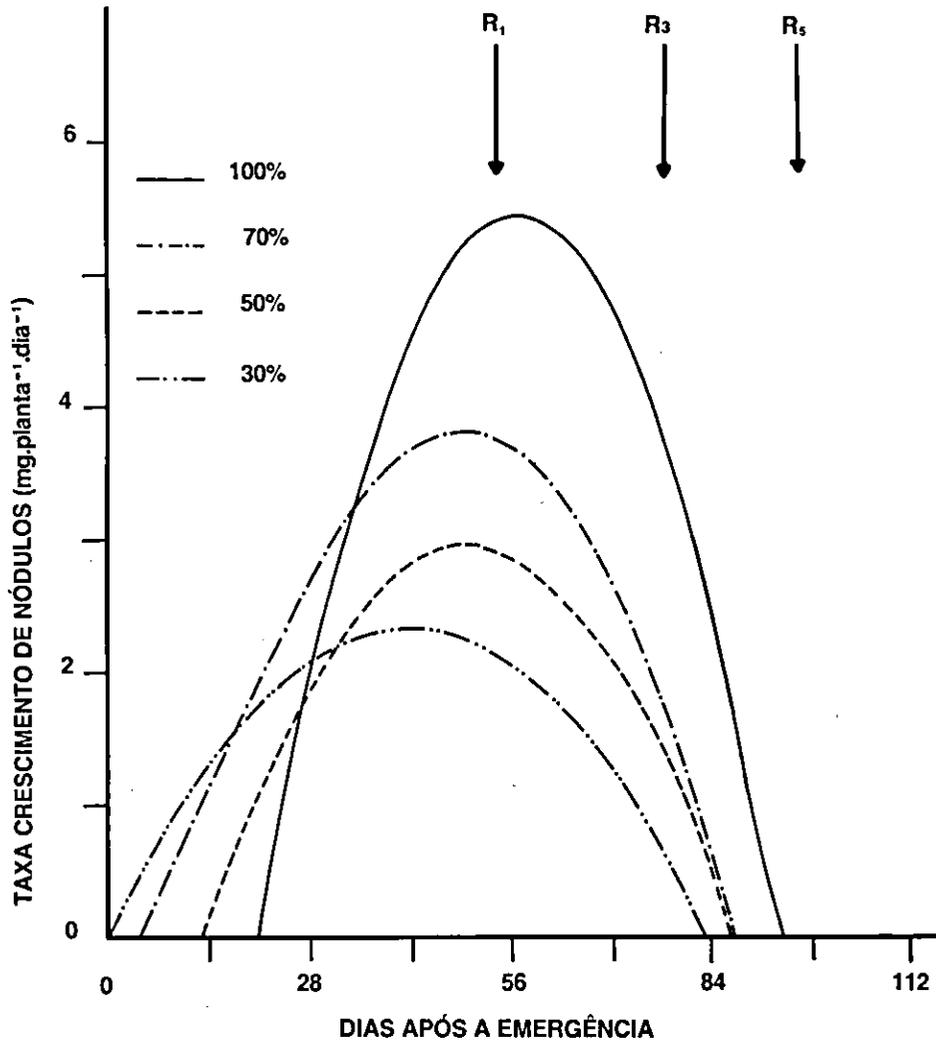


FIG. 2. Taxa de produção de matéria seca dos nódulos de plantas cultivadas sob quatro níveis de radiação solar, sendo R₁ o início da floração R₃ o início da formação da vagem e R₅ o início da formação da semente.

2,96 e 2,35 mg.planta⁻¹.dia⁻¹, em ordem decrescente do nível da radiação, atingidos aos 57, 49, 50 e 42 dias após a emergência.

O conteúdo de N-total apresentou tendência sigmoidal, com três fases distintas, independentemente do nível da luz (Fig. 3): uma fase inicial, estacionária, da emergência (VE) até 42 dias após a emergência, estágio V5 (final da fase vegetativa); uma intermediária, fase de acúmulo acelerado de N-total, dos 42 aos 98 dias após a emergência, estádios R₁ a R₅ (in-

cio da floração até início da formação da semente), sendo que a inflexão das curvas ocorreu entre os estádios R₂ (floração plena) e R₃ (início da formação de vagem); e uma final, lenta, onde ocorreu uma desaceleração no acúmulo de N-total, com tendência a um patamar entre os estádios R₅ e R₆ (semente completamente desenvolvida). Observa-se, ainda, que o conteúdo de N foi maior quanto maior a densidade da radiação solar incidente. O conteúdo de N das plantas cultivadas a plena luz foi somente sobrepuja-

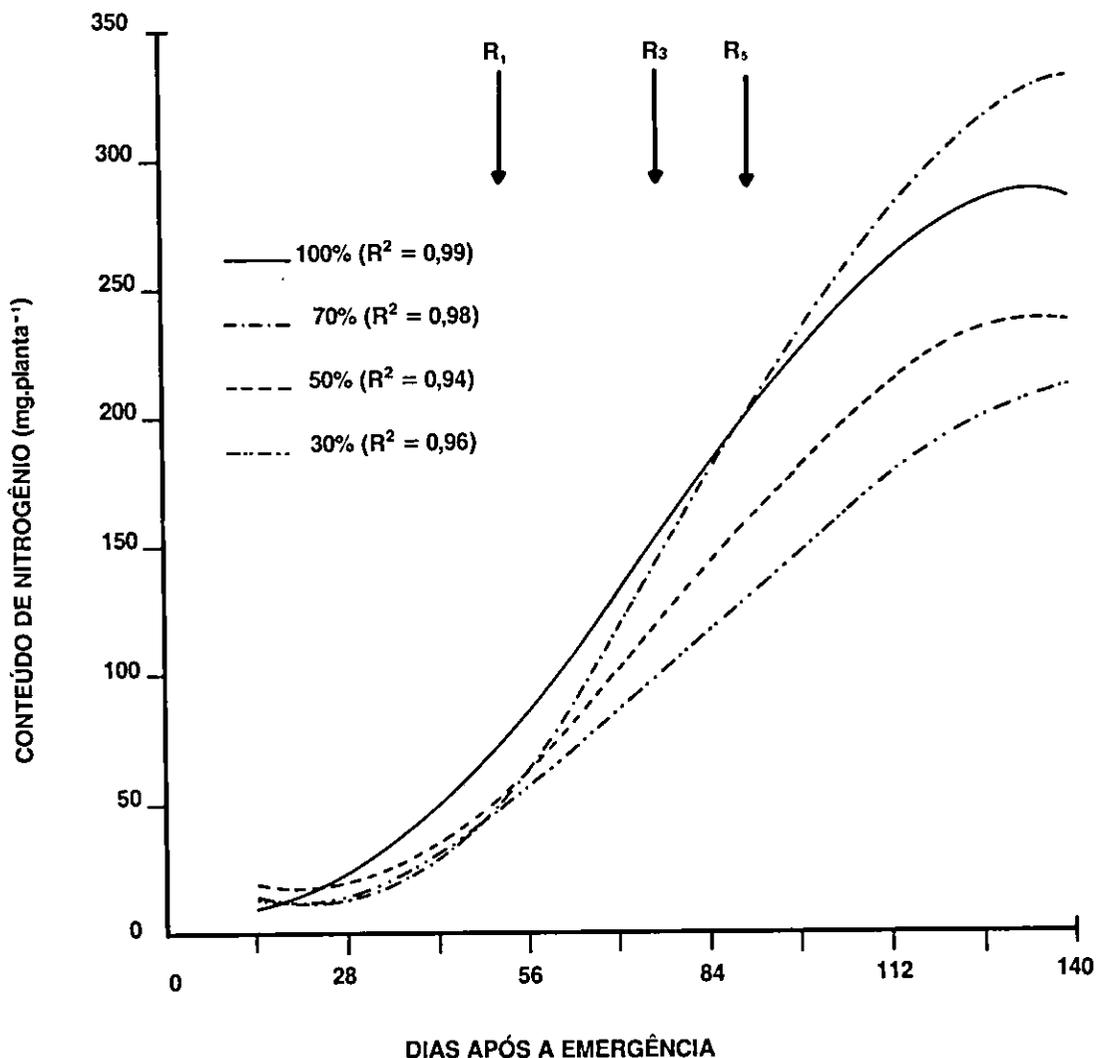


FIG. 3. Conteúdo de nitrogênio em plantas de soja cultivadas sob quatro níveis de radiação solar, sendo R_1 o início da floração, R_3 o início da formação da vagem e R_5 o início da formação da semente.

do pelo das crescidas sob 70% da luz, no final do ciclo reprodutivo, possivelmente devido à redução do ciclo de vida das plantas a plena luz.

Por outro lado, quando o N é expresso em relação à matéria seca da planta, tem-se outra tendência (Fig. 4). Assim, o teor de N inicialmente foi mais elevado, provavelmente em virtude da mobilização do N-protéico cotiledonar aliado à adubação nitrogenada de "arranque", decrescendo durante a fase vegetativa até o início da floração (R_1 e R_2), aumentando de forma acelerada a partir do início da

formação de vagens (R_3), até a maturação plena (R_5). Entre os estádios R_3 a R_5 há um incremento na demanda de N, ocorrendo uma grande mobilização de N de todos os órgãos para as vagens, de modo a suportar o alto teor protéico das sementes de soja. Na Fig. 4, observa-se, também, que, quanto menor o nível de luz, maior o teor de N, demonstrando que as plantas com menor produção de assimilados proporcionalmente apresentam maior teor de N, possivelmente devido ao menor investimento em parede celular e a substância de reserva, como, p. ex., amido.

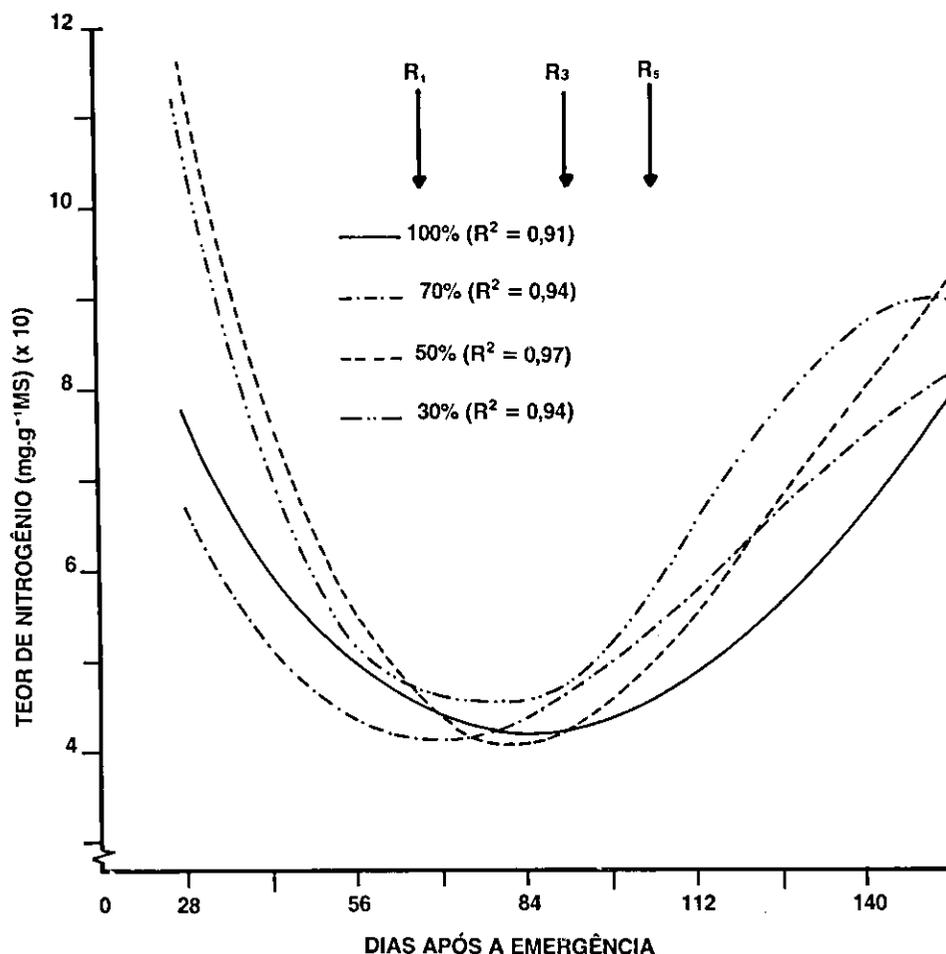


FIG. 4. Teor de nitrogênio em plantas de soja cultivadas sob quatro níveis de radiação solar, sendo R_1 o início da floração, R_3 o início da formação da vagem e R_5 o início da formação da semente.

A taxa de acúmulo de N-total, expressa em mg de N.planta⁻¹.dia⁻¹ (Fig. 5), apresentou tendência quadrática para todos os níveis de luz. Houve incremento na taxa de acúmulo de N com aumento na densidade do fluxo radiante incidente, com exceção para a taxa de acúmulo de N das plantas crescidas a 70% de luz, que sobrepujou a taxa das plantas a plena luz, a partir da floração plena (R_2). Independentemente do nível de luz, a taxa de acúmulo de N aumentou do estágio V_2 (folha trifoliada completamente desenvolvida) até os estádios R_3 e R_4 (vagem completamente desenvolvida), decrescendo rápida e acentuadamente, do estágio R_5 a R_6 .

A taxa máxima de acúmulo de N (Fig. 5) foi atingida em torno do 84º dia, após a emergência, estágio

R_4 (vagem completamente desenvolvida), coincidente com o número e a matéria seca máximos dos nódulos (Tabela 1). A partir desse estágio, esses parâmetros decresceram drasticamente até R_6 (maturação plena), independentemente da densidade do fluxo radiante. Pode ser inferido, assim, que a taxa de acúmulo de N decresceu quando a taxa de senescência nodular sobrepujou a taxa de formação de novos nódulos.

A possibilidade de ser o estímulo para a floração também um estímulo para o aumento da fixação do dinitrogênio (N_2) foi descartada por Peat et al. (1981). Algum fator associado com estruturas reprodutivas, principalmente com botões florais, poderia ocasionar o aumento da fixação do N_2 no início

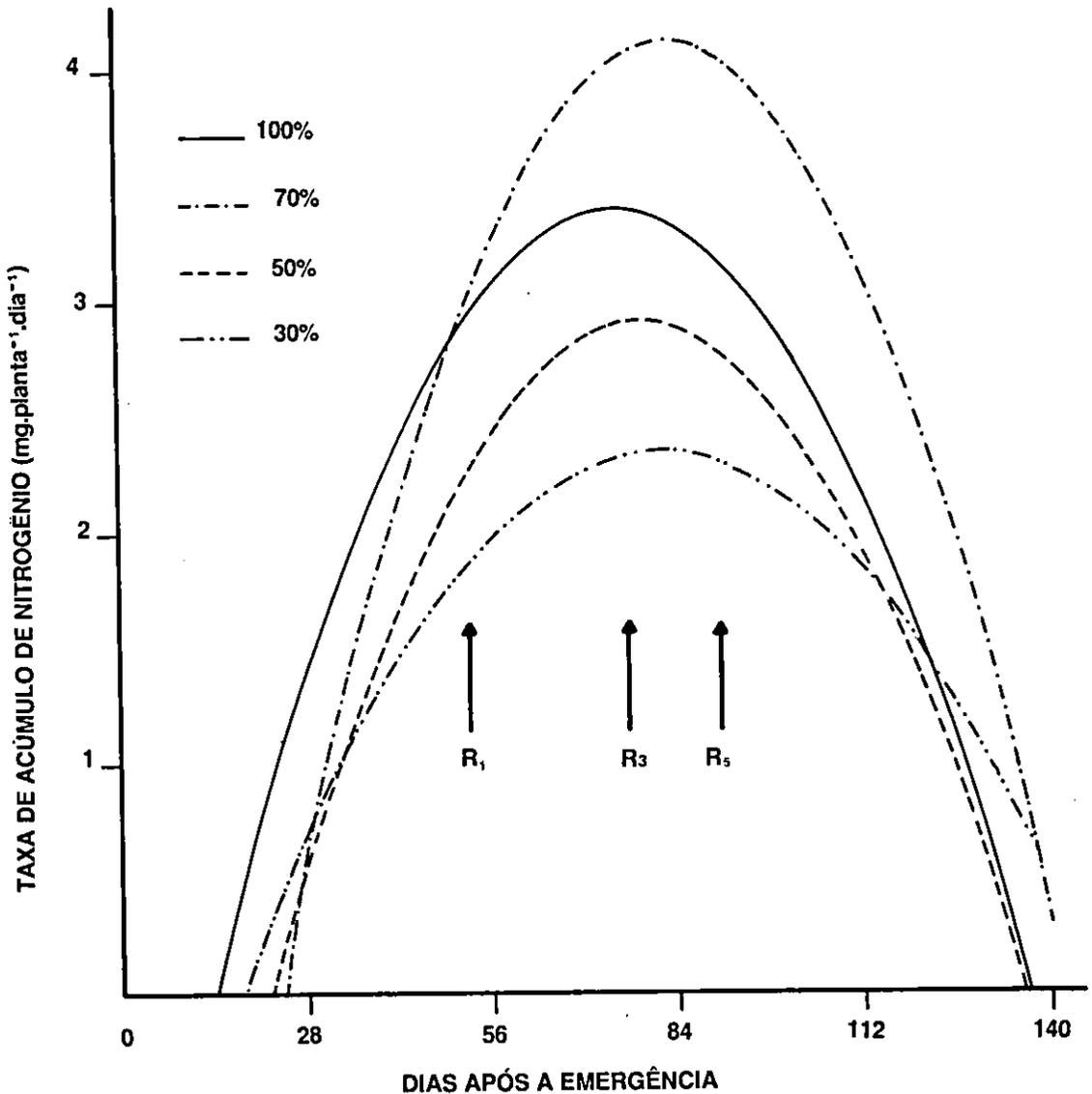


FIG. 5. Taxa de acúmulo de nitrogênio em plantas de soja cultivadas sob quatro níveis de radiação solar, sendo R₁, o início da floração, R₃ o início da formação da vagem e R₅ o início da formação da semente.

do período reprodutivo (Peat et al. 1981), com a possibilidade de envolvimento de hormônios nesse processo (Bethlenfalvay et al. 1978). Portanto, o significativo aumento da nodulação após a floração, deveu-se, talvez, à presença de estruturas reprodutivas jovens. Os valores máximos da área foliar e da matéria seca das raízes alcançados em torno do 84^o

dia após a emergência devem, igualmente, ter contribuído para o pico máximo da nodulação observado nessa data, sob todos os níveis de radiação. Durante o estágio vegetativo, os nódulos da raiz primária são os principais responsáveis pela fixação do N₂, atividade que declina durante o início do desenvolvimento reprodutivo, provavelmente como resultado

da senescência natural dos nódulos (Sloger et al. 1975).

No período de enchimento das vagens, W_N e o número de nódulos declinaram rapidamente, possivelmente em consequência do decréscimo da eficiência nodular e da senescência natural dos nódulos. O declínio da fixação do N_2 é atribuído à competição por assimilados entre os nódulos e as estruturas reprodutivas (Lawn & Brun 1974, Ham et al. 1976). Por outro lado, alguns trabalhos, em que plantas de soja foram mantidas no estágio vegetativo (Peat et al. 1981), ou usadas plantas estéreis (Riggle et al. 1984, Israel et al. 1985), mostraram que esses tratamentos não prolongaram a atividade da nitrogenase. Portanto, se o declínio da atividade específica dos nódulos, durante o período de enchimento das vagens, é ou não resultado da competição por carboidratos entre vagens e nódulos, permanece, ainda, de forma conjectural (Riggle et al. 1984). Essa competição parece ser mais severa em cultivares de hábito de crescimento indeterminado que em cultivares de hábito de crescimento determinado (Israel 1981). Em contraste a essa idéia, Hardy et al. (1968) e Duke et al. (1978), trabalhando com as variedades Wyne e Wells, respectivamente, mostraram que estas cultivares de hábito de crescimento indeterminado apresentaram uma fase mais prolongada de fixação de N_2 . O aumento de atividade da redução do C_2H_4 acompanhando a floração reflete o aumento do requerimento de N_2 para a formação e enchimento das vagens (Hardy et al. 1968).

É digno de nota que o número e a matéria seca dos nódulos foram drasticamente reduzidos na fase reprodutiva, justamente no período em que a fixação do N_2 molecular é mais necessária. No entanto, Sloger et al. (1975) e Peat et al. (1981) observaram aumento de W_N nas raízes laterais de soja, coincidente com o rápido crescimento das sementes, quando se espera grande competição por assimilados entre os nódulos e os órgãos reprodutivos. Isso sugere a necessidade de uma segunda população de nódulos, para proporcionar a maior parte do N necessário para o desenvolvimento das sementes (Sloger et al. 1975). Essas observações confirmam os relatos de Caldwell & Weber (1970), que observaram muitos nódulos deteriorados na raiz principal, mas não nas raízes laterais da soja, amostradas dez semanas após o plantio.

Embora a importância da fixação do N_2 para o crescimento das plantas, neste experimento, tenha sido de análise difícil, pois não foi o único fator que variou durante o ciclo da soja, a reduzida nodulação

contribuiu, talvez, também para a redução da fotossíntese e do crescimento das plantas sombreadas. Para Bethlenfalvay & Phillips (1977), a maior fotossíntese líquida e o maior crescimento de leguminosas resultariam do aumento das taxas de fixação do N_2 , complementando as evidências da dependência da fixação do N_2 sobre os fotoassimilados.

CONCLUSÕES

1. O sombreamento reduziu o número médio e o peso da matéria seca dos nódulos, a partir dos 70 e 84 dias após a emergência, respectivamente.
2. A redução da densidade do fluxo radiante levou a uma aceleração na senescência dos nódulos.
3. O número e a matéria seca dos nódulos declinaram rapidamente na fase de enchimento das vagens.
4. O conteúdo de N aumentou com o incremento da densidade do fluxo radiante.
5. Independentemente do nível de luz, a taxa de acúmulo de N aumentou do estágio V_2 (folha trifoliolada completamente desenvolvida) até os estádios R_3 e R_4 (início da formação da vagem e vagem completamente desenvolvida), decrescendo rápida e acentuadamente do estágio R_5 (início de formação da semente) até R_8 (maturação plena).

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) pelo suporte financeiro a este trabalho.

REFERÊNCIAS

- BACH, M.K.; MAGEE, W.E.; BURRIS, R.H. Translocation of photosynthetic products to soybean nodules and their role in nitrogen fixation. *Plant Physiol.*, **33**:118-24, 1958.
- BETHLENFALVAY, G.L.; ABU-SHAKRA, S.S.; FISHBECK, K.; PHILLIPS, D.A. The effect of source-sink manipulations on nitrogen fixation in peas. *Physiol. Plant.*, **43**: 31-4, 1978.
- BETHLENFALVAY, G.L. & PHILLIPS, D.A. Effect of light intensity on efficiency of carbon dioxide and nitrogen reduction in *Pisum sativum* L. *Plant Physiol.*, **60**:868-71, 1977.
- CALDWELL, B.E. & WEBER, D.F. Distribution of *Rhizobium japonicum* serogroups in soybean nodules as affected by planting dates. *Agron. J.*, **62**:12-4, 1970.
- CATALDO, D.A.; SHRADER, L.E.; YOUNGS, V.L. Analysis by digestion and colorimetric assay of total

- nitrogen in plant tissues high in nitrate. **Crop. Sci.**, 14:854-6, 1974.
- DUKE, S.H.; SCHRADER, L.E.; HENSON, C.A.; SERVAITES, J.C.; VOGELZANG, R.D.; PENDLETON, J.W. Low root temperature effects on soybean nitrogen metabolism and photosynthesis. **Plant Physiol.**, 63:956-62, 1979.
- FEHR, W.R. & CAVINESS, C.E. **Stage of soybean development**. Ames, Iowa, Co-operative Extension Service. Iowa State University, 1977. 11p. (Special Report, 80)
- GIBSON, A.H. The influence of environmental and managerial practices on the legume - *Rhizobium symbiosis*. In: HARDY, R.W.F. & GIBSON, A.H. eds. **A treatise on dinitrogen fixation**. New York, John Wiley & Sons, 1977. p.393-450.
- HAM, G.E.; LAWN, R.J.; BRUN, W.A. Influence of inoculation, nitrogen fertilizers and photosynthetic source-sink manipulations on field-grown soybeans. In: NUTMAN, P.S. ed. **Symbiotic nitrogen fixation in plants**. London, Cambridge University Press, 1976. p.239-53.
- HARDY, R.W.F. & HAVELKA, U.D. Photosynthate as a major factor limiting nitrogen fixation by field-grown legumes with emphasis on soybeans. In: NUTMAN, P.S. ed. **Symbiotic nitrogen fixation in plants**. London, Cambridge University Press, 1976. p.421-39.
- HARDY, R.W.F.; HOLSTEN, R.D.; JACKSON, E.K.; BURNS, R.C. The acetylene-ethylene assay for N₂ fixation: laboratory and field evaluation. **Plant Physiol.**, 43:1185-207, 1968.
- ISRAEL, D.W. Cultivar and *Rhizobium* strain effects on nitrogen fixation and remobilization by soybeans. **Agron. J.**, 73:509-16, 1981.
- ISRAEL, D.W.; BURTON, J.W.; WILSON, R.F. Studies on genetic male-sterile soybeans. **Plant Physiol.**, 78:762-7, 1985.
- LAWN, R.J. & BRUN, W.A. Symbiotic nitrogen fixation in soybean. I. Effect of photosynthetic source-sink manipulations. **Crop Sci.**, 14:1-16, 1974.
- MCCLURE, P.R. & ISRAEL, D.W. Transport of nitrogen in the xylem of soybean plants. **Plant Physiol.**, 64:411-6, 1979.
- MELGES, E.; LOPES, N.F.; OLIVA, M.A. Influência do sombreamento artificial nas condições microclimáticas na cultura da soja. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, 24(7):857-63, 1989a.
- MELGES, E.; LOPES, N.F.; OLIVA, M.A. Crescimento e conversão da energia solar em soja cultivada sob quatro níveis de radiação solar. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, 24(9):1065-72, 1989b.
- MELGES, E.; LOPES, N.F.; OLIVA, M.A. Desenvolvimento e partição de assimilados em *Glycine max* crescida sob quatro densidades do fluxo radiante. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, 24(9):1081-87, 1989c.
- NEVES, M.C.P.; DIDONET, A.D.; DUQUE, F.F.; DÖBEREINER, J. *Rhizobium* strain effects on nitrogen transport and distribution in soybeans. **J. Exp. Bot.**, 36:1179-92, 1985.
- ORCUTT, F.S. & FRED, E.B. Light intensity as an inhibiting factor in the fixation of atmospheric nitrogen by Manchu soybean. **J. Am. Soc. Agron.**, 27:550-88, 1935.
- PEAT, J.R.; MINCHIN, F.R.; JEFFCDAT, B.; SUMMERFIELD, R.J. Young reproductive structures promote nitrogen fixation in soybean. **Ann. Bot.**, 48:177-82, 1981.
- RADFORD, P.J. Growth analysis formulae - Their use and abuse. **Crop. Sci.**, 7:171-5, 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.
- RIGGLE, B.D.; WIEBOLD, W.J.; KENWORTHY, W.J. Effect of photosynthate source-sink manipulation on dinitrogen fixation of male-fertile and male-sterile soybean isolines. **Crop. Sci.**, 24:5-8, 1984.
- ROCHA, H.M.; ALVIM, P. de T.; DÖBEREINER, J. Influência da intensidade da radiação solar sobre o crescimento e a fixação simbiótica do nitrogênio pela soja. **Turrialba**, 20:293-8, 1970.
- SAMPAIO, I.B.M. & DÖBEREINER, J. Efeito do sombreamento e do calcário na taxa relativa de fixação de nitrogênio e na eficiência dos nódulos da soja (*Glycine max*). **Pesq. agropec. bras.**, 3:255-62, 1968.
- SLOGER, C.; BEZDICEK, D.; MILBERG, R.; BOONWERD, N. Seasonal and diurnal variations in N₂ (C₂H₂) - fixing activity in field soybeans. In: STEWART, W.D.P. ed. **Nitrogen fixation in free-living - micro-organisms**. London, Cambridge University Press, 1975. p.271-284.
- TRANG, K.M. & GIDDENS, J. Shading and temperature as environmental factors affecting growth, nodulation, and symbiotic N₂ fixation soybeans. **Agron. J.**, 72:305-8, 1980.
- VEST, G.; WEBER, D.F.; SLOGER, C. Nodulation and nitrogen fixation. In: CALDWELL, B.E. ed. **Soybeans: improvement, production, and uses**. Madison, American Society of Agronomy, 1973. p.353-90.
- VINCENT, J.M. Environmental factors in the fixation of nitrogen by the legume. In: BARTHOLOMEW, W.V. & CLARK, F.E. eds. **Soil Nitrogen**. New York, Academic Press, 1965. p.384-435.
- WAHUA, T.A.T. & MILLER, D.A. Effects of shading on the N₂ - fixation yield, and plant composition of field-grown soybeans. **Agron. J.**, 70:387-92, 1978.
- WEBER, D.F.; CALDWELL, B.E.; SLOGER, C.; VEST, H.G. Some USDA studies on the soybean - *Rhizobium* symbiosis. **Plant Soil** (Spec. vol.). 293-304, 1971.