

Tecnologia de fixação biológica
2013
FL-PP-7319



CNPSO-34573-1

Tecnologia de fixação biológica do nitrogênio com o feijoeiro: viabilidade em pequenas propriedades familiares e em propriedades tecnificadas



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Soja
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 338

**Tecnologia de fixação biológica
do nitrogênio com o feijoeiro:
viabilidade em pequenas
propriedades familiares e em
propriedades tecnificadas**

*Mariangela Hungria¹
Iêda Carvalho Mendes²
Fábio Martins Mercante³*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Soja

Endereço: Rod. Carlos João Strass, s/n, acesso Orlando Amaral,
CEP 86001-970, C.Postal 231, Distrito da Warta, Londrina, PR.
Fone: (43) 3371 6000
Fax: (43) 33716100
E-mail: cnpsa.sac@embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: José Renato Bouças Farias
Secretário-Executivo: Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite
Membros: Alvaldi Antonio Balbinot Junior, Claudine Dinali Santos Seixas,
Claudio Guilherme Portela de Carvalho, Décio Luiz Gazzoni, Francismar
Correa Marcelino-Guimarães, Marcelo Alvares de Oliveira, Maria Cristina
Neves de Oliveira e Norman Neumaier

Supervisão editorial: Vanessa Fuzinato Dall' Agnol
Normalização bibliográfica: Ademir Benedito Alves de Lima
Editoração eletrônica: Vanessa Fuzinato Dall' Agnol / Marisa Yuri Horikawa
Fotos da capa: Fábio Martins Mercante

1ª edição

1ª impressão (04/2013): 1.000 exemplares

Todos os direitos reservados

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Soja

Hungria, Mariangela

Tecnologia de fixação biológica de nitrogênio com o
feijoeiro: viabilidade em pequenas propriedades familiares e em
propriedades tecnificadas / Mariangela Hungria, Iêda Carvalho
Mendes, Fábio Martins Mercante. – Londrina: Embrapa Soja, 2013.
32p. : il. ; 21cm. – (Documentos / Embrapa Soja, ISSN
1516-781; n.338)

1.Fixação de nitrogênio. I.Mendes, Iêda Carvalho.
II.Mercante, Fábio Martins. III.Título. IV.Série.

CDD 572.545

© Embrapa 2013

Autores

Mariangela Hungria

Engenheira Agrônoma, Pós-doutorado, Pesquisadora,
Embrapa Soja, Londrina, PR
mariangela.hungria@embrapa.br

Iêda Carvalho Mendes

Engenheira Agrônoma, Doutora, Pesquisadora,
Embrapa Cerrados, Planaltina, DF
ieda.mendes@embrapa.br

Fábio Martins Mercante

Engenheiro Agrônomo, Doutor, Pesquisador,
Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS
fabio.mercante@embrapa.br

Apresentação

Diversas espécies de leguminosas se associam simbioticamente a bactérias capazes de fixar o nitrogênio atmosférico, passando a fornecer esse nutriente para as plantas e o feijoeiro é uma dessas espécies. Avanços obtidos pela pesquisa brasileira conseguiram identificar estirpes de bactérias adaptadas às condições edafoclimáticas e às culturas brasileiras e conseguem fornecer, parcial ou totalmente, o nitrogênio necessário para atingir altos rendimentos.

Essas bactérias estão disponíveis nos inoculantes nacionais e a adoção da inoculação do feijoeiro em larga escala pode mudar o cenário nacional, com incrementos expressivos nos rendimentos da cultura, com baixos custos, aumentando substancialmente a margem de lucro dos agricultores. Além disso, é uma tecnologia limpa, trazendo benefícios ao meio ambiente.

Neste documento, fica evidenciado que a tecnologia é prontamente aplicável a todos os tipos de agricultores, desde pequenas propriedades familiares com baixos investimentos, até propriedades altamente tecnificadas que visam altos rendimentos.

Embrapa Soja

Embrapa Cerrados

Embrapa Agropecuária
Oeste

Sumário

1. A fixação biológica do nitrogênio com a cultura do feijoeiro	9
2. Recomendação técnica da inoculação para a cultura do feijoeiro ...	14
3. Detalhamento da tecnologia.....	15
3.1. Inoculantes e processos de inoculação	15
3.2. Pontos positivos da tecnologia	16
3.3. Embasamento técnico e riscos potenciais	18
4. Estudos de casos	20
4.1. Pequenas propriedades no município de Unaí, MG	20
4.2. Propriedades tecnificadas com altos rendimentos	24
5. Considerações finais	27
Agradecimentos	28
6. Referências.....	28

Tecnologia de Fixação Biológica do Nitrogênio com o feijoeiro: viabilidade em pequenas propriedades familiares e em propriedades tecnificadas

Mariangela Hungria

Iêda Carvalho Mendes

Fábio Martins Mercante

1. A fixação biológica do nitrogênio com a cultura do feijoeiro

Os grãos do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) representam a principal fonte de proteínas da população brasileira. Contudo, embora o Brasil seja o maior produtor e consumidor mundial de grãos dessa leguminosa, apresenta um rendimento médio nacional que está entre os mais baixos do mundo, estimado em apenas 889 kg/ha na safra de 2012 (CONAB, 2012). Considera-se que a baixa adoção de tecnologias pelo agricultor e o cultivo em solos marginais estejam entre os principais fatores contribuindo para esse cenário. Contudo, melhorias consideráveis e com baixo custo podem ser obtidas com a adoção da tecnologia de fixação biológica do nitrogênio.

A demanda das plantas pelo nutriente nitrogênio é elevada, por ser um constituinte dos ácidos nucleicos e de proteínas, moléculas fundamentais para todos os processos biológicos. O nitrogênio pode ser obtido a partir do solo (principalmente pela decomposição da matéria orgânica), com pequenas doses pela fixação não-biológica (como descargas elétricas), pela adição de fertilizantes nitrogenados, ou pelo processo de fixação biológica do nitrogênio atmosférico (N_2). Os fertilizantes nitrogenados, embora representem a forma assimilada com maior rapidez pelas plantas, apresentam problemas de custo elevado, polui-

ção e emissão de gases de efeito estufa (Hungria et al., 2001, 2007). A fixação biológica do nitrogênio é o processo através do qual o nitrogênio presente na atmosfera (N_2) é convertido em formas que podem ser utilizadas pelas plantas. A reação é catalisada pela enzima nitrogenase, que é encontrada em todas as bactérias fixadoras. Em termos de agricultura, a simbiose entre bactérias fixadoras de nitrogênio (pertencentes a vários gêneros e espécies de bactérias, mas conhecidas de modo coletivo como rizóbios) e leguminosas (família de plantas à qual pertencem o feijoeiro e a soja (*Glycine max* (L.) Merr.), entre outras) é a mais importante. O processo de fixação biológica do nitrogênio com essas leguminosas ocorre em estruturas típicas formadas nas raízes, os nódulos (Figura 1).



Figura 1. Raiz nodulada de feijoeiro com *Rhizobium tropici*. Foto: Dr. F. M. Mercante.

Existem vários relatos e um certo consenso de que a simbiose com a cultura do feijoeiro não é tão eficiente quanto com a cultura da soja. Isso ocorre devido a uma série de fatores relacionados à bactéria, à planta e ao meio ambiente. Em relação à planta, uma limitação reside no melhoramento genético, que historicamente não tem priorizado o processo biológico. Em relação ao meio ambiente, a simbiose feijoeiro-

-rizóbio apresenta maior sensibilidade a estresses ambientais, o que, em certas condições, pode dificultar o aporte de nitrogênio via processo biológico. Também existe a limitação por uma população elevada de rizóbios nos solos, que são muito eficientes em formar nódulos, mas pouco eficientes em fixar nitrogênio. Esses fatores resultam em que, muitas vezes, a contribuição da fixação biológica do nitrogênio seja baixa (Hungria et al., 1997; Hungria & Vargas, 2000). Grandes avanços, porém, foram conseguidos em relação às bactérias, com ênfase em pesquisas desenvolvidas no Brasil.

Há várias décadas, o Brasil desenvolve pesquisas em fixação biológica do nitrogênio com a cultura do feijoeiro (Hungria et al., 1997). Importantes avanços foram obtidos nas últimas décadas, quando, por exemplo, a Embrapa Soja, Embrapa Cerrados e o Instituto Agrônomo do Paraná iniciaram um programa de seleção de rizóbios para a cultura do feijoeiro, buscando bactérias geneticamente mais estáveis, com maior eficiência no processo de fixação do nitrogênio, maior competitividade nos solos brasileiros e com tolerância a temperaturas elevadas. Em uma primeira etapa, esse programa resultou na identificação da estirpe SEMIA 4080 (= PRF 81), pertencente à espécie *Rhizobium tropici* e recentemente reclassificada como *Rhizobium fleirei*. Em diversos ensaios a campo, a inoculação com a SEMIA 4080 resultou em ganhos no rendimento de grãos de até 906 kg/ha em relação aos rizóbios indígenas, razão pela qual essa estirpe passou a ser autorizada pelo MAPA para o uso em inoculantes comerciais no Brasil a partir de 1998 (Hungria et al., 2000).

Em uma segunda etapa do processo de seleção de estirpes, foi identificada outra estirpe de *R. tropici*, a SEMIA 4088 (= H 12) que, em seis ensaios de campo, incrementou o rendimento de grãos, em média, em 437 kg/ha, passando também a ser autorizada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para o uso em inoculantes comerciais a partir de 2004 (Hungria et al., 2003). Essas estirpes, juntamente com *R. tropici* SEMIA 4077 (= CIAT 899) constam da lista oficial do MAPA para o uso em inoculantes comerciais no Brasil para a cultura do feijoeiro (MAPA, 2011).

Em condições controladas de casa de vegetação, em substrato isento de nitrogênio e somente com o aporte da fixação biológica do nitrogênio, a eficiência dessas duas estirpes em fornecer nitrogênio ao feijoeiro é facilmente constatada (Figura 2).



Figura 2. Em primeiro plano, plantas de feijoeiro em substrato isento de nitrogênio e sem inoculação e, no segundo plano, plantas inoculadas com as estirpes comerciais e outras pré-selecionadas de *Rhizobium tropici*. Foto: Dr. F. M. Mercante.

É importante salientar que a inoculação com essas estirpes pode resultar em altos rendimentos sem a suplementação com fertilizantes nitrogenados, como foi demonstrado em um ensaio conduzido em Planaltina, DF, em que o tratamento inoculado com a SEMIA 4080 produziu 4.300 kg/ha (Mendes et al., 2004). Considerando 12 ensaios conduzidos a campo, na Região Sul e no Centro-Oeste, todos com rendimento de grãos superiores a 1.500 kg/ha, a inoculação com as estirpes autorizadas resultou em ganhos no rendimento de 78 a 1.101 kg/ha e, em média, de 674 kg/ha (Hungria et al., 2000, 2003). Vários outros ensaios têm confirmado a viabilidade do uso de inoculantes contendo essas estirpes elite com a cultura do feijoeiro, com resultados positivos.

Cabe salientar que estirpes selecionadas pela pesquisa são distribuídas, sem custo tecnológico para as indústrias interessadas em produzir inoculantes para o feijoeiro no Brasil e o uso de inoculantes contendo essas bactérias pode alterar, drasticamente, o quadro nacional de baixos rendimentos da cultura, trazendo benefícios econômicos e sociais para o agricultor e para a sociedade em geral.

Também cabe mencionar que a fixação biológica do nitrogênio é uma tecnologia democrática, amplamente aplicável e benéfica para pequenos ou grandes agricultores, com baixo ou alto nível de adoção de tecnologia. Como exemplo, em pequenas propriedades rurais na região de Unaí, os ganhos com a inoculação foram da ordem de 209 kg/ha para a cultivar Requite (Mendes et al., 2007). Em condições otimizadas, com o uso de irrigação, onde todo o investimento tecnológico é feito para maximizar o rendimento da cultura, a inoculação também proporciona altos rendimentos, como é o exemplo citado de Planaltina, DF (Mendes et al., 2004), conforme pode ser visualizado na figura 3.

Em algumas situações, o uso da inoculação pode ser, ou não, adicional à adubação nitrogenada (Mendes et al., 1994; Peres et al., 1994; Vargas et al., 2000). Como exemplo, dados de curvas de resposta a doses de até 60 kg N/ha, em Planaltina, DF, evidenciaram ganhos de rendimento de

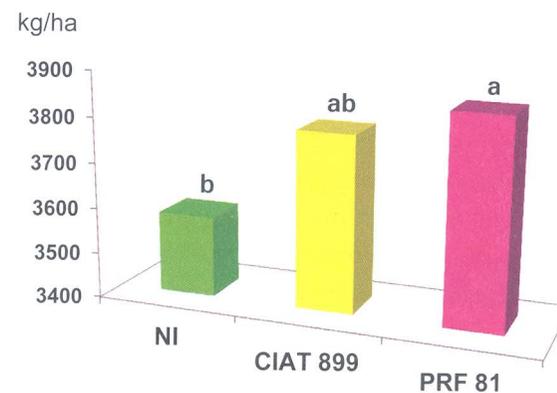


Figura 3. Rendimento (kg/ha) de grãos de feijoeiro em ensaio irrigado conduzido em Planaltina (DF), nos tratamentos não inoculado (NI), ou inoculado com as estirpes comerciais SEMIA 4077 (=CIAT 899) e SEMIA 4080 (=PRF 81). Embrapa Cerrados. (Mendes et al., 2004).

grãos quando o feijoeiro, além de adubado, também foi inoculado, atingindo produtividades de 3.695 kg/ha com inoculação e aplicação de 60 kg N/ha, parcelados (Vargas et al., 2000). Mesmo sem irrigação, mas em condições climáticas adequadas, podem ser conseguidos rendimentos elevados pela inoculação, como por exemplo, em Londrina (PR) e em Ponta Grossa (PR) foram obtidos rendimentos superiores a 3.000 kg/ha, sem nenhuma complementação com fertilizante nitrogenado, somente com o uso de inoculantes (Hungria et al., 2000). Do mesmo modo, em estudos conduzidos em Dourados (MS), verificaram-se rendimentos superiores a 3.000 kg/ha sem adubação nitrogenada, sendo que, numa avaliação econômica, a inoculação com a suplementação de apenas 20 kg/ha de N propiciou acréscimo na renda líquida equivalente à aplicação de 160 kg/ha de N (Pelegrin et al., 2009).

Pode-se concluir, portanto, que existem estirpes com alto desempenho em fixação biológica do nitrogênio, selecionadas para as condições edafoclimáticas brasileiras, autorizadas pelo MAPA para a produção de inoculantes comerciais no Brasil e disponíveis para o agricultor se beneficiar do processo de fixação biológica do nitrogênio.

2. Recomendação técnica da inoculação para a cultura do feijoeiro

Por alguns anos, a inoculação do feijoeiro não recebeu grande destaque nas reuniões que definem as recomendações técnicas para a cultura. Contudo, em 2011, no CONAFE (10º Congresso Nacional de Pesquisa de Feijão, realizado em outubro de 2011, em Goiânia, GO), houve um painel de discussão sobre a adubação nitrogenada e a inoculação e os resultados foram conclusivos em apontar que não restam dúvidas sobre as vantagens do uso de inoculantes em larga escala para a cultura do feijoeiro, em substituição parcial ou total à adubação nitrogenada. Um novo capítulo foi incluído na publicação de informações técnicas do feijoeiro na Região Central-Brasileira para as safras de 2012-2014 (Barbosa & Gonzaga, 2012). Portanto, a inoculação do feijoeiro com bactérias fixadoras de nitrogênio é uma tecnologia amparada pela pesquisa.

3. Detalhamento da tecnologia

3.1. Inoculantes e processos de inoculação

A inoculação é o processo pelo qual bactérias fixadoras de nitrogênio, selecionadas pela pesquisa, são adicionadas às sementes das plantas antes da semeadura, com a finalidade de substituir, total ou parcialmente, o uso de fertilizantes nitrogenados. A inoculação é feita com um produto chamado inoculante.

O inoculante consiste de um veículo apropriado que carrega as bactérias em concentrações elevadas. Dentre os veículos utilizados no Brasil, destacam-se a turfa, substrato rico em matéria orgânica (inoculante turfo-so), formulações líquidas (inoculante líquido), combinações de turfa-líquido e geis. Pela legislação brasileira atual, o produto inoculante deve conter, no mínimo, 1 bilhão de células de bactérias fixadoras de nitrogênio vivas por cada g ou mL de inoculante (10^9 unidades formadoras de colônias, ou UFC, por g ou mL do produto), além de ausência de quaisquer contaminantes detectados após várias diluições do inoculante (diluição 10^5) (MAPA, 2011). O agricultor deve adquirir somente inoculante com registro no MAPA, que tenha sido armazenado em condições adequadas de arejamento e temperatura e dentro do prazo de validade.

Os procedimentos recomendados para a inoculação seguem as informações técnicas atuais para a cultura (Barbosa & Gonzaga, 2012) e são bastante semelhantes às recomendações para a cultura da soja (Hungria et al., 2007). A operação de inoculação deve ser feita à sombra, nas horas mais frescas do dia. Devem-se seguir as recomendações de dosagem e aplicação fornecidas pelo fabricante do inoculante. Sementes bem inoculadas ficam recobertas por uma camada fina e uniforme de inoculante. A recomendação atual da pesquisa é de, no mínimo, 1,2 milhões de células viáveis por semente (cálculo teórico feito a partir da concentração de células nos inoculantes).

No caso de inoculantes líquidos, não devem ser aplicados menos de 100 mL de inoculante por 50 kg de sementes, pois não haverá distri-

buição uniforme. No caso de inoculantes turfosos, recomenda-se a aplicação de um aderente, que pode ser solução açucarada a 10% (100 g de açúcar em 1 litro de água), adicionada na proporção de 300 mL/50 kg de sementes. O aderente é fundamental para a adesão do inoculante turfoso às sementes.

Após a inoculação, as sementes devem ser secas à sombra e semeadas em, no máximo, 24 horas, desde que fiquem protegidas do sol e umidade. Existem no mercado equipamentos de baixo custo que facilitam a inoculação, com uma capacidade de 40 a 60 sacas por hora, podendo-se proceder à semeadura imediatamente após o tratamento.

Deve-se tomar cuidado com sementes tratadas com agrotóxicos, micronutrientes, ou outros produtos. Nesses casos, o inoculante deve ser o último insumo a ser incorporado às sementes e a semeadura deve ser feita o mais breve possível. Caso haja algum imprevisto e a semeadura não possa ser realizada em 24 h, uma nova inoculação deve ser feita. Outra opção interessante no caso de uso de produtos incompatíveis nas sementes é a da inoculação no sulco, duas a três doses, misturadas em uma quantidade de água que não deve ser inferior a 50 L/ha. Na hora da semeadura, deve ser dada atenção especial para evitar o aquecimento demorado do depósito de sementes da semeadora ou do tanque de calda para inoculação no sulco, pois a temperatura elevada pode reduzir substancialmente o número de células viáveis de rizóbios.

3.2. Pontos positivos da tecnologia

3.2.1. Menores custos para o agricultor

Os teores médios de N nos grãos de feijão são da ordem de 5%. Consequentemente, para produzir 2.000 kg grãos/ha, são exportados, aproximadamente, 100 kg de N/ha, somente considerando o conteúdo de nitrogênio nos grãos. Assumindo que 50% dessa necessidade possam ser fornecidos pelo solo (o que em geral não ocorre nos solos brasileiros, pobres em nitrogênio), para suprir os 50 kg de N restantes com o uso de adubação nitrogenada seriam necessários 100 kg de N/ha. Isso ocorre porque a eficiência média de aproveitamento do N-ferti-

lizante pelas plantas é raramente superior a 50%. Essas perdas podem ser ainda maiores, por exemplo, em ureia aplicada a lanço, ou qualquer formulação aplicada antes de uma chuva pesada. Ou seja, para cada 100 kg de N aplicados, apenas 50 kg são efetivamente absorvidos pelas plantas. Se a ureia (abubo nitrogenado mais comercializado no Brasil e que contém 44% de N) fosse utilizada para suprir esses 100 kg de N, seriam necessários 227 kg ureia/ha, a um custo, hoje, da ordem de R\$ 227,00/ha (considerando um custo médio de R\$ 1/kg de ureia, ou R\$ 2,27 por kg de N). Em uma posição ainda mais realista, os solos brasileiros raramente conseguem suprir mais de 25 kg de N/ha sem haver empobrecimento do solo nesse nutriente e em matéria orgânica. Desse modo, o custo com ureia poderia subir para R\$ 341,00/ha. Para efeitos de comparação, o custo da inoculação é, aproximadamente, R\$ 10,00/ha, considerando transporte, a depreciação de equipamentos e o tempo de aplicação nas sementes (Quadro 1).

Tabela 1. Custo do nitrogênio aplicado como adubo nitrogenado ou como inoculante para uma lavoura produzir 2.000 kg/ha, conforme a capacidade de fornecimento do solo.

Capacidade de fornecimento de N do solo	Quantidade exportada de N nos grãos	Quantidade de N-fertilizante ¹	Custo do N-fertilizante (R\$)	Quantidade de inoculante	Custo do inoculante (R\$)
50 kg N/ha	100 kg N/ha	100 kg N/ha	227,00/ha	1 dose	10,00/ha
25 kg N/ha	100 kg N/ha	150 kg N/ha	341,00/ha	1 dose	10,00/ha

¹ Considerando uma eficiência de utilização do N-fertilizante de 50%.

3.2.2. Sustentabilidade ambiental, Plano ABC e Programa ABC

O processo industrial que transforma o N₂ em amônia (NH₃) requer altas temperaturas (300 a 600°C) e altas pressões (200 a 800 atm). Desse modo, o gasto de fontes energéticas não-renováveis é estimado em seis barris de petróleo por tonelada de NH₃ sintetizada. Estimativas recentes feitas por nosso grupo indicam um valor aproximado de emissão de gases de efeito estufa, para 1 kg de N-fertilizante, correspondendo a 4,5 kg de e-CO₂ (equivalentes de CO₂) (Hungria et al., 2013). Outra desvantagem na utilização dos fertilizantes nitrogenados é a baixa eficiência de sua utilização pelas plantas, raramente ultrapassando 50%, sendo a outra metade perdida pelos processos de lixiviação

(lavagem no perfil do solo por percolação ou escoamento superficial) e transformação em formas gasosas, tanto pela desnitrificação (redução, pela ação dos microrganismos, para formas gasosas, N_2 , NO e N_2O) como pela volatilização (perdas gasosas na forma de NH_3) (Hungria et al., 1997, 2001).

O uso indiscriminado de fertilizantes nitrogenados pode resultar 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, lagos e lençóis subterrâneos, podendo atingir níveis tóxicos aos peixes e ao homem. A emissão de óxido nitroso para a atmosfera, fenômeno resultante do processo de desnitrificação, também pode contribuir para o aumento do buraco na camada de ozônio. Dessa forma, ao substituir parcialmente o uso de fertilizantes nitrogenados na cultura do feijoeiro, a fixação biológica do nitrogênio apresenta-se como uma alternativa viável também para reduzir a poluição ambiental relacionada ao uso de adubos nitrogenados.

As vantagens de substituição do N-fertilizante pela fixação biológica do nitrogênio hoje é reconhecida oficialmente pelo governo brasileiro. O Brasil assumiu compromissos voluntários de redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) na Conferência das Partes (COP), inicialmente na 15ª COP (COP-15), realizada na Dinamarca em 2009 e que foram reafirmados na COP-16, realizada no México, em 2010. Para isso, foi criado, pelo governo brasileiro, o Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono) e, para viabilizar esse plano, o MAPA lançou uma linha de crédito rural oficial, em 17 de agosto de 2010, denominada Programa ABC. Dentre as metas estabelecidas pelo Plano ABC, está a de adoção de práticas agrícolas envolvendo a fixação biológica do nitrogênio, com o compromisso de aumento de área em 5,5 milhões de hectares e um potencial de mitigação de 10 milhões de toneladas de CO_2 . Estimativas e implicações relacionadas a essas metas são discutidas em um documento recente de nosso grupo de pesquisa (Hungria et al., 2013).

3.3. Embasamento técnico e riscos potenciais

A resposta do feijoeiro à inoculação, em condições de campo, pode variar em função do solo, do histórico de cultivo da área e de outros fatores bióticos e abióticos. Conforme já comentado, entre os principais fatores limitantes ao sucesso da inoculação a campo podem ser citados a presença de estirpes nativas nos solos brasileiros, a susceptibilidade do feijoeiro ao estresse hídrico e a variabilidade de resposta das diferentes cultivares à inoculação.

Apesar das limitações edafoclimáticas, ganhos de até 1.500 kg/ha em relação à testemunha não inoculada já foram relatados em cultivares responsivas à inoculação (Peres et al., 1994) e, com o incremento no número de ensaios de inoculação conduzidos no território nacional, o embasamento para a recomendação da inoculação do feijoeiro tem sido cada vez mais sólido. Desse modo, conforme consta na publicação de informações técnicas para a cultura na Região Central-Brasileira para o período de 2012-2014, para qualquer lavoura, independente da expectativa da safra, deve-se evitar colocar N-fertilizante na semeadura, embora o uso de 20 a 30 kg de N/ha, em geral, não comprometa a fixação biológica do nitrogênio. Após a semeadura, devem ser realizadas visitas às lavouras, verificando-se a nodulação e sintomas de deficiência de nitrogênio. O N-fertilizante deve ser aplicado somente se não houver nódulos na coroa da raiz (cerca de 15 nódulos/planta), ou se eles não apresentarem coloração interna rósea (Fig. 4), e com plantas apresentando sintomas de deficiência de N. Somente nesse caso o N-fertilizante deve ser aplicado em cobertura em V4 (Barbosa & Gonzaga, 2012). Em geral, rendimentos de 2.000 kg/ha podem ser obtidos somente com a inoculação.



Figura 4. Coloração interna rosea de nódulos ativos na fixação biológica do nitrogênio. Foto: Dr. F. M. Mercante.

4. Estudos de casos

4.1. Pequenas propriedades no município de Unaí, MG

4.1.1 Descrição do estudo

Foi conduzido um trabalho com o objetivo de avaliar a resposta do feijoeiro à inoculação e à adubação nitrogenada em assentamentos da reforma agrária localizados no município de Unaí, MG (Mendes et al., 2007). O município de Unaí foi escolhido para a realização desse trabalho, tendo em vista sua representatividade em termos de número de assentamentos e diversidade de ambientes, principalmente de solos. Nesse município, 12 lotes de assentados da reforma agrária foram previamente selecionados, para comporem uma rede de estabelecimentos de referência, onde foi realizado o trabalho. Dos 12 lotes selecionados, 11 estavam localizados no projeto de assentamento (PA) Jiboia e um no PA Santa Clara-Furadinho. No PA Jiboia o solo era do tipo Neossolo Quartzarênico, e no PA Santa Clara do tipo Neossolo Fúlvico, ambos de textura arenosa. Em todas as propriedades foi feita a correção do solo com calcário e aplicação de 200 kg de gesso/ha.

Em cada propriedade, foram avaliadas duas cultivares de feijão, Requite (grupo carioca) e Diamante Negro (grupo preto). Para cada cultivar foram testados, aleatoriamente, em parcelas de 3 m x 25 m, três tratamentos: 1) Sem inoculação e sem adubação nitrogenada; 2) Com inoculação; 3) Com adubação nitrogenada (60 kg de N/ha). O inoculante contendo as estirpes de *R. tropici* SEMIA 4077 e SEMIA 4080 foi utilizado na proporção de 1 kg de inoculante turfoso para 50 kg de sementes. No tratamento com adubação nitrogenada foi utilizada a ureia e a adubação foi parcelada em duas doses, sendo a primeira de 30 kg de N/ha aos 15 dias após a germinação e a segunda de 30 kg de N/ha no momento da floração.

Todos os plantios foram de primeira safra e ocorreram no período entre 08/11/2006 e 04/12/2006, utilizando uma semeadora de tração animal. Em todos os locais, a densidade média de plantio foi de 16 sementes por metro, em um espaçamento de 0,50 m. A produção de grãos de cada parcela foi calculada com base na colheita de três subparcelas de 10 m², em cada parcela, corrigindo-se a umidade para 13%.

As análises de variância foram efetuadas utilizando-se o programa estatístico SAS (SAS Institute, Cary, NC) e as diferenças estatisticamente significativas determinadas pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. Foi utilizado o delineamento experimental em blocos ao acaso e cada propriedade foi considerada como uma repetição. Propriedades que apresentaram problemas localizados (invasão da área por animais domésticos e/ou silvestres) foram excluídas dessa análise. Assim, para as cultivares Diamante Negro e Requite foram consideradas 11 e 10 repetições, respectivamente.

Nas 12 propriedades, quando se compara a produtividade média do feijoeiro sem inoculação e sem N-fertilizante (tratamento controle) com a produtividade do feijoeiro inoculado, observa-se que a inoculação promoveu um aumento de 209 kg/ha (mais de 3 sacas) para a cultivar Requite e de 128 kg/ha (2 sacas) para a cultivar Diamante Negro (Quadro 2). Na cultivar Requite esses aumentos foram estatisticamente significativos, sendo que a produtividade com a aplicação de 60 kg

de N/ha (858 kg/ha) foi semelhante à obtida com a inoculação (875 kg/ha). Na cultivar Diamante Negro a produtividade obtida com a inoculação (771 kg/ha) ocupou uma posição intermediária entre o tratamento com N (934 kg/ha) e o tratamento controle (643 kg/ha) (Tabela 2).

Tabela 2. Rendimento médio de grãos de duas cultivares de feijoeiro (kg de grãos/ha) em função da inoculação e da adubação nitrogenada em pequenas propriedades no município de Unaí, MG. Adaptado de Mendes et al. (2007).

Lotes/ Tratamentos	Médias ¹	
	Requinte (Grãos kg/ha)	
Controle	666 b	
Inoculado	875 a	
Nitrogênio	858 ab	
Lotes/ Tratamentos	Médias ¹	
	Diamante Negro (Grãos/kg ha)	
Controle	643 b	
Inoculado	771 ab	
Nitrogênio	934 a	

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

4.1.2 Viabilidade econômica

Para a realização da análise econômica do trabalho conduzido em Unaí, foram considerados os custos da ureia e de sua aplicação (a lanço), além do custo do inoculante; os demais custos, como o plantio e tratos culturais, não foram considerados, por serem iguais a todos os tratamentos. Considerando que o preço médio da tonelada de ureia foi de R\$ 1.000,00; tem-se que o custo médio por kg de N foi de R\$ 2,22. O custo estimado da aplicação de ureia a lanço foi de R\$ 17,30/ha, e o custo do inoculante de R\$ 10,00/ha. O preço médio da saca de 60 kg de feijão Carioca foi de R\$ 50,00. Comparou-se o incremento de produtividade, o custo de produção, o acréscimo da receita bruta e o acréscimo da receita líquida, em relação à testemunha sem inoculação e sem adubação nitrogenada. Entende-se por incremento de produtividade a diferença entre a produtividade de grãos correspondente a cada um dos tratamentos em relação ao tratamento sem inoculação e sem adubação (controle). O acréscimo de receita bruta foi determinado pelo acréscimo de produtividade multiplicado pelo preço de venda do feijão Carioca. O acréscimo de receita líquida foi obtido pela diferença entre o acréscimo de receita bruta e os custos da adubação nitrogenada, sua aplicação e, ou, inoculação.

Pelos resultados obtidos, verificou-se que todos os tratamentos correspondentes à inoculação e/ou aplicação de adubo nitrogenado apresentaram acréscimos de produtividade, de receita bruta e receita líquida, em relação ao tratamento testemunha (sem inoculação e sem adubação nitrogenada) (Quadro 3). Na cultivar Requinte (Grupo Carioca), os incrementos de produtividade foram semelhantes nos tratamentos com inoculação (209 kg/ha) e com 60 kg de N/ha (192 kg/ha). Na cultivar Diamante Negro (Grupo Preto), os incrementos de produtividade foram maiores no tratamento com 60 kg de N/ha (291 kg/ha) do que no tratamento apenas com inoculação (128 kg/ha) (Tabela 3).

Tabela 3. Acréscimo de produtividade e nas receitas bruta e líquida devido à inoculação ou à adubação nitrogenada em propriedades de assentamento de reforma agrária no município de Unaí, MG. Adaptado de Mendes et al. (2007).

Cultivares/ Tratamentos	Acréscimo de produtividade ¹ (kg/ha)	Acréscimo na receita bruta ² (R\$/ha)	Custo total ³ (R\$/ha)	Acréscimo na receita líquida (R\$/ha)
Cultivar Requinte				
Inoculado	209	174,20	10,00	164,20
60 kg N/ha (30+30)	192	160,00	153,00	13,00
Cultivar Diamante Negro				
Inoculado	128	106,7	10,00	96,7
60 kg N/ha (30+30)	291	242,5	153,00	89,5

¹ Acréscimo de produtividade em relação à testemunha sem inoculação e sem adubação nitrogenada.

² Considerando R\$ 50,00 a saca de 60 kg de feijão.

³ No tratamento inoculado foi considerado somente o custo do inoculante; no tratamento com adubo foi considerado o custo de 60 kg ha⁻¹ de N aplicados no sulco: a aplicação foi parcelada em duas vezes sendo a primeira metade (30 kg ha⁻¹ de N) aos 15 DAE (a lanço) e a segunda na floração. O preço do adubo foi de R\$136,00 e o custo estimado das aplicações de R\$ 17,30.

Além de demonstrar a viabilidade econômica da inoculação do feijoeiro, esses dados também mostram que mesmo nos casos em que os ganhos de produtividade obtidos com a inoculação são inferiores aos obtidos com o adubo nitrogenado, devido ao baixo custo do inoculante, o risco associado ao seu uso também é menor, principalmente nos casos onde as chances de quebras de produção por fatores adversos são maiores. Esse é um resultado importante, que deve ser levado em consideração pelo agricultor, principalmente em se tratando do cultivo das águas, onde fatores climáticos podem afetar o desempenho da cultura. O baixo risco relacionado ao uso da inoculação favorece sua adoção pelos agricultores familiares, uma vez que a relação benefício/custo é bem mais favorável do que o uso da adubação nitrogenada, permitindo maior receita líquida por cada real investido.

4.2. Propriedades tecnificadas com altos rendimentos

4.2.1. Descrição do estudo

Ainda que a cultura do feijoeiro seja evidenciada, no Brasil, principalmente pelo contingente de pequenos produtores, tem sido verificado, nos últimos anos, um interesse crescente por parte de produtores de outras classes do agronegócio, adotando técnicas avançadas, incluindo a irrigação e a colheita mecanizada.

Neste sentido, foi conduzido um estudo com o objetivo de avaliar a resposta do feijoeiro à inoculação com rizóbios (estirpe SEMIA 4077) e ao parcelamento de fertilizante nitrogenado em termos de nodulação das plantas e produtividade de grãos da cultura, bem como a viabilidade econômica da aplicação de fertilizante nitrogenado e/ou inoculação com rizóbio.

O experimento foi realizado num Latossolo Vermelho distroférrico, em Dourados, MS. Foi utilizada a cultivar Pérola e foram avaliados sete tratamentos, que consistiram da aplicação parcelada de fertilizante nitrogenado em diferentes doses (0, 20, 40, 80 e 160 kg/ha de N como ureia), além de controles com inoculação combinada, ou não, com a aplicação de 20 kg/ha de N (Pelegri et al., 2009). A semeadura foi realizada manualmente, no sistema de plantio convencional, sobre área em pousio, utilizando-se 15 sementes por metro linear, com espaçamento entre linhas de 0,45 m. A adubação de semeadura constou da aplicação de 320 kg/ha da formulação 0-20-20 (N-P-K), no sulco, com base na análise do solo. O controle de plantas daninhas foi feito por capina manual, e os tratamentos fitossanitários mediante aplicação de produtos recomendados para a cultura. O cultivo ocorreu durante o período de outono/inverno.

A maior produtividade (3.762 kg/ha), correspondente ao tratamento com aplicação de 160 kg de N/ha, esteve próxima ao potencial de produção da cultivar, que é de aproximadamente 4.000 kg/ha (Quadro 4). Contudo, o rendimento de grãos com a aplicação de 160 kg de N/ha não diferiu estatisticamente dos tratamentos com aplicação das demais doses de N, sendo superior apenas aos tratamentos sem aplicação de

N (com e sem inoculação com rizóbio). Não foram detectadas diferenças significativas entre os tratamentos que receberam adubação nitrogenada. A aplicação de 20 kg de N/ha de N não promoveu incrementos significativos em comparação com os tratamentos que não receberam adubação nitrogenada (com e sem inoculação) (Tabela 4).

Tabela 4. Rendimento de grãos de feijoeiro, cultivar Pérola, supridos com fertilizante nitrogenado e/ou inoculantes, em Dourados, MS. Adaptado de Pelegri et al. (2009).

Tratamento	Rendimento de grãos (kg/ha)
Sem nenhuma fonte de N	2.967 c ¹
Inoculado	3.131 bc
Inoculado + 20 kg de N/ha	3.339 abc
20 kg de N/ha	3.261 abc
40 kg de N/ha	3.666 ab
80 kg de N/ha (20 + 30 + 30)	3.623 ab
160 kg de N/ha (20 + 70 + 70)	3.762 a

¹Médias seguidas de mesmas letras, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Viabilidade econômica

Para realização da análise econômica, foram considerados os custos da ureia e sua aplicação (a lanço), além do custo do inoculante. Os demais custos, como o plantio e tratos culturais, não foram considerados, por serem os mesmos para todos os tratamentos. O preço da tonelada de ureia foi de R\$ 1.000,00 (preço comercial médio entre março e maio de 2007, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento, CONAB); logo, o custo por kg de N foi de R\$ 2,22. O custo estimado da aplicação de ureia a lanço foi de R\$ 17,30/ha, e o custo da dose de inoculante de R\$ 5,00/ha (considerando que um grande agricultor consegue comprar em maiores quantidades e menores preços). O preço médio da saca de 60 kg de feijão Carioca foi de R\$ 50,00. Comparou-se o incremento de produtividade, o custo de produção, o acréscimo da receita bruta e o acréscimo da receita líquida, em relação à testemunha sem inoculação e sem adubação nitrogenada. Entende-se por incremento de produtividade a diferença entre a produtividade de grãos correspondente a cada um dos tratamentos em relação ao tratamento

sem inoculação e sem adubação (controle). O acréscimo de receita bruta foi determinado pelo acréscimo de produtividade multiplicado pelo preço de venda do feijão. O acréscimo de receita líquida foi obtido pela diferença entre o acréscimo de receita bruta e os custos da adubação nitrogenada e da inoculação. Todos os tratamentos correspondentes à inoculação e/ou aplicação de adubo nitrogenado apresentaram acréscimos de produtividade, de receita bruta e receita líquida, em relação ao tratamento testemunha (sem inoculação e sem adubação nitrogenada) (Tabela 5).

Quanto ao acréscimo de receita líquida, observa-se que a aplicação de 40 kg de N/ha proporcionou o maior acréscimo, atingindo R\$ 477/ha, seguida pelo tratamento correspondente à aplicação de 80 kg de N/ha, com acréscimo de R\$ 335/ha, e pela aplicação de 160 kg de N/ha, com acréscimo de R\$ 273/ha (Quadro 5). Deve-se destacar que, apesar do maior incremento de produtividade com a aplicação de 160 kg de N/ha, chegando aos 795 kg/ha, este tratamento apresentou acréscimo de receita líquida de apenas R\$ 273/ha, sendo comparável ao do tratamento com uso da inoculação e aplicação de 20 kg de N/ha no plantio, que atingiu R\$ 261/ha, embora tenha apresentado incremento de produtividade de apenas 373 kg/ha. Isso se deve, principalmente, ao alto custo da adubação nitrogenada empregada no sistema com a aplicação de 160 kg de N/ha. Deve-se observar, ainda, que o uso da inoculação com rizóbios, acrescida da adubação com 20 kg de N/ha na semeadura, apresentou incrementos no rendimento de grãos e na receita líquida superiores aos do tratamento com a aplicação exclusiva de 20 kg de N/ha na semeadura e ao tratamento em que houve apenas a inoculação. Fica evidenciada, portanto, a importância da inoculação para a obtenção de maior rentabilidade na cultura do feijoeiro.

Tabela 5. Acréscimo de produtividade e acréscimo de receita bruta e líquida devido à adubação nitrogenada e custo total da adubação nitrogenada, em comparação com o controle não inoculado e sem receber adubo nitrogenado. Adaptado de Pelegrin et al. (2009).

Tratamento	Acréscimo de produtividade ¹ (kg/ha)	Acréscimo de receita bruta ² (R\$/ha)	Custo total adubação ³ (R\$/ha)	Acréscimo de receita líquida (R\$/ha)
Inoculado	165	137	5	132
Inoculado + 20 kg de N/ha	373	311	49	262
20 kg de N/ha	294	245	44	201
40 kg de N/ha (20 + 20)	699	583	106	477
80 (20 + 30 + 30)	656	547	212	335
160 (20 + 70 + 70)	795	663	390	273

¹ Acréscimo de produtividade em relação a testemunha sem inoculação e sem adubação nitrogenada.

² Considerando R\$ 50,00 a saca de 60 kg de feijão carioca.

³ Tratamento 2: somente o custo do inoculante; tratamento 3: custo do inoculante mais 20 kg ha⁻¹ de N no plantio; tratamento 4: custo de 20 kg ha⁻¹ de N no plantio; tratamento 5: custo de 20 kg/ha de N no plantio + kg/ha de N aos 20 DAE (a lanço); tratamento 6: custo de kg/ha de N no plantio + 30 kg/ha de N aos 20 DAE (a lanço) + 30 kg/ha de N aos 40 DAE (a lanço); tratamento 7: custo de kg/ha de N no plantio + 70 kg/ha de N aos 20 DAE (a lanço) + 70 kg/ha de N aos 40 DAE (a lanço).

5. Considerações finais

O cenário atual da cultura do feijoeiro, com baixos rendimentos, pode ser drasticamente alterado pelo suprimento adequado de nitrogênio. O nutriente pode ser fornecido, basicamente, por duas fontes, fertilizantes, ou pelo processo de fixação biológica do nitrogênio. Embora tenha havido, por muitos anos, descrédito em relação ao uso da tecnologia de fixação biológica do nitrogênio, rendimentos elevados e consistentes vêm sendo obtidos pela inoculação com estirpes de *Rhizobium tropici* selecionadas pela pesquisa e disponíveis no mercado. A consistência desses resultados resultou em uma alteração da recomendação para a cultura do feijoeiro, dando maior ênfase ao uso de inoculantes. Vantagens econômicas e ambientais da fixação biológica do nitrogênio frente ao uso de fertilizantes nitrogenados são discutidas neste documento. Relevante é considerar que essas vantagens são aplicáveis desde pequenos agricultores familiares, até propriedades altamente tecnificadas que visam altos rendimentos. Neste momento, talvez a principal limitação resida na maior divulgação, para os agricultores dos benefícios que podem ser obtidos pela inoculação do feijoeiro.

Agradecimentos

As pesquisas do grupo são parcialmente financiadas pelo CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), Projeto Repensa (562008/2010-1) e os pesquisadores também agradecem a essa instituição pelas bolsas de produtividade em pesquisa.

6. Referências

BARBOSA, F. R.; GONZAGA, A. C. O. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central-Brasileira: 2012-2014.** Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2012. p. 70-74.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). **Brasil: Série histórica.** Disponível em: (<http://www.conab.gov.br>). Acesso em: 25 set. 2012.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T. Environmental factors impacting N₂ fixation in legumes grown in the tropics, with an emphasis on Brazil. **Field Crops Research**, v.65, p.151-164, 2000.

HUNGRIA, M.; ANDRADE, D. S.; CHUEIRE, L. M. O.; PROBENZA, A.; GUTTIERREZ-MAÑERO, F. J.; MEGÍAS, M. Isolation and characterization of new efficient and competitive bean (*Phaseolus vulgaris* L.) rhizobia from Brazil. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 32, p. 1515-1528, 2000.

HUNGRIA, M.; ARAUJO, R. S.; VARGAS, M. A. T. Fixação biológica do N₂ na cultura do feijoeiro. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. (eds.). **Biologia dos solos dos Cerrados.** Planaltina, DF: EMBRAPA-CPAC, 1997. p.189-294.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro.**

Londrina, PR: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados, 2007. 80 p. (Embrapa Soja. Documentos, 283).

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. Benefits of inoculation of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) crop with efficient and competitive *Rhizobium tropici* strains. **Biology and Fertility of Soils**, v. 39, p. 88-93, 2003.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja.** Londrina, PR: Embrapa Soja, 2001. 48 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 35/ Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 13).

HUNGRIA, M.; MENDES, I. C.; MERCANTE, F. M. **A fixação biológica do nitrogênio como tecnologia de baixa emissão de carbono para as culturas do feijoeiro e da soja.** Londrina: Embrapa Soja, 2013. (Embrapa Soja. Documentos, 337).

MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). **Instrução Normativa Nº 13**, de 24/03/2011. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis/>>. Acesso em: 13 jun. 2011.

MENDES, I. C.; HUNGRIA, M.; STRALLIOTO, R.; REIS JUNIOR, F. B. Bean response to reinoculation with *Rhizobium* strains in Brazilian Cerrados soils.. In: REUNIÃO LATINOAMERICADA DE *Rhizobium*, 20., Miguel Pereira, 2004. **Resumos...** Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2004.

MENDES, I. C.; REIS JÚNIOR, F. B.; MORAES, C. B.; HUNGRIA, M. **Inoculação do feijoeiro em Unai, MG:** cartilha para o produtor rural. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007. 16 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 175).

MENDES, I. C.; SUHET, A. R.; PERES, J. R. R.; VARGAS, M. A. T. Eficiência fixadora de estirpes de rizóbio em duas cultivares de feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, n. 3, p. 421-426, 1994.

PELEGRIN, R.; MERCANTE, F. M.; OTSUBO, I. M. N.; OTSUBO, A. A. Resposta da cultura do feijoeiro à adubação nitrogenada e à inoculação com rizóbio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 219-226, 2009.

PERES, J. R. R.; SUHET, A. R.; MENDES, I. C.; VARGAS, M. A. T. Efeito da inoculação com rizóbio e da adubação nitrogenada em sete cultivares de feijão em um solo de cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, n. 3, p. 415-420, 1994.

VARGAS, M. A. T.; MENDES, I. C.; HUNGRIA, M. Response of field grown bean [*Phaseolus vulgaris* (L)] to *Rhizobium* inoculation and N fertilization in two Cerrados soils. **Biology and Fertility of Soils**, v. 32, p. 228-233, 2000.



Embrapa Soja

Rodovia Carlos João Strass, Acesso Orlando Amaral
Caixa Postal 231 - CEP: 86001-970 - Londrina - PR
Telefone: (43) 3371 6000 - Fax: (43) 3371 6100
www.cnpso.embrapa.br
cnpso.sac@embrapa.br

Embrapa Cerrados

Rodovia BR 020, km 18
Caixa Postal 08223 - CEP: 73310-970 - Planaltina - DF
Telefone: (61) 3388 9898 - Fax: (61) 3388 9885 | 3388 9879
www.cpac.embrapa.br
cpac.sac@embrapa.br

Embrapa Agropecuária Oeste

Rodovia BR 163, km 253,6
Caixa Postal 449 - CEP: 79804-970 - Dourados - MS
Telefone: (67) 3416 9700 - Fax: (67) 3416 9721
www.cpaoo.embrapa.br
cpao.sac@embrapa.br

Apoio:



**Conselho Nacional de Desenvolvimento
Científico e Tecnológico**