

Adubação Nitrogenada na Cultura da Soja

Carla Cripa Crispino¹
Julio Cezar Franchini²
José Zucca Moraes³
Rubson N. R. Sibaldelle³
Maria de Fátima Loureiro⁴
Eugênio N. dos Santos⁵
Rubens José Campo²
Mariangela Hungria²

1 Introdução

O interesse mundial na soja é, em grande parte, devido ao teor elevado de proteína de seus grãos, cerca de 40%, constituindo uma fonte importante para a alimentação humana e dos animais. Um componente essencial das proteínas é o nitrogênio (N), o que faz com que a cultura necessite grandes quantidades desse nutriente. Os grãos de soja apresentam um teor médio de 6,5% N, desse modo, para produzir 1.000 kg de grãos de soja são necessários 65 kg de N. Adicionem-se, a isso, pelo menos mais 15 kg de N para as folhas, caule e raízes, indicando a necessidade total de, aproximadamente, 80 kg de N. Conseqüentemente, para a obtenção de rendimentos de 3.000 kg de grãos/ha são necessários 240 kg de N, dos quais 195 kg são retirados da lavoura através da exportação pelos grãos.

As fontes do N necessário à cultura da soja são:

1- o solo, principalmente pela decomposição da matéria orgânica; 2 fixação não-biológica, resultante de descargas elétricas, combustão e vulcanismo; 3- os

fertilizantes nitrogenados; 4- fixação biológica do nitrogênio atmosférico (N₂). O reservatório de N presente na matéria orgânica do solo, porém, é limitado, podendo ser esgotado rapidamente por alguns cultivos. Do mesmo modo, a fixação não-biológica contribui apenas com pequenas quantidades de N. Os fertilizantes nitrogenados representam a forma assimilada com maior rapidez pelas plantas, mas a um custo elevado pois, em média, são gastos seis barris de petróleo para a síntese de uma tonelada de amônia. Além disso, a utilização dos fertilizantes nitrogenados apresenta diversas limitações, como a baixa taxa de aproveitamento pelas plantas, em média 50%, relacionada com perdas elevadas que ocorrem pela lavagem para o lençol freático (lixiviação) e, também, por perdas na forma gasosa (volatilização e desnitrificação). Pelo processo de fixação biológica do N₂, bactérias das espécies *Bradyrhizobium japonicum* e *B. elkanii* estabelecem uma simbiose com a soja, formando estruturas típicas, os nódulos, onde, graças à ação de uma enzima bacteriana, a dinitrogenase, ocorre a conversão do N₂, que representa 80% dos gases da atmosfera e, também, dos espaços porosos do solo, para

¹Química, Projeto PRONEX (41.96.0884.00), Embrapa Soja, Cx. Postal 231, 86001-970, Londrina, PR..

²Eng. Agr., Ph.D., Embrapa Soja, franchin@cnpso.embrapa.br, rjcampo@cnpso.embrapa.br, hungria@cnpso.embrapa.br.

³Técnico Agrícola, Embrapa Soja.

⁴Eng.Agr., Prof., Ph.D., UFMT FAMEV, Av. Fernando Correa s/n, Campus Universitário, 78000-900, Cuiabá, MT, loureiromf@uol.com.br

⁵Eng.Agr., Prof., UFMT-FAMEV

amônia. Essas bactérias realizam o processo de fixação biológica praticamente de graça para o agricultor, em troca apenas de alguns produtos da fotossíntese das plantas (Vargas & Hungria, 1997).

Os trabalhos de microbiologia agrícola vêm sendo desenvolvidos, no Brasil, desde a expansão comercial da cultura, nos anos 1960, e talvez a principal linha de pesquisa seja a da seleção contínua de estirpes para garantir o fornecimento de todo o N necessário para as cultivares cada vez mais produtivas. Em diversos ensaios conduzidos desde então, tem-se constatado que, na presença de simbioses efetivas, não há necessidade de suprir a soja com adubos nitrogenados. Nos últimos anos, porém, têm surgido dúvidas sobre a necessidade de adubar a soja com fertilizantes nitrogenados para garantir maiores produtividades. Para tentar esclarecê-las foram conduzidos nove experimentos, em Londrina, Ponta Grossa (PR) e Jaciara (MT), em solos com população estabelecida elevada de células de *Bradyrhizobium* spp., com cultivares de diferentes ciclos de crescimento, sob os sistemas de plantio direto e convencional.

2. Estabelecimento dos Experimentos

Foram conduzidos nove experimentos na safra 2000/2001, quatro em um latossolo roxo distrófico na Estação Experimental da Embrapa Soja, em Londrina, PR, quatro em um latossolo vermelho escuro no Serviço de Produção de Sementes Básicas da Embrapa, em Ponta Grossa, PR e um na Fazenda Boa Vista, no município de Jaciara, MT, em um latossolo vermelho escuro. Todas as áreas já haviam sido cultivadas com soja há mais de dez anos e apresentavam uma população elevada de estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* e *B. elkanii*. As semeaduras foram realizadas em 01/11/2000 em Londrina, em 16/11/2000 em Ponta Grossa, e em 22/11/2000, em Jaciara. Em Londrina e Ponta Grossa, os experimentos foram conduzidos nos sistemas de plantio convencional (PC) e plantio direto (PD), com a cultivar EMBRAPA 48, de ciclo curto e outra cultivar de ciclo mais longo, a BRS 134. Em Jaciara, o experimento foi conduzido no sistema de plantio direto, com a cultivar UFV-18.

A análise da população de *Bradyrhizobium* indicou as seguintes populações, nos primeiros 20 cm de solo: 10^5 células/g de solo em Londrina e Jaciara e 10^4 células/g em Ponta Grossa. Foi realizada a análise química dos solos e, posteriormente, a calagem e adubação, aplicando-se 300 kg/ha de N-P-K (0-28-20) em Londrina e Ponta Grossa e 400 kg de 02-20-18 em Jaciara. Aos 50 dias após a semeadura, foi aplicado Mo e Co via foliar, na dose de 20 g/ha de Mo e 2 g/ha de

Co. As parcelas experimentais mediram 5,0 x 3,2 m, com 0,5 m entre linhas e foram separadas por 0,8 m e pequenos terraços de 1,6 m, construídos para evitar contaminação por escorrimento superficial de solo contendo bactérias de outras parcelas. Em Jaciara as parcelas mediram 5,0 X 4,0 m, com 0,5 m entre linhas e foram separadas por 1,0 m e pequenos terraços. Os experimentos foram conduzidos em delineamento experimental em blocos ao acaso, com seis repetições.

Os inoculantes foram preparados na FEPAGRO (Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária, Porto Alegre, RS), em turfa esterilizada e contendo, individualmente, duas estirpes recomendadas comercialmente para a cultura da soja no Brasil: *B. elkanii* SEMIA 587 e *B. japonicum* SEMIA 5080 (= CPAC 7). Essa combinação foi escolhido porque, nos ensaios em Rede Nacional, foi a que resultou em maiores rendimentos de grãos (Hungria et al., 2000). Os inoculantes foram preparados misturando-se as duas estirpes proporcionalmente, resultando na concentração final de 10^8 células/g de inoculante. Os inoculantes foram adicionados na dose de 500 g de inoculante/50 kg de sementes e, como adesivo, foi utilizada solução açucarada a 10%, na dosagem de 300 ml de solução/500 g de inoculante. A contagem do número de células nas sementes indicou uma população de 160.000 células/semente, atendendo à legislação atual.

Cada experimento constou de seis tratamentos:

1) Controle não inoculado; 2) Controle não inoculado + 200 kg de N (100 kg de N no plantio e 100 kg no florescimento); 3) Inoculação padrão (IP) com as estirpes SEMIA 587 + SEMIA 5080, na dose de 500 g de inoculante turfoso (10^8 células/g)/ 50 kg de sementes; 4) IP + 30 kg de N no plantio; 5) IP + 50 kg de N no pré-florescimento; 6) IP + 50 kg de N no início do enchimento dos grãos. O N foi sempre fornecido como uréia e a lanço.

Aos 50 dias após a semeadura foram coletadas 10 plantas por repetição. As plantas foram separadas em parte aérea e raiz e o material foi seco em estufa a 65°C, até atingir massa constante. Os nódulos foram coletados das raízes, contados, secos e pesados. O N total da parte aérea foi avaliado pelo método N-Kjeldahl. Na colheita, foi avaliado o rendimento dos grãos, corrigido para 13% de umidade no aparelho determinador de umidade Vurroughf 700. As médias dos dados foram

3. Efeito da Adubação Nitrogenada na Cultura da Soja

comparadas pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o programa SANEST-PC.

Tabela 1. Massa de nódulos secos (MNS) e N total acumulado na parte aérea (NTPA) no pré-florescimento e rendimento de grãos de soja (RG), cv. EMBRAPA 48, em um latossolo roxo distrófico de Londrina, PR, sob plantio convencional (PC) ou plantio direto (PD), na safra 2000/2001.

Tratamento	PC			PD		
	MNS (mg/pl.)	NTPA (mgN/pl)	RG (kg/ha)	MNS (mg/pl.)	NTPA (mgN/pl.)	RG (kg/ha)
Sem inoculação	41 a ¹	129 a	3.503 a	45 a	126 a	3.635 a
Sem Inoc. + 200 kg N (50% plantio, 50% florescimento)	7 c	112 a	3.407 a	14 c	156 a	3.556 a
Inoculação padrão (IP)	30 ab	112 a	3.497 a	58 a	111 a	3.517 a
IP + 30 kg N no plantio	23 b	119 a	3.333 a	36 b	125 a	3.634 a
IP + 50 kg N no pré-florescimento	24 b	75 b	3.253 a	40 a	109 a	3.681 a
IP + 50 kg N no início do enchimento grãos	23 b	104 ab	3.573 a	58 a	118 a	3.917 a

¹ Os valores representam médias de seis repetições e, quando seguidos pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente, pelo teste de Duncan (p < 0,05).

Tabela 2. Massa de nódulos secos (MNS) e N total acumulado na parte aérea (NTPA) no pré-florescimento e rendimento de grãos de soja (RG), cv. BRS 134, em um latossolo roxo distrófico de Londrina, PR, sob plantio convencional (PC) ou plantio direto (PD), na safra 2000/2001.

Tratamento	PC			PD		
	MNS (mg/pl.)	NTPA (mgN/pl)	RG (kg/ha)	MNS (mg/pl.)	NTPA (mgN/pl.)	RG (kg/ha)
Sem inoculação	19 a ¹	80 a	3.139 a	70 ab	87 ab	3.039 a
Sem Inoc. + 200 kg N (50% plantio, 50% florescimento)	12 a	111 a	3.179 a	21d	111 a	3.229 a
Inoculação padrão (IP)	22 a	82 a	3.214 a	72 a	76 b	2.747 a
IP + 30 kg N no plantio	14 a	84 a	3.280 a	35 cd	56 b	3.060 a
IP + 50 kg N no pré-florescimento	23 a	88 a	3.230 a	50 bc	56 b	3.039 a
IP + 50 kg N no início do enchimento grãos	18 a	76 a	3.455 a	35 cd	75 b	3.076 a

¹ Os valores representam médias de seis repetições e, quando seguidos pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente, pelo teste de Duncan (p < 0,05).

Tabela 3. Massa de nódulos secos (MNS) e N total acumulado na parte aérea (NTPA) no pré-florescimento e rendimento de grãos de soja (RG), cv. EMBRAPA 48, em um latossolo vermelho escuro de Ponta Grossa, PR, sob plantio convencional (PC) ou plantio direto (PD), na safra 2000/2001.

Tratamento	PC			PD		
	MNS (mg/pl.)	NTPA (mgN/pl)	RG (kg/ha)	MNS (mg/pl.)	NTPA (mgN/pl.)	RG (kg/ha)
Sem inoculação	3 ab ¹	20 a	3.005 a	12 a	18 ab	2.975 a
Sem Inoc. + 200 kg N (50% plantio, 50% florescimento)	2 c	21 a	3.285 a	8 ab	18 ab	2.767 a
Inoculação padrão (IP)	4 ab	22 a	3.178 a	12 a	17 b	2.922 a
IP + 30 kg N no plantio	2 c	24 a	3.414 a	8 b	22 a	3.056 a
IP + 50 kg N no pré-florescimento	4 a	22a	3.052 a	15 a	19 ab	3.088 a
IP + 50 kg N no início do enchimento grãos	2 bc	19 a	2.985 a	13 a	17 b	2.738 a

¹ Os valores representam médias de seis repetições e, quando seguidos pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente, pelo teste de Duncan (p < 0,05).

Tabela 4. Massa de nódulos secos (MNS) e N total acumulado na parte aérea (NTPA) no pré-florescimento e rendimento de grãos de soja (RG), cv. BRS 134, em um latossolo vermelho escuro de Ponta Grossa, PR, sob plantio convencional (PC) ou plantio direto (PD), na safra 2000/2001.

Tratamento	PC			PD		
	MNS (mg/pl.)	NTPA (mgN/pl)	RG (kg/ha)	MNS (mg/pl.)	NTPA (mgN/pl.)	RG (kg/ha)
Sem inoculação	6 a ¹	19 ab	3.427 a	18 a	20 b	2.950 a
Sem Inoc. + 200 kg N (50% plantio, 50% florescimento)	3 b	20 a	3.258 ab	9b	25 a	3.155 a
Inoculação padrão (IP)	7 a	16 ab	3.262 ab	19 a	19 b	2.882 a
IP + 30 kg N no plantio	3 b	19 ab	3.454 a	10 b	27 a	3.154 a
IP + 50 kg N no pré-florescimento	6 a	16 b	3.205 ab	16 a	19 b	2.970 a
IP + 50 kg N no início do enchimento grãos	7 a	19 ab	2.978 b	22 a	19 b	2.892 a

¹ Os valores representam médias de seis repetições e, quando seguidos pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente, pelo teste de Duncan (p = 0,05).

Em todos os experimentos conduzidos em Londrina e Ponta Grossa a aplicação de 100 kg de N/ha no plantio reduziu drasticamente a nodulação (Tabelas 1 a 4). Nessa época, mesmo a aplicação de uma dose de N considerada baixa, 30 kg de N, também reduziu a nodulação nos oito experimentos conduzidos. Como exemplo, a aplicação de 30 kg de N no plantio reduziu a massa de nódulos em 44% em Londrina X PC X EMBRAPA 48 (Tabela 1) e em 86% em Ponta Grossa X PD X BRS 134 (Tabela 4), em relação à população naturalizada do solo. Em Jaciara, a redução na massa de nódulos formada pela aplicação de 100 kg de N no plantio foi de 20% (Loureiro et al., 2001).

Os solos onde os experimentos do Paraná foram conduzidos haviam sido inoculados por vários anos e apresentavam uma população elevada de estirpes de *Bradyrhizobium*, de 10⁵ células/g de solo. Além disso, a inoculação foi realizada para atender ao mínimo exigido pela legislação atual, de 160.000 células/semente. A pesquisa reconhece, porém, que essa concentração é baixa, particularmente em solo com população estabelecida, razão pela qual deve-se almejar 1 milhão de células/semente e, para a safra 2001/2002, no Estado do Paraná e na Região Central, a recomendação já é de 300.000 células/g de semente (Embrapa Soja, 2001a,b). Provavelmente pela baixa concentração de células nas sementes, não foram constatadas respostas à reinoculação, ao contrário da maioria dos ensaios conduzidos em Rede Nacional (Hungria et al., 2000, 2001). Desse modo, não foram constatadas diferenças significativas nos parâmetros de nodulação e de N total acumulado nos tecidos das plantas entre o tratamento inoculado (IP) e o tratamento com a população naturalizada do solo (Tabelas 1 a 4). A aplicação de

fertilizante nitrogenado em três épocas distintas, porém, também não resultou em quaisquer incrementos no N total dos tecidos (Tabelas 1 a 4).

O rendimento da soja não foi afetado pela reinoculação, mas a população estabelecida de *Bradyrhizobium* foi capaz de fornecer todo o N necessário ao desenvolvimento da soja, não se constatando benefícios pela aplicação de fertilizante nitrogenado em nenhum dos estágios estudados (Tabelas 1 a 4).

Têm surgido dúvidas se, sob o sistema de PD, a maior imobilização do N do solo pelos resíduos vegetais implicaria na necessidade de complementação inicial com fertilizante nitrogenado, a "dose de arranque", para evitar sintomas iniciais de deficiência de N. Contudo, a dose inicial de 30 kg de N/ha não resultou em incrementos significativos no rendimento da soja em PD, tanto em Londrina como em Ponta Grossa (Tabelas 1 a 4). A falta de resposta à adubação nitrogenada inicial foi, recentemente, também relatada em experimentos conduzidos em PD nos Cerrados (Mendes et al., 2000) e no Rio Grande do Sul (Campos et al., 2001). Há dúvidas, também, sobre o senescimento dos nódulos após o florescimento, o que implicaria na necessidade de adubação nitrogenada nessa época. Contudo, foi constatado, nos experimentos conduzidos no Paraná, que essa observação também não procede, pois não foi constatado incremento o rendimento pela aplicação de 50 kg de N no pré-florescimento ou no enchimento dos grãos. Surgiram dúvidas, ainda, de que uma possível senescência de nódulos após o florescimento afetaria ainda mais o fornecimento de N em cultivares de ciclo mais longo. Isso, porém, também não ficou comprovado nestes oito experimentos, uma vez que a aplicação de N no florescimento e no enchimento de grãos não resultou

em incrementos no rendimento da cultivar BRS 134 (Tabelas 1 a 4). Finalmente, é importante salientar que em todos esses experimentos os rendimentos obtidos foram elevados, em média 3.200 kg/ha no tratamento controle sem N-fertilizante, portanto, confirmando que o processo de fixação biológica do N_2 é capaz de garantir todo o N necessário ao desenvolvimento das novas cultivares de soja, mais produtivas.

No Estado do Mato Grosso, embora o solo apresentasse população estabelecida de *Bradyrhizobium*, a reinoculação não foi feita com a frequência daquelas dos solos das Estações Experimentais da Embrapa. Além disso, as condições ambientais da região são, em geral, são mais estressantes à simbiose, particularmente pelas

temperaturas elevadas no solo e, com no caso dessa safra, baixa umidade na época do plantio. Desse modo, a reinoculação garantiu um incremento na nodulação, particularmente na coroa principal da raiz (Loureiro et al., 2001) e houve um ganho de 283 kg/ha no rendimento de grãos, embora não diferindo estatisticamente (Fig. 1). Não foi constatado qualquer benefício no rendimento de grãos pela aplicação de 30 kg de N no plantio, 50 kg N no pré-florescimento ou 50 kg de N no início do enchimento de grãos (Fig. 1).

Os resultados obtidos nesses nove experimentos, portanto, corroboram com aqueles obtidos em vários outros locais do Brasil, indicando que a adubação nitrogenada na cultura da soja é desnecessária (Hungria

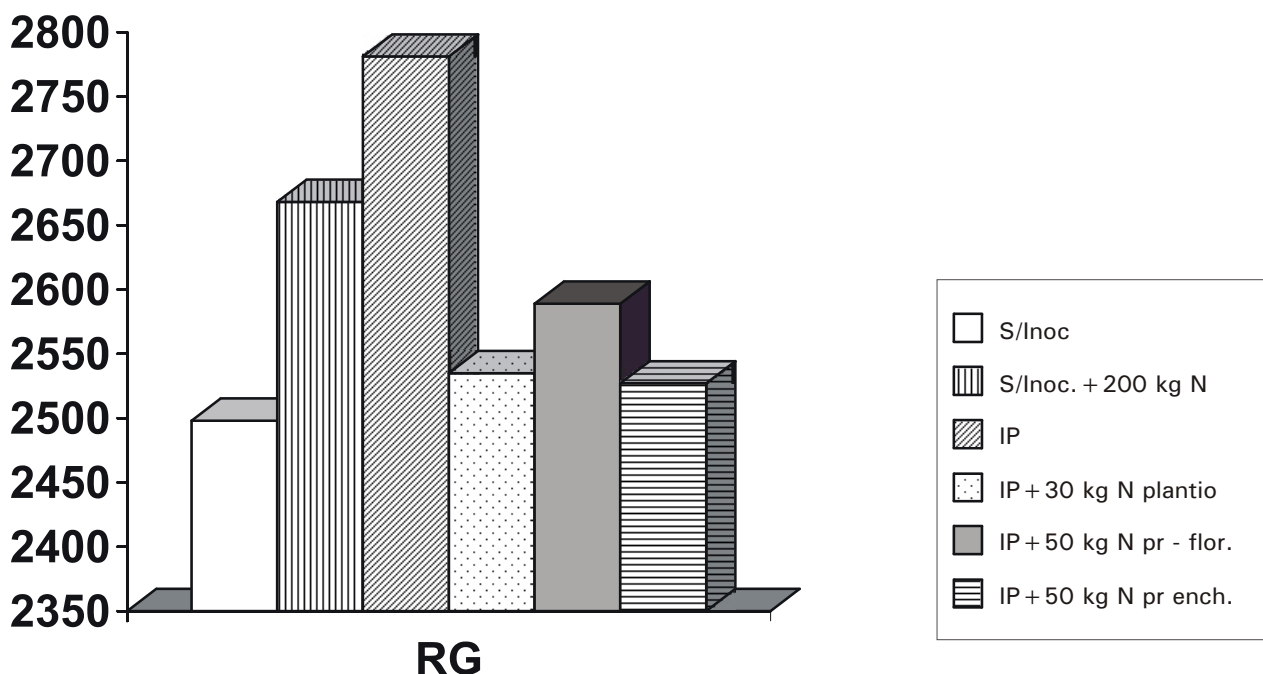


Figura 1. Rendimento de grãos de soja, cultivar UFV-18 em um latossolo vermelho escuro de Jaciara, MT, em um solo com população estabelecida de *Bradyrhizobium*, em tratamentos não-inoculado sem (S/inoc.) ou com 200 kg de N/ha (100 kg no plantio e 100 kg no florescimento) ou com inoculante padrão (IP) contendo as estirpes SEMIA 587 + SEMIA 5080 (10^8 células/g de inoculante, 500 g de inoculante/50 kg de sementes) sem ou com N aplicado no plantio (30 kg de N/ha) ou 50 kg N no pré-florescimento ou no início do enchimento de grãos. Médias de seis repetições e os valores não diferiram estatisticamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

4. Conclusões

et al., 1997; Vargas & Hungria, 1997; Mendes et al., 2000).

A adubação nitrogenada da cultura da soja, no plantio, no florescimento ou no enchimento dos grãos é desnecessária e, portanto, não é recomendada pela

5. Literatura Citada

CAMPOS, B.C.; HUNGRIA, M.; TEDESCO, V. Eficiência da fixação de N_2 por estirpes de *Bradyrhizobium* na soja em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.583-592, 2001.

EMBRAPA SOJA. **Tecnologias de produção de soja - Paraná - 2001/2002**. Londrina: Embrapa Soja, 2001a. (Embrapa Soja. Documentos, 166).

EMBRAPA SOJA. **Tecnologias de produção de soja - Região Central do Brasil - 2001/2002**. Londrina: Embrapa Soja, 2001b. (Embrapa Soja. Documentos, 167).

HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; MENDES, I.C. **A fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. (Embrapa Soja. Circular Técnica). No prelo.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M.A.T.; ARAUJO, R.S.; KURIHARA, C.; MAEDA, S.; SÁ, E.S.; CAMPO, R.J.; CATTELAN, A.J.; MENDES, I.C.; OLIVEIRA, M.C.N. Brazilian trials to evaluate the effects of soybean reinoculation. *In*: PEDROSA, F.O.; HUNGRIA, M.; YATES, M.G.; NEWTON, W.E. (Ed.). **Nitrogen fixation: from molecules to crop productivity**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000b. p.549.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M.A.T.; CAMPO, R.J.;

GALERANI, P.R. **Adubação nitrogenada na soja?** Londrina: Embrapa Soja, 1997. 4p. (Embrapa Soja. Comunicado Técnico, 57).

LOUREIRO, M.F.; SANTOS, E.N.; HUNGRIA, M. CAMPO, R.J. **Efeito da reinoculação e da adubação nitrogenada no rendimento da soja em Mato Grosso**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. (Embrapa Soja. Comunicado Técnico, 74).

MENDES, I.C.; VARGAS, M.A.T.; HUNGRIA, M. **Resposta da soja à adubação nitrogenada na semeadura, em sistemas de plantio direto e convencional na Região do Cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2000. 15p. (Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa, 12).

VARGAS, M.A.T.; HUNGRIA, M. Fixação biológica do N₂ na cultura da soja. *In*: VARGAS, M.A.T.; HUNGRIA, M. (Ed.). **Biologia dos solos de cerrados**. Planaltina:

Agradecimentos

Os microbiologistas da Embrapa Soja são apoiados, em sua pesquisa, pelo CNPq/MCT, PRONEX, Grupo de Excelência em fixação do Nitrogênio (41.96.0884.00) e pelo CNPq (52096-96, 463953?00-2). Os autores agradecem a Marisa S. Eumann, pelas análises estatísticas. O auxílio técnico de Rinaldo B. Conceição, Luciano Santos (Embrapa Soja) e de Valentin Nunes Filho (Jacara) foi essencial ao desenvolvimento da pesquisa.

Comunicado Técnico, 75



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Soja
 Rodovia Carlos João Strass - Distrito de Warta
 Caixa Postal, 231 - CEP: 86001-970 - Londrina, PR
Fone: (43) 371 6000
Fax: (43) 371 6100
E-mail: sac@cnpso.embrapa.br

1ª edição
 1ª impressão (12/2001): tiragem: 1500 exemplares

Comitê de Publicações

Presidente: José Renato Bouças Farias
Secretária-Executiva: Clara Beatriz Hoffmann Campo
Membros: Alexandre Lima Nepomuceno, Antônio Ricardo Panizzi, Carlos Alberto Arrabal Arias, Flávio Moscardi, José Francisco Ferraz de Toledo, Léo Pires Ferreira, Norman Neumaier e Odilon Ferreira Saraiva

Expediente

Supervisor editorial: Odilon Ferreira Saraiva
Revisão de texto: Comitê de Publicações
Editoração eletrônica: Helvio Borini Zemuner