

UFRRJ
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO

DISSERTAÇÃO

**Crescimento e Produção de Feijoeiro Originado de
Sementes com Diferentes Teores de Fósforo e
Molibdênio sob Diferentes Fontes de Nitrogênio**

Rafael Sanches Pacheco

2010



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO

CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE FEIJOEIRO ORIGINADO DE
SEMENTES COM DIFERENTES TEORES DE FÓSFORO E
MOLIBDÊNIO SOB DIFERENTES FONTES DE NITROGÊNIO

RAFAEL SANCHES PACHECO

Sob a Orientação do Professor

Adelson Paulo de Araújo

e Co-orientação da Pesquisadora

Rosângela Stralotto

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências** em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo.

Seropédica, RJ
Agosto de 2010

635.65

P116c

T

Pacheco, Rafael Sanches, 1981-.

Crescimento e produção de feijoeiro originado de sementes com diferentes teores de fósforo e molibdênio sob diferentes fontes de nitrogênio. / Rafael Sanches Pacheco - 2010.

44 f.: il.

Orientador: Adelson Paulo de Araújo.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia.

Bibliografia: f. 35-44.

1. Feijão - Cultivo - Teses. 2. Feijão Inoculação - Teses. 3. Nitrogênio - Fixação - Teses. 4. Plantas - Efeito do fósforo - Teses. I. Araújo, Adelson Paulo de, 1963-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Dissertação, desde que citada a fonte.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA/CIÊNCIA DO SOLO**

RAFAEL SANCHES PACHECO

Dissertação submetida ao Curso de Pós-graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo, como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Ciências** em Agronomia.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 30/08/2010

Adelson Paulo de Araújo. Dr. UFRRJ
(Orientador)

Daniel Vidal Pérez. Dr. EMBRAPA Solos

Jean Luiz Simões Araújo. Dr. EMBRAPA Agrobiologia

Aos meus pais e à minha irmã, pela forte estrutura familiar e por me apoiarem e estarem sempre ao meu lado em todas as importantes decisões da minha vida.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Juarez Torres Pacheco e Regina Lúcia Sanches Pacheco, que com muito amor, carinho, compreensão e apoio incondicional me deram forças no que fosse necessário para que eu pudesse alcançar meus objetivos.

À minha irmã Érika Sanches Pacheco pelo apoio e incentivo sempre valiosos.

Ao Professor Adelson Paulo de Araújo pela orientação e ensinamentos sobre pesquisa científica.

À Pesquisadora Rosângela Straliozzo pela orientação e exemplo de dedicação ao trabalho.

À UFRRJ por proporcionar minha formação acadêmica e alguns dos melhores anos da minha vida.

Ao CPGA-CS e toda sua equipe pela atenção e competência no trabalho.

Ao CNPq pela concessão da bolsa.

A toda equipe da EMBRAPA Agrobiologia, pela ajuda imprescindível sem a qual este trabalho não poderia ser realizado.

À EMBRAPA Gado de Leite pela concessão da área do experimento e aos funcionários do campo experimental Fazenda Santa Mônica pela ajuda sempre que necessária.

Ao pesquisador da EMBRAPA Solos Daniel Vidal Pérez pela realização das análises de molibdênio nas sementes e nos grãos.

À minha namorada Ayla Gonçalves Vilas Boas pelo companheirismo e pelos momentos agradáveis que passamos juntos.

À bolsista de iniciação científica Luciana Fernandes de Brito pela grande ajuda na condução do experimento e ao amigo Osmário José de Araújo pela ajuda nas análises de fósforo nas sementes.

A todos os meus amigos e colegas que convivi ao longo de toda minha vida, pelas experiências proporcionadas e que de alguma forma contribuíram para elaboração deste trabalho.

Muito Obrigado!!

BIOGRAFIA

Rafael Sanches Pacheco nasceu em 3 de setembro de 1981, na cidade de Nova Friburgo-RJ, filho de Juarez Torres Pacheco e Regina Lúcia Sanches Pacheco. Coursou o ensino fundamental e médio em escolas públicas estaduais. Em 2000 serviu às Forças Armadas brasileiras e trabalhou como agente censitário no Censo Demográfico do IBGE. Em 2003, ingressou no curso de graduação em Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), diplomando-se Engenheiro Agrônomo em 2008. Durante a graduação, foi bolsista de iniciação científica do CNPq por 42 meses, trabalhando no Laboratório de Ecologia Microbiana da Embrapa Agrobiologia. Em setembro de 2008, ingressou como aluno de Mestrado no Curso de Pós-graduação em Agronomia - Ciência do Solo da UFRRJ, onde foi bolsista do CNPq.

RESUMO

PACHECO, Rafael Sanches. **Crescimento e produção de feijoeiro originado de sementes com diferentes teores de fósforo e molibdênio sob diferentes fontes de nitrogênio.** 2010. 44f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2010.

A concentração de nutrientes nas sementes pode afetar o desenvolvimento inicial, a fixação biológica de nitrogênio (FBN) e a produção de grãos das plantas por elas geradas. O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) tem sido considerado uma espécie de baixa capacidade de FBN em comparação com outras leguminosas de grão, mas resultados demonstram o potencial da FBN em suprir a demanda de N do feijoeiro e obter boas produtividades. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito dos teores de P e Mo em sementes na produção de biomassa, nodulação e no rendimento de grãos de feijoeiro sob diferentes fontes de fornecimento de N. O experimento foi conduzido em condições de campo entre abril e julho de 2009, na Fazenda Santa Mônica da Embrapa Gado de Leite, no município de Valença – RJ, em delineamento em blocos ao acaso em fatorial 4x4 com 5 repetições em parcelas subdivididas. As parcelas foram compostas por quatro fontes de N: testemunha absoluta sem N; adubação com N mineral com 20 kg N ha⁻¹ no plantio + 40 kg N ha⁻¹ em cobertura; inoculação com a estirpe comercial de rizóbio recomendada para a cultura; inoculação com estirpe comercial + 40 kg N ha⁻¹ em cobertura. As subparcelas foram compostas por quatro combinações entre teores de P e de Mo na semente (baixo P baixo Mo, baixo P alto Mo, alto P baixo Mo, alto P alto Mo). As sementes da cultivar Carioca utilizadas foram oriundas de um experimento de campo onde foram efetuadas aplicações foliares com 5 kg P ha⁻¹ e 120 g Mo ha⁻¹ aos 52 e 71 dias após emergência (DAE). Em cada subparcela foram efetuadas três amostragens de biomassa, aos 30, 42 e 57 DAE, determinando-se a massa seca de raiz, parte aérea e nódulos, o número de nódulos e a acumulação de N na parte aérea. A colheita de grãos foi efetuada aos 90 DAE, determinando-se o rendimento de grãos, os componentes de produção e o teor de N e de Mo nos grãos. As interações entre as fontes de N e os teores de P e Mo das sementes, nas três épocas de coleta, não foram significativas, exceto para massa seca de parte aérea e número de nódulos aos 57 DAE. As sementes com baixo P e alto Mo foram as que promoveram maior massa de parte aérea e também a maior produção de grãos de feijão. A adubação com N mineral promoveu maior massa radicular nos estágios iniciais de crescimento. A inoculação das sementes com rizóbio aumentou a nodulação do feijoeiro. Houve um pequeno efeito dos altos teores de P nas sementes na acumulação de N e de biomassa da parte aérea aos 57 DAE. A aplicação de N mineral promoveu maior acúmulo de N na parte aérea aos 57 DAE. A inoculação combinada com 40 kg N ha⁻¹ em cobertura forneceu rendimento de grãos e acumulação de N nos grãos similar à aplicação de 60 kg N ha⁻¹, por sua vez superiores à testemunha. O uso de sementes enriquecidas com P e Mo, associada com a inoculação de sementes e a aplicação de N em cobertura, podem maximizar o processo de fixação biológica de nitrogênio na cultura do feijoeiro.

Palavras-chave: Feijão. *Rhizobium*. Fixação biológica de nitrogênio. Inoculação.

ABSTRACT

PACHECO, Rafael Sanches. **Growth and yield of common bean originated from seeds with different concentrations of phosphorus and molybdenum at different nitrogen sources.** 2010. 44p. Dissertation (Master Science in Agronomy, Soil Science) Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2010.

Nutrient concentration in the seeds can affect the initial development, biological nitrogen fixation (BNF) and yield of plants. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) has been considered as a species with low capacity of BNF as compared to other grain legumes, but results demonstrate the potential of BNF to supply the N demand of the crop and to achieve adequate yields. The objective of this study was to evaluate the effect of seed concentrations of Mo and P on biomass production, nodulation and grain yield of common bean at different sources of N supply. The field experiment was conducted between April and July 2009, in the Santa Monica Farm of Embrapa Gado de Leite in the municipality of Valença – Rio de Janeiro State. The experimental design was a split-plot 4x4 factorial randomized block with 5 replicates. The main plots consisted of four N sources: control without N, mineral N fertilization with 20 kg N ha⁻¹ at sowing + 40 kg N ha⁻¹ in cover, inoculation with the commercial strain of rhizobia, rhizobia inoculation + 40 kg N ha⁻¹ in cover. The subplots consisted of four combinations between concentrations of P and Mo in the seeds (low P low Mo, low P high Mo, Mo high P low, high-P high-Mo). The seeds of cultivar Carioca were originating from a field experiment when 5 kg P ha⁻¹ and 120 g Mo ha⁻¹ were foliar sprayed at 52 and 71 days after emergence (DAE). In each subplot, plant biomass were sampled at 30, 42 and 57 DAE, and root, shoot and nodules dry mass, the number of nodules and the accumulation of N in the shoot were determined. Grains were harvested at 90 DAE, and grain yield, yield components, N and Mo concentrations in the grains were measured. Interactions between the N sources and the concentrations of P and Mo in the seeds were not significant in the three sampling times, except for shoot dry mass and number of nodules at 57 DAE. Seeds with low P and high Mo increased shoot dry matter and grain yield of beans. Mineral N fertilizer increased root mass in the early growth stages. The rhizobia inoculation increased bean nodulation. There was a small effect of the seeds with high P concentration in the accumulation of N and mass of shoots at 57 DAE. Mineral N fertilizer increased N accumulation in the shoots at 57 DAE. The inoculation + 40 kg N ha⁻¹ in cover gave similar grain yield and N accumulation as the application of 60 kg N ha⁻¹, both treatments superior to the control. The use of seeds enriched with P and Mo, associated with the inoculation of seeds and the application of N in cover, could maximize the process of biological nitrogen fixation in the common bean crop.

Key words: Bean. *Rhizobium*. Biological nitrogen fixation. Inoculation.

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Quantidade produzida, área colhida e rendimento de feijão no Brasil em 2006, de acordo com a unidade da federação.	5
Tabela 2. Quantidade produzida, área colhida e rendimento de feijão no Brasil em 2006, de acordo com o principal mês da colheita.....	6
Tabela 3. Quantidade produzida, área colhida e rendimento de feijão no Brasil em 2006, de acordo com a área do estabelecimento.	7
Tabela 4. Quantidade produzida, área colhida e rendimento de feijão no Brasil em 2006, de acordo com a área colhida	9
Tabela 5. Quantidade produzida, área colhida e rendimento de feijão no Brasil em 2006, de acordo com a condição de agricultura familiar (Lei 11.326) ou não.	9
Tabela 6. Quantidade produzida, área colhida e rendimento de feijão no Brasil em 2006, de acordo com o tipo de cultivo utilizado.	10
Tabela 7. Quantidade produzida, área colhida e rendimento de feijão no Brasil em 2006, de acordo com o uso de irrigação e com o tipo de colheita utilizada.....	11
Tabela 8. Quantidade produzida, área colhida e rendimento de feijão no Brasil em 2006, de acordo com o tipo de semente utilizada, com o uso de adubação e com o uso de agrotóxicos	12
Tabela 9. Características das sementes utilizadas no presente trabalho	21
Tabela 10. Resultado da análise de amostra de solo coletada na área do experimento	22
Tabela 11. Massa seca de parte aérea de feijoeiro, originado de sementes com diferentes teores de P e de Mo, sob quatro fontes de N em condições de campo, aos 57 dias após emergência	26
Tabela 12. Número de nódulos de plantas de feijoeiro, originadas de sementes com diferentes teores de P e de Mo, sob quatro fontes de N em condições de campo, em três épocas de coleta	27
Tabela 13. Acumulação de N na parte aérea de feijoeiro, originadas de sementes com diferentes teores de P e de Mo, sob quatro fontes de N em condições de campo, aos 57 dias após emergência.....	30
Tabela 14. Número de grãos por vagem, massa de 1 grão e índice de colheita, de plantas de feijoeiro, originadas de sementes com diferentes teores de P e de Mo, sob quatro fontes de N em condições de campo.....	33
Tabela 15. Acumulação de N e teor de Mo nos grão de feijoeiro, originados de sementes com diferentes teores de P e de Mo, sob quatro fontes de N em condições de campo.....	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Produção, área e rendimento de feijão no Brasil, no período de 1990 a 2008.....	4
Figura 2A. Massa seca de raiz de plantas de feijoeiro, originadas de sementes com diferentes teores de P e Mo, em três épocas de coleta.....	24
Figura 2B. Massa seca de raiz de plantas de feijoeiro, sob diferentes fontes de N, em três épocas de coleta.	24
Figura 3A. Massa seca de parte aérea de plantas de feijoeiro, originadas de sementes com diferentes teores de P e Mo, em três épocas de coleta.....	25
Figura 3B. Massa seca de parte aérea de plantas de feijoeiro, sob diferentes fontes de N, em três épocas de coleta.	25
Figura 4A. Massa seca de nódulos de plantas de feijoeiro, originadas de sementes com diferentes teores de P e Mo, em três épocas de coleta.....	29
Figura 4B. Massa seca de nódulos de plantas de feijoeiro, crescidas sob diferentes fontes de N, em três épocas de coleta	29
Figura 5A. Produção de grãos de plantas de feijoeiro, originadas de sementes com diferentes teores de P e Mo.....	31
Figura 5B. Produção de grãos de plantas de feijoeiro, que foram submetidas a diferentes fontes de N.....	31
Figura 6A. Número de vagens por planta de plantas de feijoeiro, originadas de sementes com diferentes teores de P e Mo.....	32
Figura 6B. Número de vagens por planta de plantas de feijoeiro, que foram submetidas a diferentes fontes de N.....	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Diagnóstico da Cultura do Feijão no Brasil	3
2.2 Fixação Biológica de Nitrogênio em Feijoeiro	15
2.3 Interação entre Fixação Biológica de Nitrogênio e Adubação Nitrogenada	19
2.4. O Papel do Fósforo na Fixação Biológica de Nitrogênio	22
2.5 O Papel do Molibdênio no Metabolismo de Nitrogênio.....	24
3. MATERIAL E MÉTODOS	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1 Produção de Biomassa.....	30
4.2 Produção de Grãos.....	38
5. CONCLUSÕES.....	44
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor e consumidor mundial de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), que é cultivado em todo o território nacional. Em 2009, a área plantada com feijão foi de 4.179 mil hectares e a produção no mesmo período foi de 3.498 mil toneladas de grãos (CONAB, 2009). A maior parte da produção nacional de feijão vem de estabelecimentos com base em agricultura familiar, que responderam em 2006 por 54 e 84% da produção brasileira de feijão de cor e feijão preto, respectivamente (IBGE, 2009). No entanto, verifica-se nos últimos anos crescente interesse de grandes produtores pelo cultivo de feijão, que vêm adotando tecnologias tais como irrigação, controle fitossanitário, colheita mecanizada e aplicação de fertilizantes minerais, em cultivos que alcançam elevadas produtividades (FERREIRA et al., 2004).

O feijoeiro tem sido considerado uma espécie de baixa capacidade de fixação biológica de N_2 atmosférico (FBN) em comparação com outras leguminosas de grão (HUNGRIA & VARGAS, 2000; GRAHAM et al., 2003), e por consequência a tecnologia de inoculação de sementes com bactérias fixadoras de nitrogênio ainda é pouco utilizada, tanto pelos pequenos quanto pelos grandes produtores. Apesar disto, resultados demonstram o potencial da FBN em suprir parte da demanda de N do feijoeiro e obter boas produtividades. Experimentos em condições de campo têm demonstrado que é possível que a cultura alcance produtividades acima de 2000 kg ha^{-1} sob inoculação (HUNGRIA et al., 2000; SILVA et al., 2009). Alguns trabalhos demonstraram contribuições da FBN em feijoeiro, em condições de campo, variando entre 25 a 125 kg N ha^{-1} na parte aérea na maturação fisiológica (RUSCHEL et al., 1982; RENNIE & KEMP, 1983), ou de 21 a 44 kg N ha^{-1} nos grãos (PEREIRA et al., 1989).

A necessidade da aplicação de fertilizantes nitrogenados para garantir elevada produção de feijão pode resultar em menor eficiência da FBN (MÜLLER & PEREIRA, 1995). No entanto, PELEGRIN et al. (2009) não observaram prejuízos à nodulação das plantas de feijoeiro que foram inoculadas e adubadas com 20 kg ha^{-1} de N no plantio e HUNGRIA et al. (2003) observaram que a inoculação de sementes de feijão acrescida da adubação com 15 kg ha^{-1} de N no plantio mais 15 kg ha^{-1} de N no início da floração proporcionou rendimento de grãos 132 kg ha^{-1} superior ao tratamento que foi somente inoculado.

Embora resultados indiquem ser possível que a cultura do feijoeiro se beneficie da FBN, vários fatores devem ser considerados para que o processo ocorra com eficiência, entre os quais podem ser destacadas as disponibilidades adequadas de P (GRAHAM et al., 2003) e de Mo (BRODRICK & GILLER, 1991a). É grande a influência do P na FBN, visto que os nódulos atuam como fortes drenos de fotoassimilados, que são metabolizados para gerar ATP e poder redutor, essenciais à redução do N_2 atmosférico (MARSCHNER, 1995). O Mo participa como um dos catalizadores da enzima nitrogenase, que é responsável pela transformação do N_2 atmosférico em amônia, e do complexo enzimático da nitrato redutase, responsável pela assimilação do nitrato (TAIZ & ZEIGER, 2004). A fertilização com P e Mo aumentou a taxa fotossintética em *Brassica napus* por dois mecanismos diferentes: através do Mo, aumentando a atividade fotossintética das células do mesófilo, e com o P, aumentando a condutância estomática, demonstrando haver um efeito sinérgico da fertilização com P e Mo sobre a fotossíntese e o rendimento de grãos (LIU et al., 2010).

Porém, a adição direta ao solo do adubo mineral contendo P ou Mo é muitas vezes ineficaz por sua adsorção à matéria orgânica e aos óxidos de ferro e de alumínio, tornando estes nutrientes pouco disponíveis às plantas. O uso de sementes enriquecidas com P e Mo

tem se mostrado uma alternativa para aumentar a acumulação de N na biomassa das plantas, elevar os rendimentos, diminuir a dependência dos nutrientes do solo, entre outros benefícios. Sementes de feijoeiro com maior teor de P estimulam o crescimento, a nodulação e a acumulação de N (TEIXEIRA et al., 1999; ARAÚJO et al., 2002), além de originarem plantas com maior contribuição da FBN, particularmente em plantas inoculadas crescidas sob menor disponibilidade de P no solo (CHAGAS et al, 2010). Sementes de trigo enriquecidas com P exigiram aproximadamente 60% menos fertilizante fosfatado do que as sementes não enriquecidas, reduzindo as exigências da cultura pelo nutriente (SEKIYA & YANO, 2010). Sementes de feijoeiro enriquecidas com Mo estimularam a atividade da nitrogenase nas raízes e aumentaram a acumulação de biomassa e de N do feijoeiro (KUBOTA et al., 2008).

Apesar destes resultados, a utilização de sementes enriquecidas com P e Mo ainda é uma técnica pouco estudada, e pouco se sabe sobre a eficiência das sementes enriquecidas no desenvolvimento das plantas por elas geradas, particularmente sob condições de campo. Portanto, a hipótese deste trabalho é que sementes de feijão enriquecidas com P e Mo aumentam o crescimento e a acumulação de N na parte aérea, a acumulação de N e de Mo nos grãos e o rendimento de grãos em cultivo de feijoeiro, em condições de campo sob diferentes fontes de N.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento, a nodulação, o rendimento de grãos e a acumulação de N e de Mo nos grãos de feijoeiro originado de sementes com diferentes níveis de P e de Mo, sob diferentes fontes de fornecimento de N em condições de campo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Diagnóstico da Cultura do Feijão no Brasil

Segundo a FAO (2008), o Brasil é o maior produtor mundial de feijão (*dry bean*), seguido pela Índia, Myanmar, China e Estados Unidos. Dentre estes 5 países maiores produtores, o Brasil apresenta uma das menores produtividades médias por área colhida (835 kg ha^{-1}), superior apenas à Índia e bem inferior aos Estados Unidos (1.923 kg ha^{-1}).

Os grãos de feijão representam um dos componentes básicos da dieta alimentar da população e importante fonte de proteína para as classes economicamente menos favorecidas. Os grãos de feijão são ricos principalmente em potássio (25-30%), fósforo (cerca de 0,4%), ferro (cerca de 0,007%), cálcio, zinco e magnésio, além de apresentar conteúdo relativamente elevado de proteína, entre 22% e 26%, sendo que as principais frações solúveis (globulinas e albuminas) representam em torno de 75% do total (BARAMPAMA & SIMARD, 1993).

Além do papel relevante na alimentação do brasileiro, o feijão é um dos produtos agrícolas de maior importância econômico-social, devido principalmente à mão-de-obra empregada durante o ciclo da cultura. Historicamente, o feijão é cultivado no Brasil por pequenos produtores, com baixo uso de insumos externos, e voltados para a subsistência das famílias. Não obstante essa tradição verifica-se nos últimos anos crescente interesse de grandes produtores que vêm adotando tecnologias avançadas tais como irrigação, controle fitossanitário, colheita mecanizada, e inoculação com bactérias fixadoras de nitrogênio, em cultivos de feijoeiro em grande escala, os quais, com maior aporte de insumos no processo produtivo, alcançam maiores produtividades.

Na Figura 1 está representada a série histórica de produção, área e rendimento de feijão no Brasil no período de 1990 a 2008. Observa-se uma tendência na redução da área destinada ao plantio de feijão neste período sem, contudo determinar uma redução da produção, pois se verifica também um incremento do rendimento no período considerado. A área plantada teve uma redução de 20%, enquanto a produção apresentou aumento de 35,4%, conseguido com um aumento de mais de 90% na produtividade, de 477 para 915 kg ha^{-1} (Figura 1). Este aumento substancial de produtividade é reflexo da maior tecnologia utilizada nas lavouras de feijão ao longo dos anos.

A queda do consumo per capita de feijão no país, ocasionada pelo crescimento demográfico e pela maior urbanização, que geraram alterações nos hábitos alimentares da população, e também o aumento do poder aquisitivo possibilitando à população maior acesso a fontes de proteína de origem animal, além das fortes flutuações de preços no mercado, podem estar relacionadas ao decréscimo da área plantada com lavouras de feijoeiro no país (FERREIRA et al., 2002).

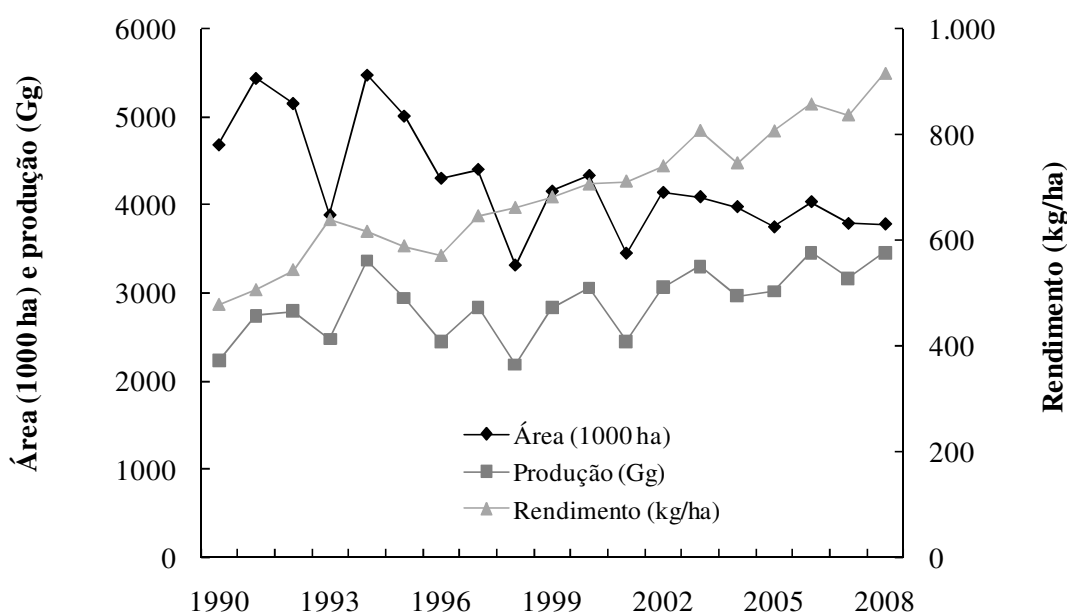


Figura 1. Produção, área e rendimento de feijão no Brasil, no período de 1990 a 2008. Fonte: Produção Agrícola Municipal (IBGE, 2009).

Recentemente, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) divulgou os resultados do Censo Agropecuário 2006. De acordo com esses dados pôde-se elaborar um diagnóstico da produção brasileira de feijão, que representa um panorama geral da cultura, englobando as três safras do grão que ocorrem no país, porém separando o feijão preto dos feijões de cor.

No Brasil, o feijão de cor é plantado em 462.380 estabelecimentos que produzem 1.294.307 Mg de grãos numa área de 1.424.846 hectares, cujo rendimento médio atinge 908 kg ha⁻¹ (Tabela 1). Minas Gerais, Bahia e Paraná, são os maiores produtores, concentrando respectivamente 19,3%, 17, 5% e 11,3% da produção nacional de feijão de cor. O Distrito Federal contribui com apenas 2,1% da produção nacional, no entanto é o estado com maior produtividade do país, superando os 2000 kg ha⁻¹ (Tabela 1). Outros sete Estados (MG, PR, SP, GO, SC, RS, MT) também apresentam rendimentos que superam os 1000 kg ha⁻¹ e juntos somam 54,2% da produção nacional. Já o Estado da Bahia, embora seja o segundo maior produtor de feijão de cor do país, possui rendimento abaixo dos 1000 kg ha⁻¹ (Tabela 1).

O feijão preto apresenta menor produção quando comparado com o feijão de cor, haja vista seu consumo ser menos difundido entre os brasileiros, estando mais concentrado nos estados de Rio de Janeiro, Paraná e Rio Grande do Sul (LOLLATO et al., 2001). Em 2006 havia 269.018 estabelecimentos em todo o país que cultivavam feijão preto em uma área total de 764.418 hectares e que produziram 692.537 Mg. A média do rendimento nacional do feijão preto foi de 906 kg.ha⁻¹, bem próxima a do feijão de cor (Tabela 1).

O Paraná produz 48% do feijão preto do país, se destacando como o maior produtor nacional, seguido por Santa Catarina com 18,3% da produção; estes Estados apresentam rendimentos de 1.508 e 1.524 kg ha⁻¹, respectivamente. Destacam-se também o Rio Grande do Sul com 15,4% da produção nacional, porém com produtividade bem abaixo da nacional (366 kg ha⁻¹), e o Estado do Ceará que embora detenha apenas 2,3% da produção nacional, tem um rendimento médio de 1260 kg ha⁻¹, bem acima da média do país (Tabela 1).

Tabela 1. Quantidade produzida, área colhida e rendimento de feijão no Brasil em 2006, de acordo com a unidade da federação.

	Número de estabelecimentos	Quantidade produzida (Mg)	Área colhida (hectares)	Distribuição da produção (%)	Rendimento (kg ha ⁻¹)
Feijão de cor					
Brasil	462.380	1.294.307	1.424.846	100,0	908
Minas Gerais	82.862	249.693	192.402	19,3	1.298
Bahia	102.491	226.233	227.637	17,5	994
Paraná	20.287	145.641	95.645	11,3	1.523
São Paulo	4.248	116.439	67.646	9,0	1.721
Alagoas	38.502	113.022	258.743	8,7	437
Goiás	2.133	95.907	50.147	7,4	1.913
Ceará	41.074	65.951	80.033	5,1	824
Santa Catarina	10.488	56.652	38.005	4,4	1.491
Pernambuco	38.016	39.415	76.883	3,0	513
Distrito Federal	427	26.735	12.958	2,1	2.063
Rio Grande do Sul	14.422	19.876	11.200	1,5	1.775
Paraíba	20.202	18.833	44.125	1,5	427
Maranhão	15.963	18.545	54.298	1,4	342
Mato Grosso	1.465	17.240	10.527	1,3	1.638
Piauí	27.840	14.505	49.884	1,1	291
Sergipe	10.329	14.240	21.698	1,1	656
Demais Estados (*)	31.631	55.379	129.735	4,3	427
Feijão preto					
Brasil	269.018	692.537	764.418	100,0	906
Paraná	58.489	332.168	220.322	48,0	1.508
Santa Catarina	31.842	126.933	83.302	18,3	1.524
Rio Grande do Sul	103.398	106.471	290.772	15,4	366
Pernambuco	24.279	37.550	59.849	5,4	627
Minas Gerais	17.389	20.341	23.814	2,9	854
Ceará	5.394	15.847	12.581	2,3	1.260
Bahia	4.712	11.602	13.665	1,7	849
Espírito Santo	8.114	7.433	14.069	1,1	528
Demais Estados (*)	15.401	34.191	43.728	4,9	782

(*) Com menos de 1% de participação na produção nacional.

Fonte: Censo Agropecuário 2006 (IBGE, 2009).

É possível explorar a cultura do feijão em três épocas distintas, divididas em três safras consecutivas (FUSCALDI & PRADO, 2005) e, embora estes períodos possam apresentar variações de ano para ano e de região para região, há colheita praticamente o ano todo. A primeira safra ou “safra das águas” é plantada nos meses de agosto a novembro, cuja colheita começa em novembro e vai até março do ano seguinte, e está concentrada nas regiões Sul, Sudeste e no Estado da Bahia. No total, a 1ª safra do feijão de cor em 2006, foi de 446.463 toneladas, totalizando 34,4% da produção naquele ano, ao passo que a 1ª safra de feijão preto foi de 509.088 toneladas, contemplando 73,6% da produção nacional em 2006 (Tabela 2).

A segunda safra ou “safra da seca”, plantada entre janeiro e março e colhida a partir de abril durando até julho, abrange todos os estados brasileiros, com concentração nas regiões Nordeste, Sudeste e Sul. Em 2006 foram produzidos nesta safra 408.123 toneladas de feijão de cor, representando 31,6% da produção, enquanto a 2ª safra de feijão preto compreendeu 19,4% da produção no ano de 2006, o que representa 134.815 toneladas (Tabela 2).

A terceira safra ou “safra de inverno” é plantada entre os meses de abril e julho e colhida entre agosto e outubro. Essa safra está concentrada nos Estados de Minas Gerais, São Paulo, Distrito Federal, Goiás e Oeste Baiano. A produção da 3ª safra foi de 439.722 toneladas de feijão de cor e de 48.633 toneladas de feijão preto, o que equivale respectivamente a 34% e a 7,0% da produção nacional no ano de 2006 (Tabela 2). O advento da terceira safra de feijão, além de diminuir a sazonalidade da produção e do abastecimento do mercado interno, representa uma mudança fundamental no processo produtivo e no perfil do produtor, pois utiliza tecnologia intensiva, a começar pelo uso da irrigação, com predominância do pivô central. Os produtores da terceira safra, geralmente são produtores de maior porte, capitalizados e tecnificados (FUSCALDI & PRADO, 2005). Vale comparar a produtividade média brasileira de feijão de cor e a produtividade em Estados onde se cultiva feijão de cor irrigado, como o Estado de Goiás, que obteve, em 2006, uma produtividade média de feijão de cor de 1.913 kg ha⁻¹, enquanto a média brasileira foi de 908 kg ha⁻¹.

Tabela 2. Quantidade produzida, área colhida e rendimento de feijão no Brasil em 2006, de acordo com o principal mês da colheita.

Principal mês da colheita	Número de estabelecimentos	Quantidade produzida (Mg)	Área colhida (hectares)	Distribuição da produção (%)	Rendimento (kg ha ⁻¹)
Feijão de cor					
Janeiro	38.586	84.592	74.870	6,5	1.130
Fevereiro	35.550	121.684	107.575	9,4	1.131
Março	24.997	79.505	75.668	6,1	1.051
Abril	29.791	65.481	67.908	5,1	964
Mai	53.830	109.744	147.353	8,5	745
Junho	62.823	117.987	179.511	9,1	657
Julho	47.757	114.911	140.519	8,9	818
Agosto	97.441	280.392	343.094	21,7	817
Setembro	32.864	134.284	158.886	10,4	845
Outubro	4.773	25.046	21.341	1,9	1.174
Novembro	7.176	64.542	41.124	5,0	1.569
Dezembro	26.792	96.140	66.992	7,4	1.435
Total	462.380	1.294.307	1.424.841	100,0	908
Feijão preto					
Janeiro	75.237	192.789	212.548	27,8	907
Fevereiro	28.717	128.738	106.458	18,6	1.209
Março	11.961	45.806	40.654	6,6	1.127
Abril	8.120	21.756	24.016	3,1	906
Mai	14.877	52.153	46.865	7,5	1.113
Junho	19.752	39.402	42.262	5,7	932
Julho	13.794	21.504	29.214	3,1	736
Agosto	15.600	27.895	41.393	4,0	674
Setembro	5.244	17.400	24.708	2,5	704
Outubro	1.372	3.338	3.474	0,5	961
Novembro	7.500	13.858	20.765	2,0	667
Dezembro	66.844	127.897	172.025	18,5	743
Total	269.018	692.537	764.382	100,0	906

Fonte: Censo Agropecuário 2006 (IBGE, 2009).

Dos estabelecimentos que produzem feijão de cor no país, 72,2% têm menos de 20 ha e produziram 470.590 toneladas de grãos, o que representa 36,4% da produção nacional, apresentando produtividade média de 670 kg ha⁻¹ (Tabela 3). Por outro lado, as propriedades com área superior a 500 ha são apenas 0,6% do total, e produziram 343.977 toneladas,

contribuindo com 26,6% da produção nacional de feijão de cor, sendo também as que apresentam as maiores produtividades, com média de 1.825 kg ha⁻¹ (Tabela 3).

Na produção de feijão preto, 71% dos estabelecimentos têm menos de 20 hectares, produzindo 366.764 toneladas, contribuindo com 53,3% da produção do país, e com rendimento médio de 832 kg ha⁻¹. Apenas 0,3% das propriedades ultrapassam os 500 hectares, e produzem 42.439 toneladas de grãos, contribuindo com 6,1% da produção total do país, com produtividade média de 1.617 kg ha⁻¹ (Tabela 3).

Tabela 3. Quantidade produzida, área colhida e rendimento de feijão no Brasil em 2006, de acordo com a área do estabelecimento.

Área do estabelecimento (ha)	Número de estabelecimentos	Quantidade produzida (Mg)	Área colhida (hectares)	Distribuição da produção (%)	Rendimento (kg ha ⁻¹)
Feijão de cor					
Mais de 0 a menos de 1	67.478	37.472	62.772	3,0	597
De 1 a menos de 2	55.079	58.501	91.409	4,5	640
De 2 a menos de 3	35.678	43.235	69.784	3,3	620
De 3 a menos de 4	29.731	48.885	74.359	3,8	657
De 4 a menos de 5	21.785	33.195	53.024	2,6	626
De 5 a menos de 10	60.629	111.617	166.442	8,6	671
De 10 a menos de 20	63.517	137.685	184.441	10,6	746
De 20 a menos de 50	63.449	171.321	223.120	13,2	768
De 50 a menos de 100	25.017	107.799	128.810	8,3	837
De 100 a menos de 200	11.206	81.820	81.269	6,3	1.007
De 200 a menos de 500	6.123	110.140	82.839	8,5	1.330
De 500 a menos de 1.000	1.624	88.384	51.763	6,8	1.707
De 1.000 a menos de 2.500	711	118.299	64.579	9,1	1.832
De 2.500 e mais	284	137.294	72.178	10,6	1.902
Produtor sem área	20.069	8.661	18.057	0,7	480
Total	462.380	1.294.307	1.424.846	100,0	908
Feijão preto					
Mais de 0 a menos de 1	14.958	11.271	12.720	2,0	886
De 1 a menos de 2	16.853	17.393	23.684	2,5	734
De 2 a menos de 3	16.197	28.061	33.747	4,1	832
De 3 a menos de 4	14.240	24.775	32.044	3,6	773
De 4 a menos de 5	13.761	31.501	34.517	4,5	913
De 5 a menos de 10	48.402	94.881	118.752	13,7	799
De 10 a menos de 20	66.704	158.882	185.570	22,9	856
De 20 a menos de 50	52.426	151.647	180.565	21,9	840
De 50 a menos de 100	12.034	60.530	58.247	8,7	1.039
De 100 a menos de 200	4.171	33.293	29.254	4,8	1.138
De 200 a menos de 500	2.051	34.022	23.321	4,9	1.459
De 500 a menos de 1.000	510	21.093	12.605	3,0	1.673
De 1.000 a menos de 2.500	224	16.508	10.434	2,4	1.582
De 2.500 e mais	49	4.838	3.209	0,7	1.508
Produtor sem área	6.438	3.840	5.749	0,6	668
Total	269.018	692.537	764.418	100,0	906

Fonte: Censo Agropecuário 2006 (IBGE, 2009).

No Censo Agropecuário de 2006 aparece a figura do Produtor sem área, que corresponde ao pessoal empregado que desenvolve atividade de produção agropecuária em área sujeita à administração do proprietário. Neste caso um novo questionário foi aberto para o empregado, como se fora um novo estabelecimento agropecuário, aplicando-se todos os parâmetros da pesquisa, considerando este produtor empregado como um Produtor sem-área

(IBGE, 2009). Estes produtores contribuíram com 0,7% da produção nacional de feijão de cor numa área colhida de 18.057 ha com um rendimento médio de 480 kg ha⁻¹. Participaram também com 0,6% da produção de feijão preto do país, colhendo uma área de 5.749 ha com rendimento de 668 kg.ha⁻¹ (Tabela 3).

Quanto à estrutura produtiva, 96,4% dos estabelecimentos que fazem o plantio do feijão de cor têm menos de 10 ha de área colhida, contribuindo com apenas 21,0% da produção nacional (Tabela 4). Esta pequena participação se deve às baixas produtividades obtidas, de 513 kg ha⁻¹. Já os estabelecimentos com mais de 10 ha de área colhida, que correspondem a 3,5% do número total, participam com 79,0% da produção brasileira de feijão de cor, graças aos elevados rendimentos, de 1.142 kg ha⁻¹ em média (Tabela 4).

Os estabelecimentos que possuem lavouras de feijão preto com área colhida inferior a 5 ha somam 93,3% do número de estabelecimentos, contribuindo com 26,2% da produção do país e apresentando rendimentos de 855 kg ha⁻¹ (Tabela 4). Os estabelecimentos com área colhida entre 5 e 200 ha representam 6,4% do número total, detendo 63,3% da produção nacional e apresentando rendimentos de 1.089 kg ha⁻¹. Estabelecimentos com área colhida acima de 200 ha são apenas 0,13% do total nacional e participam com 10,4% da produção nacional de feijão preto, mas apresentam baixos rendimentos, de 547 kg ha⁻¹ (Tabela 4).

Tabela 4. Quantidade produzida, área colhida e rendimento de feijão no Brasil em 2006, de acordo com a área colhida.

Área colhida (ha)	Número de estabelecimentos	Quantidade produzida (Mg)	Área colhida (hectares)	Distribuição da produção (%)	Rendimento (kg ha ⁻¹)
Feijão de cor					
Mais de 0 a menos de 1	252.227	46.583	103.274	3,6	451
De 1 a menos de 2	106.429	48.938	128.617	3,8	380
De 2 a menos de 5	72.913	95.896	202.487	7,4	474
De 5 a menos de 10	14.240	80.544	95.403	6,2	844
De 10 a menos de 20	6.732	97.521	92.290	7,5	1.057
De 20 a menos de 50	5.690	192.541	178.468	14,9	1.079
De 50 a menos de 100	2.251	178.700	156.060	13,8	1.145
De 100 a menos de 200	1.181	194.107	161.868	15,0	1.199
De 200 a menos de 500	549	167.919	164.171	13,0	1.023
De 500 e mais	168	191.557	142.208	14,8	1.347
Total	462.380	1.294.307	1.424.846	100,0	908
Feijão preto					
Mais de 0 a menos de 1	152.926	31.446	48.443	4,5	649
De 1 a menos de 2	55.139	43.588	63.861	6,3	683
De 2 a menos de 5	43.185	106.863	122.038	15,4	876
De 5 a menos de 10	8.742	68.764	58.939	9,9	1.167
De 10 a menos de 20	3.734	65.890	51.033	9,5	1.291
De 20 a menos de 50	2.705	90.248	87.975	13,0	1.026
De 50 a menos de 100	1.479	109.096	101.777	15,8	1.072
De 100 a menos de 200	754	104.829	99.041	15,1	1.058
De 200 a menos de 500	279	50.378	78.634	7,3	641
De 500 e mais	75	21.436	52.677	3,1	407
Total	269.018	692.537	764.418	100,0	906

Fonte: Censo Agropecuário 2006 (IBGE, 2009).

A Tabela 5 deixa claro o predomínio da produção de feijão pela agricultura familiar, caracterizada como propriedades que detêm área menor do que quatro módulos fiscais, além de utilizar predominantemente mão-de-obra da própria família em suas atividades econômicas. Estabelecimentos sob agricultura familiar correspondem a 89,1 e 90,1% dos

estabelecimentos que plantaram feijão de cor e feijão preto, no país, respectivamente. Em uma área total de 1.015.643 hectares, esse agricultores familiares colheram 697.232 toneladas de grãos e contribuíram com 53,8% de toda a produção brasileira de feijão de cor em 2006 (Tabela 5). Já no cultivo do feijão preto, a participação da agricultura familiar foi bem mais expressiva. Este seguimento da agricultura contribuiu com 83,6% da produção nacional de feijão preto, o que representa um total de 531.637 toneladas colhidas em uma área de 639.431 hectares (Tabela 5). Pela primeira vez o Censo Agropecuário apresenta dados oficiais sobre agricultura familiar, cuja delimitação conceitual dos estabelecimentos agropecuários deste segmento foi possível a partir da combinação dos critérios definidos pela lei 11.326/2006.

Tabela 5. Quantidade produzida, área colhida e rendimento de feijão no Brasil em 2006, de acordo com a condição de agricultura familiar (Lei 11.326) ou não.

Tipo de agricultura	Número de estabelecimentos	Quantidade produzida (Mg)	Área colhida (hectares)	Distribuição da produção (%)	Rendimento (kg ha ⁻¹)
Feijão de cor					
Familiar	411.963	697.232	1.015.643	53,9	686
Não familiar	50.417	597.075	409.084	46,1	1.460
Feijão preto					
Familiar	242.398	531.637	639.431	76,8	831
Não familiar	26.620	160.900	124.843	23,2	1.289

Fonte: Censo Agropecuário 2006 (IBGE, 2009).

A maior parte da produção de feijão vem de monocultivos, visto que 67,9 e 85,9% da produção dos feijões de cor e preto, respectivamente, são oriundos de plantios simples (Tabela 6). O cultivo associado também é muito utilizado, originando 26,1% da produção de feijão de cor e 10,6% da produção de feijão preto, no entanto é a forma de cultivo que apresenta os menores rendimentos. O cultivo intercalado e o cultivo misto são menos utilizados, e juntos contribuem com a produção de 6,1% do feijão de cor e 3,6% do feijão preto. Contudo é interessante notar que a maior produtividade de feijão preto está no cultivo intercalado, atingindo os 1000 kg ha⁻¹ ao passo que o maior rendimento do feijão de cor está no cultivo simples, alcançando os 1100 kg ha⁻¹ (Tabela 6).

Tabela 6. Quantidade produzida, área colhida e rendimento de feijão no Brasil em 2006, de acordo com o tipo de cultivo utilizado.

Tipo de cultivo	Número de estabelecimentos	Quantidade produzida (MG)	Área colhida (hectares)	Distribuição da produção (%)	Rendimento (kg ha ⁻¹)
Feijão de cor					
Simple	194.917	878.364	737.774	67,9	1.191
Associado	230.916	337.194	590.930	26,1	571
Intercalado	18.023	27.459	35.169	2,1	781
Misto	18.524	51.289	60.966	4,0	841
Feijão preto					
Simple	207.781	594.849	627.352	85,9	948
Associado	49.805	73.177	109.136	10,6	671
Intercalado	6.660	17.053	17.038	2,5	1.001
Misto	4.772	7.457	10.894	1,1	685

Fonte: Censo Agropecuário 2006 (IBGE, 2009).

O feijão é uma cultura bastante sensível às condições climáticas, porém, apenas 3,5% dos estabelecimentos agropecuários que plantaram feijão de cor e 2,6% dos que plantaram feijão preto utilizaram irrigação (Tabela 7). Esses estabelecimentos têm geralmente a

característica da conduzem a lavoura com alto nível tecnológico, onde a irrigação é essencial para alcançar maiores produtividades, que chega aos 1.800 kg ha⁻¹ no feijão de cor e 1200 kg ha⁻¹ no feijão preto (Tabela 7).

O melhoramento genético tem se voltado para o desenvolvimento de variedades mais adaptadas à colheita mecânica. Em 2006, 30,9% da produção de feijão de cor foi colhida mecanicamente, enquanto que 16,4% da produção de feijão preto foram colhidas de forma mecanizada (Tabela 7). Entretanto, a maioria dos estabelecimentos ainda utiliza a colheita manual, haja vista que 93,7% dos estabelecimentos que plantaram feijão de cor e 94,9% dos que plantaram feijão preto realizaram a colheita manualmente (Tabela 7).

Tabela 7. Quantidade produzida, área colhida e rendimento de feijão no Brasil em 2006, de acordo com o uso de irrigação e com o tipo de colheita utilizada.

	Número de estabelecimentos	Quantidade produzida (Mg)	Área colhida (hectares)	Distribuição da produção (%)	Rendimento (kg ha ⁻¹)
Uso de irrigação					
Feijão de cor					
Utilizou	16.221	355.432	195.166	27,5	1.821
Não utilizou	446.159	938.875	1.229.675	72,5	764
Feijão preto					
Utilizou	7.088	33.075	27.250	4,8	1.214
Não utilizou	261.930	659.462	737.132	95,2	895
Tipo de colheita					
Feijão de cor					
Mecânica	7.688	401.086	224.894	30,99	1.783
Manual	433.498	692.087	1.043.727	53,47	663
Mecânica e manual	21.194	201.134	156.218	15,54	1.288
Feijão preto					
Mecânica	5.387	113.757	73.481	16,4	1.548
Manual	255.443	528.398	649.985	76,3	813
Mecânica e manual	8.188	50.383	40.954	7,3	1.230

Fonte: Censo Agropecuário 2006 (IBGE, 2009).

Em 2006, as sementes convencionais foram utilizadas em 95,4% dos estabelecimentos que plantaram feijão de cor, porém seu rendimento ficou abaixo da metade do rendimento obtido com sementes certificadas (Tabela 8). A maioria dos estabelecimentos que plantaram feijão preto também utilizou sementes comuns, com rendimento cerca de 34,6% inferior ao obtido com sementes certificadas (Tabela 8).

O feijoeiro é considerado uma planta exigente em nutrientes em função do pequeno e pouco profundo sistema radicular e do ciclo curto (ROSOLEM, 1987). Contudo, 69,2% dos estabelecimentos que plantaram feijão de cor não utilizaram nenhuma forma de adubação e como reflexo obtiveram produtividades de 565 kg ha⁻¹ (Tabela 8), bem abaixo da média nacional. Já 53,1% da produção nacional de feijão de cor são oriundos de plantios que utilizaram adubação química, porém os maiores rendimentos foram alcançados quando se utilizou a adubação química e orgânica, juntas (Tabela 8). Os produtores de feijão preto investem mais na adubação de suas lavouras, pois 60,2% dos estabelecimentos utilizaram algum tipo de adubação, sendo que 41,9% dos estabelecimentos utilizaram adubação química e obtiveram rendimentos de 1051 kg ha⁻¹, participando com 64,3% da produção nacional de feijão preto (Tabela 8).

Um dos principais fatores responsáveis pela baixa produtividade da cultura é a ocorrência de pragas e doenças que limitam a produção de feijão e reduzem a qualidade fisiológica, sanitária, nutricional e comercial do produto. Aproximadamente 84% dos estabelecimentos que produzem feijão de cor e 70% dos que produzem feijão preto não utilizam agrotóxicos, apresentando rendimentos médios de 616 e 625 kg ha⁻¹ respectivamente, o que é aproximadamente a metade do rendimento dos produtores que utilizaram agrotóxicos em suas lavouras em 2006 (Tabela 8).

O Censo Agropecuário de 2006 revelou detalhes da cultura do feijoeiro no Brasil, mostrando as principais regiões produtoras, a relação da produção com a estrutura fundiária, e o grau de tecnificação utilizado nas lavouras, entre outros fatores.

O baixo uso de tecnologia, a necessidade hídrica e a suscetibilidade a pragas e doenças são alguns dos fatores que fazem do feijão uma cultura de risco. Por isso, em alguns anos, a produção é alta e, em outras, há quebras de safras. Todavia, a diversidade fisiográfica do país e a adaptação do feijoeiro a diversas condições de clima e solo tornam possível explorar a cultura durante praticamente o ano inteiro, reduzindo os intervalos de entressafra e reduzindo a estacionalidade dos preços ao longo do ano.

Tabela 8. Quantidade produzida, área colhida e rendimento de feijão no Brasil em 2006, de acordo com o tipo de semente utilizada, com o uso de adubação e com o uso de agrotóxicos.

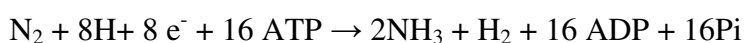
	Número de estabelecimentos	Quantidade produzida (Mg)	Área colhida (hectares)	Distribuição da produção (%)	Rendimento (kg ha ⁻¹)
Tipo de semente					
Feijão de cor					
Certificada	17.743	356.353	209.660	27,53	1.700
Comum	440.986	922.771	1.200.598	71,29	769
Transgênica	2.614	5.695	7.175	0,44	794
Não sabe informar	1.037	9.488	7.406	0,73	1.281
Feijão preto					
Certificada	29.672	188.372	150.540	27,2	1.251
Comum	237.058	493.499	603.067	71,3	818
Transgênica	1.467	3.825	4.596	0,6	832
Não sabe informar	821	6.841	6.217	1,0	1.100
Uso de adubação					
Feijão de cor					
Química	84.979	687.667	466.643	53,1	1.474
Orgânica	45.300	62.658	80.622	4,8	777
Química e orgânica	12.270	75.975	49.807	5,9	1.525
Não utilizou	319.831	468.006	827.769	36,2	565
Feijão preto					
Química	112.762	445.174	423.626	64,3	1.051
Orgânica	35.380	56.326	80.928	8,1	696
Química e orgânica	13.850	45.430	42.413	6,6	1.071
Não utilizou	107.026	145.607	217.415	21,0	670
Uso de agrotóxicos					
Feijão de cor					
Utilizou	70.103	717.596	489.343	55,4	1.466
Não utilizou	392.277	576.711	935.498	44,6	616
Feijão preto					
Utilizou	79.555	428.383	341.474	61,9	1.255
Não utilizou	189.463	264.154	422.908	38,1	625

Fonte: Censo Agropecuário 2006 (IBGE, 2009).

Nota-se que apesar do caráter rústico da cultura, há uma mudança nítida no perfil da produção de feijão no país, com áreas colhidas maiores, em estabelecimentos maiores que utilizam técnicas de cultivo que proporcionam um melhor desenvolvimento da cultura. Além de maior controle dos possíveis entraves que tendem a prejudicar a sua produção, o que se reflete em maiores produtividades.

2.2 Fixação Biológica de Nitrogênio em Feijoeiro

O processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN) é realizado por microrganismos procariotos, de vida livre ou em associação com plantas, em especial as leguminosas. Estes organismos possuem um complexo enzimático, a nitrogenase, que no caso do feijoeiro ocorre no interior dos nódulos radiculares, capaz de quebrar a tripla ligação do nitrogênio atmosférico, transformando a forma molecular N_2 , não assimilável, em NH_3 que pode ser prontamente absorvido pelas plantas, conforme a reação:



A formação dos nódulos em feijoeiro é induzida pela infecção radicular por bactérias do grupo dos rizóbios, cuja caracterização taxonômica envolve um grande número de espécies e gêneros distintos (KAHINDI et al., 1997; MARTÍNEZ-ROMERO, 2003). Estima-se que cerca de 40 Tg de N_2 seja fixado por ano, só nas culturas leguminosas, dando a esse processo enorme importância na manutenção da vida no planeta (HERRIDGE et al., 2008).

Com a crescente preocupação da sociedade com a sustentabilidade da agricultura, em seus aspectos de conservação de nutrientes e energia e de combate à poluição, a perspectiva da aplicação dos recursos tecnológicos associados à fixação biológica de N_2 é cada vez maior. A importância da FBN nos agroecossistemas é devida tanto ao seu efeito na nutrição nitrogenada das plantas superiores como na redução do impacto ambiental associado à substituição, total ou parcial, do uso de fertilizantes nitrogenados (BODDEY et al., 1997; JENSEN & HAUGGAARD-NIELSEN, 2003). Além de promover a sustentabilidade econômica, a FBN tem importantes reflexos ambientais, uma vez que a produção de fertilizantes nitrogenados é extremamente intensiva em energia fóssil e o seu uso e baixo aproveitamento contribuem para a poluição dos recursos hídricos, para a emissão de CO_2 e o aquecimento global (GRANLI & BOCKMAN, 1995; BOCKMAN & OLFS, 1998; STOUT et al., 2000). Portanto, a FBN constitui tema estratégico para pesquisa e desenvolvimento de tecnologias que diminuam o impacto da agricultura ao meio ambiente.

O feijoeiro comum tem sido considerado uma espécie de baixa capacidade de FBN em comparação com outras leguminosas de grão, pois quando se consideram os valores médios de produtividade, evidencia-se a baixa capacidade da planta em atingir seu máximo potencial produtivo, quando dependente apenas da FBN (STRALIOTTO & RUMJANEK, 1999).

Entretanto, estudos demonstram que é possível a introdução desta tecnologia nesse sistema produtivo, pois a seleção de combinações simbióticas adequadas é capaz de promover aumentos na produtividade da cultura sob condições de FBN (HUNGRIA et al., 2000). Isto, tanto na agricultura familiar, onde o nível de produtividade é compatível com o uso da tecnologia (OLIVEIRA et al., 1998), quanto nos cultivos de inverno ou terceira safra, sob irrigação, onde é possível substituir parcialmente a adubação nitrogenada (ROMANINI-JÚNIOR et al., 2007). O uso da FBN nestes sistemas produtivos é uma alternativa tecnológica acessível e os níveis de produtividade atualmente obtidos com a inoculação abrem perspectivas para a sua inserção nos sistemas mais intensivos em tecnologia.

Segundo FERREIRA et al. (2000), a inoculação de estirpes eficientes de *Rhizobium* em feijoeiro da cultivar Carioca, ou seu cultivo em solos com populações de estirpes nativas eficientes, pode possibilitar a não utilização de N em cobertura na cultura, sem afetar a

produtividade. A inoculação no campo com estirpes selecionadas contribuiu, de forma significativa, para o aumento no rendimento de grãos de caupi (SOARES et al., 2006a) e feijão (SOARES et al., 2006b) sendo que as produtividades alcançadas foram semelhantes as da testemunha, com 70 kg ha⁻¹ de N. A inoculação de sementes da cultivar Talismã com uma estirpe de *R. etli* promoveu rendimento de grãos semelhantes ao da testemunha com 80 kg ha⁻¹ de N, superando inclusive a estirpe de referência CIAT 899 (FERREIRA et al., 2009).

O potencial de fixação de nitrogênio via simbiose pode alcançar 200 a 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (PEOPLES et al., 1995), demonstrando que, dependendo do potencial genético dos simbiontes, é possível que o feijoeiro se beneficie unicamente do processo de fixação biológica de N₂, em condições de campo, podendo alcançar produtividades acima de 2.000 kg ha⁻¹ (BLISS, 1993; HUNGRIA et al., 2000).

Tem sido demonstrado que existem alguns períodos críticos no desenvolvimento das leguminosas relacionado com a fixação de N (HUNGRIA & NEVES, 1986; XAVIER et al., 2007). BRITO et al. (2009) verificaram que a maior taxa de contribuição relativa da fixação simbiótica de N, avaliada por meio da técnica da diluição isotópica, ocorreu a partir da fase de prefloração do feijão.

No desenvolvimento inicial da planta, o feijoeiro apresenta uma dependência dos nutrientes presentes nos cotilédones (HUNGRIA et al., 1991). No entanto, o feijoeiro não apresenta sincronização entre o esgotamento das reservas nitrogenadas cotiledonares, a formação de nódulos e a fixação efetiva de N. Como as plantas de feijão tendem a apresentar uma nodulação tardia em relação à nodulação de outras leguminosas como a soja e o feijão-caupi (HUNGRIA & NEVES, 1986), com o esgotamento das reservas cotiledonares, ocorrem sintomas de amarelecimento das plantas noduladas (HUNGRIA et al., 1991), observado em feijão e não característico na soja.

A cultura da soja é um exemplo de uma leguminosa cujo sucesso no Brasil se deve ao desenvolvimento de inoculantes contendo rizóbios adaptados às condições e solos brasileiros, em paralelo a um programa de melhoramento direcionado à obtenção de cultivares com alta produção sem adubação nitrogenada (DÖBEREINER, 1989), sendo possível substituir totalmente a adubação pelo uso da inoculação com rizóbios (HUNGRIA et al., 2001; MENDES et al., 2008). Todas as doses de inoculantes testadas na cultura da soja proporcionaram rendimento de sementes semelhante ao da aplicação de 200 kg de N ha⁻¹ e superiores aos obtidos nas parcelas não inoculadas (ALBAREDA et al., 2009). A adição de fertilizantes nitrogenados em cobertura, em dois estágios reprodutivos diferentes das plantas de soja inoculadas, não gerou aumento no rendimento de sementes em comparação com os tratamentos que foram apenas inoculados (ALBAREDA et al., 2009). Segundo HUNGRIA et al. (2001), essa simbiose reduz os custos de produção, visto que, sem a FBN seriam necessários aproximadamente 240 kg ha⁻¹ de N para uma produção esperada de 3000 kg ha⁻¹ de grãos de soja.

Baseado no sucesso para a soja é necessário aprimorar o processo de FBN em feijoeiro, para que a cultura torne-se ambientalmente e economicamente mais viável. Porém, ao contrário da soja, não foi conduzido para o feijoeiro um programa de melhoramento voltado ao uso da FBN e redução de fertilizantes nitrogenados, o que contribuiu para que o sucesso alcançado na cultura da soja, não se estendesse para a cultura do feijoeiro.

Mesmo que a FBN não seja suficiente para suprir todo o N requerido pelo feijoeiro para seu desenvolvimento, e seja necessária a realização de adubações nitrogenadas complementares, a redução da necessidade de adubação na cultura pode representar uma economia a ser considerada. PELEGRIN et al. (2009) verificaram que a adubação com 20 kg ha⁻¹ de N, em conjunto com a inoculação, possibilitou a obtenção de rendimento de grãos e proporcionou acréscimo de receita líquida na cultura de feijoeiro equivalente à aplicação de

até 160 kg ha⁻¹ de N, evidenciando a importância da FBN para obtenção de maior rentabilidade e sustentabilidade na cultura do feijoeiro.

Vários fatores interferem na eficiência simbiótica entre leguminosas e as estirpes de rizóbio em nível de campo (GRAHAM, 1981). A falta de respostas à inoculação tem sido atribuída à população numerosa, mas ineficiente, de rizóbios nativos na maioria dos solos, e à sensibilidade da simbiose a estresses ambientais, tais como temperaturas elevadas, baixa umidade e acidez do solo (GRAHAM, 1981; PIHA & MUNNS, 1987b; HUNGRIA & VARGAS, 2000).

A população do rizóbio inoculado que consegue se estabelecer no solo é bastante variável, dependendo da combinação entre uma série de condições ambientais tais como a acidez do solo, que afeta todos os aspectos da nodulação e fixação biológica, desde a sobrevivência e multiplicação do rizóbio até o processo de infecção e desenvolvimento do nódulo (HUNGRIA & VARGAS, 2000; GRAHAM et al., 1994).

A ocorrência de deficiências hídricas durante o ciclo de cultivo do feijoeiro tem efeito negativo em diferentes etapas do processo de nodulação e na atividade nodular, além de afetar a sobrevivência do rizóbio no solo (MNASRI et al., 2007; HUNGRIA & VARGAS, 2000). A salinidade do solo e as flutuações osmóticas associadas aos períodos de déficit hídrico resultam em diminuição da sobrevivência das populações de rizóbio no solo ou redução no seu crescimento (ZHRAN, 1999).

A ocorrência de altas temperaturas no solo afeta a sobrevivência do rizóbio, o processo de infecção e a formação dos nódulos (PIHA & MUNNS, 1987b; HUNGRIA & VARGAS, 2000; HOFFMANN JÚNIOR et al., 2007). Além disso, quando se considera o rizóbio no inoculante, altas temperaturas afetam a sua sobrevivência no veículo tanto durante o transporte quanto no armazenamento (STRALIOTTO & RUMJANEK, 1999).

Um dos fatores que historicamente contribuíram para a baixa eficiência dos inoculantes rizobianos utilizados no cultivo do feijão é a promiscuidade da planta hospedeira, capaz de nodular com as estirpes de rizóbio naturalmente presente na maioria dos solos brasileiros, altamente competitivas e adaptadas às condições tropicais e ineficientes no processo de FBN (MICHIELS et al., 1998; MARTÍNEZ-ROMERO, 2003), aliada à baixa competitividade das estirpes presentes no inoculante, provenientes de processos de seleção que não consideravam características de tolerância aos estresses encontrados nos solos tropicais (STRALIOTTO et al., 2002).

A baixa ocupação nodular das leguminosas pelas estirpes inoculadas está associada à existência no solo de uma população indígena abundante, cuja densidade, eficácia e habilidade competitiva afetam as respostas da inoculação. SINGLETON & TAVARES (1986) observaram que mesmo uma pequena população de rizóbios nativos no solo é suficiente para suprir a demanda de N das plantas conforme a eficiência desta população. A probabilidade de aumento da produção com a tecnologia de inoculação com estirpes exóticas é inversamente proporcional ao número de rizóbios nativos do solo (THIES et al., 1991a). Neste aspecto, são muito importantes os estudos de levantamento da diversidade das populações de rizóbio presentes nos diferentes tipos de solo (THIES et al., 1991b), o que se constitui numa etapa na busca de inoculantes mais eficientes e competitivos.

2.3 Interação entre Fixação Biológica de Nitrogênio e Adubação Nitrogenada

A eficiência do processo simbiótico entre as bactérias fixadoras de N e o feijoeiro pode ser afetada pela presença de N no solo. O fornecimento de N através da adubação mineral afeta o processo de FBN em leguminosas, pois as plantas absorvem diretamente o N mineral em detrimento do processo biológico (OLIVEIRA et al., 2004). Isto ocorre uma vez que a FBN é um processo muito dispendioso energeticamente para a planta e a absorção e

assimilação de N mineral prontamente disponível representa uma forma de economia de energia para as plantas (MCAULIFFE et al., 1958).

A necessidade da aplicação de fertilizantes nitrogenados para garantir uma elevada produção de feijão, tem impactos negativos no meio ambiente sob a forma de contaminação dos recursos hídricos resultante da lixiviação do nitrato (STOUT et al., 2000; RESENDE, 2002), além da poluição atmosférica por emissão de óxido nitroso, quando do manejo inadequado do fertilizante (ISHERWOOD, 2000). Há também que se considerar o aumento dos custos de produção da lavoura, fato que pode ser minimizado através da inoculação de sementes (PELEGRIN et al., 2009).

Para expressar todo seu potencial produtivo, há uma exigência muito grande de nutrientes por parte do feijoeiro. ANDRADE et al. (2004) obtiveram produtividade acima de 2500 kg.ha⁻¹ nas cultivares de feijão Aporé, Pérola e Rudá a partir da aplicação de 100 kg ha⁻¹ de N. SANTOS et al. (2003), avaliando os efeitos de doses de N na produtividade do feijoeiro cultivado em várzeas, relataram que a maior produtividade econômica, 2.700 kg ha⁻¹ de grãos, foi obtida com 167 kg ha⁻¹ de N incorporados ao solo aos 20 dias após emergência (DAE) na cultivar Pérola, e que a dose de 108 kg ha⁻¹ de N incorporada ao solo aos 20 DAE proporcionou a esta cultivar 90% da produtividade máxima.

Com doses elevadas de adubação, o N adicionado ao solo é preferencialmente absorvido e pode afetar negativamente a formação de nódulos na raiz, o tamanho e o peso dos nódulos (TSAI et al., 1993; MÜLLER & PEREIRA, 1995) e, como consequência, a eficiência do processo simbiótico (STRALIOTTO & RUMJANEK, 1999).

Entretanto, TSAI et al. (1993) demonstraram que pequenas doses de N podem estimular a nodulação sem limitar a FBN durante o período vegetativo do desenvolvimento do feijoeiro, quando o solo apresenta balanço adequado de outros nutrientes como fósforo, potássio e enxofre, promovendo um efeito sinérgico da adubação nitrogenada sobre a nodulação e fixação do N. SILVA et al. (1993) observaram que a fixação de N atmosférico na presença de fertilizantes nitrogenados aplicados em pequenas quantidades nas folhas, resultam em maior rendimento e conteúdo de N nas sementes, enquanto que FRANCO & DÖBEREINER (1968) verificaram que, em feijoeiro inoculado em casa de vegetação, a dose de 10 mg N kg⁻¹ de solo influenciou positivamente a nodulação.

A época de aplicação do fertilizante nitrogenado também influencia sobremaneira o comportamento do feijoeiro, com reflexos mais pronunciados nos estágios iniciais do crescimento da cultura e menos evidentes nos estágios mais tardios (HENSON & BLISS, 1991; MÜLLER et al., 1993).

Quando a cultura atinge a fase de floração e posterior enchimento de vagens, as sementes em formação apresentam alta demanda por fotoassimilados, que competem com a demanda por energia envolvida na redução do N, e por consequência reduzem o crescimento dos nódulos e a fixação de N₂ (PIHA & MUNNS, 1987a). Os nódulos começam a passar por uma série de alterações metabólicas, estruturais e fisiológicas, os quais perdem a sua função e têm a sua morte celular acelerada, resultando na sua senescência e perda da capacidade de fixar o N₂ atmosférico (FERNANDÉZ-LUQUEÑO et al., 2008). Isso resulta em carência de N em um estágio de alta demanda metabólica para a formação dos órgãos reprodutivos, frutos e sementes, que não será suprida através da simbiose (ARAÚJO et al., 2000).

Nestas situações, e quando o suprimento de N no solo não é suficientemente alto, a demanda de N de um cultivo tem que ser satisfeita com o fertilizante nitrogenado (CABALLERO et al., 1985; FERREIRA et al., 2004). A aplicação deste N pode suprir as necessidades nutricionais da cultura, porém pode resultar em menor eficiência da FBN, uma vez que a adubação por cobertura com doses elevadas de N pode influenciar negativamente na FBN em diferentes cultivares de feijão (MÜLLER & PEREIRA, 1995).

No feijoeiro, a inoculação de sementes com rizóbio específico ainda é de baixa previsibilidade (ANDRADE et al., 1998). Por esta razão, não se tem ainda uma recomendação generalizada sobre a inoculação de sementes para esta cultura, razão pela qual o N é sempre recomendado nas adubações (CABALLERO et al., 1985; FERREIRA et al., 2004). A inoculação de estirpes eficientes de rizóbio na cultura de feijoeiro ou seu cultivo em solos com população nativa eficiente dessas bactérias pode possibilitar a não utilização de N em cobertura no cultivo, sem afetar a produtividade (FERREIRA et al., 2000; THIES et al., 1991a).

Com relação a outras culturas, para espécies como a alfafa, verificou-se efeito negativo do N-mineral ($450 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) sobre o processo simbiótico, com redução da nodulação e atividade da enzima nitrogenase, porém sem efeito sobre a produção de matéria seca, proteína bruta e N total da parte aérea (OLIVEIRA et al., 2004). A adubação nitrogenada é dispensável para a alfafa inoculada com a bactéria diazotrófica correspondente, uma vez que a simbiose pode garantir o fornecimento de N em quantidade suficiente para a produção (OLIVEIRA et al., 2004).

No caso da soja, apesar da FBN também ser inibida pela disponibilidade de N no solo, a quantidade de N necessária para uma interferência significativa é maior do que a necessária para limitar a FBN no feijoeiro, principalmente quando a aplicação de N ocorre durante o período reprodutivo (GEORGE & SINGLETON, 1992). Resultados recentes mostram os efeitos deletérios nos parâmetros de nodulação da soja quando da aplicação de 200 kg ha^{-1} de N (HUNGRIA et al., 2006; MENDES et al., 2008; ALBAREDA et al., 2009). Outros resultados mostram que a aplicação de 50 kg ha^{-1} de N no começo do florescimento, estágio R1 (MENDES et al., 2008; ALBAREDA et al., 2009) e R2 (HUNGRIA et al., 2006) e no início do enchimento de vagens, estágio R4 (HUNGRIA et al., 2006), promoveu redução na nodulação da soja, o que resultou na diminuição da quantidade de N fixado e do rendimento de grãos. Porém, MENDES et al. (2008) observaram que essa mesma quantidade de fertilizante aplicada na fase de enchimento de grãos (R5), não interferiu na nodulação. HUNGRIA et al. (2006) observaram que a aplicação, no plantio, de uma dose inicial de 30 kg ha^{-1} de N promoveu decréscimo no peso de nódulos em soja. Esses dados contrastam com os de EVANS (1982), MASCARENHAS et al. (1984) e TAHIR et al. (2009), que verificaram que algumas cultivares de soja podem apresentar boa nodulação e eficiência na atividade da nitrogenase mesmo recebendo uma adubação de até 50 kg ha^{-1} de N.

Em feijão-caupi, a FBN é reconhecidamente eficiente e quando bem nodulado, pode atingir altos níveis de produtividade (RUMJANEK et al., 2005). Segundo XAVIER et al. (2008), a produtividade de grãos do feijão-caupi aumenta com o uso da inoculação e o efeito dessa prática é favorecido quando o feijão-caupi é adubado com no máximo 20 kg ha^{-1} de N. Isto indica que a aplicação de pequenas doses de N para o feijão-caupi pode favorecer a nodulação, assim como no feijoeiro (TSAI et al., 1993). Entretanto, XAVIER et al. (2008) observaram que houve diminuição da nodulação quando foram adicionadas doses superiores a 80 kg ha^{-1} de N, o que mostra que a simbiose em feijão-caupi também é inibida pela presença de doses elevadas de N no solo.

Trabalhos sobre a influência da fertilização nitrogenada nas populações de bactérias diazotróficas, também já foram relatados, como no caso da cultura da cana-de-açúcar, onde se observou que variedades eficientes para FBN tiveram redução do número de isolados da bactéria *Acetobacter diazotrophicus*, em plantas adubadas com doses elevadas de N (FUENTES-RAMÍREZ et al., 1999). Em dendrograma obtido a partir dos resultados de porcentagem de reação pela técnica de ELISA, PERIN et al. (2004) obtiveram um claro agrupamento em relação às coleções de germoplasma de cana-de-açúcar estudadas. Estes autores relacionaram as diferenças entre esses grupos à quantidade de N aplicado, pois um grupo, de menor diversidade, era formado por isolados de variedades provenientes de região

cuja adubação nitrogenada é largamente utilizada. Enquanto outro grupo, com maior diversidade, era de uma região cujas variedades não receberam nenhuma adubação, indicando que altas doses de N levam à diminuição da diversidade de *Gluconacetobacter diazotrophicus*.

A prática da fertilização nitrogenada também é comum aos plantios de dendezeiro, e pode ter influência sobre as populações e a diversidade das bactérias diazotróficas associadas à cultura. CARVALHO et al. (2006), avaliando a resposta à adição de N mineral em genótipos de dendê e o seu reflexo na população nativa de bactérias diazotróficas, verificaram que a influência da adição de N sobre a população dessas bactérias foi bastante variável entre os 17 genótipos testados.

2.4 O Papel do Fósforo na Fixação Biológica de Nitrogênio

O P é um elemento essencial ao crescimento e reprodução das plantas, as quais não alcançam seu máximo potencial produtivo sem seu adequado suprimento. O P é componente de membranas celulares (fosfolípidos), ácidos nucleicos, além de ser constituinte de compostos armazenadores de energia, como o ATP (trifosfato de adenosina). Essa energia é utilizada na germinação, fotossíntese, absorção ativa dos nutrientes do solo e síntese de vários compostos orgânicos, como carboidratos, proteínas e lipídeos (MARSHNER, 1995; TAIZ & ZEIGER, 2004).

A deficiência de P provoca a diminuição da atividade fotossintética em leguminosas (CHAUDHARY et al., 2008), retarda a fase de maior deposição de folhas senescentes do feijoeiro (ARAÚJO et al., 2007b), reduz a área foliar, a massa seca total (TRINDADE et al., 2010), a razão de área foliar e a área foliar específica de feijoeiro (BOUTRAA, 2009), embora seja constatado que há uma variação genética na resposta ao baixo suprimento de P entre os diferentes genótipos de feijão.

BOUTRAA (2009) observou que a cultivar Carioca, com hábito de crescimento indeterminado, sob baixa disponibilidade de P, reduziu a taxa de crescimento relativo e a taxa de assimilação líquida, efeito que não foi encontrado na cultivar com hábito de crescimento determinado, enquanto que TRINDADE et al. (2010) relataram que o maior desenvolvimento, sob baixo suprimento de P, seria alcançado pelos genótipos de feijoeiro capazes de manter a expansão foliar durante o enchimento de vagens e que cultivares com hábito de crescimento indeterminado parecem mais tolerantes aos solos com baixa disponibilidade de P. Genótipos de feijoeiro, cultivados e selvagens, também diferem quanto aos caracteres associados à eficiência de absorção e utilização de P (ARAÚJO et al., 1997; 1998).

O P participa com um efeito primordial na fixação biológica de N₂, atuando diretamente sobre a iniciação, crescimento e funcionamento dos nódulos (ISRAEL, 1987), aumentando sua atividade (GRAHAM & ROSAS, 1979; PEREIRA & BLISS, 1987) e causando simultâneo aumento na acumulação de N (OTHMAN et al., 1991).

Em casa de vegetação, usando solução nutritiva, TSVETKOVA & GEORGIEV (2003) notaram que o stress causado pelo excesso de P (3.0 mM) diminui a nodulação e a redução de acetileno nos nódulos de soja, assim como a deficiência de P (0.1 mM) também diminui a massa e o número de nódulos.

Dados de perfis metabólicos de plantas de feijoeiro indicaram que os aminoácidos e outros metabólitos nitrogenados diminuíram, enquanto que os ácidos orgânicos e poliídrosí foram acumulados nos nódulos, sob deficiência de P (HERNÁNDEZ et al., 2009). Plantas de feijoeiro em condições de deficiência de P aumentam a atividade das fosfatases e fitases dos nódulos, indicando um possível mecanismo adaptativo para a fixação de N₂ em leguminosas para tolerar a deficiência de P, aumentando a utilização do P no interior de nódulos (ARAÚJO et al., 2008).

A deficiência de P é generalizada nas regiões produtoras de feijão no mundo, e talvez seja um dos fatores que mais limita a FBN em pequenos cultivos (GRAHAM, 1981).

Como o P é um dos elementos mais importantes no metabolismo vegetal, limitando a produção agrícola, e os solos com deficiência do P ocorrem em muitas regiões do mundo, aumentar o teor de P das sementes pode ser uma alternativa útil para favorecer o crescimento da cultura em condições de deficiência desse elemento. As plantas da cultivar Carioca, quando originadas de sementes com 0,56% de P necessitaram menos 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para produzirem a mesma massa de nódulos quando comparada com aquelas plantas originadas de sementes com apenas 0,42% de P TEIXEIRA (1994), teores de P em sementes, superiores a 5,0 mg g⁻¹, estimulam o crescimento, a nodulação e a acumulação de N de cultivares de feijoeiro, particularmente sob baixa disponibilidade de P no solo (TEIXEIRA et al., 1999; ARAÚJO et al., 2002), aumentam também o índice de área foliar e o rendimento de grãos (SILVA et al., 2003). O maior conteúdo de P nas sementes aumentou em 17% o número e 14% o peso de nódulos das plantas de feijoeiro, quando nenhum aporte de P foi realizado no sistema, mostrando que estas plantas foram menos dependentes dos níveis desse elemento no solo para a nodulação do que aquelas originadas de sementes com menor conteúdo de P (TEIXEIRA 1994). Altos teores de P em sementes de feijoeiro originaram ainda plantas com maior contribuição da fixação biológica de N (CHAGAS, 2008).

Em condições de campo sob adequado suprimento de P no solo, duas aplicações de 500 L ha⁻¹ de uma solução com 10 g P L⁻¹ no estágio de início de formação das vagens causaram aumento na concentração de P nas sementes de duas cultivares de feijoeiro, sem afetar o rendimento de grãos (TEIXEIRA & ARAÚJO, 1999). Ainda em condições de campo, a adubação com 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aumentou em média 39% o conteúdo de fósforo nas sementes de feijoeiro, embora este aumento tenha ocorrido de forma diferenciada entre as diversas cultivares avaliadas (TEIXEIRA, 1994).

Na cultura da soja, PESKE et al. (2009) observaram que o recobrimento de sementes com P aumenta a produtividade dependendo das fontes e doses do fósforo usadas, sendo que a dose de 21 g de fitina por kg de sementes aumenta a produtividade da cultura em mais de 14%, e TRIGO et al. (1997) concluíram que o incremento da concentração de P na semente de soja propicia um aumento do potencial de rendimento da planta subsequente.

2.5 O Papel do Molibdênio no Metabolismo de Nitrogênio

Dentro do processo de FBN, o Mo participa como um dos catalizadores da enzima nitrogenase, que é responsável pela transformação do N₂ atmosférico em amônia (SHAH et al., 1984). O molibdênio também participa do complexo enzimático da nitrato redutase, responsável pela assimilação do nitrato pelas plantas, atuando como doador de elétrons (ZIMMER & MENDEL, 1999; TAIZ & ZEIGER, 2004).

Devido à sua grande importância no processo de FBN, o Mo é, dentre os micronutrientes exigidos pelo feijoeiro, o que apresenta resposta mais freqüente e consistente na produtividade (BRODRICK et al., 1992; PESSOA et al., 2001; ASCOLI et al., 2008). Plantas bem nutridas com Mo têm seu período de alta atividade da enzima nitrato redutase prolongado (VIEIRA et al., 1998) e também um maior teor de proteína acumulado nos grãos (CAMPO et al., 2009).

Embora as plantas necessitem apenas de pequenas quantidades de Mo, alguns solos suprem níveis inadequados desse elemento para as culturas agrícolas, e pequenas adições deste nutriente nesses solos podem melhorar o crescimento dessas culturas (GUPTA, 1997). No entanto, nas condições brasileiras, predominam solos ácidos, ricos em óxidos de ferro e alumínio, onde a adsorção de Mo aos colóides do solo pode reduzir sua disponibilidade às plantas. Por isso, o fornecimento de Mo às plantas é feito, em grande parte, por meio do tratamento de sementes. Contudo, a aplicação do Mo via semente provoca a perda do poder

germinativo, reduções do crescimento e da produção (REISENAUER, 1963) ou até mesmo aumenta a mortalidade de *Rhizobium* e, diminui, com isso, a nodulação (GAULT & BROCKWELL, 1980). Logo, uma das alternativas para solucionar estes problemas é a aplicação do Mo via foliar, ou a utilização de sementes enriquecidas com Mo, obtidas através de adubações foliares com o micronutriente. Em alguns casos, principalmente para um micronutriente, a reserva interna da semente é suficiente para que a planta originada desta possa crescer sem dependência externa (JACOB-NETO & ROSSETTO, 1998).

Sementes enriquecidas com Mo, colhidas em plantas que receberam adubação foliar, podem estimular a atividade da nitrogenase e aumentar a acumulação de biomassa e N de feijoeiro (KUBOTA et al., 2008) e soja (CAMPO et al., 2009). Em soja, o enriquecimento de sementes com Mo promoveu incrementos na produtividade de até 68%, quando complementado com 20 g Mo ha⁻¹ via tratamento de sementes (CAMPO et al., 2009), e plantas provenientes de sementes de soja enriquecidas ou tratadas com Mo possuem maior acúmulo de N nas folhas (MILANI et al., 2008).

Em feijoeiro, plantas provenientes de sementes com elevados conteúdos de Mo podem ser mais bem nutridas em N, se desenvolverem melhor (VIEIRA et al., 2005), e terem a concentração de proteína na matéria seca das sementes influenciada pelas doses de Mo e pelo seu conteúdo nas sementes utilizadas na semeadura (FONTES et al., 2002).

KUBOTA et al. (2008) observaram que plantas oriundas de sementes com alto teor de Mo apresentaram maior acumulação de N na parte aérea aos 59 DAE e maior massa de parte aérea aos 47 e 59 DAE, e que o maior teor de Mo nas sementes não afetou a nodulação até os 45 DAE. Por outro lado, altos teores de Mo em um genótipo de feijoeiro de sementes grandes foram suficientes para evitar a deficiência de Mo em substrato sem Mo, mas não foram suficientes em um genótipo de sementes pequenas (BRODRICK et al., 1992). FERREIRA et al. (2003) verificaram que a produtividade do feijoeiro não foi influenciada pelo conteúdo de Mo das sementes. Contudo, o maior conteúdo de Mo usados pelos autores foi 0,535 µg semente⁻¹, sendo que o nível satisfatório para o feijoeiro se desenvolver sem a necessidade de adubação complementar, segundo JACOB-NETO (1985), é de 3,51 µg semente⁻¹, o que pode explicar a ausência de efeito do teor de Mo nas sementes.

LEITE et al. (2007) verificaram que o rendimento de grãos de feijão e os componentes da produção, exceto o número de sementes por vagem, foram influenciados positivamente pelas doses de Mo aplicadas via foliar. Esses autores concluíram que a dose ótima estimada foi de 255 g ha⁻¹ de Mo, e que doses de Mo de até 2.560 g ha⁻¹ não promoveram decréscimos em nenhum dos componentes da produção nem no rendimento de grãos. VIEIRA et al. (2005) constataram que a aplicação foliar de altas doses de Mo (1.440 g ha⁻¹) não foi tóxica para a cultura e que sementes provenientes destas plantas podem conter até 13 vezes mais Mo em relação àquelas que não receberam este tratamento. Doses tão altas quanto 4 kg ha⁻¹ de Mo não são tóxicas quando pulverizadas nos feijoeiros, e é possível atingir 6,961 µg de Mo por semente com essa dose do micronutriente, sem haver prejuízos à germinação (VIEIRA et al., 2010).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de campo entre abril e julho de 2009, na Fazenda Santa Mônica da Embrapa Gado de Leite, no município de Valença – RJ, localizado na latitude de 22° 21' S, longitude 43° 42' W e altitude de 364 m. O clima da região é classificado como Cwa segundo KÖPPEN (1948) (inverno moderadamente frio e verão quente), com precipitação média anual de 1280 mm e temperatura média anual de 22,5 °C. Durante o período do experimento, as condições meteorológicas da região, obtidas na Estação Climatológica da Embrapa Gado de Leite localizada na sede da Fazenda Santa Mônica foram: precipitação total de 82,2 mm, média da umidade relativa máxima 84,2% e mínima 79,6% e média de temperatura máxima 19,8 °C, e mínima 18,7 °C.

As sementes utilizadas são oriundas de um experimento de campo também conduzido na Fazenda Santa Mônica, onde se buscou testar a metodologia de adubação foliar em feijoeiro visando o aumento dos teores de P e Mo em sementes (KUBOTA, 2006). Foram efetuadas adubações foliares aos 52 e 71 dias após emergência (DAE), nas doses de 5 kg P ha⁻¹ e 120 g Mo ha⁻¹ em cada aplicação. Nas parcelas que receberam adubação foliar com P, foram aplicados 500 L ha⁻¹ de uma solução com 10 g P L⁻¹ como NH₄H₂PO₄, equivalente a uma dose de 5 kg P ha⁻¹. Nas parcelas que receberam adubação foliar com Mo, foi aplicado 500 L ha⁻¹ de uma solução com 0,24 g Mo L⁻¹ como (NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O, equivalente a 120 g Mo ha⁻¹, na qual foi adicionado N como uréia para equiparar a dose de N aplicada na adubação foliar com P.

Determinou-se o teor de P de uma amostra das sementes utilizadas no presente trabalho através de digestão sulfúrica e dosagem colorimétrica de acordo com TEDESCO et al. (1995). As análises de teor de Mo nas sementes e grãos foram realizadas no Laboratório de Análises de Solos e Plantas da Embrapa Solos, no Rio de Janeiro. Amostras de 500 mg de sementes foram digeridas em forno de microondas (Multiwave 3000), com digestão em nitroperóxido (5 mL de HNO₃ e 2 mL de H₂O₂), à temperatura de 180 °C por 45 minutos. Nos extratos foi determinada a concentração de Mo por espectrofotometria de emissão ótica por plasma indutivamente acoplado (ICP-OES) com nebulizador ultrassônico (aparelho Perkin-Elmer).

Para o presente trabalho, foram selecionadas, sementes com teores contratantes de P e Mo, cujas características estão apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9. Características das sementes utilizadas no presente trabalho.

Nível de P e Mo na semente	Massa de 100 sementes (g)	Teor de P (mg g ⁻¹)	Teor de Mo (µg Mo g ⁻¹)
baixo P baixo Mo	29,3	2,21	0,056
baixo P alto Mo	29,0	2,17	11,914
alto P baixo Mo	29,7	3,68	0,239
alto P alto Mo	29,6	3,68	5,413

O preparo do solo para implantação do experimento foi realizado de forma convencional, com uma aração e duas gradagens leves e posterior abertura de sulcos.

A Tabela 10 apresenta o resultado da análise de amostra de solo, coletada na profundidade de 0 a 20 cm, e realizada de acordo com EMBRAPA (1997). Optou-se por não aplicar calcário, devido aos baixos valores de Al⁺³ trocável e adequados valores de Ca + Mg observados na análise de solo. A adubação com P e K seguiu as recomendações para a cultura do feijão do Manual de Adubação para o Estado do Rio de Janeiro (DE-POLLI et al., 1990).

O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso, em um fatorial 4x4 com 5 repetições em parcelas subdivididas. As parcelas foram compostas por quatro fontes de N: testemunha absoluta sem N; adubação com N mineral com 20 kg N ha⁻¹ no plantio + 40 kg N ha⁻¹ em cobertura; inoculação com inoculante comercial recomendado para a cultura do feijoeiro composto pela combinação das estirpes CIAT 899 (ou BR322) e PR-F81 (ou BR520) de *Rhizobium tropici* obtido junto à coleção de estirpes da Embrapa Agrobiologia; inoculação com as estirpes (BR322+BR520) + 40 kg N ha⁻¹ em cobertura. As subparcelas foram compostas por quatro combinações entre dois níveis de P na semente e dois níveis de Mo na semente (baixo P baixo Mo, baixo P alto Mo, alto P baixo Mo, alto P alto Mo). Foi utilizada a cultivar Carioca, que possui sementes médias, cor bege-rajadas e hábito de crescimento de tipo III. Foram semeadas 12 sementes por metro linear.

Anteriormente ao plantio, foi retirada uma amostra de terra da profundidade de 20 cm da área do experimento para realização da captura e quantificação da população nativa de rizóbio, através da técnica do Número Mais Provável (VINCENT, 1970). Foram utilizados vasos de Leonard com 0,5 L, contendo uma mistura de areia e vermiculita (1:1 em peso), supridos com solução nutritiva de Norris modificada isenta de N, em casa de vegetação na Embrapa Agrobiologia, utilizando-se como planta-isca a cultivar Carioca. As sementes utilizadas foram desinfestadas superficialmente e lavadas com água esterilizada. Foram semeadas quatro sementes por vaso e, posteriormente, foi feita a inoculação, colocando-se junto a cada semente 1 mL da suspensão proveniente das diluições seriadas do solo das áreas experimentais. As plantas foram colhidas aos 30 DAE, efetuando-se a avaliação da nodulação para se proceder a determinação do Número Mais Provável de unidades formadoras de colônias no solo da área experimental.

Os fertilizantes foram colocados no fundo do sulco, nas doses de 35 kg K ha⁻¹ na forma de cloreto de potássio, 30 kg P ha⁻¹ na forma de superfosfato simples moído, e 20 kg N ha⁻¹ na forma de uréia, nas parcelas que receberam adubação nitrogenada. Cada parcela experimental tinha área total de 48 m² e cada subparcela, uma área de 12 m² (3 x 4 m), constituída de seis linhas de 4 m de comprimento espaçadas de 0,5 m entre si.

Tabela 10. Resultado da análise de amostra de solo coletada na área do experimento.

Profund. (cm)	Na	Ca	Mg	K	H+Al	Al	pH _{água}	Corg	P	K
	----- cmol _c dm ⁻³ -----							g kg ⁻¹	---	mg dm ⁻³ --
0 – 20	0,006	6,5	4,5	0,08	5,1	0	5,4	14,2	25	31

O controle de plantas espontâneas foi realizado pós-emergência com o herbicida Robust aos 14 DAE, e também com uma capina aos 32 DAE. Foi efetuado também o controle da “vaquinha” (*Diabrotica speciosa*) utilizando-se o inseticida Decis 50 SC aos 10 DAE. Foi realizada irrigação por aspersão sempre que necessário; na ausência de precipitações, o experimento era irrigado ao menos uma vez por semana. A adubação de cobertura foi realizada aos 31 DAE, aplicando-se manualmente 40 kg N ha⁻¹ na forma de uréia.

Em cada subparcela foram efetuadas três amostragens de biomassa aos 30, 42 e 57 DAE, em uma linha da parcela destinada a este fim. As plantas presentes em 0,5 m linear foram colhidas por inteiro com o auxílio de uma pá reta, separadas em raízes e parte aérea em corte próximo à base do caule. A parte aérea foi colocada em sacos de papel, e os sistemas radiculares foram acondicionados em sacos plásticos, para serem transportados até a Embrapa Agrobiologia, em Seropédica. No laboratório, os nódulos foram retirados das raízes, secos em papel absorvente e contados. O material vegetal (parte aérea, raízes e nódulos) foi colocado em estufa com circulação forçada de ar a 65-70 °C por três dias e pesado.

A colheita de grãos foi efetuada aos 90 DAE, em uma área de 1,0 m² no centro das duas linhas centrais de cada subparcela. As plantas da área restante de 2,0 m² da área útil de cada parcela também foram colhidas. As plantas foram arrancadas do solo e colocadas em sacos de pano, e transportadas para Seropédica. Os sacos de pano foram colocados para secar em um galpão coberto, suspensos por arame, até secagem dos grãos.

No laboratório, nas plantas colhidas na área central de 1,0 m² foram determinados o número de plantas e o número de vagens, e as vagens foram trilhadas manualmente. Os grãos de cada parcela foram pesados, e foi retirada uma amostra de 100 grãos que foi pesada, seca em estufa e pesada novamente, obtendo-se o teor de umidade dos grãos de cada parcela. O rendimento de grãos de cada parcela foi padronizado para 13% de teor de umidade.

Com base na massa úmida da amostra de 100 grãos, e na massa total de grãos da parcela, foi estimado o número total de grãos. Os caules e vagens obtidos após trilhagem dos grãos foram secos em estufa e pesados. Com base nesses dados, foram estimados os componentes de produção número de vagens por planta, número de grãos por vagem e massa de 100 grãos, e o índice de colheita (razão entre a massa das sementes e a massa total de parte aérea).

Na parte aérea coletada aos 57 DAE, bem como nos grãos, foi determinado o teor de N pelo método semimicro Kjeldahl, de acordo com MALAVOLTA et al. (1989), no Laboratório de Análises de Solo e Plantas da EMBRAPA Agrobiologia.

As análises de teor de Mo nos grãos foram realizadas no Laboratório de Análises de Solos e Plantas da EMBRAPA Solos. Amostras dos grãos foram digeridas em nitroperóxido, e nos extratos foi determinada a concentração de Mo por espectrofotometria de emissão ótica por plasma indutivamente acoplado com nebulizador ultrassônico.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância para cada coleta isoladamente, em um esquema fatorial com dois fatores, avaliando-se os efeitos dos teores de P e Mo na semente, das fontes de N e de suas interações, pelo teste F a 5 %. As médias foram comparadas pelo teste de Duncan a 5 %.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Produção de Biomassa

A análise estatística dos dados indicou que as interações entre as fontes de N e os teores de P e Mo das sementes não foram significativas nas três épocas de coleta, exceto para massa seca de parte aérea e número de nódulos, que apresentaram interação significativa aos 57 dias após emergência (DAE). Desta forma, a maioria das comparações entre médias foi efetuada apenas para as médias das fontes de variação (fontes de N e sementes).

Os diferentes teores de P e Mo nas sementes não modificaram a massa seca de raiz, exceto aos 42 DAE, quando as plantas oriundas de sementes com baixo P e alto Mo tiveram maior massa de raiz que aquelas originadas de sementes com alto P e alto Mo (Figura 2A). Isto indica que, já que o nível de P no solo era adequado, o baixo suprimento endógeno de P fez com que as plantas investissem na formação de raízes. TEIXEIRA et al. (1999) verificaram que as plantas originadas de sementes com baixo teor de P responderam de forma mais acentuada ao aumento do fornecimento de P no solo que as plantas originadas de sementes com alto P, em relação à produção de raízes, enquanto ARAÚJO et al. (2002) observaram que aos 20 DAE o alto teor de P nas sementes diminuiu a matéria seca de raiz quando o solo oferecia quantidades adequadas do nutriente.

A massa seca de raiz foi maior quando se utilizou N mineral como única forma de adubação nitrogenada, nas três épocas de coleta, provavelmente em razão de este nutriente estar mais prontamente acessível às plantas; contudo aos 57 DAE este tratamento igualou-se ao tratamento que recebeu apenas a inoculação (Figura 2B). É variável a resposta do crescimento radicular à aplicação de N mineral: MÜLLER & PEREIRA (1995) observaram que a utilização de sulfato de amônio aumentou a massa seca das raízes do feijoeiro, porém em apenas uma das cultivares avaliadas.

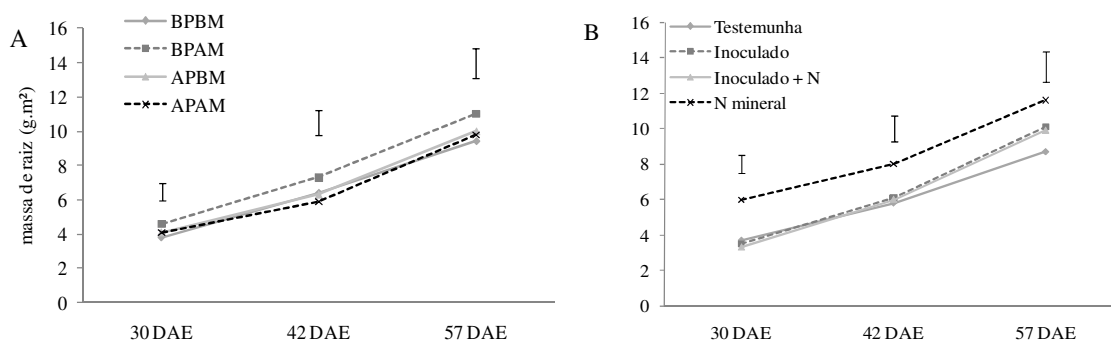


Figura 2. Massa seca de raiz de plantas de feijoeiro, originadas de sementes com diferentes teores de P e Mo (A) e sob diferentes fontes de N (B), em três épocas de coleta. DAE: dias após emergência. BP: baixo fósforo, AP: alto fósforo, BM: baixo molibdênio, AM: alto molibdênio. As barras representam a diferença mínima significativa entre os tratamentos (Duncan a 5 %). CV (%): 35, 59 aos 30 DAE, 32,34 aos 42 DAE, e 25,01 aos 57 DAE.

As sementes com baixo teor de P e alto teor de Mo aumentaram a massa seca de parte aérea, na média das diferentes fontes de N, tanto aos 42 quanto aos 57 DAE, mas este efeito não foi significativo aos 30 DAE (Figura 3A). BRODRICK et al. (1992) verificaram, aos 33 DAE no campo, que não houve aumento na produção de parte aérea nas plantas de feijão originadas por sementes com altos teores de Mo, porém, em casa de vegetação, KUBOTA et al. (2008) verificaram em três cultivares distintas, aumento na massa de parte

aérea de feijoeiro, originado de sementes com altos teores de Mo, tanto aos 30 quanto aos 45 DAE.

O adequado suprimento de P do solo, originalmente com 25 mg L⁻¹ de P disponível, mais a adubação com 30 kg P ha⁻¹, deve ter reduzido os efeitos do alto teor de P das sementes. ARAÚJO et al. (2002) observaram que houve aumentos significativos na matéria seca total das plantas oriundas de sementes com baixo teor de P, da dose de 30 para 60 mg kg⁻¹ de solo, em duas épocas de coleta. Isto indica que plantas de feijoeiro originadas de sementes com alto teor de P são menos dependentes do suprimento de P no solo para produção de biomassa do que plantas oriundas de sementes com baixo P, confirmando outros resultados com feijoeiro (TEIXEIRA et al., 1999), trigo (BOLLAND & BAKER, 1988), tremoço (THOMSON et al., 1991) e leguminosas forrageiras (BOLLAND & PAYNTER, 1990), que também forneceram evidências de que os efeitos do maior teor de P da semente no estímulo ao crescimento da parte aérea diminuem com a maior disponibilidade de P no solo.

Avaliando os diferentes tratamentos de adubação nitrogenada, a aplicação apenas do N mineral resultou em maior massa de parte aérea aos 30 DAE, no entanto aos 42 e 57 DAE os tratamentos inoculado, inoculado + N mineral e N mineral igualaram-se (Figura 3B), mostrando a eficiência da estirpe utilizada neste estudo em fixar N atmosférico e suprir a demanda de N pela planta para a formação de biomassa, tanto de raiz quanto de parte aérea, em estágios mais avançados do desenvolvimento da cultura. Em geral, as respostas do feijoeiro ao fornecimento de N têm sido bastante variáveis quanto à produção de parte aérea. Têm sido observados efeitos positivos das plantas de feijoeiro inoculadas que proporcionaram desenvolvimento de parte aérea semelhante àquelas que receberam adubação nitrogenada, tanto na semeadura quanto em cobertura e superior à testemunha não inoculada e não adubada (SOARES et al., 2006b), porém existem resultados em que a massa de parte aérea não diferiu entre os tratamentos que receberam inoculação, e a testemunha não inoculada e não adubada (FERREIRA et al., 2000; PELEGRIN et al., 2009).

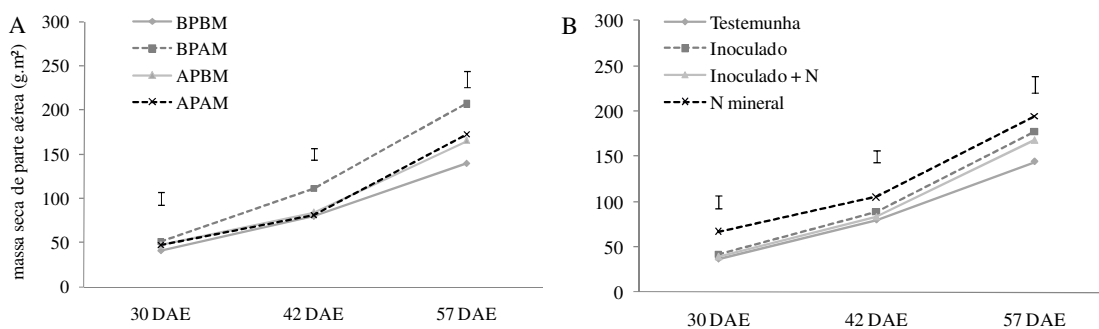


Figura 3. Massa seca de parte aérea de plantas de feijoeiro, originadas de sementes com diferentes teores de P e Mo (A) e sob diferentes fontes de N (B), em três épocas de coleta. DAE: dias após emergência. BP: baixo fósforo, AP: alto fósforo, BM: baixo molibdênio, AM: alto molibdênio. As barras representam a diferença mínima significativa entre os tratamentos (Duncan a 5 %). CV (%): 42,74 aos 30 DAE, 41,49 aos 42 DAE, 28,53 aos 57 DAE.

Aos 57 DAE, as plantas que foram inoculadas tiveram maior massa seca de parte aérea quando oriundas de sementes que continham baixo P e alto Mo, enquanto que as plantas que foram inoculadas e receberam N em cobertura apresentaram maior massa seca de parte aérea quando oriundas de sementes com baixo P e alto Mo, sem diferirem, no entanto das oriundas de sementes com alto P alto Mo (Tabela 11). KUBOTA et al. (2008) também observaram, em três cultivares de feijoeiro, que as plantas oriundas de sementes com alto teor

de Mo apresentaram maior massa de parte aérea nas duas épocas de coleta, o que foi associado a maior atividade da nitrogenase, refletindo em maior acúmulo de biomassa no feijoeiro.

Tabela 11: Massa seca de parte aérea de feijoeiro, originado de sementes com diferentes teores de P e de Mo, sob quatro fontes de N em condições de campo, aos 57 dias após emergência.

	Massa seca de parte aérea (g m ⁻²) aos 57 dias após emergência				Média
	BPBM	BPAM	APBM	APAM	
Testemunha	134 a	164 a	145 a	134 a	144 B
Inoculado	131 b	255 a	180 b	141 b	177 A
Inoculado + N	120 c	219 a	145 bc	189 ab	168 AB
N mineral	176 a	189 a	188 a	225 a	194 A
Média	140 b	207 a	165 b	172 b	
CV (%)	28,53				

Médias seguidas da mesma letra, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem pelo teste Duncan a 5%. BP: baixo fósforo, AP: alto fósforo, BM: baixo molibdênio, AM: alto molibdênio.

O número de nódulos foi maior aos 30, 42 e 57 DAE no tratamento que recebeu somente a inoculação, porém este foi equiparado, aos 57 DAE, ao tratamento inoculado + N em cobertura (Tabela 12), visto que na primeira coleta, aos 30 DAE, ainda não tinha sido procedida a adubação de cobertura, realizada somente aos 31 DAE. Observa-se então com esses dados um efeito deletério imediato da adubação nitrogenada sobre o número de nódulos, como relatado na literatura (SOARES et al., 2006b; SILVA et al., 2009), já que aos 42 DAE, 11 dias após a adubação de cobertura, ocorreu um decréscimo no número de nódulos, porém aos 57 DAE os reflexos da adubação de cobertura já não eram mais sentidos (Tabela 12). HUNGRIA et al. (2003) também não observaram diferenças significativas do número de nódulos entre feijoeiros inoculados com rizóbios ou supridos com N mineral.

Não houve diferença significativa, aos 30 DAE, no número de nódulos de plantas oriundas das sementes com diferentes teores de P e Mo. Aos 42 DAE, as sementes com baixo P e alto Mo produziram plantas com maior número de nódulos do que as sementes com alto P alto Mo. Aos 57 DAE o tratamento superior foi baixo P baixo Mo que não diferiu de alto P baixo Mo (Tabela 12).

A análise de variância do número de nódulos identificou interação entre as fontes de N e os diferentes níveis de P e Mo nas sementes aos 57 DAE (Tabela 12). Plantas que receberam apenas a inoculação como fonte de N tiveram maior número de nódulos quando originadas de sementes que continham baixos teores de P e Mo. Já as plantas que além da inoculação no plantio também receberam adubação de cobertura com N mineral continham maior número de nódulos quando oriundas de sementes com alto teor de P e baixo de Mo sem diferir, no entanto, das que se originaram de sementes com baixo P baixo Mo (Tabela 12).

A contagem do Número Mais Provável de rizóbios por grama de solo da área experimental resultou em 1×10^2 UFC por g de solo, com reflexos diretos sobre os parâmetros de nodulação avaliados (Tabela 12, Figura 4). THIES et al. (1991a) observaram em diversas espécies de leguminosas que aproximadamente 50 UFC rizóbios por g solo eram suficientes para anular a resposta das plantas à inoculação, e que quando menos de 10 UFC rizóbios por g de solo estavam presentes, a inoculação praticamente duplicou a massa e triplicou o número de nódulos. Em geral, o número e a massa nodular nos tratamentos com e sem inoculação não foram significativamente diferentes quando o número de rizóbios do solo foi maior que 100 rizóbios por g de solo. Porém houve exceções entre as espécies estudadas, uma delas o

Phaseolus vulgaris, que apresentou resposta à inoculação mesmo quando a população de rizóbio na área era de 437 rizóbio por g de solo (THIES et al., 1991a). Avaliando o efeito da inoculação em diferentes leguminosas, SINGLETON & TAVARES (1986) observaram que a proporção dos nódulos formados pelas estirpes inoculadas sempre aumentou, quando o número de rizóbio nativos no solo foi abaixo de 6×10^0 . Ainda, a inoculação não aumentou o número de nódulos, quando o número de estirpes nativas de rizóbios na área foi maior do que 1×10^2 /g de solo, exceto para *Phaseolus vulgaris*, que apresentou efeito positivo da inoculação, nos parâmetros de nodulação, mesmo em um solo com 1×10^4 rizóbio/g solo. Porém, em experimento numa área que foi cultivada com feijão no ano anterior cuja população de rizóbio era de 7×10^2 células/g solo, VARGAS et al. (2000) notaram que as plantas de feijoeiro estavam bem noduladas no tratamento testemunha e a inoculação quase não tinha efeito sobre os parâmetros avaliados, e que o tratamento inoculado não aumentou a ocupação dos nódulos pela estirpe testada e, por conseguinte, 90% dos nódulos foram ocupadas por cepas indígenas.

Foi observada então a eficiência da metodologia de inoculação e da estirpe de rizóbio utilizada neste estudo em competir com os rizóbios nativos da área experimental e colonizar com eficácia o sistema radicular do feijoeiro, visto que os tratamentos que foram inoculados responderam de forma superior aos parâmetros de nodulação (Tabela 12, Figura 4).

Tabela 12: Número de nódulos de plantas de feijoeiro, originadas de sementes com diferentes teores de P e de Mo, sob quatro fontes de N em condições de campo, em três épocas de coleta.

Fonte de N	Número de nódulos (planta ¹)				MÉDIA
	BPBM	BPAM	APBM	APAM	
30 dias após emergência					
Testemunha	0,9	2,2	1,4	2,7	1,8 B
Inoculado	28,4	27,9	31,3	25,2	28,2 A
Inoculado + N	34,3	36,3	36,6	46,5	38,4 A
N mineral	4,2	4,4	5,7	4,4	4,7 B
MÉDIA	17,0 a	17,7 a	18,7 a	19,7 a	
CV (%)	48,64				
42 dias após emergência					
Testemunha	1	7	2	6	3 C
Inoculado	54	54	65	26	50 A
Inoculado + N	29	43	22	28	30 B
N mineral	2	4	3	4	3 C
MÉDIA	22 ab	27 a	22 ab	14 b	
CV (%)	40,65				
57 dias após emergência					
Testemunha	11a	13a	9a	3a	9B
Inoculado	77a	20b	37b	28b	41A
Inoculado + N	38ab	26b	59a	28b	38A
N mineral	19a	7a	8a	9a	11B
MÉDIA	36a	17b	28ab	17b	
CV (%)	38,64				

Médias seguidas da mesma letra, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem pelo teste Duncan a 5%. BP: baixo fósforo, AP: alto fósforo, BM: baixo molibdênio, AM: alto molibdênio.

Aos 42 DAE as plantas originadas de sementes com baixo P e alto Mo, assim como as que se originaram de sementes com alto P e baixo Mo, produziram maior massa seca de nódulos, enquanto que não ocorreu diferença entre as médias dos diferentes teores de P e Mo

nas sementes aos 30 e aos 57 DAE (Figura 4A). Mesmo não sendo estatisticamente significativo, é interessante notar o efeito positivo do alto teor de P sobre a nodulação na primeira coleta, aos 30 DAE. Isto corrobora trabalhos que sugerem que o maior teor de P nas sementes pode aumentar a disponibilidade do nutriente em estádios iniciais de infecção e formação dos nódulos, estimulando a fase inicial da nodulação (ARAÚJO et al., 2002).

Ocorreu decréscimo do número e massa de nódulos nas plantas oriundas de sementes com alto teor de Mo durante a floração e início do enchimento de vagens. De acordo com KUBOTA et al. (2008), que também encontraram resultado semelhante, é provável que nas plantas originadas de sementes enriquecidas com Mo tenha sido induzida maior translocação de fotoassimilados para as vagens, causando uma interrupção na formação de novos nódulos e redução na nodulação em comparação às plantas originadas de sementes com baixo Mo.

O tratamento inoculado proporcionou a maior massa nodular, com seu pico de produção aos 42 DAE (Figura 4B), o mesmo foi encontrado por HUNGRIA & NEVES (1986) que observaram que a maior massa de nódulos também foi atingida aos 42 DAE, logo após o florescimento das duas cultivares estudadas.

Ocorreu um efeito deletério imediato da aplicação de uréia sobre a nodulação, visto que há um decréscimo do número e da massa de nódulos aos 42 DAE, onze dias após a aplicação em cobertura do fertilizante nitrogenado (Tabela 12, Figura 4B). Os efeitos da aplicação de N mineral sobre os nódulos na cultura do feijoeiro são muito variados, mas em geral mostram um declínio da nodulação, em alguma fase do desenvolvimento da cultura, após receber a adubação com o fertilizante.

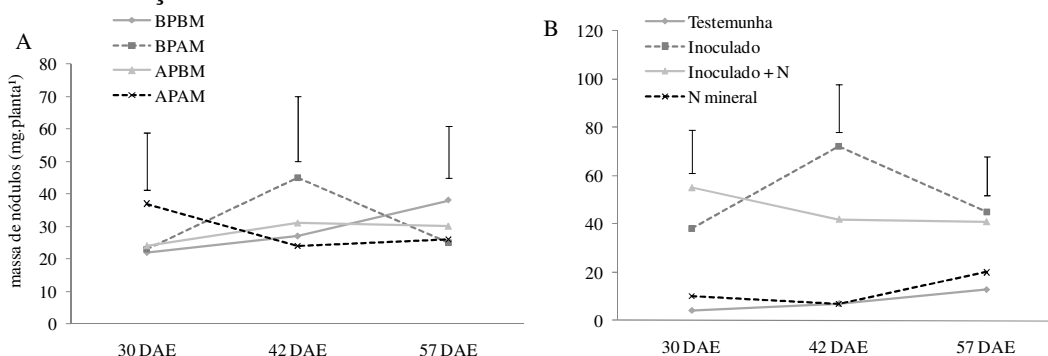


Figura 4. Massa seca de nódulos de plantas de feijoeiro, originadas de sementes com diferentes teores de P e Mo (A), e crescidas sob diferentes fontes de N (B), em três épocas de coleta. DAE: dias após emergência. BP: baixo fósforo, AP: alto fósforo, BM: baixo molibdênio, AM: alto molibdênio. As barras representam a diferença mínima significativa entre os tratamentos (Duncan a 5 %). CV (%): 52,40 aos 30 DAE, 49,11 aos 42 DAE, 41,27 aos 57 DAE.

HENSON & BLISS (1991) viram que cinco dias após a adubação do feijoeiro, a massa seca de nódulos apresentou pouca diferença entre as plantas inoculadas e não adubadas e as plantas inoculadas e adubadas com N em cobertura, porém com a ontogenia vegetal a adubação nitrogenada aparentemente causou maior senescência nodular nas plantas adubadas do que nas plantas não adubadas, mostrando diferença significativa entre os tratamentos, vinte dias após a adição do fertilizante. A aplicação de 25 mg N kg⁻¹ de solo, na semeadura, foi menos prejudicial para a fixação biológica de N₂ das plantas de feijoeiro, medido pela técnica da diluição isotópica de ¹⁵N, do que o efeito da aplicação desta mesma quantidade de N no estágio vegetativo (V6) da cultura (MÜLLER & PEREIRA, 1995). Outros resultados mostram que pequenas doses de N podem estimular a nodulação sem limitar a FBN durante o período vegetativo do desenvolvimento do feijoeiro, influenciando positivamente a nodulação (FRANCO & DÖBEREINER, 1968; TSAI et al., 1993).

Foi observado um decréscimo nos CV(%) da primeira para a última coleta em todos os parâmetros avaliados acima, representando que a precisão do experimento aumentou a medida que a planta se desenvolvia. Os CV(%) do número de nódulos e da massa de nódulos foram obtidos pela conversão destes dados através da raiz de seus valores. Alguns valores de CV(%) deste experimento ficaram elevados devido principalmente a heterogeneidade dos solos da região que se refletiu no desenvolvimento das plantas.

A acumulação de N na parte aérea aos 57 DAE foi superior nas plantas originadas de sementes com baixo P e alto Mo do que nas plantas originadas de sementes com baixo P e baixo Mo (Tabela 13). Sementes com alto teor de Mo proporcionaram aumento na acumulação de N na parte aérea de feijoeiro tanto em casa de vegetação (KUBOTA et al., 2008; BRODRICK et al., 1992) como em campo (BRODRICK et al., 1992). Para KUBOTA et al. (2008), a menor nodulação das plantas oriundas de sementes com alto teor de Mo teria sido compensada por uma maior atividade da nitrogenase por unidade de massa nodular, resultando em maior acumulação de N na parte aérea; entretanto, estes autores também consideraram a hipótese de que a maior acumulação de N em plantas oriundas de sementes enriquecidas com Mo poderia ser consequência também da maior atividade da nitrato redutase, que poderia incrementar a assimilação do N absorvido do solo.

Foi também notado um sensível efeito do alto teor de P nas sementes, pois o acúmulo de N na parte aérea das plantas geradas por estas sementes foi significativamente igual ao do melhor tratamento (Tabela 13). TEIXEIRA et al. (1999) concluíram que o maior fornecimento de P, tanto a partir das sementes quanto do solo, gerou maior acúmulo de N na parte aérea do feijoeiro, demonstrando o estímulo de P sobre a FBN, enquanto ARAÚJO et al. (2002) atribuíram o aumento na acumulação de N na parte aérea da cultivar Carioca, originadas de sementes com alto teor de P principalmente ao maior crescimento das plantas, já que o teor de N na parte aérea não foi modificado.

Tabela 13: Acumulação de N na parte aérea de feijoeiro, originadas de sementes com diferentes teores de P e de Mo, sob quatro fontes de N em condições de campo, aos 57 dias após emergência.

	Acumulação de N na parte aérea (g N m ⁻²) aos 57 dias após emergência				
	BPBM	BPAM	APBM	APAM	Média
Testemunha	2,91	3,00	2,76	2,42	2,77 C
Inoculado	1,95	4,73	2,68	2,26	2,91 BC
Inoculado + N	3,01	4,89	2,92	4,13	3,74 AB
N mineral	3,25	3,46	4,43	4,55	3,92 A
Média	2,78 b	4,02 a	3,20 ab	3,34 ab	

Médias seguidas da mesma letra, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem pelo teste Duncan a 5%. BP: baixo fósforo, AP: alto fósforo, BM: baixo molibdênio, AM: alto molibdênio.

Neste estudo, os efeitos dos altos teores de P da semente não foram tão pronunciados devido a uma pequena amplitude de variação na concentração de P das sementes utilizadas, e que teve seu efeito ainda mais reduzido devido à adubação fosfatada e à mineralização da matéria orgânica presente na área do experimento. Este efeito de diluição pode ter reduzido os efeitos do P da semente na nodulação do feijoeiro, pois os efeitos das sementes com maior teor de P no estímulo ao crescimento e à nodulação em feijoeiro são maiores sob baixas doses de P aplicadas ao solo (ARAÚJO et al., 2002). Além do mais, TEIXEIRA et al. (1999) observaram que, entre três cultivares avaliadas, a cultivar Carioca foi a mais responsiva ao

fornecimento de P no solo, com maiores incrementos na parte aérea, massa seca de nódulos, e N acumulado na parte aérea.

O acúmulo de N na parte aérea aos 57 DAE do tratamento que recebeu N mineral, foi superior aos tratamentos inoculado e à testemunha sem N e sem inoculação e similar ao tratamento inoculado + N mineral em cobertura (Tabela 13). HUNGRIA et al. (2003) e PELEGRIN et al. (2009) não encontraram diferença significativa para o conteúdo de N na parte aérea do feijoeiro, entre os tratamentos inoculados, adubados com N mineral, inoculados+N mineral em cobertura e a testemunha absoluta (sem N e sem inoculação). Os autores atribuem este resultado à existência de elevada e eficiente população nativa de rizóbios simbiotes do feijoeiro na área do experimento, evidenciada pela elevada contagem do número e da massa seca de nódulos (PELEGRIN et al., 2009) ou pela unidade formadora de colônia no solo, que ficou entre $1,1 \times 10^3$ e $1,1 \times 10^4$ rizóbio/g solo (HUNGRIA et al., 2003), valores bem superiores ao encontrado no presente estudo.

4.2 Produção de Grãos

A produção de grãos foi maior em plantas originadas de sementes com baixo teor de P e alto teor de Mo (Figura 5A), este tratamento alcançou produtividades de 1950 kg ha^{-1} , o que é mais do que o dobro da produtividade nacional no ano de 2009 que foi de 837 kg ha^{-1} (CONAB, 2009). BRODRICK et al. (1992) verificaram que houve aumento no rendimento de grãos nas plantas originadas de sementes com alto conteúdo de Mo, tanto em variedades de sementes grandes quanto pequenas. Em soja plantada em solos deficientes de N e sem nenhum suprimento de N fertilizante, o uso de sementes enriquecidas com Mo gerou plantas capazes de sustentar altas taxas de FBN e resultaram em altos conteúdos de proteínas e produtividade de grãos (CAMPO et al., 2009). Porém, FERREIRA et al. (2003) não encontraram efeito significativo do conteúdo de Mo na semente no rendimento de grãos, no entanto esses autores utilizaram sementes cujo maior conteúdo foi de $0,535 \mu\text{g semente}^{-1}$, bem inferior ao utilizado no presente estudo.

As plantas que foram inoculadas e receberam adubação de cobertura apresentaram rendimento de grãos superior à testemunha e ao tratamento inoculado (Figura 5B), e semelhante ao tratamento nitrogenado. Isto demonstra que, para a cultura do feijoeiro, a inoculação de sementes com rizóbio ainda exige a complementação com N mineral para se alcançar a elevada produtividade obtida neste tratamento, que superou os 2000 kg ha^{-1} , muito superior à produtividade nacional. Os dados corroboram resultados de PELEGRIN et al. (2009), que verificaram que a obtenção de rendimento de grãos com a aplicação de 160 kg ha^{-1} de N foi equivalente ao rendimento obtido com a inoculação com rizóbio acrescida de adubação com 20 kg ha^{-1} de N, no entanto, superior ao tratamento com inoculação com rizóbio e sem aplicação de N. A inoculação com estirpe eficiente, mais a aplicação de 15 kg N ha^{-1} na semeadura e no início do florescimento do feijoeiro, proporcionou rendimento de grãos superior a todos os diferentes tratamentos com a aplicação de uréia na semeadura e em cobertura, chegando a alcançar uma diferença de mais de 159 kg. ha^{-1} na produtividade (HUNGRIA et al., 2003).

Em caupi, XAVIER et al. (2008) observaram que a produtividade de grãos aumentou com o uso da inoculação e o efeito dessa prática foi favorecido quando a cultura foi adubada com 20 kg ha^{-1} de N. Já para a soja, cuja tecnologia de inoculação é bem mais eficiente, as plantas inoculadas e suplementadas com 50 kg ha^{-1} de N, em duas diferentes fases de desenvolvimento da cultura, ou mesmo o tratamento com adição de N-fertilizante em pesadas aplicações como as de 200 kg N ha^{-1} , não melhoraram o rendimento de sementes, quando comparado com tratamentos que receberam somente a inoculação (ALBAREDA et al., 2009).

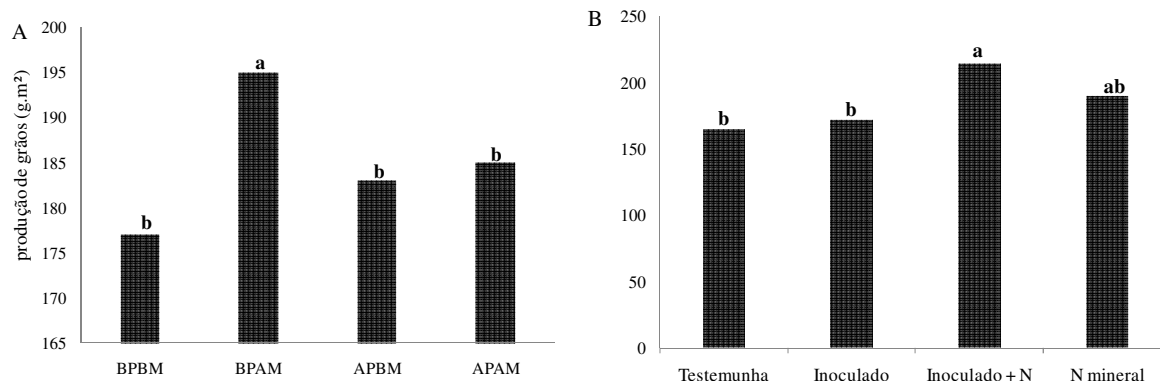


Figura 5. Produção de grãos de plantas de feijoeiro, originadas de sementes com diferentes teores de P e Mo (A) e que foram submetidas a diferentes fontes de N (B). BP: baixo fósforo, AP: alto fósforo, BM: baixo molibdênio, AM: alto molibdênio. CV (%): 32,44.

Um componente de produção muito importante e que mais influencia a produtividade das lavouras de feijoeiro é o número de vagens por planta (VIEIRA, 1986), que no presente estudo apresentou valores em plantas oriundas de sementes com baixo teor de P e alto de Mo superiores aos das plantas oriundas de sementes com baixos teores de P e Mo (Figura 6A). A aplicação de Mo via semente aumentou o índice relativo de clorofila e o número de vagens por planta no feijoeiro irrigado cultivado em solo arenoso, principalmente com o uso de altas doses de N em cobertura (BISCARO et al., 2009). Também podemos perceber um discreto efeito do alto teor de P das sementes, já que as plantas por elas geradas tiveram o número de vagens similar ao do melhor tratamento (Figura 6A). Isso demonstra que o adequado suprimento de P é fundamental para a obtenção de maior crescimento e rendimento na cultura do feijoeiro. Em soja, a maior concentração de P na semente proporcionou um aumento em torno de 15 a 20% no número de vagens por planta em relação à menor concentração, relacionando este componente diretamente com o rendimento (TRIGO et al., 1997).

Dentre os tratamentos nitrogenados, as plantas que foram inoculadas e receberam N em cobertura foram as que produziram maior número de vagens, porém sem diferir das plantas que receberam apenas a inoculação no plantio (Figura 6B).

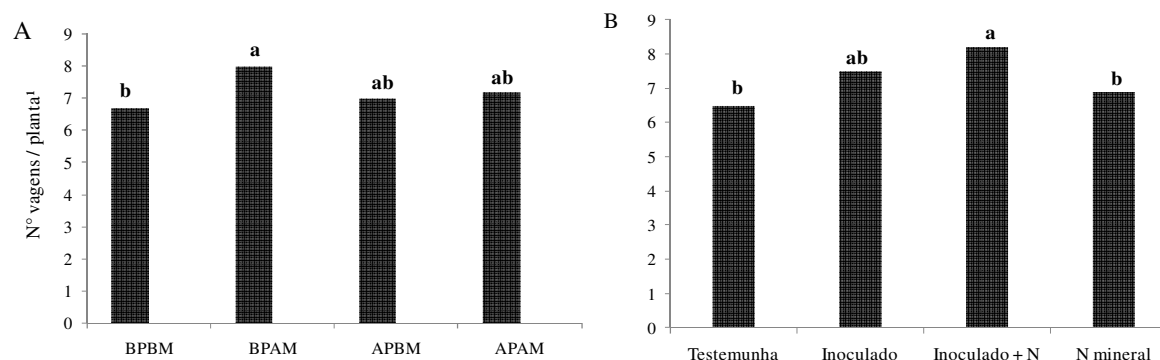


Figura 6. Número de vagens por plantas de feijoeiro, originadas de sementes com diferentes teores de P e Mo (A) e que foram submetidas a diferentes fontes de N (B). DAE: dias após emergência. BP: baixo fósforo, AP: alto fósforo, BM: baixo molibdênio, AM: alto molibdênio. CV (%): 24,38.

A adubação nitrogenada tem grande influência neste componente de produção, pois quando a planta é mal nutrida, cresce menos, produzindo menos vagens, o que atesta o efeito

benéfico do N aplicado em cobertura para a cultura do feijão, pois os acréscimos no número de vagens por planta podem ser devido à maior altura das plantas e/ou à maior emissão de ramos reprodutivos. HENSON & BLISS (1991) verificaram que a inoculação de sementes mais a adubação com sulfato de amônio no plantio ou no estágio vegetativo (V3-V4) da cultura, aumentou o número de vagens das plantas de feijoeiro. Entretanto nem sempre são encontradas respostas positivas da inoculação ou da adubação nitrogenada sobre o número de vagens por planta (FERREIRA et al., 2000; ARAÚJO et al., 2007a; SILVA et al., 2009).

A análise estatística não identificou diferença no número de grãos por vagem, entre os diferentes tratamentos utilizados neste experimento (Tabela 14). O número de grãos por vagem é um componente com alta herdabilidade genética, estando intrinsecamente ligado à característica do cultivar, apresentando em geral falta de resposta a variações de tratamentos (FERREIRA et al., 2000; ARAÚJO et al., 2007a).

Também não houve efeito significativo dos teores de P e Mo das sementes no índice de colheita e na massa de 1 grão (Tabela 14). Entre os tratamentos nitrogenados, o que recebeu inoculação + N em cobertura teve índice de colheita superior apenas ao tratamento inoculado e massa de 1 grão superior somente à testemunha (Tabela 14). Para BISCARO et al. (2009), que observaram aumento da massa de sementes conforme a dose de N utilizada, quando a planta encontra-se bem nutrida há maior carreamento de nutrientes para o enchimento de grãos, consequentemente aumentando sua massa.

Tabela 14. Número de grãos por vagem, massa de 1 grão e índice de colheita, de plantas de feijoeiro, originadas de sementes com diferentes teores de P e de Mo, sob quatro fontes de N em condições de campo.

	Número de grãos por vagem				Média
	BPBM	BPAM	APBM	APAM	
Testemunha	4,7	4,5	4,8	4,6	4,6 A
Inoculado	4,3	4,5	4,8	4,7	4,6 A
Inoculado + N	4,9	4,9	4,7	4,9	4,8 A
N mineral	5,1	4,4	5,0	4,8	4,8 A
Média	4,7 a	4,6 a	4,8 a	4,7 a	
CV(%)	10,46				
	Massa de 1 grão (mg)				
Testemunha	271	276	283	277	277 B
Inoculado	275	282	281	283	280 Ab
Inoculado + N	285	293	291	285	288 A
N mineral	278	281	283	284	281 AB
Média	277 a	283 a	284 a	282 a	
CV(%)	4,98				
	Índice de colheita (g g ⁻¹)				
Testemunha	0,61	0,62	0,63	0,62	0,62 AB
Inoculado	0,59	0,61	0,62	0,62	0,61 B
Inoculado + N	0,65	0,66	0,64	0,64	0,65 A
N mineral	0,64	0,59	0,64	0,64	0,63 AB
Média	0,62 a	0,62 a	0,63 a	0,63 a	
CV(%)	7,16				

Médias seguidas da mesma letra, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem pelo teste Duncan a 5%.

BP: baixo fósforo, AP: alto fósforo, BM: baixo molibdênio, AM: alto molibdênio.

Para a época da colheita de grãos, realizada aos 90 DAE, os CV(%) apresentaram valores baixos e bem adequados para experimentos de campo, refletindo o grau de exatidão na condução do experimento.

Não houve efeito significativo dos teores de P e Mo das sementes na acumulação de N nos grãos (Tabela 15), contrastando com CAMPO et al. (2009) que observaram que nos tratamentos com sementes enriquecidas com Mo, os grãos de soja apresentavam acumulação total de N equivalente à aplicação de elevadas doses de N fertilizante e ofereciam maior conteúdo de proteína.

A acumulação de N nos grãos foi maior nos tratamentos inoculado+N e N mineral (Tabela 15), logo estes foram os tratamentos que provavelmente proporcionaram os maiores acúmulos de proteína nos grãos. ANDRADE et al. (2004), SORATTO et al. (2005) e FARINELLI et al. (2006) verificaram que houve acréscimo do teor de proteína bruta em grãos de feijão à medida que aumentaram as doses de N, possivelmente proporcionando a translocação desse elemento das folhas para os grãos.

A quantidade de N acumulada no grão revelou a insuficiência da FBN no feijoeiro pelas estirpes de *Rhizobium tropici*, que embora tenham sido muito eficientes em competir e colonizar as raízes, como mostram os dados de número e massa de nódulos, não tiveram total capacidade de incorporação de N aos grãos, visto que necessitou de complementação com N mineral em cobertura para que a acumulação de N nos grãos fosse satisfatória e superasse os demais tratamentos. Isto difere do observado por ALBAREDA et al. (2009) em soja, onde o tratamento com 50 kg ha⁻¹ de N em cobertura nas plantas inoculadas não foi suficiente para superar o acúmulo de N nos grãos proporcionados pelo tratamento que foi apenas inoculado.

Tabela 15. Acumulação de N e teor de Mo nos grão de feijoeiro, originados de sementes com diferentes teores de P e de Mo, sob quatro fontes de N em condições de campo.

	Acumulação de N no grão (g m ⁻²)				
	BPBM	BPAM	APBM	APAM	Média
Testemunha	4,43	5,02	5,37	4,1	4,73B
Inoculado	4,11	5,9	3,97	5,19	4,79B
Inoculado + N	6,38	6,31	5,44	6,07	6,05A
N mineral	5,22	4,89	5,97	5,41	5,37AB
Média	5,04a	5,53a	5,19a	5,19a	
	Teor de Mo no grão (µg g ⁻¹)				
Testemunha	0,188	0,310	0,185	0,244	0,232A
Inoculado	0,168	0,210	0,149	0,387	0,229A
Inoculado + N	0,139	0,223	0,178	0,156	0,174A
N mineral	0,173	0,330	0,221	0,255	0,245A
Média	0,167b	0,268a	0,183b	0,261a	

Médias seguidas da mesma letra, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem pelo teste Duncan a 5%.

BP: baixo fósforo, AP: alto fósforo, BM: baixo molibdênio, AM: alto molibdênio.

Os tratamentos com as diversas fontes de N utilizadas neste estudo, não refletiram em diferenças no teor de Mo nos grãos (Tabela 15). Sementes enriquecidas com Mo geraram plantas que produziram grãos com maior teor de Mo (Tabela 15), apesar deste teor ter sido bem diluído em comparação às sementes plantadas (Tabela 1). O conteúdo de Mo nos grãos colhidos neste experimento ficou muito aquém dos 3,51 µg de Mo semente⁻¹, considerado por JACOB NETO & FRANCO (1986) como suficiente para o feijoeiro se desenvolver sem adubação complementar. VIEIRA et al. (2005) aplicaram via foliar, 1440 g Mo ha⁻¹ em plantas de feijoeiro que geraram sementes com teor de 5,495 µg Mo g⁻¹, que quando

semeadas, originaram plantas que produziram grãos com conteúdo de 0,476 µg de Mo semente⁻¹, ou seja, também não alcançaram o conteúdo sugerido por JACOB NETO & FRANCO (1986) para auto-suficiência das plantas de feijoeiro.

De acordo com BRODRICK & GILLER (1991b), a reserva da semente pode fornecer suficiente Mo por, no mínimo, uma geração, sem a necessidade de adubação molíbdica e não comprometendo a produtividade, e segundo BRODRICK et al. (1995) o plantio de sementes com elevado conteúdo de Mo em solos pobres previne a produção de sementes com baixo conteúdo de Mo, durante vários ciclos consecutivos em um mesmo local. Porém, devem-se levar em consideração as diferenças genotípicas, como o tamanho das sementes, para a acumulação de Mo nos grãos de feijão (BRODRICK et al., 1992). As plantas de soja originadas de sementes enriquecidas com Mo não requereram qualquer aplicação adicional de Mo para o seu completo desenvolvimento, sendo que a aplicação foliar de 800 g Mo ha⁻¹ não refletiu em diferença na produtividade, porém implicou em incremento de 3300% no conteúdo de Mo dos grãos em comparação com a testemunha sem adubação molíbdica (CAMPO et al., 2009).

Historicamente, em feijoeiro, a fixação biológica de nitrogênio não tem sido utilizada como um dos parâmetros de avaliação durante o processo de seleção de cultivares, devido à inconsistência dos resultados relativos à eficiência do processo.

Portanto, tecnologias, como as utilizadas no presente estudo, que incluem o uso de sementes enriquecidas com P e Mo, a inoculação de sementes e a aplicação de adubação nitrogenada em plantas inoculadas, servem para subsidiar com informações, os técnicos envolvidos na adoção da tecnologia. Tanto na agricultura familiar, como meio de aumentar a produtividade atual, como na agricultura intensiva, visando à redução de custos e do impacto ambiental ocasionado pela aplicação de adubos nitrogenados, e abrem ainda perspectivas para futuras pesquisas que visem à obtenção de genótipos de feijoeiro mais eficientes em fixar o N atmosférico, a seleção de estirpes tolerantes a presença de nitrato no solo, e também a melhor época de aplicação da adubação nitrogenada nas plantas de feijoeiro que são inoculadas, com vistas à maximização do processo de fixação biológica de nitrogênio nesta cultura.

5. CONCLUSÕES

As sementes com baixo teor de P e alto teor de Mo foram as que promoveram maior massa seca de parte aérea e também a maior produção de grãos de feijão.

A adubação com N mineral promoveu maior crescimento radicular nos estágios iniciais de crescimento das plantas de feijoeiro.

Houve pequeno efeito dos altos teores de P nas sementes na acumulação de N na parte aérea do feijoeiro aos 57 DAE e no número de vagens por planta.

A aplicação de N mineral promoveu maior acúmulo da N na biomassa da parte aérea das plantas de feijão, aos 57 DAE.

A inoculação combinada com 40 kg ha⁻¹ de N em cobertura forneceu rendimento de grãos e acumulação de N nos grãos similar à aplicação de 60 kg.ha⁻¹ de N, por sua vez superiores à testemunha.

Sementes enriquecidas com Mo geraram plantas que produziram grãos com maior teor de Mo.

Com vistas a alcançar elevadas produtividades na cultura do feijoeiro, na região de Valença-RJ, recomenda-se a utilização de sementes com altos teores de Mo, inoculadas com as estirpes comerciais recomendadas para a cultura, mais a adubação com 40 kg ha⁻¹ de N em cobertura aos 31 DAE.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBAREDA, M.; RODRÍGUEZ-NAVARRO, D.N.; TEMPRANO, F.J. Soybean inoculation: Dose, N fertilizer supplementation and rhizobia persistence in soil. *Field Crops Research*, v.113, p.352-356, 2009.
- ANDRADE, C.A.B.; PATRONI, S.M.S.; CLEMENTE, E.; SCAPIM, C.A. Produtividade e qualidade nutricional de feijão em diferentes adubações. *Ciência e Agrotecnologia*, v.28, n.5, p.1077-1086, 2004.
- ANDRADE, M.J.B.; ALVARENGA, P.E.; CARVALHO, J.G.; SILVA, R.; NAVES, R.L. Influência do nitrogênio, rizóbio e molibdênio sobre o crescimento, nodulação radicular e teores de nutrientes no feijoeiro. *Revista Ceres*, v.45, n.257, p.65-79, 1998.
- ARAÚJO, F.F.; CARMONA, F.G.; TIRITAN, C.S.; CRESTE, J.E. Fixação biológica de N₂ no feijoeiro submetido a dosagens de inoculante e tratamento químico na semente comparado à adubação nitrogenada. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.29, n.4, p.535-540, 2007.
- ARAÚJO, A.P.; KUBOTA, F.Y.; TEIXEIRA, M.G. Leaf senescence of common bean plants as affected by soil phosphorus supply. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.499-506, 2007.
- ARAÚJO, A.P.; PLASSARD, C.; DREVON, J.J. Phosphatase and phytase activities in nodules of common bean genotypes at different levels of phosphorus supply. *Plant and Soil*, v.312, p.129-138, 2008.
- ARAÚJO, A.P.; TEIXEIRA, M.G.; ALMEIDA, D.L. Growth and yield of common bean cultivars at two soil phosphorus levels under biological nitrogen fixation. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, n.4, p.809-817, 2000.
- ARAÚJO, A.P.; TEIXEIRA, M.G.; ALMEIDA, D.L. Phosphorus efficiency of wild and cultivated genotypes of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under biological nitrogen fixation. *Soil Biology and Biochemistry*, v.29, n.5/6, p.951-957, 1997.
- ARAÚJO, A.P.; TEIXEIRA, M.G.; ALMEIDA, D.L. Variability of traits associated with phosphorus efficiency in wild and cultivated genotypes of common bean. *Plant and Soil*, v.203, n.2, p.173-182, 1998.
- ARAÚJO, A.P.; TEIXEIRA, M.G.; LIMA, E.R. Efeitos do aumento do teor de fósforo na semente, obtido via adubação foliar, no crescimento e na nodulação do feijoeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, p.183-189, 2002.
- ASCOLI, A.A.; SORATTO, R.P.; MARUYAMA, W.I. Aplicação foliar de molibdênio, produtividade e qualidade fisiológica de sementes de feijoeiro irrigado. *Bragantia*, v.67, n.2, p.377-384, 2008.
- BARAMPAMA, Z.; SIMARD, R.E. Nutrient composition, protein quality and antinutritional factors of some varieties of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) grown in Burundi. *Food Chemistry*, v.47, p.159-67, 1993.
- BISCARO, G.A.; JUNIOR, S.A.R.G.; SORATTO, R.P.; JÚNIOR, N.A.F.; MOTOMIYA, A.V.A.; FILHO, G.C.C. Molibdênio via semente e nitrogênio em cobertura no feijoeiro irrigado em solo de cerrado. *Ciência e Agrotecnologia*, v.33, n.5, p.1280-1287, 2009.
- BLISS, F.A. Utilizing the potential for increase nitrogen fixations in common bean. *Plant and Soil*, v.152, p.157-160, 1993.

- BOCKMAN, O.C.; OLFS, H.W. Fertilizers, agronomy and N₂O. Nutrient Cycling in Agroecosystems, v.52, p.165-170, 1998.
- BODDEY, R.M.; SÁ, J.C.M.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S. The contribution of biological nitrogen fixation for sustainable agricultural systems in the tropics. Soil Biology and Biochemistry, v.29, n.516, p.787-799, 1997.
- BOLLAND, M.D.A.; BAKER, M.J. High phosphorus concentrations in seed of wheat and annual medic are related to higher rates of dry matter production of seedlings and plants. Australian Journal of Experimental Agriculture, v.28, p.765-770, 1988.
- BOLLAND, M.D.A.; PAYNTER, B.H. Increasing phosphorus concentration in seed of annual pasture legume species increases herbage and seed yields. Plant and Soil, v.125, p.197-205, 1990.
- BOUTRAA, T. Growth and carbon partitioning of two genotypes of bean (*Phaseolus vulgaris*) grown with low phosphorus availability. EurAsian Journal of BioSciences, v.3, p.17-24, 2009.
- BRITO, M.M.P.; MURAOKA, T.; SILVA, E.C. Marcha de absorção do nitrogênio do solo, do fertilizante e da fixação simbiótica em feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) determinada com uso de ¹⁵N. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.33, p.895-905, 2009.
- BRODRICK, S.J.; GILLER, K.E. Root nodules of Phaseolus: efficient scavengers of molybdenum for N₂-fixation. Journal of Experimental Botany, v.42, p.679-686, 1991a.
- BRODRICK, S.J.; AMJEE, F.; KIPE-NOLT, J.A.; GILLER, K.E. Seed analysis as a mean of identifying micronutrient deficiencies of *Phaseolus vulgaris* L. in the tropics. Tropical Agriculture, v.72, n.4, p.277-284, 1995.
- BRODRICK, S.J.; GILLER, K.E. Genotypic difference in molybdenum accumulation affects N₂-fixation in tropical *Phaseolus vulgaris* L. Journal of Experimental Botany, v.42, n.243, p.1339-1343, 1991b.
- BRODRICK, S.J.; SAKALA, M.K.; GILLER, K.E. Molybdenum reserves of seed, and growth and N₂ fixation by *Phaseolus vulgaris* L.. Biology and Fertility of Soils, v.13, n.1, p.39-44, 1992.
- CABALLERO, S.U.; LIBARDI, P.L.; REICHARDT, K.; MATSUI, E.; VICTORIA, R.L. Utilização de fertilizante nitrogenado aplicado a uma cultura de feijão. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.20, p.1031-1040, 1985.
- CAMPO, R.J.; ARAÚJO, R.S.; HUNGRIA, M. Molybdenum-enriched soybean seeds enhance N accumulation, seed yield, and seed protein content in Brazil. Field Crops Research, v.110, p.219-224, 2009.
- CARVALHO, A.V.; ALVES, B.J.R.; REIS, V.M. Resposta do dendezeiro à adição de nitrogênio e sua influência na população de bactérias diazotróficas. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.41, n.2, p.293-300, 2006.
- CHAGAS, E. Contribuição das sementes com altos teores de fósforo e molibdênio na fixação biológica de nitrogênio em feijoeiro estimada pela diluição isotópica de ¹⁵N. Seropédica: UFRRJ, 2008. 35p. (Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo).

- CHAGAS, E.; ARAÚJO, A.P.; ALVES, B.J.R.; TEIXEIRA, M.G. Seeds enriched with phosphorus and molybdenum improve the contribution of biological nitrogen fixation to common bean as estimated by ^{15}N isotope dilution. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.1093-1101, 2010.
- CHAUDHARY, M.I.; ADU-GYAMFI, J.J.; SANEOKA, H.; NGUYEN, N.T.; SUWA, R.; KANAI, S.; EL-SHEMY, H.A.; LIGHTFOOT, D.A.; FUJITA, K. The effect of phosphorus deficiency on nutrient uptake, nitrogen fixation and photosynthetic rate in mashbean, mungbean and soybean. *Acta Physiologiae Plantarum*, v.30 p.537-544, 2008.
- CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2008/2009 – Décimo Segundo Levantamento – Setembro/2009. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>> acesso em 14 de setembro de 2009.
- DE-POLLI, H.; ALMEIDA, D.L.; SANTOS, G.A.; CUNHA, L.H.; FREIRE, L.R.; SOBRINHO, N.M.B.A.; PEREIRA, N.N.C.; EIRA, P.A.; BLOISE, R.M.; SALEK, R.C. Manual de adubação para o Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: UFRRJ, 1990. 179 p.
- DÖBEREINER, J. Avanços recentes na pesquisa em fixação biológica de nitrogênio no Brasil. *Estudos Avançados*, v.4, n.8, p.144-152, 1989.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.
- EVANS, J. Response of soybean-Rhizobium symbioses to mineral nitrogen. *Plant and Soil*, v.66, p.439-442, 1982.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. 2008. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em: 05 abr. 2008.
- FARINELLI, R.; LEMOS, L.B.; PENARIOL, F.G.; EGÉA, M.M.; GASPAROTO, M.G. Adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro, em plantio direto e convencional. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, n.2, p.307-312, 2006.
- FERNÁNDEZ-LUQUEÑO, F.; DENDOOVEN, L.; MUNIVE, A.; COLRLAY-CHEE, L.; SERRANO-COVARRUBIAS, L.M.; ESPINISA VICTORIA, D. Micromorfology of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) nodules undergoing senescence. *Acta Physiologiae Plantarum*, v.30, p.545-552, 2008.
- FERREIRA, A.C.B.; ANDRADE, M.J.B.; ARAÚJO, G.A.A. Nutrição e adubação do feijoeiro. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.25, n.223, p.61-72, 2004.
- FERREIRA, A.C.B.; ARAÚJO, G.A.A.; CARDOSO, A.A.; FONTES, P.C.R.; VIEIRA, C. Diagnose do estado nutricional molibdic do feijoeiro em razão do molibdênio contido na semente e da sua aplicação foliar. *Revista Brasileira de Agrociência*, v.9, n.4, p.397-401, 2003.
- FERREIRA, A.N.; ARF, O.; CARVALHO, M.A.C.; ARAÚJO, R.S.; SÁ, M.E.; BUZETTI, S. Estirpes de *Rhizobium tropici* na inoculação do feijoeiro. *Scientia Agricola*, v.57, n.3, p.507-512, 2000.
- FERREIRA, C.M.; PELOSO, M.J.D.; FARIA, L.C. Feijão na economia nacional. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. 47p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 135).
- FERREIRA, P.A.; SILVA, M.A.P.; CASSETARI, A.; RUFINI, M.; MOREIRA, F.M. S.; ANDRADE, J.B.A. Inoculação com cepas de rizóbio na cultura do feijoeiro. *Ciência Rural*, v.39, n.7, p.2210-2212, 2009.

- FONTES, P.C.R.; FERREIRA, A.C.B.; ARAÚJO, G.A.A.; CARDOSO, A.A.; VIEIRA, C. Influência do molibdênio contido na semente e da sua aplicação foliar sobre o rendimento de proteína dos grãos do feijoeiro. CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 7, 2002, Viçosa, MG. Resumos... Viçosa, MG: UFV, p.782-784, 2002.
- FRANCO, A.A.; DÖBEREINER, J. Interferência do cálcio e nitrogênio na fixação simbiótica do nitrogênio por duas variedades de *Phaseolus vulgaris* L.. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.3, p.223-227, 1968.
- FUENTES-RAMÍRES, L.E.; CABALLERO-MELLADO, J.; SEPÚLVEDA, J.; MARTÍNEZ-ROMERO, E. Colonization of sugarcane by *Acetobacter diazotrophicus* is inhibited by high N-fertilization. FEMS Microbiology Ecology, v.29, p.117-128, 1999.
- FUSCALDI, K.C.; PRADO, G.R. Análise econômica da cultura do feijão. Revista de Política Agrícola, Ano XIV, n.1, p.17-30, 2005.
- GAULT, R.R.; BROCKWELL, J. Studies on seed pelleting as an aid to legume inoculation. 5. Effects of incorporation of molybdenum compounds in the seed pellet on inoculant survival, seedlings nodulation and plant growth of lucerne and subterranean clover. Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry, v.20, p.63-71, 1980.
- GEORGE, T.; SINGLETON, P.W. Nitrogen assimilation traits and dinitrogen fixation in soybean and common bean. Agronomy Journal, v.84, p.1020-1028, 1992.
- GRAHAM, P.H.; ROSAS, J.C. Phosphorus fertilization and symbiotic nitrogen fixation in common bean. Agronomy Journal, v.71, p.925-926, 1979.
- GRAHAM, P.H. Some problems of nodulation and symbiotic nitrogen fixation in *Phaseolus vulgaris* L.: A review. Field Crops Res. v.4, p.93-112, 1981.
- GRAHAM, P.H.; DRAEGER, K.; FERREY, M.L.; CONROY, M.J.; HAMMER, B.E.; MARTINEZ-ROMERO, E.; NAARONS, S.R.; QUINTO, C. Acid pH tolerance in strains of *Rhizobium* and *Bradyrhizobium*, and initial studies on the basis for acid tolerance of *Rhizobium tropici* UMR1899. Canadian Journal Microbiology, v.40, p.198-207, 1994.
- GRAHAM, P.H.; ROSAS, J.C.; DE JENSEN, C.E.; PERALTA, E.; TLUSTY, B.; ACOSTA-GALLEGOS, J.; PEREIRA, P.A.A. Addressing edaphic constraints to bean production: the Bean/Cowpea CRSP project in perspective. Field Crops Research, v.82, p.179-192, 2003.
- GRANLI, T.; BOCKMAN, O.C. Nitrous oxide emissions from soils in warm climates. Fertilizer Research, v.42, p.159-163, 1995.
- GUPTA, U.C. Deficient, sufficient, and toxic concentrations of molybdenum in crops. In: GUPTA, U.C. (Ed.). Molybdenum in agriculture. New York: Cambridge University Press, 1997. p.150-159.
- HENSON, R.A.; BLISS, F.A. Effects of N fertilizer application timing on common bean production. Fertilizer Research, v.29, p.133-138, 1991.
- HERNÁNDEZ, G.; VALDÉS-LÓPEZ, O.; RAMÍREZ, M.; GOFFARD, N.; WEILLER, G.; APARICIO-FABRE, R.; FUENTES, S.I.; ERBAN, A.; KOPKA, J.; UDVARDI, M.K.; VANCE, C.P. Global changes in the transcript and metabolic profiles during symbiotic nitrogen fixation in phosphorus-stressed common bean plants. Plant Physiology, v.151, p.1221-1238, 2009.
- HERRIDGE, D.F.; PEOPLES, M.B.; BODDEY, R.M. Global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems. Plant and Soil, v.311, p.1-18, 2008.

- HOFFMANN JÚNIOR, L.; RIBEIRO, N.D.; ROSA, S.S.; JOST, E.; POERSCH, N.L.; MEDEIROS, S.L.P. Resposta de cultivares de feijão à alta temperatura do ar no período reprodutivo. *Ciência Rural*, v.37, n.6, p.1543-1548, 2007.
- HUNGRIA, M.; ANDRADE, D.S.; CHUERIE, L.M.O.; PROBANZA, A.; GUTTIERREZ-MAÑERO, F.J.; MEGÍAS, M. Isolation and characterization of new efficient and competitive bean (*Phaseolus vulgaris* L.) rhizobia from Brazil. *Soil Biology and Biochemistry*, v.32, p.1515-1528, 2000.
- HUNGRIA, M.; BARRADAS, C.A.; VALLSGROVE, R.M. Nitrogen fixation, assimilation and transport during the initial growth stage of *Phaseolus vulgaris* L.. *Journal of Experimental Botany*, v.42, p.839-844, 1991.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; MENDES, I.C. Benefits of inoculation of the common bean (*Phaseolus vulgaris*) 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: Embrapa Soja, 2001. 48 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 35; Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 13).
- HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J.C.; CAMPO, R.J.; CRISPINO, C.C.; MORAES, J.Z.; SIBALDELLI, R.N.R.; MENDES, I.C.; ARIHARA, J. Nitrogen nutrition of soybean in Brazil: contributions of biological N₂ fixation and of N fertilizer to grain yield. *Canadian Journal of Plant Science*, v.86, p.927-939, 2006.
- HUNGRIA, M.; NEVES, M.C.P. Ontogenia da fixação biológica do nitrogênio em *Phaseolus vulgaris*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.21, p.715-730, 1986.
- HUNGRIA, M.; VARGAS, M.A.T. Environmental factors affecting N₂ fixation in grain legumes in the tropics, with an emphasis on Brazil. *Field Crops Research*. v.65, p.151-164, 2000.
- IBGE. Censo agropecuário 2006. Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. p.1-777, 2009.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Produção Agrícola Municipal (PAM). Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20/10/2009.
- ISHERWOOD, K.F. O uso de fertilizantes minerais e o meio ambiente. International Fertilizer Industry Association, Paris, 2000. 63p.
- ISRAEL, D.W. Investigation of the role of phosphorus in symbiotic dinitrogen fixation. *Plant Physiology*, v.84, p.835-840, 1987.
- JACOB NETO, J.; ROSSETO, C.A.V. Concentração de nutrientes nas sementes: o papel do molibdênio. *Floresta e Ambiente*, v.5, n.1, p.171-183, 1998.
- JACOB-NETO, J. Variação estacional, concentração nas sementes e níveis críticos de molibdênio nos nódulos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Itaguaí: UFRRJ, 141p. 1985 (Dissertação de Mestrado em Fitotecnia).
- JACOB-NETO, J.; FRANCO, A.A. Conteúdo de molibdênio nas sementes para auto-suficiência do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.58, p.508, 1986.
- JENSEN, E.S.; HAUGGAARD-NIELSEN, H. How can increased use of biological N₂ fixation in agriculture benefit the environment? *Plant and Soil*, v.252, p.177-186, 2003.

- KAHINDI, J.H.P.; WOOMER, P.; GEORGE, T.; SOUZA MOREIRA, F.M.; KARANJA, N.K.; GILLER, K.E. Agricultural intensification, soil biodiversity and ecosystem function in the tropics: the role of nitrogen-fixing bacteria. *Applied Soil Ecology*, v.6, p.55-76, 1997.
- KÖPPEN, W. *Climatologia: con un estudio de los climas de la Tierra*. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478p.
- KUBOTA, F.Y. Aumento dos teores de fósforo e de molibdênio em sementes de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) via adubação foliar. Seropédica: UFRRJ, 2006. 58p. (Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo).
- KUBOTA, F.Y.; NETO, A.C.A.; ARAÚJO, A.P.; TEIXEIRA, M.G. Crescimento e acumulação de nitrogênio de plantas de feijoeiro originadas de sementes com alto teor de molibdênio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.1635-1641, 2008.
- LEITE, U.T.; ARAÚJO, G.A.A.; MIRANDA, G.V.; VIEIRA, R.F.; CARNEIRO, J.E.S.; PIRES, A.A. Rendimento de grãos e componentes de rendimento do feijoeiro em função da aplicação foliar de doses crescentes de molibdênio. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.29, n.1, p.113-120, 2007.
- LIU, H.; HU, C.; SUN, X.; TAN, Q.; NIE, Z.; HU, X. Interactive effects of molybdenum and phosphorus fertilizers on photosynthetic characteristics of seedlings and grain yield of *Brassica napus*. *Plant and Soil*, v.326 p.345-353, 2010.
- LOLLATO, M.A.; SEPULCRI, O.; DEMARCHI, M. Cadeia produtiva do feijão: diagnóstico e demandas atuais. Londrina: IAPAR, 2001. 48p. (IAPAR. Documento, 25).
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2.ed. London: Academic Press, 1995. 889p.
- MARTÍNEZ-ROMERO, E. Diversity of *Rhizobium-Phaseolus vulgaris* symbiosis: overview and perspectives. *Plant and Soil*, v.252, p.11-23, 2003.
- MASCARENHAS, H.A.A.; BULISANI, E.A.; BATAGLIA, O.C.; FALIVENE, S.M.P. Produção, absorção e extração de nutrientes por linhagens de soja que nodula e que não nodula. I. Efeito do nitrogênio mineral e da inoculação. *Bragantia*, v.43, p.397-404, 1984.
- MCAULIFFE, C., CHAMBLEE, D.S., URIBE ARANGO, H.; WOODHOUSE, W.W. Influence of inorganic nitrogen on nitrogen fixation by legumes as revealed by ¹⁵N. *Agronomy Journal*, v.50, p.334-337, 1958.
- MENDES, I.C.; JUNIOR, F.B.R.; HUNGRIA, M.; SOUSA, D.M.G.; CAMPO, R.J. Adubação nitrogenada suplementar tardia em soja cultivada em latossolos do Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.43, n.8, p.1053-1060, 2008.
- MICHIELS, J.; DOMBRECHT, B.; VERMEIREN, N.; XI, C.; LUYTEN, E.; VANDERLEYDEN, J. *Phaseolus vulgaris* is a non-selective host for nodulation. *FEMS Microbiology Ecology*, v.26, p.193-205, 1998.
- MILANI, G.M.; OLIVEIRA, J.A.; SILVA, L.H.C.; VON PINHO, E.V.R.; GUIMARÃES, R.M. Nodulação e desenvolvimento de plantas oriundas de sementes de soja com altos teores de molibdênio. *Revista Brasileira de Sementes*, v.30, n.2, p.19-27, 2008.
- MNASRI, B.; AOUANI, M.E.; MHAMDI, R. Nodulation and growth of common bean (*Phaseolus vulgaris*) under water deficiency. *Soil Biology and Biochemistry*, v.39, p.1744-1750, 2007.

- MÜLLER, S.H.; PEREIRA, P.A.A. Nitrogen fixation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by mineral nitrogen supply at different growth stages. *Plant and Soil*, v.177, p.55-61, 1995.
- MÜLLER, S.; PEREIRA, P.A.A.; MARTIN, P. Effect of different levels of mineral nitrogen on nodulation and N₂ fixation of two cultivars of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant and Soil*, v.152, p.139-143, 1993.
- OLIVEIRA, W.S.; OLIVEIRA, P.P.A.; CORSI, M.; DUARTE, F.R.S.; TSAI, S.M. Alfalfa yield and quality as function of nitrogen fertilization and symbiosis with *Sinorhizobium meliloti*. *Scientia Agricola*, v.61, n.4, p.433-438, 2004.
- OLIVEIRA, W.S.; MEINHARDT, L.W.; SESSITSCH, A.; TSAI, S.M. Analysis of *Phaseolus*-*Rhizobium* interactions in a subsistence farming system. *Plant and Soil*, v.204, p.107-115, 1998.
- OTHMAN, W.M.W.; LIE, T.A.; MANNETJE, L.; WASSINK, G.Y. Low level phosphorus supply affecting nodulation, N₂ fixation and growth of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). *Plant and Soil*, v.135, p.67-74, 1991.
- 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.
- PEOPLES, M.B.; HERRIDGE, D.F.; LADHA, J.K. Biological nitrogen fixation: an efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production? *Plant and soil*, v.174, p.3-28, 1995.
- PEREIRA, P.A.A.; BLISS, F.A. Nitrogen fixation and plant growth of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) at different levels of phosphorus availability. *Plant and Soil*, v.104, p.79-84, 1987.
- PEREIRA, P.A.A.; BURRIS, R.H.; BLISS, F.A. ¹⁵N-determined dinitrogen fixation potential of genetically diverse bean lines (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant and Soil*, v.120, p.171-179, 1989.
- PERIN, L.; BALDANI, J.I.; REIS, V.M. Diversidade de *Gluconacetobacter diazotrophicus* isolada de plantas de cana-de-açúcar cultivadas no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, n.8, p.763-770, 2004.
- PESKE, F.B.; BAUDET, L.; PESKE, S.T. Produtividade de plantas de soja provenientes de sementes tratadas com fósforo. *Revista Brasileira de Sementes*, v.31, n.1, p.95-101, 2009.
- PESSOA, A.C.S.; RIBEIRO, A.C.; CHAGAS, J.M.; CASSINI, S.T.A. Atividades de nitrogenase e redutase de nitrato e produtividade do feijoeiro “Ouro Negro” em resposta à adubação foliar com molibdênio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, p.217-224, 2001.
- PIHA, M.I.; MUNNS, D.N. Nitrogen fixation potential of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) compared with other grains legumes under controlled conditions. *Plant and Soil*, v.98, p.169-182, 1987a.
- PIHA, M.I.; MUNNS, D.N. Sensitivity of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) symbiosis to high soil temperature. *Plant and Soil*, v.98, n.2, p.183-194, 1987b.
- REISENAUER, H.M. Relative efficiency of seed and soil applied molybdenum fertilizer. *Agronomy Journal*, v.55, p.459-460, 1963.
- RENNIE, R.J.; KEMP, G.A. N₂ fixation in field beans quantified by ¹⁵N isotope dilution. II. Effect of cultivars of beans. *Agronomy Journal*, v.75, p.645-649, 1983.

- RESENDE, A.V. Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. 29p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 57).
- ROMANINI JUNIOR, A.; ARF, O.; BINOTTI, F.F.S.; SÁ, M.E.; BUZETTI, S.; FERNANDES, F.A. Avaliação da inoculação de rizóbio e adubação nitrogenada no desenvolvimento do feijoeiro, sob sistema plantio direto. Bioscience Journal, v.23, n.4, p.74-82, 2007.
- ROSOLEM, C.A. Nutrição e Adubação do Feijoeiro. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 93p. (Boletim Técnico, 8).
- RUMJANEK, N.G.; MARTINS, L.M.V.; XAVIER, G.R.; NEVES, M.C.P. Fixação biológica de nitrogênio. In: FREIRE FILHO, F.R.; ARAUJO LIMA, J.A.; SILVA, P.H.S.; RIBEIRO, V.Q. (Ed.). Feijão-caupi: avanços tecnológicos. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p. 279-335.
- RUSCHEL, A.P.; VOSE, P.B.; MATSUI, E.; VICTORIA, R.L.; SAITO, S.M.T. Field evaluation of N₂-fixation and N-utilization by *Phaseolus* bean varieties determined by ¹⁵N isotope dilution. Plant and Soil, v.65, p.397-407, 1982.
- SANTOS, A.B.; FAGERIA, N.K.; SILVA, O.F.; MELO, M.L.B. Resposta do feijoeiro ao manejo de nitrogênio em várzeas tropicais. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.38, n.11, p.1265-1271, 2003.
- SEKIYA, N.; YANO, K. Seed P-enrichment as an effective P supply to wheat. Plant and Soil, v.327, p.347-354, 2010.
- SHAH, V.; UGALDE, R.A.; IMPERIAL, J.; BRILL, W.J. Molybdenum in nitrogenase. Annual Review Biochemistry, v.53, p.231-257, 1984.
- SILVA, E.F.; MARCHETTI, M.E.; SOUZA, L.C.F.; MERCANTE, F.M.; RODRIGUES, E.T.; VITORINO, A.C.T. Inoculação do feijoeiro com *Rhizobium tropici* associada à exsudatos de *Mimosa flocculosa* com diferentes doses de nitrogênio. Bragantia, v.68, n.2, p.443-451, 2009.
- SILVA, P.M.; TSAI, S.M.; BONETTI, R. Response to inoculation and N fertilization for increased yield and biological nitrogen fixation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Plant and Soil, v.152, p.123-130, 1993.
- SILVA, R.J.S.; VAHL, L.C.; PESKE, S.T. Rendimento de grãos no feijoeiro em função dos teores de fósforo nas sementes. Revista Brasileira de Agrociência, v.9, n.3, p.247-250, 2003.
- SINGLETON, P.W.; TAVARES, J.W. Inoculation response of legumes in relation to the number and effectiveness of indigenous rhizobium populations. Applied and Environmental Microbiology, v.51, n 5, p.1013-1018, 1986.
- SOARES, A.L.L.; PEREIRA, J.P.A.R.; FERREIRA P.A.A.; VALE, H.M.M.; LIMA. A.S.; ANDRADE, M.J.B.; MOREIRA, F.M.S. Eficiência agrônômica de rizóbios selecionados e diversidade de populações nativas nodulíferas em Perdões (MG). I – caupi. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.30, p.795-802, 2006a.
- SOARES, A.L.L.; PEREIRA, J.P.A.R.; FERREIRA P.A.A.; VALE, H.M.M.; LIMA. A.S.; ANDRADE, M.J.B.; MOREIRA, F.M.S. Eficiência agrônômica de rizóbios selecionados e diversidade de populações nativas nodulíferas em Perdões (MG). II – feijoeiro. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.30, p.803-811, 2006b.
- SORATTO, R.P.; CRUSCIOL, C.A.C.; SILVA, L.M.; LEMOS, L.B. Aplicação tardia de nitrogênio no feijoeiro em sistema de plantio direto. Bragantia, v.64, p.211-218, 2005.

- STOUT, W.L.; FALES, S.L.; MULLER, L.D.; SCHNABEL, R.R.; WEAVER, S.R. Water quality implications of nitrate leaching from intensively grazed pasture swards in the northeast US. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.77, p.203-210, 2000.
- STRALIOTTO, R.; RUMJANEK, N.G. Biodiversidade do rizóbio que nodula o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e os principais fatores que afetam a simbiose. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1999. 51p. (Embrapa- CNPAB. Documentos, 94).
- STRALIOTTO, R.; TEIXEIRA, M.G.; MERCANTE, F.M. Fixação biológica de nitrogênio. In: AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F. (Org.). Produção do feijoeiro comum em várzeas tropicais. 1.ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p.123-153.
- TAHIR, M.M.; ABBASI, M.K.; RAHIM, N.; KHALIQ, A.; KAZMI, M.H. Effect of rhizobium inoculation and NP fertilization on growth, yield and nodulation of soybean (*Glycine max* L.) in the sub-humid hilly region of Rawalakot Azad Jammu and Kashmir, Pakistan. *African Journal of Biotechnology*, v.8, n.22, p.6191-6200, 2009.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Plant physiology. 3 ed. Sunderland, MA: Sinauer Associates, 2004. 792p.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 147p. (Boletim Técnico, 5).
- TEIXEIRA, M.G. Influência do conteúdo de fósforo da semente na nodulação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*). Seropédica: UFRRJ, 1994. 126p. (Tese de Doutorado em Ciência do Solo).
- TEIXEIRA, M.G.; ARAÚJO, A.P. Aumento do teor de fósforo em sementes de feijoeiro através da adubação foliar. REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 6., Salvador, 1999. Resumos... Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, p.756-759, 1999.
- TEIXEIRA, M.G.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L.; ARAÚJO, A.P.; FRANCO, A.A. Effect of seed phosphorus concentration on nodulation and growth of three common bean cultivars. *Journal of Plant Nutrition*, v.22, p.1599-1611, 1999.
- THIES, J.E.; SINGLETON, P.W.; BOHOOL, B.B. Influence of the size of indigenous rhizobial populations on establishment and symbiotic performance of introduced rhizobia on field-grown legumes. *Applied and Environmental Microbiology*, v.57, n.1, p.19-28, 1991a.
- THIES, J.E.; SINGLETON, P.W.; BOHOOL, B.B. Modeling symbiotic performance of introduced rhizobia in the field by use of indices of indigenous population size and nitrogen status of the soil. *Applied and Environmental Microbiology*, v.57, n.1, p.29-37, 1991b.
- THOMSON, B.D.; BELL, R.W.; BOLLAND, M.D.A. Low seed phosphorus concentration depresses early growth and nodulation of narrow-leafed lupin (*Lupinus angustifolius* cv. Gungurru). *Journal Plant Nutrition*, v.14, n.1355-1367, 1991.
- TRIGO, L.F.N.; PESKE, S.T.; GASTAL, M.F.C.; VAHL, L.C.; TRIGO, M.F.O. Efeito do conteúdo de fósforo na semente de soja sobre o rendimento da planta resultante. *Revista Brasileira de Sementes*, v.19, n.1, p.111-115, 1997.
- TRINDADE, R.S.; ARAÚJO, A.P.; TEIXEIRA, M.G. Leaf area of common bean genotypes during early pod filling as related to plant adaptation to limited phosphorus supply. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.115-124, 2010.

- TSAI, S.M.; BONETTI, R.; AGBALA, S.M.; ROSSETO, R. Minimizing the effect of mineral nitrogen on biological nitrogen fixation in common bean by increasing nutrient levels. *Plant and Soil*, v.152, p.131-138, 1993.
- TSVETKOVA, G.E.; GEORGIEV, G.I. Effect of phosphorus nutrition on the nodulation, nitrogen fixation and nutrient - use efficiency of *bradyrhizobium japonicum* – soybean (*glycine max* L. Merr.) symbiosis. *Bulgarian Journal Plant Physiology, Special Issue*, 331-335, 2003.
- VARGAS, M.A.T.; MENDES, I.C.; HUNGRIA, M. Response of field-grown bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to *Rhizobium* inoculation and nitrogen fertilization in two Cerrados soils. *Biology and Fertility of Soils*, v.32, p.228-233, 2000.
- VIEIRA, R.F. Influência de teores de fósforo no solo sobre a composição química, qualidade fisiológica e desempenho no campo de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Ceres*, v.33, p.173-188, 1986.
- VIEIRA, R.F.; SALGADO, L.T.; FERREIRA, A.C.B. Performance of common bean using seeds harvested from plants fertilized with high rates of molybdenum. *Journal of Plant Nutrition*, v.28, p.363-377, 2005.
- VIEIRA, R.F.; CARDODO, E.J.B.N.; VIEIRA, C.; CASSINI, S.T.A. Foliar application of molybdenum in common beans. I. Nitrogenase and reductase activities in a soil of high fertility. *Journal of Plant Nutrition*, v.21, p.169-180, 1998.
- VIEIRA, R.F.; SALGADO, L.T.; PIRES, A.A.; ROCHA, G.S. Conteúdo de molibdênio das sementes de feijoeiro em resposta a doses do micronutriente pulverizado sobre as plantas. *Ciência Rural*, v.40, n.3, p.666-669, 2010.
- VINCENT, J.M. A manual for the practical study of root-nodule bacteria. IBM Handbook, no 15. Blackwell Scientific Publications, Oxford and Edinburgh, 1970.
- XAVIER, T.F.; ARAÚJO, A.S.F.; SANTOS, V.B.; CAMPOS, F.L. Inoculação e adubação nitrogenada sobre a nodulação e a produtividade de grãos de feijão-caupi. *Ciência Rural*, v.38, n.7, p.2037-2041, 2008.
- XAVIER, T.F.; ARAÚJO, A.S.F.; SANTOS, V.B.S.; CAMPOS, F.L. Ontogenia da nodulação em duas cultivares de feijão-caupi. *Ciência Rural*, v.37, p.561-564, 2007.
- ZAHARAN, H.H. *Rhizobium*-legume symbiosis and nitrogen fixation under severe conditions and in an arid climate. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, v.63, n.4, p.968-989, 1999.
- ZIMMER, W.; MENDEL, R. Molybdenum metabolism in plants. *Plant Biology*, v.1, n.2, p.160-168, 1999.