

A INOCULAÇÃO DA SOJA¹

Mariangela Hungria²
Milton Alexandre T. Vargas³
Rubens J. Campo²

1. INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) é o nutriente requerido em maiores quantidades pela cultura da soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. O agricultor, então, sempre pergunta: Quais as necessidades de nitrogênio para a cultura? Este trabalho visa, portanto, esclarecer o agricultor sobre as necessidades da cultura e sobre como satisfazê-las pela técnica da inoculação das sementes com estirpes de *Bradyrhizobium*.

Sabe-se que, para atingir produtividades de 2.400 kg/ha, por exemplo, são necessários 200 kg de N/ha, dos quais 135 a 150 kg são exportados da lavoura pelos grãos. As três fontes para fornecimento dessas doses elevadas de N são: a) o solo, principalmente pela decomposição da matéria orgânica; b) os fertilizantes nitrogenados; e c) o processo de fixação biológica do nitrogênio atmosférico (N₂).

O reservatório de N presente na matéria orgânica do solo é limitado, podendo ser esgotado rapidamente por alguns cultivos. Além disso, as condições de temperatura e umidade predominantes no território brasileiro aceleram os processos de decomposição da matéria orgânica e de perdas de N, resultando em solos com teores pobres desse nutriente, entre 0,05 e 0,30% de N. Deve-se considerar, ainda, que a preservação da matéria orgânica com uma relação C/N adequada é importante para a manutenção dos organismos do solo, sem os quais a sustentabilidade dos sistemas agrícolas é inviável.

Os fertilizantes nitrogenados representam a forma que é assimilada com maior rapidez pelas plantas, mas a um custo elevado. O processo industrial que transforma o N₂ em amônia (NH₃) requer: a) hidrogênio (derivado de gás de petróleo); b) catalisador contendo ferro; c) altas temperaturas (300 a 600°C); e d) altas pressões (200 a 800 atm). O gasto de fontes energéticas não renováveis é calculado, então, em seis barris de petróleo por tonelada de NH₃ sintetizada. Um agravante no uso dos fertilizantes nitrogenados reside na baixa eficiência de sua utilização pelas plantas, raramente ultrapassando 50%. Isso significa que, se o agricultor colocar 100 kg de N no solo, 50 kg serão perdidos, em um curto espaço de tempo, pelos processos de lixiviação (lavagem no perfil do solo) e pela transformação em formas gasosas, tanto pela desnitrificação (transformação, pela ação dos microrganismos, em

formas gasosas, N₂ e N₂O) como pela volatilização (perdas gasosas, NH₃). Finalmente, deve-se considerar que o uso indiscriminado de fertilizantes nitrogenados resulta em poluição ambiental, pois a lixiviação do N e o escoamento desse nutriente pela superfície do solo resultam em acúmulo de formas nitrogenadas nas águas dos rios e lagos, podendo atingir níveis tóxicos aos peixes e ao homem. Diversas doenças, como o câncer e problemas respiratórios, estão associadas ao consumo dessas águas contaminadas e já representam um problema sério em países da Europa. No Brasil, a experiência dos países do primeiro mundo deve servir para orientar uma política de uso racional de fertilizantes nitrogenados.

A terceira fonte de N para a cultura da soja é a que resulta do processo de fixação biológica do N₂, realizado por algumas bactérias específicas que habitam o solo. Embora o N₂ constitua 80% dos gases atmosféricos, que também se difundem para o espaço poroso do solo, nenhum animal ou planta consegue utilizá-lo como nutriente, devido à tripla ligação que existe entre os dois átomos de N₂, que é uma das mais fortes de que se tem conhecimento na natureza. Algumas bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, porém, conseguem formar estruturas especializadas nas raízes da soja, chamadas nódulos. Dentro dos nódulos as bactérias, através de uma enzima chamada dinitrogenase, conseguem quebrar a tripla ligação do N₂ atmosférico e provocar a sua redução até NH₃, a mesma forma obtida no processo industrial. A essa amônia são, então, rapidamente incorporados íons H⁺, abundantes nas células das bactérias, ocorrendo a transformação em íons amônio (NH₄⁺) que serão, então, distribuídos para a planta hospedeira e incorporados em formas de N orgânico.

É importante salientar que o N do fertilizante é mais facilmente absorvido pela soja porque já está em uma forma prontamente disponível, ao passo que, no caso do processo biológico, a planta precisa “investir um pequeno capital” na formação dos nódulos. Esse gasto inicial, porém, é recuperado logo no início do ciclo vegetativo, trazendo grande retorno à nutrição das plantas.

2. COMO OCORRE O PROCESSO DE FIXAÇÃO BIOLÓGICA DO N₂?

As bactérias que formam nódulos nas raízes da soja eram classificadas, até alguns anos atrás, na espécie *Rhizobium japonicum*. Com os avanços nos estudos de taxonomia das bactérias, foram detectadas grandes diferenças, particularmente ao nível genético, entre as estirpes desta bactéria (equivalente a variedades de plantas ou raças de patógenos), resultando na reclassificação em duas novas espécies, *Bradyrhizobium japonicum* e *Bradyrhizobium elkanii*. Em linguagem popular, essas bactérias são, muitas vezes, denominadas somente de rizóbio ou bradirizóbio.

¹ Fonte: EMBRAPA-CNPSO. Circular Técnica 17, 1997. 28p. (reproduzido com permissão da EMBRAPA-CNPSO).

² Eng^o Agr^o, Ph.D., Embrapa Soja, Caixa Postal 231, CEP 86001-970, Londrina, PR. Telefone: (043) 371-6000.

³ Eng^o Agr^o, Ph.D., Embrapa Cerrados, Caixa Postal 08223, CEP 73301-970, Planaltina, DF. Telefone: (061) 389-3366.

A formação de um simples nódulo é resultante de um processo complexo envolvendo diversos estádios. Inicialmente, ocorre um estímulo do crescimento das bactérias na rizosfera da planta hospedeira, que será seguido pela expressão de diversos genes, tanto da bactéria como da planta hospedeira. A seguir, as bactérias penetram na raiz da soja e provocam o crescimento de algumas células da planta hospedeira, formando os nódulos, onde ficarão alojadas. Quando os nódulos estão em plena atividade, apresentam, em sua parte interna, coloração rósea intensa (Figura 1), devido à atividade da leghemoglobina, cuja função é a mesma da hemoglobina do sangue humano, ou seja, o transporte do oxigênio, essencial às funções vitais de todos os seres aeróbios.



Figura 1. Coloração interna rósea de um nódulo ativo, pela presença da leghemoglobina.

3. QUANDO E POR QUANTO TEMPO A SOJA CONSEGUE FIXAR N₂?

Em condições de campo, entre cinco e oito dias após a emergência já é possível observar a formação dos primeiros nódulos com bom tamanho, e em número de quatro a oito, ao redor de dez a 12 dias após a emergência. Nessa etapa, muitas vezes se observa que as plantas noduladas estão um pouco amareladas, em relação àquelas que receberam uma dose inicial de fertilizante nitrogenado. Isso ocorre porque, conforme já mencionado, o fertilizante nitrogenado está “pronto” para ser utilizado, enquanto a “máquina biológica de nitrogênio” está em seus últimos ajustes. Esses sintomas desaparecem após dois ou três dias e é importante mencionar que, em diversos experimentos conduzidos pela Embrapa, tanto na Região Sul como nos Cerrados, não foi constatado nenhum incremento no rendimento das plantas devido à aplicação dessa dose inicial de fertilizante nitrogenado, também conhecida como dose “de arranque” ou dose “starter”, conforme exemplificado na Tabela 1.

Após esse período inicial, a nodulação e a fixação do N₂ intensificam até o florescimento ou o período de formação de vagens. Na época do florescimento, uma planta de soja bem nodulada deve mostrar, no campo, entre 15 e 30 nódulos ou 100 a 200 mg de nódulos secos por planta. Ao contrário do que muitos divulgam, os nódulos podem continuar ativos mesmo durante o período de enchimento dos grãos, quando então inicia o processo de senescência. Muitas vezes, pode ocorrer uma formação secundária de nódulos após o florescimento, que também contribuirá para o fornecimento de N para os grãos, aumentando os rendimentos.

Em diversas pesquisas que utilizaram fertilizantes com ¹⁵N, isto é, com um isótopo marcado que permite quantificar, com precisão, a contribuição do N do solo, do N do fertilizante e do N obtido pelo processo biológico, ficou determinado que as taxas de fixação do N₂, na cultura da soja, se situam entre 60 e 250 kg de

N/ha, representando, em média, 75% do N total acumulado pelas plantas, mas podendo atingir percentuais de até 97%.

Tabela 1. Efeito da complementação da inoculação com doses iniciais de fertilizante nitrogenado no rendimento da soja. Experimento conduzido em Londrina, PR, com a cultivar Bragg e em Planaltina, DF, com a cultivar Doko, em solos com população estabelecida de *Bradyrhizobium*.

Planaltina		Londrina	
Dose (kg de N/ha)	Rendimento (kg/ha)	Dose (kg de N/ha)	Rendimento (kg/ha)
Inocul. + 0	1.921 ¹	Inocul. + 0	2.252
Inocul. + 10	1.963	Inocul. + 10	2.180
Inocul. + 20	2.039	Inocul. + 20	2.175
Inocul. + 30	2.023	Inocul. + 30	2.172
CV (%)	10,0		10,1

¹As médias de cada experimento não diferiram estatisticamente.

4. POR QUE É NECESSÁRIO INOCULAR A SOJA EM SOLOS DE PRIMEIRO CULTIVO?

A soja é uma das culturas mais antigas do mundo, com relatos sobre o seu cultivo, na China, ao redor de 2.500 a.C. A cultura foi trazida para o Brasil no final do século passado, mas somente a partir dos anos 60 passou a ser utilizada com maior intensidade na Região Sul e, a partir da década seguinte, nos Cerrados. Como a soja não ocorre naturalmente no Brasil, também não existe rizóbio nativo capaz de nodulá-la, justificando a obrigatoriedade da inoculação em áreas de primeiro cultivo.

Em solos de primeiro ano sob vegetação de cerrado foram relatados vários insucessos da inoculação. Algumas vezes, a falta de nodulação ocorre devido a fatores biológicos e químicos do solo e, freqüentemente, também devido à má qualidade do inoculante. Na Embrapa Cerrados, nodulações bem sucedidas foram obtidas pela inoculação do arroz que precede à da soja, seguida pela reinoculação da soja.

Outras vezes, o teor de N nas áreas novas é elevado, principalmente pela mineralização do N da vegetação nativa. A inoculação, então, pode não resultar em incrementos no rendimento, mas auxilia o estabelecimento da população de rizóbio no solo, o que favorecerá futuras culturas, quando se esgotarem as reservas de N do solo. Contudo, é importante salientar que, nessa situação, as plantas também não responderão à aplicação do fertilizante nitrogenado, pois o N do solo já é suficiente para satisfazer as necessidades da soja. Um exemplo dessa situação está ilustrado na Tabela 2, com os dados de um experimento conduzido na Fazenda Solta, em Balsas, Maranhão. A inoculação permitiu o estabelecimento das bactérias no solo e aumentou o número de nódulos, mas não resultou em maior rendimento, pois apenas o N do solo já garantiu o rendimento máximo. Assim, a aplicação de 200 kg de N/ha também não contribuiu para incrementar o rendimento ou a massa de 100 grãos.

5. EM ÁREAS TRADICIONALMENTE CULTIVADAS, VALE A PENA REINOCULAR?

Atualmente, restam poucas áreas que ainda não receberam inoculantes e a população de bradirrizóbio estabelecida nos solos, às vezes, é muito elevada, da ordem de 10³ (1.000) a 10⁶ (1.000.000) bactérias por grama de solo. Essas bactérias do solo conseguem formar nódulos e fixar N₂ e, pela falta de informações sobre as

Tabela 2. Efeito da inoculação com seis combinações de estirpes de *Bradyrhizobium* e da aplicação de uréia na nodulação, na massa de 100 grãos e no rendimento da cultivar BR-35 (Rio Balsas). Experimento conduzido na Fazenda Solta¹, Balsas, MA, na safra 1994/95, em solo de primeiro cultivo com a soja.

Tratamento	Número de nódulos (n°/planta)	Massa de 100 grãos (g)	Rendimento (kg/ha)
Testemunha ²	22 c ⁴	13,2 a	1.949 a
Fertilizante (N) ³	31 c	12,8 a	1.706 ab
587 + 5019	189 a	13,4 a	1.809 ab
587 + 5079	124 b	13,4 a	1.542 ab
587 + 5080	145 ab	13,5 a	1.606 ab
5019 + 5079	179 ab	13,4 a	1.775 ab
5019 + 5080	145 ab	13,2 a	1.513 ab
5079 + 5080	153 ab	13,4 a	1.417 b
CV (%)	35,4	4,9	19,9

¹ Conduzido por Dr. Gedi J. Sfredo, Dr. Maurício C. Meyer e Dra. Mariangela Hungria (Embrapa Soja).

² Testemunha sem inoculação.

³ Todos os tratamentos receberam adubação adequada, conforme análise de solo, mas esse tratamento recebeu 100 kg de N (uréia)/ha na semeadura e 100 kg de N no florescimento.

⁴ Os dados representam médias de seis repetições e, quando seguidos pela mesma letra, em cada coluna, não diferiram estatisticamente (Duncan, P ≤ 0,05).

necessidades da reinoculação, poucos agricultores utilizavam essa prática até pouco tempo atrás.

A partir da safra de 1992/93 foram conduzidos, por uma rede de pesquisadores pertencentes a instituições de pesquisa estaduais e federais, ensaios em solos com população estabelecida de bradirrízóbio, nos Estados de Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Paraná, Rio Grande do Sul e Distrito Federal.

Tabela 3. Efeito da reinoculação ou adubação nitrogenada, em solos com população superior a 10⁴ células/g de solo, no rendimento da soja. Os dados do Paraná são referentes à média de dois experimentos conduzidos em Londrina e em Ponta Grossa, com a cultivar BR-37, nas safras 1993/94 e 1994/95. Em Goiás, o experimento foi conduzido em Goiânia¹, na safra 1993/1994, com a cultivar Doko. No Maranhão, o experimento foi conduzido em Balsas², na safra 1995/1996, com a linhagem BR-89-9917.

Tratamento	Paraná		Goiás ¹	Maranhão ²
	Rendimento (kg/ha)	Proteína (kg de N/ha)	Rendimento (kg/ha)	Rendimento (kg/ha)
Testemunha ³	2.297abc ⁵	108,5 b	2.341 ab	2.907 ab
Fertilizante (N) ⁴	2.380 ab	124,4 a	2.432 a	2.844 ab
587 + 5019	2.073 c	105,8 b	2.462 a	2.732 ab
587 + 5079	2.228 bc	117,3 ab	2.462 a	2.570 b
587 + 5080	2.524 a	128,8 a	2.378 ab	2.575 b
5019 + 5079	2.031 c	106,4 b	2.250 ab	3.304 a
5019 + 5080	2.284 abc	121,9 a	2.002 b	2.540 b
5079 + 5080	2.258 abc	118,1 ab	2.201 ab	2.810 ab
CV (%)	10,2	8,9	14,8	14,4

¹ Experimento conduzido pelo Dr. Ricardo S. Araujo, Embrapa Arroz e Feijão.

² Experimento conduzido pelo Dr. Gedi J. Sfredo, Dr. Maurício C. Meyer e Dra. Mariangela Hungria (Embrapa Soja).

³ Testemunha sem inoculação.

⁴ Todos os tratamentos receberam adubação adequada, conforme análise de solo, mas esse tratamento recebeu 100 kg de N (uréia)/ha na semeadura e 100 kg de N no florescimento.

⁵ Os dados representam médias de seis repetições e, quando seguidos pela mesma letra, em cada coluna, não diferiram estatisticamente (Duncan, P ≤ 0,05).

Nos Cerrados, em experimentos conduzidos pela Embrapa, durante três safras, somente na primeira não houve efeito benéfico da reinoculação. Nos experimentos que responderam à reinoculação, os ganhos variaram de 80 a 291 kg/ha, correspondendo a um incremento de 4 a 12,5%. Nos experimentos conduzidos durante três safras, em Londrina e Ponta Grossa, os incrementos no rendimento, pela reinoculação, variaram de 3,2 a 14,5%. Em média, a reinoculação permitiu ganhos de 4,5% no rendimento. Contudo, se for considerado o teor total de proteína nos grãos, esses incrementos foram ainda maiores, em média 9%, atingindo até 25%. Na Tabela 3 estão os resultados de ensaios sobre reinoculação, em que foram estudados os efeitos de diversas combinações de estirpes de *Bradyrhizobium*, mas que são aqui mostrados para verificar os rendimentos sem e com inoculante e com adubo nitrogenado.

Esses e outros resultados positivos obtidos, indicando benefícios da reinoculação na nodulação, nas taxas de fixação do N₂ e no rendimento de grãos, levaram os pesquisadores a difundir as vantagens da reinoculação e, na safra de 1996/97, levantamentos da Embrapa Soja e da CONAB revelaram que 55% dos agricultores estão inoculando a soja, a maioria em áreas já cultivadas anteriormente.

6. OS INCREMENTOS NO RENDIMENTO OBTIDOS PELA REINOCULAÇÃO COMPENSAM FINANCEIRAMENTE?

O inoculante é um insumo barato, mas muitos agricultores reclamam que o processo da inoculação é laborioso. Podem, então, pairar dúvidas sobre as vantagens da reinoculação da soja nos casos de incrementos no rendimento ao redor de 4,5%. Contudo, vários pontos precisam ser considerados. Em um programa de melhoramento bem sucedido, esperam-se incrementos de rendimento dessa grandeza a cada quatro anos de pesquisas intensivas e, portanto, ao deixar de inocular, o agricultor pode estar perdendo os ganhos que teria, por exemplo, ao deixar de usar uma nova cultivar de soja mais produtiva. Deve-se considerar, ainda, que

com a estabilização da moeda brasileira e a globalização do mercado, a diferenciação entre agricultores bem ou mal sucedidos estará em pequenos incrementos no rendimento e na redução no custo da produção. Além disso, para se manter no mercado e preservar o valor de sua terra, o agricultor não pode ser imediatista. Assim, poderá ser retirado N do solo durante algumas safras mas, com o empobrecimento do solo, a sua produtividade cairá. Por outro lado, a competitividade do agricultor é estabelecida pela máxima relação custo/benefício, justificando a reinoculação e não o uso de um insumo caro, como é o caso do fertilizante nitrogenado. A longo prazo, evitando o uso indiscriminado de fertilizantes nitrogenados, o agricultor estará contribuindo, ainda, para a preservação das águas dos rios e lagos e economizando derivados de petróleo, uma fonte energética não renovável.

Quanto aos efeitos residuais do processo biológico, sabe-se que uma cultura de soja fixando taxas elevadas de N_2 também enriquecerá o solo com seus restos culturais, deixando N para a cultura seguinte. No Paraná, por exemplo, tem-se constatado incrementos no rendimento do trigo (*Triticum aestivum* L.) cultivado sobre as parcelas onde a soja havia sido reinoculada (Tabela 4), aumentando, assim, o retorno econômico da inoculação.

Tabela 4. Efeito residual da aplicação de fertilizante nitrogenado e da reinoculação da soja no rendimento do trigo. Experimentos conduzidos na região de Londrina, PR, com a cultivar BR-18.

Tratamento	Rendimento (kg/ha)	
	1994	1995
Testemunha sem inoculação	1.827 ab ¹	2.398 a
Fertilizante nitrogenado	1.484 b	2.469 a
Inoculado	2.000 a	2.449 a
CV (%)	12,7	7,3

¹ Os dados representam médias de seis repetições e, quando seguidos pela mesma letra, em cada coluna, não diferiram estatisticamente (Duncan, $P \leq 0,05$).

Como exemplo de uma análise econômica da inoculação, é citado aqui um experimento conduzido na COOPAVEL (Cooperativa Agropecuária Cascavel Ltda. Avaliações, resultados e comentários do show rural COOPAVEL/95. Publicação Técnica n° 3. Cascavel: COOPAVEL, 1995. 34p.). O inoculante aumentou o rendimento de 139 para 157 sacas/alqueire, ou seja, 18 sacas e, com base no mês de agosto de 1995, com o inoculante a R\$ 4,10/alqueire, os ganhos financeiros foram de R\$ 189,00/alqueire.

7. COMO DEVE SER O INOCULANTE PARA A SOJA?

Para que a inoculação dê retorno econômico ao agricultor, o inoculante precisa ser de boa qualidade. Para isso, alguns critérios precisam ser observados:

• Quais bactérias devem estar no inoculante?

Os pesquisadores da área de microbiologia do solo procuram selecionar estirpes cada vez melhores, principalmente porque, como as novas cultivares de soja produzem mais, as bactérias devem apresentar taxas mais elevadas de fixação do N_2 . A determinação das estirpes recomendadas é complexa, pois deve considerar diversos fatores, como a eficiência com todas as cultivares recomendadas, capacidade de competir com os microrganismos do solo, fermentação adequada na indústria e, principalmente,

capacidade de se adaptar aos solos sem nenhum prejuízo à microflora natural do mesmo. Os pesquisadores se reúnem, a cada dois anos, e definem quais são as melhores estirpes de rizóbio e uma lista é enviada ao Ministério da Agricultura. As indústrias de inoculante recebem, sem nenhum custo de pesquisa, essas bactérias. Inoculantes provenientes de outros países também podem ser comercializados no Brasil, desde que atendam às exigências da legislação, inclusive a de utilizar as estirpes recomendadas pela pesquisa brasileira.

Hoje, são recomendadas quatro estirpes para a cultura da soja, três da espécie *Bradyrhizobium elkanii* (SEMIA 587, SEMIA 5019 ou 29w e SEMIA 5079 ou CPAC 15) e uma de *Bradyrhizobium japonicum* (SEMIA 5080 ou CPAC 7). Estudos conduzidos no Brasil e no exterior indicam que é mais seguro comercializar inoculantes com duas estirpes e, portanto, os inoculantes comercializados no Brasil devem conter duas dessas estirpes. Não importa a combinação dessas estirpes pois, em uma análise geral de mais de 30 experimentos conduzidos durante quatro safras, em diversos locais, não foram constatadas diferenças estatísticas entre as diversas combinações de estirpes e todas conseguiram fornecer o N necessário à cultura. Na Figura 2 podem ser visualizados alguns resultados obtidos com duas combinações de estirpes que vêm sendo comercializadas em larga escala, SEMIA 587 + SEMIA 5019, estirpes utilizadas com sucesso há vários anos, e SEMIA 5079 + SEMIA 5080, duas estirpes novas resultantes de trabalhos de pesquisa da Embrapa Cerrados.

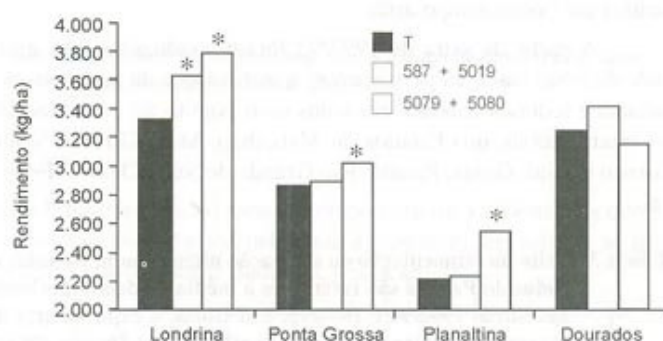


Figura 2. Efeito da reinoculação com duas combinações de estirpes comerciais de *Bradyrhizobium* no rendimento da soja, em solos com população superior a 10^4 células/g de solo. As cultivares utilizadas foram a BR-37 (Londrina e Ponta Grossa), Doko (Planaltina) e EMBRAPA-4 (Dourados). Os asteriscos indicam que, naquele local, o tratamento inoculado diferiu da testemunha (T) não inoculada. Em Dourados, o experimento foi conduzido pelo Dr. Shizuo Maeda e Dr. Carlos H. Kurihara (Embrapa Agropecuária Oeste).

• E o número de células, é importante?

Pela nova legislação que está entrando em vigor, o número mínimo de células de um inoculante deve ser de 10^8 células/g ou ml de inoculante até o prazo final de validade do produto. À primeira vista, parece um número elevado, 100 milhões de bactérias em apenas um grama de inoculante. Abaixo desse número, porém, a probabilidade de sucesso é muito pequena, principalmente em solos já cultivados com a soja. Isso ocorre porque, em diversos estudos, foi determinado que, para conseguir competir com a po-

pulação estabelecida do solo, é necessária uma vantagem numérica de pelo menos 1.000 vezes. Como a população estabelecida nas áreas tradicionais de soja frequentemente atinge 10^4 a 10^5 bactérias por grama de solo, um bom inoculante deve possuir, pelo menos, 10^8 células/g ou ml de inoculante.

A obrigatoriedade de um número elevado de células de rizóbio é um grande avanço na melhoria da qualidade dos inoculantes comercializados. Contudo, deve-se prestar atenção a alguns desvios que podem ocorrer no mercado. Alguns produtos vendidos em fórmula concentrada, por exemplo, podem apresentar o mínimo exigido por lei, de 10^8 células/g ou ml. Nas instruções do produto, porém, vem especificado que o produto deve ser diluído dez, 20 ou mais vezes. Desse modo, o produto, após aplicado às sementes, não apresentará o número adequado de células. Em um futuro breve, porém, esse problema será solucionado, pois a legislação definirá que um inoculante deverá apresentar um número mínimo de células por semente, que deverá ficar ao redor de 100.000 células/sememente, considerando uma semente de peso médio de 0,12 g.

• Que tipo de inoculante deve ser adquirido?

Os inoculantes à base de turfa, cujo pH é previamente corrigido a 6,5 a 7,0, têm sido utilizados há anos, no Brasil e no exterior, com excelentes resultados. No passado, o óleo diesel, óleo mineral e querosene foram testados como veículos de inoculação, mas não se mostraram eficientes. Os agricultores, porém, ficam ansiosos por inoculantes com novas formulações líquidas, que facilitem o trabalho da inoculação e diminuam o desgaste das máquinas.

Atualmente, a pesquisa recomenda os inoculantes turfosos, porque existem inúmeros experimentos, conduzidos nas diversas regiões do Brasil, que respaldam a sua utilização. Os inoculantes turfosos foram melhor estudados, sendo inclusive testados quanto à compatibilidade com os fungicidas e micronutrientes e, por isso, são recomendados pelos pesquisadores.

Contudo, diversos novos inoculantes não turfosos têm surgido como opção para os produtores. Em alguns desses produtos, o primeiro quesito, o de número mínimo de células, está abaixo do exigido pela legislação, mas outros apresentam uma ótima concentração de células. Os produtos estão sendo testados quanto à eficiência a campo e à compatibilidade com fungicidas e micronutrientes. Isto é necessário porque a turfa confere uma pequena, mas importante, proteção ao rizóbio contra estresses hídricos, térmicos e de toxicidade por fungicidas e micronutrientes. Conseqüentemente, antes de adquirir um inoculante, procurar ou pedir para a cooperativa entrar em contato com a Embrapa Soja ou a Embrapa Cerrados ou com a EMATER, para obter as últimas informações sobre novos produtos.

• Vale a pena pagar mais pelo inoculante em turfa esterilizada?

A partir da safra de 1997/98, passará a ser obrigatória a produção de inoculantes em turfa desinfestada, sem contaminantes, na diluição de 10^7 . A turfa é um veículo rico em matéria orgânica, resultante da decomposição de restos vegetais e, por isto, com altas populações de diversos microrganismos, como fungos e actinomicetos. Na indústria, o rizóbio é multiplicado em grandes fermentadores industriais e um determinado volume é injetado nos saquinhos com turfa. Em turfa não esterilizada, o rizóbio terá que competir com os outros microrganismos, o que prejudicará o

seu crescimento, dificultando a obtenção do número adequado de células. Quando a turfa é esterilizada, não existe competição, contribuindo, de um modo decisivo, tanto para o maior número de células quanto para a manutenção das bactérias por um tempo maior. Desse modo, vale a pena pagar mais caro pois, mesmo se o preço triplicar, o número de células no inoculante de turfa esterilizada será cerca de 1.000 vezes mais elevado, garantindo o sucesso da inoculação.

• Como saber se o número de células do inoculante é adequado?

Os fiscais do Ministério de Agricultura estão recebendo treinamento intensivo na área de inoculantes. No caso de dúvida sobre a qualidade do inoculante, o fiscal responsável pela sua área deverá ser acionado para retirar amostras do local de venda, onde o armazenamento sob condições adequadas é obrigatório. Essas amostras serão enviadas para a análise em um laboratório credenciado.

• Quais são os cuidados a tomar na hora da compra do inoculante?

a) Verificar se o produto apresenta o número de registro do Ministério da Agricultura pois, freqüentemente, entram no país produtos de origem e qualidade duvidosas, com estirpes que não são as recomendadas pela pesquisa.

b) Verificar o prazo de validade do inoculante, que deve constar da embalagem. Jamais comprar inoculante vencido.

c) Certificar-se de que o produto, antes de ser comprado, estava sendo conservado em condições adequadas de umidade e temperatura (no máximo 30°C). Após a aquisição, conservar o inoculante em local protegido do sol e arejado até o momento da utilização. Não esquecer que o inoculante contém seres vivos, sensíveis ao calor.

d) O veículo (turfa) deve conter um teor elevado de matéria orgânica, textura fina, baixo teor de argila e ser isento de areia e partículas grosseiras. Essas características podem ser avaliadas tomando-se uma amostra de inoculante, adicionando-se água e pressionando-se essa mistura entre o indicador e o polegar.

• Como fazer a inoculação das sementes com o tambor rotatório?

O processo de preparação dos inoculantes deve ser feito à sombra e, preferencialmente, pela manhã.

No caso de **inoculação em tambor rotatório** (Figura 3) com eixo excêntrico, proceder da seguinte maneira:

a) dissolver 100 a 150 g de açúcar (cinco a sete colheres de sopa de qualquer tipo ou marca de açúcar) em um litro de água. O açúcar pode ser substituído por goma arábica a 20% ou uma celulose substituída a 5%;

b) adicionar a solução açucarada às sementes, na proporção de 300 ml de solução para 50 kg de semente. Misturar no tambor rotatório, dando algumas voltas na manivela;

c) adicionar o inoculante, na proporção de 500 g a 600 g de inoculante por 50 kg de sementes. Misturar no tambor rotatório; alternativamente, pode-se misturar 300 ml da solução açucarada a 500 g de inoculante e, então, adicionar essa mistura a 50 kg de sementes;

d) espalhar as sementes inoculadas em camadas de 10 a 30 cm sobre uma superfície seca, à sombra. Deixar secar por pelo menos uma hora; e

e) semear no mesmo dia ou, no máximo, após dois dias, desde que as sementes fiquem em ambiente protegido do sol e da umidade.

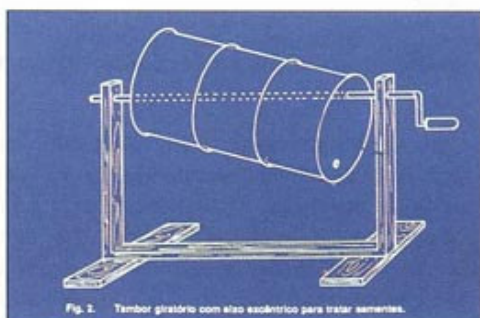


Figura 3. Tambor rotatório (acima) e máquina (abaixo) utilizados para tratamento de sementes e inoculação.

Quando for realizado também o **tratamento de sementes com fungicidas**:

a) adicionar a solução açucarada às sementes (300 ml de solução açucarada para 50 kg de sementes). Misturar no tambor rotatório;

b) adicionar o fungicida e misturar no tambor rotatório;

c) em seguida, adicionar 500 g a 600 g de inoculante por 50 kg de sementes e misturar no tambor rotatório;

d) deixar secar à sombra por pelo menos uma hora; e

e) semear em 24 horas. Caso isso não seja possível, repetir a inoculação no dia da semeadura.

Lembrar que o fungicida é tóxico ao rizóbio, por isto, devem ser escolhidos somente os produtos com menor grau de toxicidade. Utilizar, então, somente aqueles listados no manual de "Recomendações Técnicas para a Cultura da Soja" da região de interesse, pois eles são os menos tóxicos ao rizóbio. E, principalmente, deixar o inoculante em contato com o fungicida pelo menor tempo possível.

No caso de tratamento com micronutrientes, seguir as mesmas recomendações descritas para "tratamento com fungicidas".

A inoculação diretamente na caixa semeadora não é aconselhável, pois resulta em pouca aderência e cobertura desuniforme da semente.

• Como fazer a inoculação das sementes com a máquina de tratamento de sementes?

Hoje existem no mercado máquinas simples, eficientes e baratas que realizam o tratamento de sementes e a inoculação (Figura 3). Nessas máquinas, os fungicidas são utilizados via líquida, diminuindo o risco de intoxicação do operador. Outra vantagem é a de que o equipamento pode ser levado ao campo, pois possui engate para a tomada de força do trator. A principal vantagem dessa máquina é que possibilita inocular 60 a 70 sacas por hora. Com a máquina, proceder da seguinte maneira:

a) preparar a calda do fungicida com solução açucarada a 10 ou 15% e colocar no primeiro compartimento. Quando for necessário, adicionar o micronutriente a esse compartimento;

b) no segundo compartimento, colocar o inoculante turfoso, sem excesso de umidade, sem adicionar água ou solução açucarada; e

c) considerar as mesmas recomendações sobre armazenagem citadas acima.

Durante a semeadura, se o depósito de sementes na máquina aquecer muito, deve-se interromper a atividade e resfriar a caixa, pois o calor pode matar as bactérias.

• Qual o volume de água recomendado no caso de fungicidas e micronutrientes líquidos?

O excesso de água pode provocar danos sérios às sementes, razão pela qual o volume final de líquido não pode exceder 300 ml por 50 kg de sementes. Assim, a água deve ser diminuída, para que o volume final não ultrapasse os 300 ml quando da utilização de fungicidas ou micronutrientes líquidos. No caso de micronutrientes na forma líquida, já completando esse volume, utilizar um fungicida em pó ou vice-versa. E, principalmente, esse volume final de líquido deve apresentar uma concentração final de 10% de açúcar.

• Qual a importância do açúcar e da dose adequada de inoculante?

A importância da solução açucarada como aderente para o inoculante turfoso fica evidenciada pelos dados mostrados na Tabela 5, onde se constata um incremento de 90% na porcentagem de inoculante aderido às sementes, resultando em maior produtividade a campo. Desse modo, se somente água fosse utilizada como aderente, o agricultor estaria deixando, na caixa de sementes, 259 g de cada 500 g de inoculante.

Na Tabela 6 fica evidenciado também que a aderência da turfa está no limite de cerca de 650 g por 50 kg de sementes. Conseqüentemente, doses superiores a 500 g ou 600 g resultarão em acúmulo de turfa na caixa de sementes, dificultando a operação de semeadura. Como alguns inoculantes são comercializados em saquinhos de 250 g e outros em embalagens de 200 g, fica a critério do agricultor utilizar 500 g ou 600 g/50 kg de sementes.

É importante salientar, porém, que, quando a legislação for alterada, exigindo número de células de rizóbio mínimo por semente, a recomendação da dose de inoculante adequada poderá variar de acordo com a qualidade e concentração de cada produto.

8. NO CAMPO, QUAIS OS PRINCIPAIS FATORES LIMITANTES À FRAÇÃO BIOLÓGICA DO N₂?

As leguminosas que fixam N₂ são nutricionalmente mais exigentes, pois requerem os nutrientes necessários ao hospedeiro, ao rizóbio e ao sistema simbiótico. Desse modo, todo o trabalho de

Tabela 5. Efeito de diferentes concentrações de solução açucarada na aderência do inoculante turfoso às sementes e no rendimento da soja, cv. BR-37. O aderente e o inoculante foram aplicados na dose de 300 ml de solução açucarada/500 g de inoculante/50 kg de sementes, com as estirpes SEMIA 587 e SEMIA 5019. Os dados de cada local representam as médias de dois experimentos, conduzidos em solos com população estabelecida de *Bradyrhizobium*, nas safras de 1994/95 e 1995/96.

Concentração de açúcar	Inoculante aderido		Rendimento (kg/ha)	
	(%)	(g)	Londrina	Ponta Grossa
0	48,2 b ²	241,0	2.692 ab	2.312 a
10%	91,5 a	457,4	2.952 a	2.290 a
15%	92,0 a	460,0	2.568 b	2.460 a
20%	88,0 a	440,0	2.680 ab	2.393 a
25%	80,9 a	404,5	2.710 ab	2.363 a
CV (%)	13,0		10,7	13,7

¹ Parte da tese de mestrado do Eng^o Agr^o Osvaldino Brandão Junior.

² Os dados representam médias de seis repetições e, quando seguidos pela mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan (P ≤ 0,05).

Tabela 6. Efeito de doses de inoculante na aderência às sementes e no rendimento de soja¹, cv. BR-37. O inoculante foi aderido às sementes com 300 ml de solução açucarada a 15%.

Dose do inoculante (g/50 kg)	Inoculante aderido		Rendimento (kg/ha)
	(%)	(g)	
0	-	-	2.878 bc
250	92,2 a ²	230,4	2.804 c
500	88,5 a	442,8	3.044 a
750	80,0 b	600,0	2.884 bc
1.000	66,2 c	666,2	2.954 ab
CV (%)	31,0		6,7

^{1,2} Mesmo da Tabela 5.

inoculação pode ser perdido se o agricultor não realizar calagem na dose adequada e com antecedência mínima para a reação do calcário ou, ainda, se houver deficiência de cálcio, fósforo, magnésio, enfim, todos os macro e micronutrientes. O molibdênio é um componente da enzima dinitrogenase e, conseqüentemente, é de grande importância ao processo biológico. Assim, grandes incrementos no rendimento da soja têm sido obtidos com a suplementação desse micronutriente em solos deficientes. Conseqüentemente, a correção do solo para os níveis adequados de fertilidade, ou a sua aplicação às sementes, na hora da semeadura, é essencial para permitir a obtenção de taxas máximas de fixação do N₂.

Os rizóbios são sensíveis a fungicidas, herbicidas e nematocidas, por isso, estes produtos devem ser usados com cautela e somente nas doses recomendadas pela pesquisa. Se algum produto tóxico tiver de ser adicionado às sementes, consultar a pesquisa antes de fazê-lo.

As temperaturas elevadas e o estresse hídrico, muitas vezes atuando juntos, são os principais fatores ambientais limitantes à fixação biológica do N₂ nos trópicos, afetando a simbiose em todos os estádios. O período mais crítico, porém, é o inicial, quando o solo está descoberto, podendo atingir temperaturas superiores a 40°C na superfície, prejudicando a sobrevivência do rizóbio

e a infecção das raízes. Nesse contexto, a semeadura direta é extremamente favorável, reduzindo as temperaturas do solo e aumentando a reserva hídrica.

Em caso de insucesso da inoculação, pelo uso de inoculante de má qualidade ou algum outro problema, pouco pode ser feito. Alguns poucos relatos, no exterior, mostram alguma recuperação pela aplicação de inoculante via água de irrigação. No Brasil, há um relato de que a aplicação de dez doses de inoculante líquido por hectare, via pulverização por avião, ao redor dos 25 dias após a emergência, permitiu a recuperação de uma área onde houve falha de nodulação (Eng^o Agr^o Orlando Carlos Martins, comunicação pessoal). Outra alternativa é a aplicação de adubo nitrogenado. Conseqüentemente, fica mais fácil e barato utilizar adequadamente todas as recomendações da pesquisa, quanto à semeadura e adubação, na época da semeadura.

9. EXISTEM OUTROS INOCULANTES BIOLÓGICOS PARA A CULTURA DA SOJA?

Como os benefícios da inoculação da soja com rizóbio são amplamente divulgados, diversos produtos têm sido comercializados, sem registro no Ministério da Agricultura, carregando microrganismos que supostamente poderiam trazer benefícios à soja ou às culturas que entram em rotação ou sucessão à soja. Esses produtos não possuem registro, não apresentam resultados de validade realizados por instituições de pesquisa idôneas e não trazem benefício ao agricultor. Além disso, a aplicação de um inoculante com microrganismos vivos resultará no estabelecimento desses seres no solo, sendo praticamente impossível retirá-los posteriormente. Conseqüentemente, as leis quanto à aplicação de produtos biológicos devem ser rígidas, para evitar futuros desequilíbrios ecológicos.

10. COMO SABER MAIS SOBRE A FIXAÇÃO BIOLÓGICA DO N₂?

Para quem quiser conhecer em maior profundidade esse processo biológico e outros, como o da micorrização e da ciclagem de nutrientes, existem quatro publicações recentes, que podem ser encontradas na Embrapa Soja ou Embrapa Cerrados: Microrganismos de importância agrícola; Microrganismos e processos biológicos do solo; Fixação biológica de nitrogênio em solos de Cerrados e Biologia dos solos dos Cerrados.

11. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para que a soja não consuma o N do solo, e para que o agricultor não aumente o seu gasto com a compra de fertilizantes, basta inocular a soja. O inoculante possui bactérias do gênero *Bradyrhizobium* que, quando associadas às raízes de soja, conseguem converter o N₂ em compostos nitrogenados, em doses equivalentes a 60 a 250 kg de N/ha, que serão utilizados pela planta. **Os fertilizantes nitrogenados prejudicam a fixação biológica do N₂ e, mesmo uma dose inicial, não traz benefícios ao rendimento da cultura.** Em solos já inoculados anteriormente, a re inoculação adiciona bactérias em estágio fisiológico mais adequado à formação dos nódulos, resultando em incrementos no rendimento, além de apresentar efeitos residuais, pela adição de restos culturais com teores mais elevados de N. **Inocular o solo é, portanto, enriquecê-lo com microrganismos que trabalharão para fornecer, a baixo custo, grandes quantidades de N à soja, além de contribuir para melhorar os níveis de matéria orgânica do solo.**