



Soja

Manejo para alta
produtividade de grãos

André Luís Thomas & José Antonio Costa
Organizadores



Porto Alegre
2010

© dos autores
1ª edição: 2010

Editoração eletrônica e capa: Rafael Marczal de Lima
Fotos da capa: Dirceu Gassen
Impressão e fotolitos: Evangraf Ltda.

Pedidos desta publicação:

– andrethomas20@hotmail.com, thomaspl@ufrgs.br
– jamayerc@gmail.com, jamc@ufrgs.br

Todos os direitos reservados. A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610)

CIP - Catalogação Internacional na Publicação

S683 Soja : manejo para alta produtividade de grãos / organizadores
AndréLuís Thomas, José Antonio Costa. – Porto Alegre : Evangraf,
2010. 248 p. : il.; 23 cm.

Inclui referências.

ISBN 978-85-7727-226-6

1. Soja - Manejo. 2. Soja - Produtividade. 3. Produtividade
agrícola. 4. Cultivos agrícolas - Rendimento. 5. Solos - Manejo. 6.
Fertilidade do solo. I. Thomas, André Luís. II. Costa, José Antonio.

CDU 633:34
CDD 633.34

(Bibliotecária responsável: Sabrina Leal Araujo – CRB 10/1507)

SOJA

Manejo para alta produtividade de grãos

André Luís Thomas & José Antonio Costa

Organizadores



Porto Alegre

2010

Fixação biológica do nitrogênio na soja

André Luís Thomas¹ & José Antonio Costa²

A cultura da soja necessita de grande quantidade de nitrogênio (N) para se desenvolver e, conseqüentemente, produzir bons rendimentos de grãos porque esses possuem aproximadamente 40% de proteína. Estima-se que 80 kg de N sejam necessários para produzir 1000 kg de grãos de soja, sendo que este N pode ser suprido pelo solo, por fertilizantes nitrogenados e pela fixação biológica ou simbiótica do N₂ presente no ar do solo (Hungria et al., 1994; Hungria et al., 2001).

A soja é uma leguminosa originária da China que pode se associar a algumas bactérias, como *Bradyrhizobium japonicum* e *Bradyrhizobium elkanii*, formando nódulos, onde ocorre o processo de fixação biológica do N₂. Como a soja é uma cultura que foi introduzida no País, originalmente os solos não possuíam bactérias capazes de nodular de modo eficaz a planta. Assim, na fase inicial de expansão da cultura, foram importadas e testadas estirpes nas condições edafoclimáticas e nas cultivares nacionais. Nessa avaliação foram identificadas as estirpes com melhor desempenho que passaram a ser recomendadas para o uso em inoculantes comerciais (Hungria, 2006).

A inoculação com a bactéria ou a existência no solo de alta população de estirpe eficiente não são garantias da ocorrência de nodulação adequada e funcionamento da simbiose. Esse funcionamento dependerá da interação de uma série de fatores, envolvendo a

¹ Professor da Faculdade de Agronomia da UFRGS. Caixa Postal 15100, CEP 91540-000, Porto Alegre, RS. E-mail: thomaspl@ufrgs.br

² Professor Titular Aposentado da Faculdade de Agronomia da UFRGS. E-mail: jamc@ufrgs.br

planta, a bactéria e o ambiente. No Brasil estima-se que a fixação biológica do N_2 contribua de 70% a 94% do nitrogênio necessário ao desenvolvimento e rendimento da cultura da soja (Hungria et al., 1994; Alves et al., 2003, Hungria et al., 2005a e 2005b), o restante é suprido pelo solo. Entretanto, fatores adversos, como acidez, deficiência de macro e micronutrientes, temperatura elevada e baixa disponibilidade de água no solo, reduzem acentuadamente a fixação biológica.

A eficiência do processo de fixação biológica do nitrogênio conseguido pela pesquisa é, sem dúvida, o principal fator que torna a soja produzida no País altamente competitiva no mercado internacional. Isso ocorre porque não existe necessidade de aplicar fertilizantes nitrogenados, como uréia e sulfato de amônio, que são derivados do petróleo e elevam o custo de produção.

1. Formação dos nódulos nas raízes: estabelecimento da simbiose

A formação de nódulos nas raízes da planta de soja é necessária para que o processo de fixação biológica do N_2 ocorra. A nodulação é uma resposta da planta hospedeira ao estímulo das bactérias *Bradyrhizobium japonicum* e *B. elkanii*. O processo de formação dos nódulos pode ser, simplificada, dividido nas seguintes fases:

1. Atraídos pelas secreções dos pêlos radiculares, os bradirizóbios se multiplicam e produzem um sinal (fator de nodulação) que é o responsável, entre outras coisas, pelo reconhecimento entre a bactéria e a planta hospedeira e pela indução de intensa divisão celular na raiz.
2. Havendo compatibilidade entre o bradirizóbio e a planta, os pêlos enrolam-se envolvendo grupos de bactérias. Em seguida, as bactérias degradam uma porção da parede celular do pêlo, invadindo-o. Forma-se, então, o cordão de infecção que cresce em direção às células em divisão no córtex da raiz, ocorrendo a invasão das mesmas para formar o nódulo. O nódulo está ligado à raiz e, conseqüentemente, à planta através dos feixes vasculares (xilema e floema).

3. Caso a bactéria seja de uma estirpe eficiente, tem início no nódulo a simbiose bradirizóbio/planta. A planta fornece carboidratos, provenientes da fotossíntese, às células das bactérias, um tanto diferenciadas, que passam a ser chamadas de bacteróides. Esses microrganismos fixam o nitrogênio (N_2) do ar do solo, através da enzima nitrogenase, que o transforma em amônia (NH_3), sendo esse posteriormente incorporado em aminoácidos (glutamina, asparagina,...) e esses são transformados em ureídeos (alantoína e ácido alantóico). Os compostos nitrogenados (aminoácidos e ureídeos) são os principais produtos exportados dos nódulos à parte aérea da planta de soja. Quando o processo de fixação está ocorrendo, os nódulos apresentam coloração avermelhada no seu interior, em função da atividade da leghemoglobina, que é o pigmento que controla o nível de oxigênio no nódulo.

Convém salientar que uma estirpe de bradirizóbio pode ser infectiva, mas não efetiva, ou seja, ocorre a formação do nódulo sem haver a efetiva fixação do N_2 . Nesse caso, o nódulo apresenta coloração verde.

2. Fatores ambientais que interferem na nodulação e na fixação biológica do N_2

A nodulação e a efetividade da fixação biológica dependem de uma série de fatores envolvendo a planta, a bactéria e o ambiente, em que a temperatura, a umidade e a acidez no solo por ocasião da semeadura, bem como o suprimento adequado de água e dos demais nutrientes necessários ao desenvolvimento da planta, são essenciais.

Temperatura do solo acima de 37-39 °C já é alta para *Bradyrhizobium* porque reduz a população dessas bactérias no solo. A temperatura elevada do solo afeta a troca de sinais entre a planta hospedeira e as bactérias; inibe a formação de pêlos radiculares e, conseqüentemente, reduz os locais de nodulação; diminui a aderência das bactérias aos pêlos radiculares e o processo de infecção das raízes pelas bactérias. Além de afetar a formação do nódulo, a temperatura elevada do solo diminui a fixação de N_2 porque reduz a atividade de várias enzimas, principalmente a nitrogenase, que são essenciais à funcionalidade do nódulo. Altas temperaturas também aceleram a senescência dos nódulos (Hungria &

Vargas, 2000). Em função disto, é fundamental a presença de uma boa palhada sobre o solo para amenizar os efeitos prejudiciais da temperatura sobre a fixação biológica de N_2 .

A acidez do solo prejudica diretamente o processo de infecção das raízes pelas bactérias, porque diminui a atividade de enzimas que atuam na quebra da parede celular e também diminui a sobrevivência das bactérias no solo. A acidez está diretamente relacionada com a toxidez de alumínio e de manganês no solo, com a deficiência de macronutrientes (fósforo e cálcio) e de micronutrientes (molibdênio, enxofre, boro e zinco) que inibem a formação e a atividade dos nódulos (Hungria et al., 1994). Essas condições adversas ao estabelecimento do processo de fixação biológica também são prejudiciais ao crescimento radicular da planta de soja, o que afetará o desenvolvimento e rendimento da cultura. Então, práticas culturais que visam melhorar a fertilidade e corrigir a acidez do solo irão beneficiar a simbiose bradirizóbio/planta de soja e, conseqüentemente, o rendimento de grãos.

A deficiência hídrica reduz o desenvolvimento da planta e dos nódulos, sendo uma das principais causas da baixa nodulação em plantas de soja. A falta de água diminui a sobrevivência das bactérias, a formação e a longevidade dos nódulos, bem como a funcionalidade dos mesmos. A seca diminui a atividade de fixação do N_2 pelos bacterióides, e, após a passagem do estresse, a recuperação não será total, sendo que, em casos mais severos, a atividade pode ser afetada de forma irreversível. Já a planta de soja tem seu desenvolvimento afetado pela menor disponibilidade de nutrientes na solução do solo, de água para transpiração e, conseqüentemente, apresenta menor atividade fotossintética. Portanto, com a deficiência hídrica, a planta fornece menos fotoassimilados aos nódulos, e esses disponibilizam menos compostos nitrogenados à planta, sendo assim o processo simbiótico de fixação de N_2 e o rendimento de grãos ficam afetados (Serraj et al., 1999; King & Purcell, 2005; Manavalan et al., 2009). Convém salientar que, normalmente, a deficiência hídrica vem acompanhada de temperaturas elevadas, o que prejudica ainda mais a simbiose.

3. Importância da inoculação anual na cultura da soja

A maioria dos solos cultivados com soja já apresenta populações estabelecidas de bradirizóbio que foram introduzidas por

inoculações anteriores (Hungria, 2006). Essa situação, junto com a obtenção de rendimentos satisfatórios de grãos, leva alguns técnicos e agricultores a acreditar que não é necessário fazer a inoculação anual (reinoculação) na cultura da soja. Entretanto, as bactérias provenientes da inoculação que sobrevivem no solo adaptam-se a variações ambientais anuais locais, tornam-se mais rústicas e perdem efetividade na fixação de N_2 .

O bradirizóbio estabelecido no solo compete com o bradirizóbio inoculado por sítios de nodulação. A inoculação não proporciona a totalidade de nódulos formados nas raízes de soja, mesmo usando-se estirpes competitivas por sítios de nodulação. E um dos motivos para isso é que as raízes, à medida que crescem, afastam-se do ponto de inoculação e são infectadas pela população de *Bradyrhizobium* residente que está distribuída mais amplamente no solo. Por isso, em solo com população estabelecida de *Bradyrhizobium* as respostas à inoculação são pouco frequentes, como mostra a Tabela 1 (Voss, 2001).

No Brasil tem se obtido aumentos médios de 4,5 % (Alves et al., 2003) a 8,0% (Hungria, 2006) no rendimento de grãos de soja com a prática da reinoculação em experimentos realizados em áreas já cultivadas com a cultura. Em lavoura, incrementos de rendimento dessa magnitude muitas vezes passam despercebidos ou são mascarados por outros fatores adversos ao desenvolvimento e ao rendimento da lavoura, tais como fertilidade e acidez do solo inadequadas, deficiência hídrica, incidência de moléstias, de insetos pragas e de plantas daninhas.

Tabela 1. Efeito da inoculação e da adubação nitrogenada sobre o rendimento de grãos de soja em uma área com mais de cinco anos de semeadura direta.

Tratamento	Rendimento de grãos (kg/ha)
Testemunha sem inoculação	3291 ²
Testemunha sem inoculação e com 158 kg/ha de N ¹	3682
Testemunha sem inoculação e com 158 kg/ha de N ¹	3390
Inoculante comercial turfa	3472

¹ N aplicado na base e em mais três adubações de cobertura.

² Não houve diferença estatística.

Fonte: Adaptado de Voss, 2001.

4. Utilização de fertilizantes nitrogenados na cultura da soja

A utilização de fertilizantes nitrogenados não proporciona aumento no rendimento de grãos na cultura da soja no Brasil. As necessidades de nitrogênio das plantas para alcançar o rendimento potencial máximo de grãos são supridas principalmente pela simbiose com o bradizóbio e pelo N mineral do solo.

A aplicação de adubo nitrogenado, seja em uma única aplicação (Tabela 2), seja em diversas fases do crescimento da planta (Tabela 1), em doses de até 328 kg de N/ha (Voss, 2001), não traz aumento no rendimento de grãos de soja, eleva os custos de produção e inibe a fixação biológica de N_2 (Tabela 3). No entanto, se fórmulas de adubo que contêm nitrogênio forem mais econômicas do que fórmulas sem nitrogênio, mas com o mesmo teor de P_2O_5 e K_2O , elas poderão ser usadas, desde que não sejam aplicados mais do que 20 kg de N/ha (Reunião, 2009).

A utilização de adubo nitrogenado após um período de deficiência hídrica para as plantas se recuperarem do estresse também não proporciona aumento no rendimento de grãos, tendo em vista que o fator limitante ao desenvolvimento das plantas é a falta de água e suas consequências, como menor disponibilidade dos demais nutrientes na solução do solo, diminuição da fotossíntese, aumento da respiração, diminuição da fixação de N_2 , entre outros fatores.

5. Balanço de nitrogênio no solo na cultura da soja

No Brasil a produtividade de grãos de soja tem alcançado de 3500 a 4000 kg/ha em lavouras tecnificadas e de 5000 a 6000 kg/ha em experimentos (Pires et al., 2005; Rosinha et al., 2007) utilizando somente a fixação biológica de N_2 . Como os grãos de soja apresentam aproximadamente 40% de proteína, de 200 a 300 kg de N/ha são removidos da lavoura pelos grãos. Assim, muitas vezes, há o questionamento sobre que parte do N exportado através dos grãos vem do solo, uma vez que a soja não consegue fixar biologicamente todo o nitrogênio para seu desenvolvimento e rendimento, apresentando, portanto, balanço negativo de nitrogênio no solo durante seu cultivo.

Tabela 2. Efeito de doses de nitrogênio aplicadas na semeadura e no florescimento sobre o rendimento de grãos de plantas de soja inoculadas com *Bradyrhizobium*.

Níveis de N (kg/ha)	Rendimento de grãos	
	N aplicado na semeadura ¹	N aplicado no florescimento ²
	----- kg ha-----	
0	3292 *	2620*
8	3053	2795
16	3100	2635
32	3330	2695
64	3117	2710
128	3147	2905

* Não houve diferença estatística.

¹ Barni et al., 1977.

² Barni et al., 1978.

Quando a fixação biológica contribui com mais de 80% do N para o desenvolvimento das plantas de soja, o balanço de N para o solo é positivo ou próximo a neutralidade (Alves et al., 2006). Isso só ressalta a importância de proporcionar as condições adequadas na lavoura para que a simbiose bradirizóbio/planta de soja seja eficiente.

Tabela 3. Rendimento de grãos e contribuição percentual do nitrogênio (N) total nos grãos proveniente do adubo, do solo e da fixação biológica (FB), em função da aplicação de doses de nitrogênio no florescimento.

Nitrogênio kg/ha	Contribuição percentual do N nos grãos			Grãos kg/ha
	Adubo	Solo	FB	
0	0	34	66	2920*
45	8	27	65	2787
89	14	27	58	2913
134	24	26	50	3113

* Não houve diferença estatística.

Fonte: Deibert et al., 1979.

Nesse contexto, a adoção da semeadura direta ajuda a melhorar as condições de estabelecimento e funcionalidade dos nódulos, bem como o desenvolvimento das plantas, contribuindo para um balanço positivo de N no solo com o passar dos anos, como demonstra a Tabela 4.

Tabela 4. Balanço do nitrogênio (N) na cultura da soja, em cultivo de primeiro ou de quinto ano em cultivo convencional (CC) ou semeadura direta (SD).

Sistema de cultivo	N da fixação biológica	N exportado nos grãos	Balanço
	----- kg/ha -----		
1º ano - CC	134	126	8
1º ano - SD	110	112	-2
5º ano - CC	123	138	-15
5º ano - SD	134	126	8

Fonte: Adaptado de Miranda & Macedo, 2001.

6. Fixação biológica de N₂ em soja transgênica resistente ao glifosate

O glifosate é um herbicida não seletivo, com ação sistêmica e de aplicação pós-emergência que controla grande número de espécies de plantas daninhas. Ele inibe a enzima 5-enol-piruvil-shiquimato fosfato sintase (EPSPS) que é necessária à síntese de aminoácidos aromáticos (fenilalanina, tirosina e triptofano) essenciais ao desenvolvimento de plantas e de microrganismos. Enquanto as cultivares transgênicas de soja possuem a enzima resistente ao glifosate, a principal bactéria (*Bradyrhizobium japonicum*) fixadora de nitrogênio em soja não apresenta essa enzima com resistência (King et al., 2001; Heatherlynet al., 2003; Reddy & Zablotowicz, 2003; Zablotowicz & Reddy, 2004).

Ao aplicar-se o glifosate nas folhas das plantas de soja ele é absorvido e translocado através do floema para todos os pontos de crescimento da planta, num caminho similar aos açúcares da fotossíntese, respondendo à relação fonte/demanda de fotoassimilados da planta. Como a degradação do glifosate nas plantas de soja é muito lenta, a

demanda metabólica forte por fotoassimilados, proporcionada pelo desenvolvimento e funcionalidade dos nódulos das raízes de soja, pode proporcionar o acúmulo do herbicida nos mesmos (Zablotowicz & Reddy, 2004). Com o acúmulo de glifosate nos nódulos pode haver um aumento na concentração de shiquimato e de certos ácidos benzóicos que podem inibir o crescimento da planta. Esses efeitos são acompanhados pela inibição ao crescimento e/ou morte do *Bradyrhizobium*, dependendo da concentração de glifosate (Hernandez et al., 1999).

Os resultados de pesquisas em laboratório do efeito da aplicação de glifosate sobre o crescimento e a atividade de *Bradyrhizobium* muitas vezes são contraditórios, apresentando ou não influência sobre as bactérias. Isso ocorre porque existe diferença na tolerância ao glifosate entre as estirpes de *Bradyrhizobium*; as doses aplicadas nos ensaios em laboratório vão desde as utilizadas na lavoura até as muitas vezes superiores a essas, não considerando a quantidade de glifosate que realmente é translocada aos nódulos; além do que existe diferença de toxicidade entre os sais de glifosate e os adjuvantes utilizados nas formulações comerciais do herbicida (Santos et al., 2003; Santos et al., 2004; Zablotowicz & Reddy, 2004; Cerdeira & Duke, 2006, Maly et al., 2006).

As aplicações de diferentes sais de glifosate sobre a soja resistente a este herbicida, realizadas nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura (plantas com até 4 folhas trifolioladas desenvolvidas, período em que a espécie é mais sensível ao glifosate) têm demonstrado redução de 21 a 28% na massa fresca de nódulos e de 8 a 10% na quantidade de leghemoglobina dos nódulos, sugerindo que o glifosate inibe o desenvolvimento e não a formação dos nódulos (Reddy & Zablotowicz, 2003).

Dependendo das condições ambientais de aplicação, da formulação do sal de glifosate utilizada e de sua dose, a pulverização de glifosate nos estádios iniciais de desenvolvimento de plantas de soja resistentes ao herbicida pode ocasionar injúrias visíveis (amarelecimento, pequenas manchas e necroses) às plantas dois dias após a aplicação, proporcionando diminuição na matéria seca das raízes e da parte aérea, e diminuição da quantidade de nitrogênio na biomassa (Reddy & Zablotowicz, 2003; Zablotowicz & Reddy, 2004). Isto demonstra que a nodulação e a atividade de fixação de nitrogê-

nio são mais sensíveis ao glifosate nos estádios iniciais de desenvolvimento da planta de soja. Entretanto, as plantas têm potencial para se recuperar completamente do estresse ocasionado pela aplicação do glifosate. Caso as condições de desenvolvimento (fertilidade do solo, disponibilidade hídrica,...) sejam favoráveis à cultura, os vestígios da fitotoxicidade desaparecem duas a três semanas depois da aplicação (Reddy & Zablotowicz, 2003; Zablotowicz & Reddy, 2004). Porém fica a dúvida do que realmente pode afetar a fixação biológica de N_2 nos estádios iniciais de desenvolvimento da soja, pois a fixação pode ser afetada indiretamente pela fitotoxicidade provocada pela formulação ou sal de glifosate aplicado, pela ação direta do glifosate sobre as bactérias de *Bradyrhizobium* ou pela interação dos dois efeitos.

Foram observados efeitos deletérios do glifosate sobre as bactérias de *Bradyrhizobium*, com inibição dos processos de nodulação e/ou fixação de nitrogênio em soja resistente ao herbicida. Entretanto, experimentos em condições de campo com genótipos de soja resistentes ao glifosate proporcionaram rendimentos de 6000 kg de grãos/ha (Rosinha, et al., 2007), demonstrando que no campo os efeitos da fitotoxicidade do glifosate são inexistentes ou passageiros e não há evidências de que o rendimento de grãos de soja seja afetado (Zablotowicz & Reddy, 2004; Cerdeira & Duke, 2006).

7. Considerações finais

Em um mundo globalizado, onde a competitividade exige alta produtividade de grãos, com custos reduzidos, a eficiência do processo de fixação biológica de N_2 em soja, desenvolvida pela pesquisa e disponibilizada aos agricultores, ajudou o País a tornar-se um dos maiores produtores e exportadores mundiais dessa leguminosa. A utilização de fertilizantes nitrogenados elevaria os custos de produção, além de aumentar os riscos de contaminação ambiental das águas subterrâneas por nitrato que é tóxico ao ser humano.

A inoculação da soja com *Bradyrhizobium* é uma prática de fácil execução e de baixo custo, que tem sua eficiência comprovada quando o agricultor adota algumas práticas de manejo recomendadas à lavoura, tais como inoculação anual das sementes ou do solo, correção da acidez e da fertilidade do solo, aplicação da adubação

necessária à cultura e manutenção de uma boa cobertura de palha no sistema de semeadura direta.

8. Referências

ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S. The success of BNF in soybean in Brazil. *Plant and Soil*, v.252, p.1-9, 2003.

ALVES, B.J.R.; ZOTARELLI, L.; FERNANDES, F.M.; HECKLER, J.C.; MACEDO, R.A.T.de; BODDEY, R.M.; JANTALIA, C.P.; URQUIAGA, S. Fixação biológica de nitrogênio em soja, milho e algodão. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v.41, p.449-456, 2006.

BARNI, N.A.; GOMES, J.E.S.; GONÇALVES, J.C. Resposta da soja (*Glycine Max* (L.) Merrill) à adubação nitrogenada no florescimento. *Agronomia sulriograndense*, v. 14, p.243-250, 1978.

BARNI, N.A.; KOLLING, J.; MINOR, H.C. Efeitos de níveis de nitrogênio sobre o rendimento de grãos, nodulação e características agronômicas da soja (*Glycine Max* (L) Merr.). *Agronomia sulriograndense*, v. 13, p.93-104, 1977.

CERDEIRA, A.L.; DUKE, S.O. The current status and environmental impacts of glyphosate-resistant crops: A review. *Journal of Environmental Quality*, v.35, p.1633-1658, 2006.

DEIBERT, E.J.; BIJERIEGO, M.; OLSON, R.A. Utilization of 15N fertilizer by nodulating and non-nodulating soybean isolines. *Agronomy Journal*, v.71, p.717-723, 1979.

HEATHERLY, L.G.; SPURLOCK, S.R.; REDDY, K.N. Influence of early-season nitrogen and weed management on irrigated and nonirrigated glyphosate-resistant and susceptible soybean. *Agronomy Journal*, v.95, p.446-453, 2003.

HERNANDEZ, A.; GARCIA-PLAZAOLA, J.I.; BECERRIL, J.M. Glyphosate effects on phenolic metabolism of nodulated soybean (*Glycine max* L. Merr.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.47, p.2920-2925, 1999.

HUNGRIA, M. A importância da fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja: uma história de sucesso na América do Sul. In: Libro de Conferencias plenárias, foros, workshops. *3º Congresso de Soja do Mercosur*. Rosário, Argentina – 27 a 30 julho de 2006. p.336-338, 2006.

HUNGRIA, M., LOUREIRO, M.F., MENDES, I.C., CAMPO, R.J.; GRAHAM, P.H. Inoculant preparation, production and application. In: *Nitrogen fixation research: Agriculture, Forestry, Ecology and the environment*. D.Werner (Ed.) Springer, 2005b. 347p.

- HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; MENDES, I.C. *Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja*. Londrina: Embrapa Soja, 2001. 48p.
- HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; CAMPO, R. J.; GRAHAM, P. H. The importance of nitrogen fixation to the soybean cropping system in South America. In: *Nitrogen fixation research: Agriculture, Forestry, Ecology and the environment*. D. Werner (Ed.). Springer, 2005a. 347p.
- HUNGRIA, M.; VARGAS, M.A.T. Environmental factors affecting N₂ fixation in grain legumes in the tropics, with an emphasis on Brazil. *Field Crops Research*, v.65, p.151-164, 2000.
- HUNGRIA, M.; VARGAS, M.A.T.; SUHET, A.R.; PERES, J.R.R. Fixação Biológica do nitrogênio em soja. In: ARAUJO, R.S.; HUNGRIA, M. (Ed.). *Microrganismos de importância agrícola*. Brasília: Embrapa-CNPAF, 1994. p.9-89.
- KING, C.A.; PURCELL, L.C. Inhibition of N₂ fixation in soybean is associated with elevated ureides and amino acids. *Plant Physiology*, v. 137, p.1389-1396, 2005.
- KING, C.A.; PURCELL, L.C.; VORIES, E.D. Plant growth and nitrogenase activity of glyphosate-tolerant soybean in response to foliar glyphosate applications. *Agronomy Journal*, v.93, p.179-186, 2001.
- MALTY, J.S.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S. Efeitos do glifosato sobre microrganismos simbióticos de soja, em meio de cultura e casa de vegetação. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v.41, p.285-291, 2006.
- MANAVALAN, L.P.; GUTTIKONDA, S.K.; TRAN, L.P.; NGUYEN, H.T. Physiological and molecular approaches to improve drought resistance in soybean. *Plant & Cell Physiology*, v.50, p.1260-1276, 2009.
- MIRANDA, C.H.B.; MACEDO, M.C.M. *Fixação de nitrogênio pela soja em sistemas de cultivo e rotacionado com pecuária nos cerrados*. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2001. 29p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 14).
- PIRES, J.L.F.P.; CUNHA, G.R.da; THOMAS, A.L.T. Fatores promotores de rendimento em modelos de produção para soja. In: SANTOS, H.P.dos; FONTANELI, R.S.; SPERA, S.T.; PIRES, J.L.; TOMM, G.O. (Org.) - *Eficiência de soja cultivada em modelos de produção sob sistema plantio direto*. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2005. p.36-80.
- REDDY, K.N.; ZABLOTOWICZ, R.M. Glyphosate-resistant soybean response to various salts of glyphosate and glyphosate accumulation in soybean. *Weed Science*, v.51, p.496-502, 2003.
- REUNIÃO DE PESQUISA DA SOJA DA REGIÃO SUL, 37. , 2009, Porto Alegre. *Indicações Técnicas para a Cultura da Soja no Rio Grande do Sul e em*

Santa Catarina 200/2010. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009. 134 p.

ROSINHA, R.C.; DOTTO, S.R.; SARTORI, J.F. Rendimento de cultivares de soja na rede experimental da Fundação Pró-Sementes. *Informativo Pró-Sementes e Apassul*, n.27, p. 4-5, 2007.

SANTOS, J.B.; PROCÓPIO, S.O.; JACQUES, R.J.S.; KASUYA, M.C.M.; SILVA, A.A. Comportamento de estirpes de *Bradyrhizobium* sp. sob efeito de componentes glyphosate potássico. *Revista Ciência Agronômica*, v.34, p.201-206, 2003.

SANTOS, J.B.; JACQUES, R.J.S.; PROCÓPIO, S.O.; KASUYA, M.C.M.; SILVA, A.A.; SANTOS, E.A. Efeitos de diferentes formulações comerciais de glyphosate sobre estirpes de *Bradyrhizobium*. *Planta Daninha*, v.22, p.293-299, 2004.

SERRAJ, R.; SINCLAIR, T.R.; PURCELL, L.C. Symbiotic N₂ fixation response to drought. *Journal of Experimental Botany*, v.50, p.143-155, 1999.

VOSS, M. *Inoculação de Bradyrhizobium em soja, em sistema plantio direto, em áreas inoculadas anteriormente, no Planalto Médio do RS*. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. 8 p. html, 3 tab. (Embrapa Trigo. Circular Técnica Online, n.6). Disponível: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_ci06.htm.

ZABLOTOWICZ, R.M.; REDDY, K.N. Impact of glyphosate on the *Bradyrhizobium japonicum* symbiosis with glyphosate-resistant transgenic soybean: A review. *Journal of Environmental Quality*, v.33, p.825-831, 2004.