

A fixação biológica do nitrogênio como tecnologia de baixa emissão de carbono para as culturas do feijoeiro e da soja

A fixacao biologica do ...
2013 FL-PP-7318



CNPSO-34572-1



10 34572

ISSN 2176-2937

Abril, 2013

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

Documentos 337

A fixação biológica do nitrogênio como tecnologia de baixa emissão de carbono para as culturas do feijoeiro e da soja

*Mariangela Hungria¹
Iêda Carvalho Mendes²
Fábio Martins Mercante³*

Embrapa Soja
Londrina, PR
2013

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: Alvadi 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 Fuzinatto Dall´Agnol

Normalização bibliográfica: Ademir Benedito Alves de Lima

Editoração eletrônica: Marisa Yuri Horikawa

Foto da capa: Fábio M. 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

A fixação biológica do nitrogênio como tecnologia de
baixa emissão de carbono para as culturas do feijoeiro e da soja /
Mariangela Hungria, Iêda Carvalho Mendes, Fábio Martins Mercan-
te. – Londrina: Embrapa Soja, 2013.

24 p. : il. ; 21cm. – (Documentos / Embrapa Soja,
ISSN 1516-781; n.337)

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

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 CO₂. Este documento analisa a contribuição da fixação biológica do nitrogênio, sob o prisma do Plano e do Programa ABC, com as duas leguminosas de grãos mais importantes para a agricultura brasileira, a soja e o feijoeiro.

A importância econômica e ambiental da fixação biológica do nitrogênio em diversas culturas para o Brasil tem sido tema de várias pesquisas e documentos da Embrapa. Neste documento, são ressaltados os benefícios do uso dessa tecnologia limpa para o balanço global de gases de efeito estufa (GEE).

Embrapa Soja

Embrapa Cerrados

Embrapa Agropecuária
Oeste

Sumário

1. Introdução.....	9
2. Fontes potenciais de fornecimento de nitrogênio às plantas	10
3. Emissões de gases do efeito estufa (GEE) relacionadas à síntese e uso de N-fertilizante.....	11
4. Quantificação da redução da emissão de carbono pela troca do N-fertilizante pela inoculação e aplicabilidade da FBN frente ao Plano ABC e ao Programa ABC	13
4.1. Estimativa potencial na cultura do feijoeiro	13
4.2. Estimativa potencial na cultura da soja.....	16
5. Considerações finais	19
Agradecimentos	20
6. Referências.....	21

A fixação biológica do nitrogênio como tecnologia de baixa emissão de carbono para as culturas do feijoeiro e da soja

Mariangela Hungria

Iêda Carvalho Mendes

Fábio Martins Mercante

1. Introdução

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, dentre as metas estabelecidas, 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 CO₂. Para atingir as metas do governo, foi então criada, pelo MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento), uma linha de crédito rural oficial, em 17 de agosto de 2010, denominada Programa ABC.

O principal aporte da fixação biológica do nitrogênio no ciclo global de nitrogênio ocorre pela associação simbiótica de leguminosas com algumas bactérias que possuem uma enzima específica, denominada nitrogenase; essas bactérias são chamadas coletivamente de rizóbios. Contribuições relevantes do processo de fixação biológica do nitrogênio para o Brasil podem ser contabilizadas em culturas de grãos, como a soja (*Glycine max*), o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*), o caupi ou feijão

macassar (*Vigna unguiculata*), o amendoineiro (*Arachis hypogaea*), de forrageiras como o amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*), estilosantes (*Stylosanthes* spp.), alfafa (*Medicago sativa*), de adubos verdes como a crotalária (*Crotalaria* spp.) e o guandu (*Cajanus cajan*), de espécies florestais como a algaroba (*Prosopis juliflora*), bracatinga (*Mimosa scrobella*), leucena (*Leucaena* spp.), entre várias outras espécies. De fato, o Brasil é, hoje, líder em estudos aplicados da tecnologia de fixação biológica do nitrogênio, havendo uma lista de mais de cem estirpes elite de rizóbios, que foram selecionadas pela pesquisa brasileira e que hoje são autorizadas pelo MAPA para a produção de inoculantes comerciais para mais de cem leguminosas.

Infelizmente, apesar de centenas de resultados da pesquisa brasileira, incluindo numerosas validações a campo, bem como de insumos biotecnológicos de alta qualidade disponíveis no mercado, mais de 97% dos inoculantes contendo rizóbios comercializados no Brasil são destinados à cultura da soja.

2. Fontes potenciais de fornecimento de nitrogênio às plantas

Dentre os nutrientes minerais essenciais às plantas, o nitrogênio (N) é o requerido em maior quantidade, por ser um constituinte dos ácidos nucleicos e de proteínas, moléculas fundamentais para todos os processos biológicos. As plantas podem obter o N necessário ao seu crescimento a partir de quatro fontes: 1) o solo, principalmente pela decomposição da matéria orgânica; 2) a fixação não-biológica, resultante de descargas elétricas, combustão e vulcanismo; 3) os fertilizantes nitrogenados; e 4) o processo de fixação biológica do nitrogênio atmosférico (N₂) (Hungria et al., 2001, 2007).

O reservatório de N presente na matéria orgânica do solo é limitado, podendo ser esgotado rapidamente após alguns cultivos; além disso, os agricultores estão cada vez mais conscientizados da importância de

conservar a matéria orgânica. A fixação não-biológica tem uma contribuição pequena, de cerca de 10% das entradas de N na Terra. Desse modo, os fertilizantes nitrogenados e o processo de fixação biológica representam os principais aportes de N para as plantas (Hungria et al., 2001, 2007).

Os fertilizantes nitrogenados representam a forma assimilada com maior rapidez pelas plantas, mas a um custo elevado, além de serem altamente poluentes. O processo industrial que transforma o nitrogênio atmosférico (N₂) em amônia (NH₃) requer altas temperaturas, pressões e catalisadores, fornecidas por gás natural, com um gasto aproximado de seis barris de petróleo por tonelada de NH₃ sintetizada (Hungria et al., 2001). De fato, a energia relacionada à síntese de N-fertilizante é muito superior à dos demais nutrientes, chegando a 54 MJ por kg de N, em comparação com 3,2 e 5,9 MJ por kg de P e K, respectivamente (Laegreid et al., 1999).

Em termos de benefícios econômicos resultantes da fixação biológica do nitrogênio, o melhor exemplo no Brasil é o da soja. Considerando a demanda da cultura por N, o preço do fertilizante e a área cultivada, tem-se que o país economiza, anualmente, cerca de 14 bilhões de reais, que deixam de ser utilizados com a compra de fertilizantes nitrogenados. Certamente, a cultura da soja não seria viável economicamente no Brasil na ausência da fixação biológica do nitrogênio, que continua a ser beneficiada pela reinoculação anual da cultura, havendo estimativas de que o agricultor pode ganhar uma safra a cada dez anos pelo uso anual do insumo inoculante (Hungria et al., 2007; Mercante et al., 2011).

3. Emissões de gases do efeito estufa (GEE) relacionadas à síntese e uso de N-fertilizante

Em relação às emissões de GEE relacionadas à síntese e uso de N-fertilizante, ainda não existe um consenso sobre os valores. No documento publicado em 2006 pelo IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), para o uso de 1 kg de N-fertilizante foi estimada uma emissão de GEE de 1,54 kg de e-CO₂ (equivalentes de CO₂) (IPCC, 2006). Já Robertson & Grace (2004) estimaram que, para cada 1 kg de N-fertilizante aplicado, o custo seria de 4,5 kg de e-CO₂. Agora, considerando que 1% do N-fertilizante é emitido como N₂O (IPCC, *default value*), então, para 1 kg de N-fertilizante, ter-se-iam os 4,5 kg e-CO₂, em adição a um valor aproximado de 1,5 kg de e-CO₂, resultando em 6 kg de e-CO₂. Se forem adicionadas emissões indiretas (0,25 a 0,4% a mais de N₂O), esse valor pode chegar facilmente a 10 kg e-CO₂ (Dr. Robert M. Boddey, Embrapa Agrobiologia, comunicação pessoal). De fato, em estudo conduzido na Austrália, com avaliações a campo (*Life Cycle Assessment*), onde houve contabilização total de emissão de todos os GEE (N₂O, CO₂, CH₄), o valor obtido foi de que 1 kg de N-fertilizante corresponde à emissão de 9,375 kg de e-CO₂ (Dr. David Herridge, University of New England, Australia, comunicação pessoal). Para este documento será considerado um valor intermediário, de 4,5 kg de e-CO₂ para cada 1 kg de N-fertilizante.

Deve-se considerar, ainda, que a eficiência de utilização dos fertilizantes nitrogenados pelas plantas é raramente superior a 50%, indicando que metade é perdida na forma de gases, portanto, com consequências na emissão de GEE, ou por lixiviação e escoamento superficial, resultando em poluição de águas, rios, lagos e lençóis freáticos (Hungria et al., 2007). Em termos econômicos, além do custo elevado do N-fertilizante, tem-se o agravante de que o Brasil necessita importar, segundo dados do MAPA, mais de 70% desse insumo, com preços sempre atrelados a moedas internacionais.

No Brasil, o uso do N-fertilizante é menor quando comparado a vários outros países com vocação agrícola, o que se deve, em grande parte, à utilização e busca por sistemas produtivos que se beneficiem da fixação biológica do nitrogênio. 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 a soja, o feijoeiro, a ervilha, entre outras) é a mais importante. Em termos globais, estima-se que o processo de fixação biológica do nitrogênio contribui com, aproximadamente, 65% da fixação anual de N, sendo o maior provedor desse nutriente para a manutenção da vida na Terra (Vargas & Hungria, 1997; Hungria et al., 2007).

Contudo, há controvérsias sobre a comprovação, por parte do Brasil, da fixação biológica do nitrogênio com a soja para a mitigação de GEE, uma vez que o uso de fertilizantes nitrogenados já é muito pequeno na cultura. Em relação ao Plano ABC, cabe lembrar que, nos compromissos assumidos pelo governo brasileiro, consta um incremento na área com fixação biológica do nitrogênio em 5,5 milhões de ha, com um potencial de mitigação de 10 milhões de toneladas de CO₂.

4. Quantificação da redução da emissão de carbono pela troca do N-fertilizante pela inoculação e aplicabilidade da FBN frente ao Plano ABC e ao Programa ABC

4.1. Estimativa potencial na cultura do feijoeiro

Não existe, ainda, nenhum trabalho científico conduzido especificamente para quantificar a mitigação de CO₂ na comparação de uma lavoura tradicional de feijoeiro utilizando N-fertilizante e de uma lavoura adotando a tecnologia de fixação biológica do nitrogênio e uma estimativa é apresentada neste documento. Contudo, a mitigação pode ser muito

mais elevada, dependendo das perdas após a aplicação do N-fertilizante e da necessidade de transporte de um volume muito superior de fertilizantes, em comparação com os inoculantes.

Segundo estimativas da FAO (*Food and Agriculture Organization*) e da ANDA (Associação Nacional para Difusão de Adubos), a média nacional de uso de fertilizante nitrogenado na cultura do feijoeiro é de 25 kg de N/ha. Esse fertilizante nitrogenado pode ser substituído pela inoculação da cultura, resultando em ganhos econômicos para o agricultor e contribuindo para as metas do governo brasileiro propostas no Plano ABC.

Não existem dados sobre a emissão de GEE relacionada a inoculantes contendo rizóbios. Contudo, tomando como base o gasto de energia e insumos na indústria, foi estimado que seria de 1 litro de inoculante = 8,76 x 10⁻⁵ t de CO₂, ou seja, 1 dose de 100 mL equivaleria a 8,76 x 10⁻⁹ kg e-CO₂ (estimado por Leonel Neves do Canto e Mello, consultor).

Desse modo, conforme pode ser visualizado no Tabela 1, a substituição dos adubos nitrogenados aplicados hoje na cultura do feijoeiro pela inoculação com as estirpes de rizóbios elite selecionadas pela pesquisa e usadas em inoculantes comerciais do Brasil (considerando a relação de que 1 kg de N-fertilizante tem uma emissão de GEE de 4,5 kg de e-CO₂, conforme definido neste documento) pode resultar em uma mitigação de, pelo menos, 367.000 toneladas de e-CO₂. Contudo, o valor médio de 25 kg de N/ha é bastante conservador, uma vez que recomendações para a cultura variam de 60 a 150 kg de N/ha, aplicados em duas vezes (Barbosa Filho, 2012). Desse modo, a mitigação de GEE pode superar 1 milhão de toneladas de e-CO₂.

Outro cálculo que poderia ser utilizado para a verificação das metas propostas pelo governo brasileiro no Plano ABC seria o de expansão da área com fixação biológica do nitrogênio. Segundo estimativas da ANPII (Associação Nacional de Produtores e Importadores de Inoculantes), hoje são comercializadas apenas cerca de 350.000 doses de inoculantes por ano para a cultura do feijoeiro (ANPII, comunicação pessoal), que devem atender a, aproximadamente, 7% da área cultivada, uma vez que em alguns casos é usada mais de uma dose por hectare. Desse modo, existe

um potencial de expansão da fixação biológica do nitrogênio em mais de 3 milhões de ha, que completariam 55% das metas do governo brasileiro (Tabela 2). Além disso, historicamente, até 2008/2009, mais de 4 milhões de ha eram cultivados com essa cultura no Brasil (CONAB, 2012) e em uma conjuntura econômica favorável à comercialização, poderão voltar a ser cultivados pelo menos mais 1 milhão de ha, adicionando mais 18% de cumprimento das metas do governo brasileiro.

Tabela 1. Estimativa de economia de equivalentes de CO₂ pela substituição de adubos nitrogenados pela inoculação na cultura do feijoeiro.

Área plantada 2011/2012 (milhões de ha) ¹	Adubação média no Brasil ² (kg N/ha)	Consumo total de N-fertilizante (1000t N)	Substituição possível pela inoculação (%)	Economia (1000t N)	e-CO ₂ do N-fertilizante ³ (1000t)	(eCO ₂ fertilizante) (eCO ₂ inoculante) ⁴ (1000t)
3,26	25	81,5	100	81,5	366,75	366,72

¹ CONAB (2012).

² FAO e ANDA.

³ Considerando, conforme explicado no texto, a relação de 1 kg N-fertilizante = 4,5 kg de e-CO₂.

⁴ Considerando a estimativa de 8,76 X 10⁻³ X 1000 t e-CO₂ por dose de 100 mL de inoculante, o que daria 28.558,6 kg de e-CO₂ para 3,26 milhões de ha (estimativa pelo consultor Leonel N. C. Mello).

Tabela 2. Potencial de expansão da tecnologia de fixação biológica do nitrogênio em milhões de hectares (Mha) com a cultura do feijoeiro no Brasil.

Área plantada 2011/2012 ¹ (Mha)	Área atual com uso de inoculantes ² (Mha)	Área com potencial de adoção da tecnologia (Mha)	Área de expansão proposta no Plano ABC (Mha)	Atendimento das metas do governo (%)
3,269	0,23	3,039	5,5	55,2

¹ CONAB (2012).

² Estimativa da ANPII.

Também foi realizada uma estimativa do potencial de mitigação de GEE em uma propriedade com cultivo de feijoeiro pela substituição, parcial ou total, do N-fertilizante pelo inoculante contendo bactérias fixadoras de nitrogênio (Tabela 3). Conforme já especificado, a estimativa de e-CO₂ para a síntese de uma dose de inoculante por ha (100 mL ou 100 g) foi feita a partir de informações fornecidas pela indústria e foi considerado que o custo para a aplicação do inoculante na lavoura é muito baixo, visto que o tratamento das sementes é feito em um galpão, sem custo adicional para a distribuição na lavoura, e o insumo vai junto às sementes.

Tabela 3. Cálculo teórico, com base apenas na fabricação de N-fertilizante e de inoculantes, de equivalentes de CO₂ e também considerando apenas a exportação de nitrogênio nos grãos em uma lavoura de feijoeiro produzindo 2.000 kg/ha.

Capacidade de fornecimento de N do solo	Quantidade exportada de N nos grãos ¹	Quantidade de N-fertilizante ou inoculante	kg de e-CO ₂ /ha
50 kg N/ha	100 kg N/ha	100 kg N/ha	450 ²
25 kg N/ha	100 kg N/ha	150 kg N/ha	675 ²
25 ou 50 kg N/ha	100 kg N/ha	1 dose inoculante	(8,76 x 10 ⁻⁹) ³

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

² Considerando a relação de 1 kg N-fertilizante = 4,5 kg de e-CO₂.

³ Estimativa realizada pelo consultor Leonel N.C. Mello.

A linha de crédito disponibilizada no Programa ABC poderia ser viabilizada para o financiamento total de culturas do feijoeiro em que fosse comprovado que, em substituição ao uso de adubos nitrogenados, fosse adotada a inoculação. É possível, também, que outros itens financiáveis, possam ser incluídos, por exemplo, corretivos do solo; fertilizantes (exceto os nitrogenados); custeio da cultura; aquisição de máquinas, implementos e equipamentos (por exemplo, máquinas para a inoculação de sementes, máquinas para inoculação no sulco). Cabe lembrar, porém, que o financiamento pelo Programa ABC seria vantajoso somente para grandes produtores, pois a taxa de custeio é de 5,5% ao ano, enquanto a do ABC é de 5%. Para os produtores familiares, continua sendo mais vantajoso o financiamento pelo Pronaf e os médios produtores são atendidos com encargos iguais aos do Programa ABC.

4.2. Estimativa potencial na cultura da soja

Conforme já comentado, o caso de maior sucesso da fixação biológica do nitrogênio no Brasil é o da soja. A soja é uma leguminosa de grande interesse, particularmente pelo teor elevado de proteína nos grãos, mas justamente por isso apresenta demanda elevada em N. Para cada 1.000 kg de grãos de soja produzidos, com um teor médio de 6,5% N, são necessários cerca de 80 kg de N (65 kg alocados nas sementes e 15 kg nas folhas, caule e raízes). Considerando um rendimento de 3.000 kg de grãos/ha (média aproximada de rendimento nacional nos últimos anos), a planta necessita, portanto, 240 kg de N/ha. Os solos

brasileiros são pobres em N, normalmente sendo capazes de fornecer somente de 10 a 30 kg de N/ha/safra e, considerando a contribuição máxima de 30 kg de N, haveria uma pequena redução da demanda de N, para 210 kg de N/ha. Se forem utilizados fertilizantes nitrogenados, as perdas de N são elevadas, por lixiviação, escoamento superficial, desnitrificação e volatilização, raramente excedendo 50% do aplicado. Consequentemente, na verdade seriam necessários 420 kg de N/ha, ou 930 kg de ureia, a forma mais utilizada, um custo que inviabilizaria totalmente a cultura no Brasil (Hungria et al., 2001, 2007).

Graças à pesquisa brasileira em fixação biológica do nitrogênio, as necessidades da cultura da soja em N, em patamares que em nossos ensaios já estão próximos a 5.000 kg/ha (Hungria et al., 2006), podem ser totalmente supridas pelo processo biológico. Hoje, não existe agricultor de soja no Brasil que não se beneficie da tecnologia, suprindo mais de 90% das demandas de N da planta a campo (pois sempre existe alguma contribuição do solo), ao passo que em países onde não houve investimento tão forte em pesquisa, por exemplo, a China, os Estados Unidos, a Austrália, o processo biológico consegue suprir, em geral, apenas 50% das demandas da planta, sendo necessário suprir o restante com adubos nitrogenados (Hungria et al., 2006, 2007).

Em termos de e-CO₂, considerando o valor de 1 kg de N = 4,5 kg de e-CO₂, pode-se visualizar, no Tabela 4, que o impacto que haveria pela adubação nitrogenada da soja, de acordo com as necessidades da planta, seria de 45 milhões de t de e-CO₂, o que superaria, de longe, os 10 milhões de t de e-CO₂ propostos pelo governo brasileiro na COP-15. O que ainda não está claro é se existe alguma maneira de negociar a manutenção desse cultivo da soja sem N-fertilizante. Também existe o questionamento sobre se a fixação biológica do nitrogênio com a cultura da soja seria aplicável ao Programa ABC.

Outra realidade a ser considerada é que, nas formulações de fertilizantes disponibilizadas para a maioria dos agricultores, existe um residual de N, por exemplo, no MAP (Mono-Amonio-Fosfato). Isso resulta em que as estatísticas em relação à cultura da soja no Brasil, segundo

a FAO, sejam de consumo médio de 8 kg de N/ha. Os resultados da pesquisa brasileira mostram, claramente, que não existe necessidade de aplicar esse N-fertilizante. Desse modo, uma mudança nas indústrias para permitir formulações com zero de N para a cultura da soja resultaria em uma mitigação de 864 x 1000 t e-CO₂ (Tabela 4). Com a comprovação de menor uso de N-fertilizante na cultura da soja, no mercado voluntário, a um custo aproximado de US\$ 7/tonelada de e-CO₂, poderiam ser gerados, aproximadamente, US\$ 6,05 milhões, ou cerca de R\$ 12 milhões.

No cenário atual, cabe considerar, ainda, que existe uma enorme pressão no mercado brasileiro para a colocação de adubos nitrogenados na cultura da soja, vendendo a ilusão de perspectivas de incrementos no rendimento. Contudo, dados de mais de uma centena de ensaios conduzidos pela pesquisa mostram, claramente, que não existe qualquer benefício em termos de rendimento de grãos pela aplicação desse N-fertilizante, seja na semeadura, no florescimento, no início ou no período médio de enchimento de grãos (Mendes et al., 2003; Hungria et al., 2001, 2006, 2007). Nessa centena de ensaios, não foi observado incremento no rendimento pela suplementação com N-fertilizante. Para o agricultor, 30 kg de N/ha, a um custo de R\$ 2,22/kg de N, representam um custo adicional de R\$ 66,6/ha e, para o país, considerando 24 milhões de ha cultivados, de R\$ 1,58 bilhões. Além disso, o Brasil aumentaria a emissão de GEE em 3,24 milhões de t de e-CO₂ (Tabela 4) e teria que encontrar outras maneiras para mitigar essa emissão extra.

Desse modo, mais uma vez cabe pensar em como utilizar o cenário atual de benefícios da fixação biológica com a cultura da soja no Plano e no Programa ABC.

Finalmente, cabe salientar que a soja também entra em outras linhas financiáveis pelo Programa ABC e, portanto, a fixação biológica do nitrogênio também seria incluída. Tem-se, por exemplo, a incorporação da soja fixando nitrogênio em áreas de renovação de pastagens degradadas, em áreas de integração lavoura-pecuária-floresta, em áreas de plantio direto, entre outras. Um estudo detalhado dessas contribuições precisa ser realizado.

Tabela 4. Cenário de consumo de N-fertilizante frente o uso da fixação biológica do nitrogênio para uma cultura da soja produzindo 3.000 kg/ha.

Situações	Aporte de N-fertilizante	Aporte total em 24 milhões de ha	e-CO ₂ ¹
Caso não houvesse pesquisa em fixação biológica do nitrogênio no Brasil	420 kg de N/ha	10 milhões t N	45 milhões t
Cenário atual, fixação biológica e média de 8 kg de N/ha ²	8 kg de N/ha	192.000 t N	864.000 t
Cenário de pressão para a colocação de 30 kg de N/ha	30 kg N/ha	720.000 t N	3,24 milhões t

¹ Considerando 1 kg de N = 4,5 kg de e-CO₂, conforme definido neste documento. Devem ser descontados desse valor as emissões relacionadas ao uso do inoculante, estimado em 1 dose de 100 mL = 8,76 X 10⁻⁹ kg de e-CO₂.

² Estimativa da FAO.

5. Considerações finais

O Brasil assumiu compromissos voluntários de redução das emissões de GEE na Conferência das Partes, inicialmente na COP-15, e que foram reafirmados na COP-16. Dentre as metas estabelecidas 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 CO₂. Foi então criado o Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono) do governo brasileiro, com uma linha de crédito rural oficial, denominada Programa ABC. Neste documento, são apresentadas considerações sobre as emissões de gases do efeito estufa (GEE) relacionadas à síntese e uso de N-fertilizante, além de estimativas da quantificação da redução da emissão de carbono pela troca do N-fertilizante pela inoculação e aplicabilidade da fixação biológica de nitrogênio frente ao Plano ABC, para as culturas do feijoeiro e da soja.

As análises demonstraram que a substituição do N-fertilizante utilizado hoje com a cultura do feijoeiro pode resultar em economia para o agricultor, em ganhos ambientais e pode auxiliar a cumprir as metas do governo em fixação biológica do nitrogênio em cerca de 60%. Além disso, existe a possibilidade de comercialização de créditos de carbono no mercado voluntário internacional.

O caso da fixação biológica do nitrogênio com a cultura da soja, provavelmente o mais bem sucedido mundialmente, também foi analisado sob o ponto de vista do Programa ABC, com sugestões de como pode ser viabilizado crédito para a cultura pelo Programa ABC e quanto a cultura pode contribuir para as metas do governo de mitigação de GEE. Considerando apenas as culturas do feijoeiro e da soja, as metas propostas pelo governo brasileiro seriam atendidas completamente.

Deve-se destacar que outras leguminosas fixadoras de nitrogênio também poderão contribuir para as metas estabelecidas pelo governo possam ser atingidas. Entre estas leguminosas, destacam-se o amendoineiro, cada vez mais utilizado, inclusive em áreas de reforma de canaviais, adubos verdes como crotalária, mucunas, feijão-de-porco e guandu, pastagens como alfafa, leguminosas arbóreas, particularmente no contexto do novo código florestal, entre outras.

Em adição às possibilidades do Programa ABC, existe uma grande oportunidade de desenvolvimento de um projeto de créditos de carbono que podem ser conseguidos pela substituição do adubo nitrogenado pelo inoculante na cultura do feijoeiro. Essa seria uma abordagem inovadora e que poderia trazer grande impacto e visibilidade nacional e internacional. Existem consultores já familiarizados com o tema e com grande experiência nesse tipo de projeto.

No cenário proposto no Tabela 1, de 367.000 toneladas de e-CO₂, e a um custo aproximado de US\$ 7/tonelada de e-CO₂ (valor fornecido pelo consultor Leonel N. C. Mello) no mercado voluntário, poderiam ser gerados aproximadamente US\$ 2,57 milhões. Conforme também comentado, como as estimativas podem chegar a 1 milhão de toneladas de e-CO₂, esse mercado voluntário poderia ser de fato da ordem de US\$ 7 milhões, ou seja, mais de R\$ 14 milhões.

Além de todas as vantagens apontadas neste documento, a fixação biológica do nitrogênio traz como vantagem uma percepção nacional e internacional muito positiva, pela adoção de uma tecnologia limpa, com benefícios para o meio ambiente.

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 FILHO, M. P. **Adubação**. Agência de informação da Embrapa: feijoeiro. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/fejiao/arvore/CONTAG01_81_1311200215104.html>. Acesso em: 01 jun. 2012.
- CONAB. **Brasil**: Série histórica. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 25 set. 2012.
- HUNGRIA, M.; ARAUJO, R. S.; VARGAS, M. A. T. Fixação biológica do N₂ na cultura do feijoeiro. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. (Ed.). **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: Embrapa Soja, 2007. 80 p. (Embrapa Soja. Documentos, 283).
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. 48 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 35/ Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 13).
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C.; GRAHAM, P. H. Contribution of biological nitrogen fixation to the N nutrition of grain

crops in the tropics: the success of soybean (*Glycine max* L. Merr.) in South America. In: SINGH, R. P.; SHANKAR, N.; JAIWAL, P. K., (Ed.). **Nitrogen nutrition and sustainable plant productivity**. Houston, Texas: Studium Press, LLC, 2006. p.43-93.

IPCC. **Guidelines for national greenhouse gas inventories**. v.3, 2006. Disponível em: < <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol3.html> >. Acesso em: 01 mar. 2012.

LAEGREID, M.; BOCKMAN, O. C.; KAARSTAD, O. **Agriculture, fertilizers and the environment**. Wallingford, U.K.: CABI, 1999. 320 p.

MENDES, I. C.; HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T. Soybean response to starter nitrogen and *Bradyrhizobium* inoculation on a Cerrado oxisol under no-tillage and conventional tillage systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.81-87, 2003.

MERCANTE, F. M.; HUNGRIA, M.; MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B. **Estratégias para aumentar a eficiência de inoculantes microbianos na cultura da soja**. Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2011. 4 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado Técnico, 169).

ROBERTSON, G. P.; GRACE, P. R. Greenhouse gas fluxes in tropical and temperate agriculture: the need for a full-cost accounting of global warming potentials. **Environment, Development and Sustainability**, v. 6, p. 51-63, 2004.

VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. **Biologia dos solos dos cerrados**. Planaltina, DF: EMBRAPA-Cerrados, 1997. 524 p.



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.cpao.embrapa.br
cpao.sac@embrapa.br

Apoio:



**Conselho Nacional de Desenvolvimento
Científico e Tecnológico**