

ADUBAÇÃO NITROGENADA, INOCULAÇÃO E ÉPOCAS DE CALAGEM PARA A SOJA EM UM SOLO SOB CERRADO¹

M.A.T. VARGAS, J.R.R. PERES e A.R. SUHET²

RESUMO - Foi realizado experimento de campo com soja (*Glycine max* (L.) Merrill), cultivar IAC-2, visando a estudar o efeito da aplicação de N mineral no plantio, em solo com baixo nível de nitrogênio disponível. Esse nível foi modificado com a incorporação de 26 t/ha de vegetação herbácea natural e com a aplicação de calcário, em duas épocas (80 e 30 dias antes da semeadura), em um Latossolo Vermelho-Amarelo de primeiro cultivo. A absorção de nitrogênio em plantas não inoculadas foi reduzida com a calagem efetuada aos 30 dias. Contudo, nos tratamentos com inoculação, não houve resposta às épocas de calagem ou aos níveis de nitrogênio aplicados 4 dias após a emergência (0, 10, 20 e 30 kg/ha de N), indicando que, mesmo em solo com baixo suprimento de N disponível, é desnecessária a aplicação de pequenas doses de fertilizantes nitrogenados no início do ciclo da soja. O aparecimento dos nódulos ocorreu aos 5 dias e os dados de uma avaliação, efetuada aos 12 dias, mostraram que as plantas apresentavam um nível relativamente elevado de fixação de N₂ em todos os tratamentos com inoculação. Avaliações periódicas revelaram que a atividade da nitrogenase atingiu seu ponto máximo pouco depois da floração, sofrendo uma redução acentuada antes do final do enchimento dos grãos.

Termos para indexação: cultivares, inoculação, vegetação herbácea, nódulos, calagem.

NITROGEN FERTILIZATION, INOCULATION AND SOIL LIMING DATES FOR SOYBEAN CULTIVATED IN CERRADO SOIL

ABSTRACT - A field experiment was carried out with soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) to gain information about the necessity of the application of starter N fertilizer under conditions of low available soil nitrogen. Available N was modified by incorporating 26 t/ha of plant litter and by the application of lime at two dates (80 and 30 days before planting) in virgin Red-Yellow Latosol. Nitrogen uptake in uninoculated soybeans was reduced in the late liming treatment. Inoculated soybeans however, showed no response to date of liming or to rates of N starter fertilizer (0, 10, 20 and 30 kg/ha, applied at 4 days) showing that even when available soil nitrogen is low, starter nitrogen is not necessary. The nodules appeared on the 5th day and an evaluation carried out on the 12th day showed that the plants already had a reasonable high level of N₂ fixation in all treatments. Periodical evaluation showed that the nitrogenase activity reached its maximum immediately after flowering, decreasing sharply after the end of pod-filling.

Index terms: plant litter, cultivars, nodules, savannas.

INTRODUÇÃO

A maioria das áreas de Cerrados apresenta grande quantidade de resíduos vegetais com alta relação C/N, após serem preparadas para o primeiro cultivo. A incorporação desse material por ocasião do preparo da área pode induzir a imobilização do N do solo, tornando muito baixo o nível desse nutriente disponível às plantas, nos primeiros estádios da cultura. Outro fator que afeta a disponibilidade de N no solo é a incorporação do calcário.

Dados experimentais (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1979) têm demonstrado que a atividade microbiana nos solos de Cerrados é acuatadamente elevada com a aplicação de calcário. Dessa forma, a antecipação da calagem em relação à data de plantio pode antecipar a imobilização do N do solo e, em conseqüência, adiantar seu retorno à forma mineral, de modo a estar disponível às plantas desde os primeiros estádios.

A soja (*Glycine max* (L.) Merr.) é uma leguminosa que possui um alto nível de fixação de N₂, quando bem nodulada, sendo capaz de apresentar produções de até 4 t/ha, sem o uso de fertilizantes nitrogenados (Vargas et al. 1981, Peres et al. 1981). Contudo, alguns autores (Allos & Bartholomeu 1959, Bergersen 1958) sugerem que as plantas jovens de soja necessitam de certa quantidade de N mineral, antes que o processo de fixação do N₂ se

¹ Accito para publicação em 16 de março de 1982
Trabalho apresentado no II Seminário Nacional de Pesquisa de Soja, 16 a 21 de fevereiro de 1981, Brasília, DF.

² Eng.º Agr.º, M.Sc., Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC) - EMBRAPA, Caixa Postal 70.0023, CEP 73300 - Planaltina, DF.

início. Hardy et al. (1971) observaram que a fixação de N_2 atmosférico pela soja se inicia normalmente entre três e cinco semanas após o plantio. Segundo estes autores, nessa fase inicial do ciclo, a demanda por N é relativamente baixa, mas uma certa quantidade de N no solo poderia estimular o crescimento inicial das plantas e a formação dos nódulos.

Mooy et al. (1973) citam que a nodulação da soja é influenciada pela quantidade de N disponível no solo. Hatfield et al. (1974) obtiveram um aumento significativo no número de nódulos da soja com a aplicação de pequenas doses de N, após a emergência das plantas, em um experimento conduzido em areia e solução nutritiva. Contudo, são escassos os trabalhos baseados em dados de campo que registram algum benefício da adubação nitrogenada no rendimento de grãos da soja, mesmo quando aplicada em altas doses (Lawn & Brun 1974, Peres et al. 1981, Sorensen & Penas 1978, Vargas & Suhel 1980).

Em vários trabalhos, utilizando-se a técnica da redução do acetileno, foi observado que a atividade da nitrogenase (N_2 -ase) permanece relativamente elevada durante boa parte do ciclo da soja, só vindo a declinar em uma idade bem avançada da cultura (Franco et al. 1978, Harper & Hageman 1972, Lawn & Brun 1974). Harper & Hageman (1972) e Hardy et al. (1971) observaram que a N_2 -ase atingiu seu ponto máximo no estágio de enchimento dos grãos, enquanto que Lawn & Brun (1974) afirmam que esse ponto é atingido no final do florescimento.

A diminuição na N_2 -ase inicia-se antes que o teor de leghemoglobina nos nódulos seja alterado (Klucas 1974) e parece estar associada a um suprimento inadequado dos produtos da fotossíntese aos nódulos (Lawn & Brun 1974). Esta redução na N_2 -ase indica o início do processo de senescência (Klucas 1974). Streeter (1972) afirma que os nódulos de soja começam a perder a cor no início de enchimento dos grãos e que, no ponto médio do estágio de enchimento dos grãos, a maioria dos nódulos são verdes.

Objetivou-se neste trabalho estudar o efeito de níveis de nitrogênio mineral, aplicados 4 dias após a emergência, e de duas épocas de aplicação de cal-

cário, na simbiose e desenvolvimento da soja. Viouse também estudar as variações na nodulação e fixação do N_2 , durante o ciclo da soja.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de campo, no Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC), Brasília, DF, em um Latossolo Vermelho-Amarelo, textura argilosa. A análise química do solo indicou os seguintes valores: pH 5,0; 0,43 meq de $Al^{3+}/100$ ml; 0,25 meq de $Ca^{2+} + Mg^{2+}/100$ ml; 0,5 ppm de P e 32 ppm de K. A área do experimento havia sido desmatada e mantida com a vegetação herbácea natural por vários anos. O preparo do solo foi feito por meio de uma aradura, de três gradagens (para incorporação do corretivo e dos adubos) e de uma catação manual de raízes. Avaliou-se a quantidade de restos vegetais que permaneceu na camada de 0 a 20 cm, constituída principalmente de folhas, caules e pequenas raízes. O valor encontrado foi de 26 t/ha de matéria seca. A calagem foi efetuada, conforme o tratamento, 30 ou 80 dias antes da semeadura. A dose de calcário foi de 2,2 t/ha (PRNT = 100%). Após cada aplicação de calcário, foi efetuada uma gradagem em toda a área do experimento. Na época da semeadura, a análise do solo revelou um pH de 5,30 nos dois tratamentos de calagem.

A adubação a lanço foi feita cinco dias antes da semeadura, aplicando-se as seguintes doses por ha: 200 kg de P_2O_5 (superfosfato simples), 80 kg de K_2O (cloreto de potássio) e 40 kg de FTE (BR-10). Estes adubos foram incorporados por meio de uma gradagem. Em seguida, foi feita uma adubação no sulco com 100 kg de P_2O_5/ha e 50 kg de K_2O/ha .

Foi utilizado o delineamento estatístico de blocos ao acaso, com três repetições, dos seguintes tratamentos: 1) testemunha, 2) inoculação, 3) inoculação + 10 kg de N/ha, 4) inoculação + 20 kg de N/ha, e 5) inoculação + 30 kg de N/ha. Todos esses tratamentos foram combinados com a calagem feita em duas épocas: 30 e 80 dias de antecedência à semeadura.

A inoculação foi efetuada, usando-se 1 kg de inoculante/40 kg de sementes, sendo o inoculante preparado em laboratório, com turfa esterilizada por autoclavagem. No dia da inoculação, a população de *Rhizobium japonicum* era de $1,7 \times 10^9$ células da estirpe 29W e $4,0 \times 10^9$ células da estirpe 965 por grama de inoculante. Utilizou-se 1 litro de solução de sacarose (25%) por kg de inoculante, para preparar a pasta de inoculante (Vargas & Suhel 1981).

As parcelas tinham as dimensões de 4,5 x 9,0 m. Foram utilizadas sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill), cultivar IAC-2, na densidade de plantio de 30 sementes viáveis/m linear, e espaçamento entre linhas de 0,50 m. As três linhas centrais de cada parcela foram utilizadas para avaliações de nodulação e atividade de nitrogenase e a terceira linha de cada lado da parcela, para a produção de grãos (7 m/linha).

Foram avaliados o número de nódulos, aos 12 dias, o peso de nódulos, aos 84 dias, e o peso e o N total dos grãos. Nos tratamentos inoculados, sem N e com 20 kg de N/ha, foram feitas avaliações periódicas de peso e número de nódulos, da percentagem de nódulos róseos, da atividade da nitrogenase e do N total na parte aérea das plantas.

Para a determinação da atividade da nitrogenase, foram coletadas nove plantas em cada parcela e colocadas as raízes com os nódulos dentro de frascos de 260 ml (três plantas/frasco). Substituiu-se, então, 10% do ar atmosférico por acetileno. Após uma hora de incubação à temperatura ambiente, foram retiradas amostras de 0,5 ml da mistura gasosa e injetadas em um cromatógrafo de gás CG-27, da Instrumentos Científicos S.A., com coluna Poropak "N" e nitrogênio como gás de arraste. A atividade de nitrogenase foi expressa em função do etileno produzido no período de incubação (Hardy et al. 1968). As avaliações foram efetuadas sempre em dias ensolarados, e entre as 9 e 10 horas, para se tentar obter condições ambientais semelhantes nas diversas épocas de avaliação.

As determinações de N no grão e na parte aérea (secada a 60°C) foram feitas pelo método micro Kjeldahl.

Para a avaliação do número e peso dos nódulos, estes foram destacados das raízes, após a determinação da atividade da nitrogenase, secos a 60°C, contados e pesados. contados e pesados.

RESULTADOS, DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Na avaliação efetuada aos doze dias, não foram encontrados nódulos nos tratamentos sem inoculação, indicando a ausência de estirpes de *Rhizobium japonicum* nativas no solo (Tabela 1), e vindo a confirmar observações de trabalhos anteriores (Vargas et al. 1981, Vargas & Suhet 1981). Aos 84 dias, esses tratamentos apresentavam alguma nodulação, provavelmente devida à contaminação proveniente das parcelas com inoculação. Contudo, essa nodulação foi baixa e as plantas apresentaram sintomas de deficiência de N, indicando uma baixa disponibilidade desse nutriente no solo. Esta baixa disponibilidade está relacionada com a imobilização do N pelos microorganismos decompositores dos restos vegetais incorporados ao solo. Apesar da diferença não ter sido estatisticamente significativa, a aplicação do calcário com 80 dias de antecedência à semeadura elevou a produção de grãos deste tratamento em 23% e o N total dos grãos em 15%, em relação à calagem com 30 dias de antecedência. Isto deveu-se, provavelmente, à antecipação do

TABELA 1. Nodulação, N total e produção de grãos de soja em função de níveis de N, aplicados na semeadura, e da época de aplicação de calcário.

Tratamentos		12 dias	84 dias	Rendimento de grãos ² (kg/ha)	Nitrogênio nos grãos ² (kg/ha)
N (kg/ha)	Antecedência da calagem (dias)	N.º nódulos/planta ²	Peso de nódulos/planta ² (mg)		
Testemunha ¹	30	0,0 b	114 b	1153 b	59,2 b
Testemunha	80	0,0 b	142 b	1413 b	68,2 b
0	30	1,3 a	605 a	1909 a	101,8 a
0	80	2,2 a	728 a	1933 a	102,9 a
10	30	1,2 a	676 a	1905 a	97,5 a
10	80	1,7 a	849 a	2020 a	103,3 a
20	30	1,7 a	796 a	2105 a	110,8 a
20	80	1,6 a	527 a	1973 a	102,4 a
30	30	2,1 a	518 a	1983 a	105,7 a
30	80	1,5 a	696 a	2063 a	106,0 a
Coeficiente de variação		13%	15%	9%	10%

¹ Os tratamentos testemunhas não receberam inoculação e nem adubação nitrogenada.

² Os valores seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 5% pelo teste Duncan.

processo de liberação do N imobilizado, das frações mais facilmente decomponíveis. Nos tratamentos com inoculação não houve nenhum efeito da antecipação da calagem.

Não houve efeito dos níveis de N no rendimento e N total dos grãos. Estes resultados concordam com os obtidos por Franco et al. (1978), Hathcock (1975) e Sij et al. (1979). Alguns trabalhos citam aumentos no rendimento de grãos da soja com a adubação nitrogenada (Beard & Hoover 1971, Lyons & Earley 1952, Sorensen & Penas 1978, Vargas & Suhet 1980, Lawn & Brun 1974, Welch et al. 1973), mas os ganhos em produtividade são, em sua maioria, muito pequenos, em relação às doses de N utilizadas, tornando esses aumentos antieconômicos. Esses dados indicam que o N presente nos tecidos de reserva da semente (aproximadamente 6%) e o N do solo são suficientes para suprir as necessidades das plantas, até que o processo de fixação de N_2 se inicie.

Considerando-se que não houve efeito adicional da adubação nitrogenada na produtividade e no N total dos grãos (Tabela 1), pode-se afirmar que a fixação de N_2 , ocorrida em todo o ciclo, forneceu N em quantidade suficiente para suprir a necessidade da planta. Este fato é ilustrado pelos resultados apresentados na Fig. 1.

A fixação do N_2 iniciou-se relativamente cedo, tendo sido detectada aos doze dias, e atingiu 86% da atividade específica máxima observada (μ moles de etileno/g planta/h) aos 26 dias. Esta atividade indica o nível da atividade da nitrogenase (N_2 -ase) em relação ao tamanho das plantas. Aos 19 dias, embora a N_2 -ase por planta fosse ainda baixa, a N_2 -ase específica atingiu cerca de 44% da N_2 -ase específica máxima. Isso mostra que a simbiose foi capaz de suprir o N demandado pela planta, em uma fase bastante inicial do ciclo da soja.

A N_2 -ase por planta atingiu seu ponto máximo pouco depois da floração (52 dias), declinando

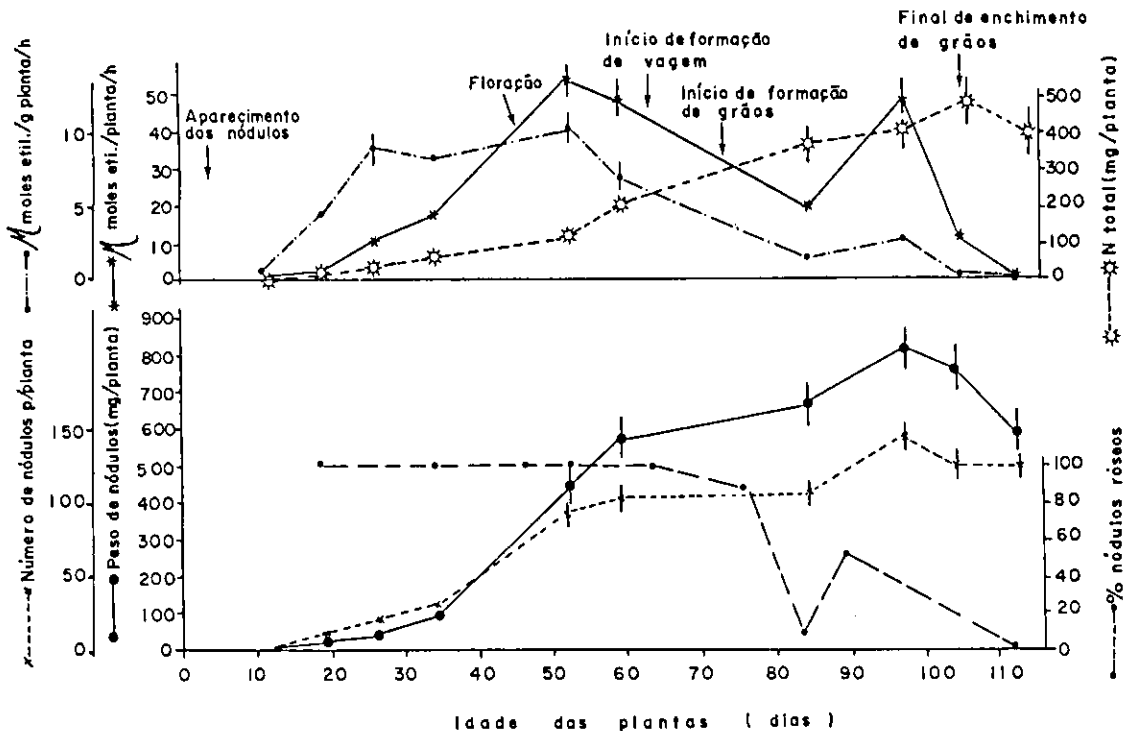


FIG. 1. Nodulação e fixação de N_2 em diferentes estádios de desenvolvimento da soja IAC-2 em solo de primeiro cultivo. Cada ponto representa a média de 4 tratamentos com 3 repetições. As barras verticais representam o erro da média calculado em cada ponto.

acentuadamente após o início de formação de vagens. Esse declínio, aparentemente, deveu-se mais a condições ambientais do que à fisiologia da planta. Em consequência da alta precipitação pluviométrica que ocorreu neste período, o solo apresentou-se encharcado e a baixa oxigenação dos nódulos foi, provavelmente, a principal causa na diminuição da N_2 -ase. Posteriormente, houve um período de estiagem que reduziu a umidade do solo, ocorrendo então o aparecimento de novos nódulos, um aumento na percentagem de nódulos róseos e uma elevação acentuada na N_2 -ase. No final do enchimento de grãos a N_2 -ase por planta havia sido reduzida acentuadamente, mas apresentava ainda 23% da atividade máxima, demonstrando que a contribuição da simbiose ainda se fez presente em uma fase avançada do ciclo da soja, o que concorda com os resultados obtidos por Harper & Hageman (1972), Hardy et al. (1968) e Franco et al. (1978).

O número e o peso de nódulos aumentaram até aos 97 dias (pouco antes do final de enchimento de grãos), indicando a formação de novos nódulos até um estágio avançado de desenvolvimento das plantas (Fig. 1). Resultados semelhantes foram descritos por Franco et al. (1978). O aparecimento dos nódulos verdes iniciou-se aos 70 dias (no estágio de formação dos grãos), cerca de 20 dias após iniciar-se o declínio na N_2 -ase, demonstrando que a diminuição da N_2 -ase inicia-se antes que o processo de senescência dos nódulos seja evidente, o que concorda com os resultados obtidos por Klucas (1974). Weil & Ohlorogge (1972) constataram um aumento na percentagem de nódulos verdes na soja após o florescimento, enquanto que Streeter (1972) observou que apenas no início de enchimento dos grãos os nódulos de soja começam a perder a cor rósea. Essa queda na N_2 -ase está associada ao início da diminuição do suprimento de produtos da fotossíntese aos nódulos (Lawn & Brun 1974) e indica o início do processo de senescência, que se manifesta, em uma fase mais avançada, pela perda da coloração rósea (Klucas 1974).

Os resultados obtidos no experimento indicam ser desnecessário o emprego de adubos nitrogenados para a soja. Essa cultura inicia o processo de fixação do N_2 poucos dias após a emergência e o man-

tém em um nível elevado, praticamente até o fim do seu ciclo reprodutivo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos Técnicos de Laboratório Ademildo Santos da Silva e Vilderete Castro Alves, ao Técnico Agrícola Osmar Teago, e ao Auxiliar de Laboratório Emílio Taveira, pelo valioso auxílio na instalação e condução do experimento.

REFERÊNCIAS

- ALLOS, H.F. & BARTHOLOMEU, W.V. Replacement of symbiotic fixation by available nitrogen. *Soil Sci.*, 87:61-6, 1959.
- BEARD, B.H. & HOOVER, R.M. Effect of nitrogen on nodulation and yield of irrigated soybeans. *Agron. J.*, 63:815-6, 1971.
- BERGERSEN, F.J. The bacterial component of soybean root nodules; changes in respiratory activity, cell dry weight and nucleic acid content with increasing nodule age. *J. Genetic Microbiol.*, 19:312-23, 1958.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, Planaltina, DF. Relatório técnico anual 1977/1978. Brasília, 1979. 195p.
- FRANCO, A.A.; FONSECA, O.O.M. & MARRIEL, I.E. Efeito do nitrogênio mineral na atividade da nitrôgenase e nitrato reductase durante o ciclo da soja no campo. *R. bras. Ci. Solo*, 2:110-4, 1978.
- HARDY, R.W.F.; BURNS, R.C.; HERBERT, R.R.; HOLSTEN, R.D. & JACKSON, E.K. Biological nitrogen fixation: a key to world protein. *Plant Soil*. (Spec. vol.):561-90, 1971.
- HARDY, R.W.F.; HOLSTEN, R.S.; JACKSON, E.K. & BURNS, R.C. The acetylene-ethylene assay for N_2 fixation: Laboratory and field evaluation. *Plant Physiol.*, 43:1185-207, 1968.
- HARPER, J.E. & HAGEMAN, R.H. Canopy and seasonal profiles of nitrate reductase in soybeans (*Glycine max* (L.) Merr.). *Plant Physiol.*, 49:146-59, 1972.
- HATFIELD, J.L.; EGLI, D.B.; LEGGETT, J.E. & PEASLEE, D.E. Effect of applied nitrogen on the nodulation and early growth of soybeans. *Agron. J.*, 66(1): 112-5, 1974.
- HATHCOCK, B.R. Effects of applied nitrogen on juvenile growth and nodulation of soybeans. *Tennessee Farm. Home Sci. Report.*, 96:32-3, 1975.
- KLUCAS, R.V. Studies on soybean nodule senescence. *Plant Physiol.*, 54:612-6, 1974.
- LAWN, R.J. & BRUN, W.A. Symbiotic nitrogen fixation in soybeans. I. Effect of photosynthetic source-sink manipulations. *Crop. Sci.*, 14:11-6, 1974.

- LYONS, J.C. & EARLEY, E.B. The effect of ammonium nitrate applications to field soils on nodulation, seed yield and nitrogen and oil content of the seed of soybeans. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 16:246-63, 1952.
- MOOY, C.J. de; PESEK, J. & SPALDONI, E. Mineral nutrition. In: CALDWELL, B.E., ed. *Soybeans, improvement production and uses*. Madison American Society of Agronomy. 1973. p.217-31.
- PERES, J.R.R.; VARGAS, M.A.T. & SUHET, A.R. Sobrevivência e competitividade de estirpes de *Rhizobium japonicum* na soja em um solo de cerrado. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 2, Brasília, Anais . . . 1981.
- SIJ, J.W.; TURNER, F.T. & GRAIGMILES, J.P. "Starter nitrogen" fertilization in soybean culture. *Commun. Soil. Sci. Plant Anal.*, 10(11):1451-7, 1979.
- SORENSEN, R.C. & PENAS, E.J. Nitrogen fertilization of soybeans. *Agron. J.*, 70(2):213-6, 1978.
- STREETER, J.G. Nitrogen nutrition of field grown soybean plants. I. Seasonal variations in soil nitrogen and nitrogen composition of stem exudates. *Agron. J.*, 64:311-4, 1972.
- VARGAS, M.A.T. & SUHET, A.R. Efeito de tipos e níveis de inoculantes na soja cultivada em um solo de cerrado. *Pesq. agropec. bras.*, 15(3):343-7, 1980.
- VARGAS, M.A.T.; PERES, J.R.R. & SUHET, A.R. Re-inoculação da soja em função dos serogrupos de *Rhizobium japonicum* predominantes em solos de cerrados. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 2, Brasília, Anais . . . 1981.
- VARGAS, M.A.T. & SUHET, A.R. Formas e níveis de inoculação para a soja (*Glycine max* (L.) Merrill) cultivada em um solo de Cerrado. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 2, Brasília, Anais . . . 1981.
- WEIL, R.R. & OHLROGGE, A.J. The seasonal development and effect of inter-plant competition on soybean nodules. *Agron. Abstr.*, 39, 1972.
- WELCH, L.F.; BOONE, L.V.; CHAMBLISS, C.G.; CHRISTIANSEN, A.T.; MULVANEY, D.L.; OLDHAN, M. G. & PENDLETON, J.W. Soybean yields with direct and residual nitrogen fertilization. *Agron. J.*, 65(4): 547-50, 1973.