

Avanços

Fixação biológica no Brasil é exemplo de sucesso

Mariangela Hungria da Cunha e Rubens José Campo*

ACERVO FUNDAÇÃO MT



Raízes de soja com boa nodulação; MT, 2005

A importância do nitrogênio (N) para a vida deve-se à sua participação na formação de moléculas fundamentais a diversos processos biológicos, como os ácidos nucleicos e as proteínas, razão pela qual é um nutriente requerido em maior quantidade pelas plantas. Elas podem adquirir

o das seguintes fontes: a) do solo, principalmente pela decomposição da matéria orgânica; b) da fixação não-biológica, resultante de descargas elétricas, combustão e vulcanismo; c) de fertilizantes nitrogenados; e, d) pela fixação biológica do nitrogênio atmosférico (N_2). O re-

servatório de N na matéria orgânica do solo é limitado, podendo esgotar-se rapidamente, após alguns cultivos; a contribuição da fixação não-biológica, por sua vez, é pequena e a síntese de fertilizantes nitrogenados demanda alta energia, estando seu custo atrelado ao do petróleo.

O N_2 , gás mais abundante na atmosfera, compondo aproximadamente 80% de seu volume, também está presente nos espaços porosos do solo. Porém, a forte ligação entre os dois átomos de N impede sua utilização por animais ou plantas. Algumas bactérias, denominadas fixadoras de N_2 ou diazotróficas, são capazes de capturar o N_2 e, por meio de reações de redução, produzir amônia (NH_3). Existem vários tipos de associações de bactérias fixadoras de N_2 com plantas superiores. A mais eficaz é a que resulta da simbiose com leguminosas, como nos casos da soja, do feijão, da ervilha, do amendoim e da alfafa, entre outras. Bactérias específicas para cada espécie de leguminosa invadem suas raízes e desencadeiam um processo de múltiplas etapas, resultando na formação de estruturas típicas (nódulos), em que as bactérias se alojam e desenvolvem o aparato enzimático necessário à realização do processo biológico.

Nesses nódulos, a NH_3 é transformada em íons amônio, incorporados em esqueletos de carbono, formando compostos nitrogenados, como aminoácidos, exportados para a planta hospedeira. Uma das proteínas mais características nesses nódulos é a leg-emoglobina, que apresenta coloração típica quando está ativa e cuja função principal é fornecer oxigênio, em concentrações adequadas, ao metabolismo das bactérias. Desse modo, nódulos ativos podem ser visualmente reconhecidos por sua coloração interna rósea. O grande interesse comercial pela soja deve-se ao teor elevado de proteína de seus grãos e, justamente por isso, a planta apresenta alta demanda de N. Para a produção de 1.000 kg de grãos, a soja necessita, em média, de 65 kg de N que, em adição a cerca de 15 kg de N alocados nas folhas, caules e raízes, somam 80 kg de N. Assim, a produção de 3.000 kg/ha, comum em várias propriedades, demanda 240 kg de N — que devem ser fornecidos por uma ou mais das quatro fontes citadas.

A simbiose da soja com bactérias diazotróficas é um processo de co-evolução, ocorrido há milhões de anos, no centro genético de origem da leguminosa, na Ásia, particularmente na China. As principais espécies de bactérias associadas à soja são *Bradyrhizobium japonicum* e *Bradyrhizobium elkanii*, embora outras espécies de rizóbios também tenham sido isoladas e identificadas na China. Como a soja não ocorre naturalmente no Brasil, em nossos solos também não existem bactérias capazes de estabelecer uma simbiose eficaz com essa leguminosa. Assim, a partir de pesquisas desenvolvidas em diversas instituições brasileiras, foi publicada, em 1956, a primeira lista de estirpes recomendadas para a cultura da soja.

Na década de 1960, a "Comissão Nacional da Soja" decidiu que a fixação biológica de N_2 deveria ser um parâmetro considerado nos programas brasileiros de melhoramento da soja. Em consequência, foram estabelecidas linhas e grupos de pesquisa, tendo como uma de suas prioridades a seleção de estirpes eficazes e adaptadas às cultivares e solos brasileiros. A conscientização da importância da fixação biológica resultou na prática generalizada da inoculação, já nas décadas de 1960/1970. Para garantir nodulações bem-sucedidas em áreas de primeiro cultivo, foi lançada a tecnologia de inoculação da cultura de arroz que precedia a da soja, seguida pela reinoculação da soja. Essa prática ainda é utilizada em áreas novas, ou em áreas sem cultivo da leguminosa há vários anos.

Hoje, quatro estirpes são recomendadas pelas pesquisas e utilizadas em inoculantes comerciais: *B. elkanii*, estirpes Semia 587 e Semia 5019 (=29w), recomendadas desde 1979, e *B. japonicum*, estirpes Semia 5079 (=CPAC 15) e Semia 5080 (=CPAC 7), recomendadas desde 1992. Essas quatro estirpes são eficazes, produzindo incrementos de até 300 kg/ha de N. Contudo, anualmente, vêm sendo conseguidos ganhos no rendimento pelos

programas de melhoramento, com o lançamento de cultivares que hoje podem produzir quase 6.000 kg/ha, sendo possível novos incrementos, uma vez que o potencial genético da soja é estimado em 8.000 kg/ha.

Com o objetivo de verificar se essa demanda crescente pode ser suprida somente pelo processo biológico, a Embrapa Soja conduziu, nos últimos cinco anos, mais de 50 ensaios com cultivares recém-lançadas e mais produtivas, sob os sistemas de plantio convencional e plantio direto, nas principais áreas produtoras de soja, sempre em solos com população estabelecida de *Bradyrhizobium*. Em complementação à inoculação, foram fornecidas "doses de arranque" (20 kg a 40 kg/ha de N), nas épocas de semeadura, ou 50 kg/ha de N em fases posteriores, em R_2 ou R_4 . Não houve qualquer ganho no rendimento de grãos com a adição de fertilizantes. Ao contrário, em alguns casos, houve decréscimo na nodulação e perdas no rendimento.

A importância dos investimentos realizados pelo Brasil em pesquisas sobre fixação biológica do N_2 fica evidenciada quando se compara nossa situação com a da China, onde o processo biológico não consegue garantir o suprimento de N nas quantidades adequadas, sendo necessária a aplicação recomendada de 50 kg/ha de N, em V_2 ou R_1 , para que se obtenha pouco mais de 2.000 kg/ha. Outro exemplo: em ensaios conduzidos pela Embrapa Soja, nos últimos anos, a contribuição da fixação biológica para a obtenção de todo o N da soja tem sido, no Brasil, estimada entre 80% e 95%, diferentemente dos Estados Unidos, onde esses valores raramente excedem 50%. Em condições favoráveis, essa contribuição é ainda mais elevada, pois efeitos residuais em culturas de inverno são confirmados e estimados em cerca de 20 a 30 kg/ha de N. Entre as condições favoráveis ao processo biológico, destaca-se a implementação do sistema de plantio direto, que favorece a nodulação e o

processo de fixação biológica, particularmente pelas melhores condições de temperatura e umidade do solo que, em geral, são os principais fatores limitantes ao processo biológico no Brasil.

A dinâmica da cultura da soja resulta em problemas e desafios constantes para a maximização do processo biológico. Na última década, foi questionada a necessidade de se reinocular a soja com as bactérias que a ela se associam, estabilizando a fixação do N. Afinal, mais de 90% da área cultivada já teria sido inoculada anteriormente, mostrando uma população estabelecida de *Bradyrhizobium* de 1.000 a 1.000.000 de células/g de solo. Nos Estados Unidos, há relatos de que populações tão baixas quanto 10 a 20 células/g de solo já inibem a nodulação pelas estirpes dos inoculantes. Para responder a essa questão, a Embrapa Soja conduziu outros 50 ensaios, nas principais regiões produtoras de soja, sempre em solos com, no mínimo, 1.000 células de *Bradyrhizobium* por g de solo. A análise de 29 ensaios que apresentaram rendimentos superiores a 2.400 kg/ha confirmou a necessidade da reinoculação, permitindo incrementos médios de 8% estatisticamente significativos. A reinoculação é importante, mesmo em solos ricos em bactérias, provavelmente porque elas se encontram limitadas por diversos fatores ambientais e nutricionais.

Quando a germinação da soja tem início, são liberados pelas sementes diversos compostos responsáveis pela atração, estímulo ao crescimento e ativação dos genes de *Bradyrhizobium*. Segmentos das raízes em crescimento, porém, são suscetíveis à formação de nódulos apenas por poucas horas. Portanto, as bactérias do solo podem não estar aptas a invadir as raízes, no início da germinação. Ao contrário, nas sementes inoculadas, que carregam dezenas de milhares de bactérias em estádios fisiológicos adequados, o processo de formação de nódulos é iniciado prontamente. Desse

modo, em solos já cultivados e inoculados por vários anos, ocorrerá nodulação, independentemente da adição de inoculantes, mas a reinoculação garantirá abundância de nódulos na coroa principal da raiz (Figura 1), bem como rapidez no estabelecimento do processo biológico – fatores decisivos ao bom estabelecimento da cultura e ao incremento do rendimento creditado à reinoculação.

Na década passada, o maior impacto da fixação biológica na cultura da soja ocorreu pela melhoria da qualidade dos inoculantes, fruto de processos industriais mais adequados e da fiscalização governamental. Novas regras estabelecidas pelo Mercosul permitiram a importação de inoculantes de melhor qualidade que os nacionais, conduzindo naturalmente a uma adequação das indústrias locais. Paralelamente, a legislação de inoculantes foi atualizada e um sistema efetivo de fiscalização foi implementado. Ganharam os agricultores, com a disponibilização no mercado de uma série de produtos que atendem às exigências da legislação atual: concentração mínima de 10^9 células/g ou por ml de inoculante, permitindo a concentração de 600.000 células/semente, e sem contaminantes, na diluição 10^{-5} .

Com o surgimento de novas práticas culturais, cultivares mais produtivas e novas tecnologias, haverá necessidade também de adequações que garantam a maximização do processo biológico. No caso da soja transgênica, por exemplo, seria a capacidade de fixação biológica prejudicada? Resultados preliminares de ensaios que a Embrapa Soja está conduzindo a campo indicam que, assim como as cultivares tradicionais variam em sua capacidade de fixação biológica, também as cultivares transgênicas apresentam variabilidades, sendo fundamental que a cultivar receptora do gene transgênico apresente capacidade elevada de fixação biológica, bem como que o processo biológico seja acompanhado nas etapas de retrocruzamento. Hoje, o

FIGURA 1 | NODULAÇÃO NA COROA PRINCIPAL DA RAIZ DE SOJA, TÍPICA EM CASOS DE INOCULAÇÃO BEM SUCEDIDA



MARIANEIA HUNGRIA DA CUNHA/EMBRAPA SOJA

maior fator limitante à fixação biológica seria provavelmente o uso generalizado de fungicidas em sementes, na época da semeadura, estimando-se que mais de 90% dos agricultores adotam essa prática. Infelizmente, dependendo do fungicida, pode-se causar a morte de até 98% das bactérias nas sementes, em apenas 2 horas, resultando em falta de nodulação e até em perda da cultura, em solos pobres em N e com baixa população de *Bradyrhizobium*. Para esses casos, foi desenvolvida a tecnologia de aplicação, no sulco, de inoculantes líquidos, o que permite uma nodulação eficaz, embora a um custo mais elevado, pois se torna necessária a aplicação da dose recomendada, por seis vezes.

Outra linha de pesquisa em desenvolvimento visa a garantir rendimentos elevados, com a implementação da soja em áreas degradadas. Em solos arenosos e com pastagens degradadas, em São Paulo, foram obtidos rendimentos superiores a 4.500 kg/ha, com a correção química do solo, o estabelecimento do sistema de plantio direto e a inoculação com alto número de células. A contribuição da fixação biológica para a cultura da soja, no Brasil, é um exemplo de sucesso reconhecido internacionalmente e que deve ser creditado principalmente à perseverança dos pesquisadores brasileiros em procurar alternativas ecologicamente corretas e de baixo custo para o agricultor. Considerando-se a demanda da cultura

por N, a baixa eficiência e o custo elevado dos fertilizantes nitrogenados, e ainda a área cultivada com soja, estima-se que essa tecnologia resulte em economia de US\$ 3 bilhões por safra.

Existem ainda ganhos ambientais, pela menor poluição de lagos, rios e lençóis freáticos causadas pelo nitrato, evitando-se futuros investimentos com despoluição ambiental, bem como a menor emissão de gases de efeito estufa. Esse sucesso nos traz a responsabilidade de estar permanentemente aptos a vencer novos desafios, para o que recursos devem ser continuamente alocados à pesquisa. Finalmente, devemos considerar que, atualmente, cerca de 24 milhões de doses de inoculantes são comercializadas no Brasil, das quais 99%

destinam-se à cultura da soja. Contudo, existem outras dezenas de leguminosas de importância econômica — como, por exemplo, o feijoeiro — que podem ser igualmente beneficiadas pelo mesmo processo biológico, mas ainda não estão sendo. Cabe aos pesquisadores, professores, agrônomos, extensionistas, formadores de opinião pública, agências de fomento de pesquisa e outros estimular a pesquisa e o debate sobre o uso de inoculantes no Brasil, objetivando ampliar as práticas agrícolas economicamente viáveis e sustentáveis. 

***Mariângela Hungria da Cunha**
(hungria@cnpso.embrapa.br) e **Rubens José Campo** (rjcampo@cnpso.embrapa.br)
são pesquisadores da Embrapa Soja, Londrina, PR.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- EMBRAPA SOJA. *Tecnologias de produção de soja — Paraná 2005*. Londrina: Embrapa Soja, 2005. 224 p. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 5).
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. *Fixação biológica do nitrogênio na cultura de soja*. Londrina: Embrapa Soja, 2001. 48p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 35/ Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 13).
- HUNGRIA, M. et al. The importance of nitrogen fixation to soybean cropping in South America. In: WERNER, D.; NEWTON, W. E. (Eds.). *Nitrogen fixation in agriculture, forestry, ecology and the environment*. Amsterdam: Springer, 2005. p. 25-42.
- VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. Fixação biológica do N₂ na cultura da soja. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. (Eds.). *Biologia dos solos de cerrados*. Planaltina: Embrapa-CNPQ, 1997. p. 297-360.

ESALQ



USP • ESALQ • SERVIÇO DE PRODUÇÃO GRÁFICA • ASSESSORIA DE COMUNICAÇÃO

A Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", instituição centenária, é considerada centro de excelência no ensino nas áreas de Ciências Agrárias, Ambientais e Sociais Aplicadas. Primeira unidade da USP a implantar programas de pós-graduação (1964), oferece atualmente seis cursos de graduação.

Cursos de Graduação

- Engenharia Agrônoma
- Engenharia Florestal
- Ciências Econômicas
- Ciências dos Alimentos
- Ciências Biológicas
- Gestão Ambiental

Programas de Pós-Graduação

Ciência Animal e Pastagens, Ciência e Tecnologia de Alimentos, Ecologia de Agroecossistemas, Economia Aplicada, Entomologia, Estatística e Experimentação Agrônoma, Física do Ambiente Agrícola, Fisiologia e Bioquímica de Plantas, Fitopatologia, Fitotecnia, Genética e Melhoramento de Plantas, Irrigação e Drenagem, Máquinas Agrícolas, Microbiologia Agrícola, Recursos Florestais e Solos e Nutrição de Plantas.

Semeando um futuro melhor

USP/Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
Av. Pádua Dias, 11 • Caixa Postal 9 • 13418-900 • Piracicaba, SP
PABX (19) 3423.4100 • Fax (19) 3423.4468 • e-mail: diretor@esalq.usp.br

www.esalq.usp.br






