

UFRRJ

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

DISSERTAÇÃO

**Contribuição das Sementes com Altos Teores de
Fósforo e Molibdênio na Fixação Biológica de
Nitrogênio em Feijoeiro Estimada pela Diluição
Isotópica de ^{15}N**

Eduardo Chagas

2008



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

**CONTRIBUIÇÃO DAS SEMENTES COM ALTOS TEORES DE
FÓSFORO E MOLIBDÊNIO NA FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE
NITROGÊNIO EM FEIJOEIRO ESTIMADA PELA DILUIÇÃO
ISOTÓPICA DE ¹⁵N**

EDUARDO CHAGAS

Sob a Orientação do Professor
Adelson Paulo de Araújo

e Co-orientação do Pesquisador
Marcelo Grandi Teixeira

Dissertação submetida como
requisito parcial para obtenção do
grau de **Mestre em Ciências**, no
Curso de Pós-Graduação em
Agronomia, Área de Concentração
em Ciência do Solo

Seropédica, RJ
Julho de 2008

635.652895

C433c

T

Chagas, Eduardo, 1981-

Contribuição das sementes com altos teores de fósforo e molibdênio na fixação biológica de nitrogênio em feijoeiro estimada pela diluição isotópica de ^{15}N / Eduardo Chagas - 2008.

35f. : il.

Orientador: Adelson Paulo de Araújo.

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

Bibliografia: f. 25-31

1. Feijão - Adubos e fertilizantes - Teses. 2. Nitrogênio - Fixação - Teses. 3. Plantas - Efeito do fósforo - Teses. 4. Adubação verde - Teses. I. Resende, Alexander Silva de, 1975-. 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 seja citada a fonte.

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

EDUARDO CHAGAS

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 25/07/2008

Adelson Paulo de Araújo. D.Sc. UFRRJ.

Daniel Vidal Pérez. D.Sc. EMBRAPA Solos

Rosângela Stralotto. D.Sc. EMBRAPA Agrobiologia

DEDICATÓRIA

Aos meus pais,
Miguel e Maria Auxiliadora, pelo amor e apoio
em todos os momentos, e também à
minha esposa Tatiana e ao meu filho Yuri,

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me guiado e iluminado em toda a minha caminhada.

Ao Professor Adelson Paulo de Araújo, pelo companheirismo, perseverança e orientação.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, por ter me propiciado condições para meu desenvolvimento pessoal, moral e acadêmico.

Ao CPGA-CS da UFRRJ, pela colaboração em minha formação científica.

Ao pesquisador Marcelo Grandi Teixeira, pela co-orientação e apoio na condução dos experimentos.

Ao Centro Nacional de Pesquisa em Agrobiologia (CNPAB) da EMBRAPA, por me oferecer condições adequadas para condução dos ensaios e análises laboratoriais.

A CAPES, pelo fornecimento da bolsa de estudos.

À Professora Lucia Helena Cunha dos Anjos, por me aconselhar e apoiar nos momentos de dificuldades.

Aos meus amigos, Antonio Custodio de Andrade Neto, Ludmila Fonseca Silva, Ademar Espindula Junior, Sandy Sampaio Videira, Celeste Queiros Rossi, Gabriel Conradi Azevedo, pelo companheirismo e apoio na implantação, condução e coleta dos ensaios.

Aos funcionários das casas de vegetação do CNPAB, pelo suporte operacional.

Ao meu Chefe Imediato Jacildo Ruy e a toda Diretoria do Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo – IDAF, pela compreensão nos momentos em que tive que me ausentar do trabalho.

A toda minha família, pelo carinho e apoio nesta jornada.

À minha esposa pela ajuda na coleta do experimento e pelo amor recíproco.

A meu sobrinho Ricardo, pela ajuda na contagem dos nódulos bacterianos.

BIOGRAFIA

Nascido em 4 de maio de 1981, em Linhares – ES, realizou seus estudos do 1º Grau na Escola Família Agrícola do Bley – MEPES, em São Gabriel da Palha - ES, e do 2º Grau na Escola Agrotécnica Federal de Colatina - ES. Ingressou em 2001 no curso de Agronomia da UFRRJ, tendo concluído em 2006. Durante a graduação foi estagiário do Departamento de Solos, tendo sido Bolsista de Iniciação Científica do PIBIQ/CNPq a partir do 3º período até o fim da graduação. Em 2006 ingressou no Mestrado em Agronomia - Ciência de Solo da UFRRJ, como bolsista da CAPES e em outubro de 2006 efetivou-se como Técnico em Recursos Naturais Nível II do Instituto de Defesa Agropecuária Florestal de Espírito Santo – IDAF.

RESUMO

CHAGAS, Eduardo. **Contribuição das sementes com altos teores de fósforo e molibdênio na fixação biológica de nitrogênio em feijoeiro estimada pela diluição isotópica de ^{15}N** . 2008. 35f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2008.

O presente estudo teve por objetivo avaliar o efeito de sementes enriquecidas com P e Mo no crescimento, nodulação e acumulação de N do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), através da técnica de diluição isotópica de ^{15}N . Foram realizados dois experimentos em vasos utilizando-se sementes da cultivar Carioca, enriquecidas com P e Mo via adubação foliar. No primeiro experimento foram utilizados 176 vasos com 10 kg de material de solo de Argissolo, onde foram aplicados 5 mg N kg^{-1} como sulfato de amônio enriquecido com ^{15}N . Foram adotados dois delineamentos, um para cada época de coleta, combinando duas doses de P no solo (20 e 80 mg P kg^{-1}), três fontes de N (sem N, inoculado e N mineral), dois teores de P na semente (baixo e alto) e dois teores de Mo na semente (baixo e alto), com quatro repetições. O genótipo de feijoeiro não nodulante e o sorgo foram utilizados como controles. As plantas de feijão não nodularam, provavelmente em virtude da mineralização da matéria orgânica do solo. O alto Mo e P nas sementes aumentou a massa de parte aérea na floração, sendo o efeito do Mo mais intenso que do P. No segundo experimento foram utilizados 122 vasos com 5,0 kg de material de um Latossolo Vermelho Escuro previamente enriquecido com ^{15}N , misturado com 5,0 kg de areia. Foi adotado fatorial $2 \times 3 \times 2 \times 2$ com quatro repetições, entre duas doses de P no solo (0 e 80 mg P kg^{-1}), três fontes de N (sem N, inoculado com rizóbio e N mineral), dois teores de P na semente (baixo e alto) e dois teores de Mo na semente (baixo e alto). Como plantas controle foram utilizadas o feijoeiro não nodulante e o sorgo. As plantas foram colhidas aos 41 dias após emergência. O alto P na semente aumentou a massa de parte aérea, nos tratamentos sem adição de N. O alto P da semente aumentou o número e massa de nódulos nos tratamentos inoculados e testemunha, no alto P no solo. O alto Mo das sementes reduziu a massa de folha no tratamento com uréia, sem afetar a massa de parte aérea. No alto P no solo, o alto Mo das sementes diminuiu a massa de nódulos em plantas que receberam inoculação ou uréia. O alto Mo da semente reduziu a acumulação de N nas folhas e na parte aérea, quando associado ao baixo P da semente. O alto P da semente aumentou a acumulação de N nas folhas, parte aérea e nódulos, sendo este efeito mais significativo nas plantas inoculadas. A maior dose de P no solo aumentou a contribuição da fixação biológica de N_2 (FBN). A inoculação aumentou a contribuição da FBN. O alto P da semente aumentou a contribuição da FBN, mas apenas no baixo P do solo e no inoculado. O Mo da semente aumentou a contribuição da FBN, mas apenas na testemunha. Maiores teores de P e Mo contidos em sementes de feijoeiro aumentam o crescimento, acumulação de N e a contribuição da FBN em plantas originadas destas sementes.

Palavras-chave: Fixação biológica de nitrogênio. Fósforo. Molibdênio.

ABSTRACT

CHAGAS, Eduardo. **Contribution of seeds enriched with phosphorus and molybdenum for the biological nitrogen fixation in common bean estimated by the ^{15}N isotopic dilution.** 2008. 35p. Dissertation (Master of Science in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2008.

This study had the objective of evaluating the effect of seeds enriched with P and Mo on the growth, nodulation and N accumulation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.), through the technique of ^{15}N isotopic dilution. Two experiments were carried out in pots using seeds of the cultivar Carioca enriched with P and Mo via foliar fertilization. In the first experiment, 176 pots with 10 kg of soil sampled from an Ultisol were used, where 5 mg N kg⁻¹ as ammonium sulfate enriched with ^{15}N was applied. Two experimental designs were applied, one for each time of harvest, combining two P levels applied to the soil (20 and 80 mg P kg⁻¹), three N sources (without N, inoculated and mineral N), two seed P concentrations (low and high) and two seed Mo concentrations (low and high), with four replicates. Non-nodulating bean genotype and sorghum were used as control plants. Plants did not present nodulation, probably due to the intense mineralization of soil organic matter. High seed concentrations of P and Mo increased shoot mass at flowering, and the effect of seed Mo was more intense than of P. In the second experiment, 122 pots with 5.0 kg of soil material from a Rhodic Oxisol previously enriched with ^{15}N and mixed with 5.0 kg of sand, were used. A 2x3x2x2 factorial design in randomized block with four replicates was employed, between two soil P levels (20 and 80 mg P kg⁻¹), three N sources (without N, inoculated with rhizobia and mineral N), two seed P concentrations (low and high) and two seed Mo concentrations (low and high). Non-nodulating bean and sorghum were used as control plants. Plants were harvested at 41 days after emergence. High seed P increased the shoot mass in treatments with no applied N. High seed P increased the nodule number and mass in the inoculated and control N treatments, at the high soil P level. High seed Mo reduced the leaf mass in the treatments with urea, but did not affect shoot mass. At high soil P, high seed Mo reduced nodule mass in plants that received inoculant or urea. High seed Mo reduced the N accumulation in leaves and shoots, when associated with the low P seed. High seed P increased the N accumulation in leaves, shoot and nodules and this effect was more significant in inoculated plants. High soil P level increased the contribution of biological N₂ fixation (BNF). The inoculation increased the contribution of BNF. High seed P improved the contribution of BNF, but only in inoculated plants at low soil P level. High concentration of P and Mo in seeds increased the growth, N accumulation and the contribution of the BNF in plants of common bean originated from these seeds.

Key words: Biological nitrogen fixation. Phosphorus. Molybdenum.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Teores de P, teores de Mo e massa de 100 sementes, das sementes da cultivar Carioca utilizadas nos dois experimentos de vaso..... 9
- Tabela 2.** Valores de delta ¹⁵ N de plantas de feijoeiro não nodulante e sorgo aos 41 dias após emergência, crescidas sob duas doses de P aplicado ao solo (P1 e P2, respectivamente 0 e 80 mg P kg⁻¹)..... 11
- Tabela 3.** Massa seca de parte aérea e de raiz, e razão raiz: parte aérea, de plantas de feijoeiro originadas de sementes com diferentes teores de P e de Mo, sob três fontes de N, e duas doses de P aplicado ao solo, no estágio de floração, em função de cada fonte de variação estudada (dose de P no solo, teor de P na semente, teor de Mo na semente, e fonte de N).
..... 12
- Tabela 4.** Massa de raiz, caule, folhas senescentes (na soma do período experimental após floração), de grãos e da palha da vagem, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e massa de cada grão, de plantas de feijoeiro no estágio de maturação fisiológica, em função de cada fonte de variação estudada (dose de P no solo, teor de P e Mo na semente, e fonte de N). 14
- Tabela 5.** Massa de folha, caule, parte aérea, raiz e nódulos, e número de nódulos de plantas de feijoeiro aos 41 dias após emergência, crescidas sob duas doses de P aplicado ao solo (P1 e P2, respectivamente 0 e 80 mg P kg⁻¹) e sob três fontes de N (médias de dois níveis de P e de dois níveis de Mo na semente). 15
- Tabela 6.** Massa de folha, caule, parte aérea, raiz e nódulos, e número de nódulos de plantas de feijoeiro aos 41 dias após emergência, originadas de sementes com baixo e altos teores de P e Mo, sob três fontes de N (médias de duas doses de P aplicado ao solo).
..... 17
- Tabela 7.** Teor de N nas folhas, caules, raízes e nódulos, e conteúdo de N nas folhas, caules, parte aérea, raízes, nódulos e em toda a planta, de plantas de feijoeiro aos 41 dias após emergência, crescidas sob duas doses de P aplicado ao solo (P1 e P2, respectivamente 0 e 80 mg P kg⁻¹) e sob três fontes de N (médias de dois níveis de P e de dois níveis de Mo na semente). 19
- Tabela 8.** Teor de N nas folhas, caules, raízes e nódulos, e conteúdo de N nas folhas, caules, parte aérea, raízes, nódulos e em toda a planta, de plantas de feijoeiro aos 41 dias após emergência, originadas de sementes com baixos e altos teores de P e Mo (médias de duas doses de P aplicado ao solo e três fontes de N). 20
- Tabela 9.** Contribuição da fixação biológica de N (em %), em relação ao total de N acumulado nas folhas, estimada pela diluição isotópica de ¹⁵N, de plantas de feijoeiro aos 41 dias após emergência, crescidas sob duas doses de P aplicado ao solo (P1 e P2, respectivamente 0 e 80 mg P kg⁻¹) e sob duas fontes de N (médias de dois níveis de P e de dois níveis de Mo na semente). 22
- Tabela 10.** Contribuição da fixação biológica de N (em %), em relação ao total de N acumulado nas folhas, estimada pela diluição isotópica de ¹⁵N, de plantas de feijoeiro aos 41 dias após emergência, originadas de sementes com baixos e altos teores de P e Mo, crescidas sob duas doses de P aplicado ao solo (P1 e P2, respectivamente 0 e 80 mg P kg⁻¹) e sob duas fontes de N (médias de 4 repetições). 23

Tabela 11. Análise de variância dos caracteres avaliados aos 36 dias após emergência (valores de quadrado médio).	32
Tabela 12. Análise de variância dos caracteres avaliados na maturação dos grãos (valores de quadrado médio).	33
Tabela 13. Análise de variância dos caracteres de acumulação de biomassa avaliados aos 41 dias após emergência (valores de quadrado médio).	34
Tabela 14. Análise de variância dos caracteres de teor de N nos tecidos vegetais avaliados aos 41 dias após emergência (valores de quadrado médio).	34
Tabela 15. Análise de variância dos caracteres de acumulação de N nos tecidos vegetais avaliados aos 41 dias após emergência (valores de quadrado médio).	35
Tabela 16. Análise de variância do valor de delta ¹⁵ N na parte aérea das espécies controle (feijão não nodulante e sorgo)aos 41 dias após emergência (valores de quadrado médio).	35
Tabela 17. Análise de variância da contribuição da FBN para o N acumulado nas folhas aos 41 dias após emergência (valores de quadrado médio).	36

LISTAS DE FIGURAS

- Figura 1.** Massa seca de parte aérea de plantas de feijoeiro originadas de sementes com baixos e altos teores de P e Mo, sob três fontes de N, e sob duas doses de P aplicado ao solo, no estágio de floração. Teores de P na semente: BP baixo P, AP alto P, BM baixo Mo, AM alto Mo. 13
- Figura 2.** Massa de nódulos de plantas de feijoeiro aos 41 dias após emergência, originadas de sementes com baixos e altos teores de P e Mo, sob três fontes de N e duas doses de P aplicado ao solo (P1 e P2, respectivamente 0 e 80 mg P kg⁻¹) (médias de quatro repetições). Teores de P e Mo na semente: BP baixo P, AP alto P, BM baixo Mo, AM alto Mo. Letras minúsculas comparam níveis de P na semente, e letras maiúsculas níveis de Mo na semente, pelo teste Tukey a 5%; a ausência de letra indica diferença não significativa..... 18
- Figura 3.** Conteúdo de N total de plantas de feijoeiro aos 41 dias após emergência, originadas de sementes com baixos e altos teores de P e Mo, sob três fontes de N e duas doses de P aplicado ao solo (P1 e P2, respectivamente 0 e 80 mg P kg⁻¹) (médias de quatro repetições). Teores de P e Mo na semente: BP baixo P, AP alto P, BM baixo Mo, AM alto Mo. Letras minúsculas comparam níveis de P na semente, e letras maiúsculas níveis de Mo na semente, pelo teste Tukey a 5%; a ausência de letra indica diferença não significativa..... 21

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 A Cultura do Feijoeiro no Brasil	3
2.2 Fixação Biológica de N no Feijoeiro	3
2.3 Influência do P e do Mo na Fixação Biológica de N	4
3. MATERIAL E MÉTODOS	8
3.1 Obtenção das Sementes	8
3.2 Primeiro Experimento.....	9
3.3 Segundo Experimento.....	10
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
4.1 Primeiro Experimento.....	12
4.1.1 Primeira coleta.....	12
4.1.2 Segunda coleta.....	13
4.2 Segundo Experimento.....	15
4.2.1 Acumulação de biomassa.....	15
4.2.2 Acumulação de N	18
4.2.3 Diluição isotópica de ^{15}N	21
5. CONCLUSÕES	24
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
7. ANEXOS	32

1. INTRODUÇÃO

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das culturas mais difundidas no Brasil, tendo, além do caráter econômico, um alto significado social, por ser um alimento básico para a população. O Brasil é um dos maiores produtores e o maior consumidor mundial de feijão comum, produzindo na safra 2004/2005, aproximadamente, 3,0 milhões de toneladas, em uma área cultivada de 3,81 milhões de hectares, o que resulta em uma produtividade média de 787 kg ha⁻¹ (CONAB, 2005). Esse nível de produtividade pode ser considerado baixo, uma vez que em monocultivo com alta tecnologia tem-se obtido, em experimentos, mais de 4.000 kg ha⁻¹ (VIEIRA et al., 1999). Esse baixo rendimento ocorre em razão de processos inadequados de cultivo, condições climáticas adversas e incidência de pragas e doenças. Esses fatores, aliados ao elevado custo dos fertilizantes, concorrem para que a cultura seja considerada de subsistência pelos agricultores.

A fixação biológica de nitrogênio é um processo biológico de quebra da tripla ligação do N₂ atmosférico através de um complexo enzimático, denominado nitrogenase. Em plantas da família das leguminosas, este processo ocorre no interior de estruturas específicas, denominadas de nódulos, onde bactérias do gênero *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* e *Azorhizobium* (geralmente conhecidas por rizóbios) convertem o N₂ atmosférico em amônia, que é incorporada em diversas formas de N orgânico para a utilização pelas plantas.

Em virtude do alto custo dos fertilizantes nitrogenados (70% dos custos dos fertilizantes), a fixação biológica de nitrogênio é o processo mais estudado na biologia do solo. A agricultura tropical não só é sujeita à erosão do solo e, portanto, menos apropriada para agrossistemas baseados em uso intensivo de insumos; ela ainda oferece umidade e temperaturas ótimas durante todo o ano para a atividade microbiológica (DÖBEREINER, 1990). Em razão da importância econômica e social do feijoeiro no Brasil e da potencialidade e necessidade de incrementar sua produtividade, estudos visando à otimização do processo de nodulação, e, conseqüentemente, da fixação biológica do N₂, assumem grande importância.

No Brasil, o melhor exemplo de utilização agrícola da fixação biológica de nitrogênio é a cultura da soja, onde a adubação química nitrogenada é totalmente substituída pela utilização de inoculantes contendo rizóbios, o que representou uma economia para o país de cerca de US\$ 3 bilhões no ano de 2005 (MERCANTE, 2006). Estirpes eficientes já foram selecionadas para cerca de 100 espécies por várias instituições de pesquisa, no entanto, do total de cerca de 26 milhões de doses de inoculante comercializadas (produzidos no Brasil e importados) em 2003, 99% foram empregados na cultura da soja e apenas 1% nas outras espécies, especialmente para o feijão (CONAB, 2005).

A eficiência do processo de fixação biológica de N depende de vários fatores, tais como características físicas do solo, temperatura, umidade e luz solar, assim como genéticos e nutricionais ligados à planta e à eficiência e capacidade das estirpes de competir e formar nódulos (CAMPO & HUNGRIA, 2002). Dentre os fatores nutricionais ligados à planta, a presença de N, a disponibilidade de P, K, Ca, Mg e S, o excesso de Al e Mn, e a essencialidade de alguns micronutrientes, são extremamente importantes para o processo de fixação biológica de N (CAMPO & HUNGRIA, 2002).

Como a fixação biológica de N é um processo de grande demanda energética, e como o P tem um papel chave no metabolismo energético das células, a deficiência de P tem um impacto negativo no status energético dos nódulos (SA & ISRAEL, 1991). O Mo faz parte do co-fator ferro molibdênio, o grupo prostético da fração dinitrogenase do complexo enzimático nitrogenase (MARTENS & WESTERMANN, 1991). Sendo assim, a deficiência de Mo afeta

o metabolismo do nitrogênio devido à sua participação como componente da nitrogenase e da redutase do nitrato (MARSCHNER, 1995; ZIMMER E MENDEL, 1999).

A semente pode ser considerada um insumo de grande importância no processo produtivo, e sua qualidade considerada um elemento indispensável no sucesso de uma cultura. A composição química das sementes é um fator que pode ter influência sobre o comportamento da própria semente e da planta resultante. Em solos com certas limitações nutricionais, uma semente com alto conteúdo de um elemento poderá originar uma planta vigorosa, em meio deficiente nesse elemento (CARVALHO & NAKAGAWA, 1988). Em alguns casos, principalmente para os micronutrientes como Mo, a reserva interna da semente é suficiente para que a planta originada desta possa crescer sem dependência externa (JACOB-NETO, 1985; JACOB-NETO & FRANCO, 1986; BRODRICK et al., 1995).

A concentração de nutrientes minerais nas sementes também pode afetar a fixação biológica de N das plantas por elas geradas, principalmente no caso das leguminosas (JACOB-NETO & FRANCO, 1989). Altos teores de P em sementes estimularam 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). Como o suprimento limitado de P causa atrasos no desenvolvimento da nodulação no feijoeiro (ARAÚJO & TEIXEIRA, 2000), o maior teor de P em sementes de feijão poderia aumentar a disponibilidade do nutriente em estádios iniciais de infecção e formação dos nódulos, particularmente sob condições de baixa disponibilidade de P. Plantas de feijoeiro originadas de sementes com alto teor de Mo absorveram muito pouco Mo do solo durante seu crescimento (BRODRICK et al., 1992), e mantiveram a atividade da nitrogenase similar à de plantas que receberam Mo nas raízes (BRODRICK & GILLER, 1991).

A adubação foliar constituiria uma alternativa tecnológica para elevar os teores de P e Mo nas sementes, pois não acarretaria significativos aumentos no custo de produção, uma vez que pequenas quantidades de nutrientes são necessárias, e estas aplicações podem ser combinadas com o controle sanitário. KUBOTA (2006) verificou que a adubação foliar em estádios reprodutivos de crescimento propiciou a produção de sementes de feijoeiro com maiores teores de P e de Mo.

Existem várias técnicas para avaliar a contribuição da fixação biológica de nitrogênio às plantas, como a redução de acetileno (HARDY et al., 1973), a análise de seiva (HERRIDGE et al., 1988) e a quantificação do N total das plantas (balanço de N e a diferença de N total), que apresentam estimativas integradas da contribuição da fixação biológica de N à nutrição das plantas (APP et al., 1984). Uma outra técnica consiste na utilização da diluição isotópica de ^{15}N , onde é necessário cultivar a planta “fixadora de N_2 ” num solo onde o N mineral seja marcado com ^{15}N . Se o enriquecimento de ^{15}N do N que a planta absorve do solo é conhecido, a quantidade de N não marcado oriundo do ar via fixação biológica será proporcional à diluição do enriquecimento de ^{15}N do N marcado extraído do solo (BODDEY et al., 1994).

A hipótese do trabalho é que sementes com maiores teores de P e Mo originam plantas com maior nodulação e maior proporção de N oriundo da fixação biológica de N. Desta forma, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito do aumento dos teores de P e Mo em sementes de feijoeiro, obtidas em plantas que receberam adubação foliar com estes nutrientes, no crescimento, nodulação e acumulação de N do feijoeiro em condições de casa de vegetação, através da técnica de diluição isotópica de ^{15}N .

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A Cultura do Feijoeiro no Brasil

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris*) é a espécie mais cultivada entre as demais do gênero *Phaseolus*. Considerando todos os gêneros e espécies de feijão englobados nas estatísticas da FAO, a produção mundial de feijão em 2005 atingiu 18,7 milhões de toneladas, ocupando uma área de 26,9 milhões de hectares. Os países em desenvolvimento respondem por 89,2% da produção mundial e, entre os continentes, a Ásia é o maior produtor mundial, com 45,7%, seguida das Américas (36,7%), África (13,9%), Europa (3,4%) e Oceania (0,2%). Cerca de 66% da produção mundial foi oriunda de apenas sete países, sendo o Brasil o maior produtor, respondendo por 16,3% da produção mundial (WANDER, 2005). Paraná, o maior Estado produtor, respondeu por, aproximadamente, 22% da produção nacional no ano de 2006 (AEN, 2006).

No Brasil, o consumo *per capita* de feijão, na década de 70, era de 18,5 kg⁻¹ hab⁻¹ ano⁻¹; já em 2002 baixou para 16,3 kg⁻¹ hab⁻¹ ano⁻¹. No período de 1984 a 2004, a área de plantio de feijão no Brasil sofreu uma redução de cerca de 25%; a produção, contudo, aumentou em 16%, graças ao incremento de 54% na produtividade média. Não obstante esse aumento, a produção não é suficiente para atender ao mercado interno, cuja demanda teve um acréscimo de 31% nesse mesmo período, devido, principalmente, ao aumento da população (WAMDER, 2005).

O cultivo dessa leguminosa é bastante difundido em todo o território nacional, no sistema solteiro ou consorciado com outras culturas. É reconhecida como cultura de subsistência em pequenas propriedades, muito embora tenha havido, nos últimos 20 anos, crescente interesse de médios e grandes produtores, adotando tecnologias avançadas, incluindo a irrigação e a colheita mecanizada (YOKOYAMA, 2003). Em 1995, as propriedades com área até 100 ha foram responsáveis por 71% da produção nacional (FIBGE, 2000). Esta produção em pequenas áreas implica em uso contínuo da terra, exigindo a aplicação de insumos nem sempre disponíveis aos pequenos produtores. Entre as propriedades rurais que têm o feijão como seu principal cultivo, apenas 20% usam algum tipo de fertilizante químico ou calcário na cultura (FIBGE, 2000). A produtividade por extratos de áreas reflete a existência de dois sistemas de produção, de distintos investimentos tecnológicos: em 1995, as propriedades com menos de 100 ha registraram produtividade média de 479 kg ha⁻¹, enquanto que nas propriedades com mais de 1000 hectares a produtividade média foi de 1193 kg ha⁻¹ (FIBGE, 2000).

Dentro deste contexto, destaca-se a necessidade do desenvolvimento de tecnologias de baixo custo capazes de melhorar os níveis de produtividade dos pequenos agricultores, responsáveis pela quase totalidade da produção desta leguminosa, essencial na dieta de grande parte da população brasileira.

2.2 Fixação Biológica de N no Feijoeiro

O feijoeiro tem a capacidade de estabelecer simbiose com microrganismos fixadores de N₂ atmosférico pertencentes à família Rhizobiaceae. Esses microrganismos infectam as raízes do feijoeiro e formam os nódulos, em cujo interior é sintetizado um complexo enzimático, denominado nitrogenase, que rompe a tripla ligação existente entre os átomos de N que formam a molécula do N₂ e utiliza esses átomos para produzir duas moléculas de amônia (NH₃), que são fornecidas à planta para sintetizar os compostos nitrogenados .

Há um conceito geral de que o feijoeiro possui baixa capacidade fixadora de N em associação com as bactérias do gênero *Rhizobium*. Este conceito resulta de diversos resultados experimentais, tanto a nível nacional quanto internacional, onde, quando se considera os valores médios de produtividade, a baixa capacidade da planta em atingir seu potencial produtivo dependente apenas da fixação biológica do nitrogênio fica evidenciada (STRALIOTTO & RUMJANEK, 1999).

Vários fatores interferem na eficiência simbiótica das estirpes de rizóbio no campo. Alguns são intrínsecos da bactéria, outros são extrínsecos, envolvendo outros microrganismos do solo, fatores de clima e solo ou determinados pela planta hospedeira (STRALIOTTO & RUMJANEK, 1999).

O feijoeiro é considerado um hospedeiro promíscuo com relação ao rizóbio, uma vez que uma grande diversidade de espécies pode formar associações mais ou menos eficientes com esta planta (STRALIOTTO & TEIXEIRA, 2000). Atualmente pelo menos três espécies distintas são reconhecidas como simbioses desta planta, *R. tropici* (MARTINEZ-ROMERO et al., 1991), *R. etli* (SEGOVIA et al., 1993) e *R. leguminosarum* *bv. phaseoli* (JORDAN, 1984).

Dentre as leguminosas mais comumente utilizadas na agricultura, o feijoeiro é tido como uma das mais ineficientes na capacidade de fixação de N. Há, no entanto, uma grande variabilidade na capacidade de nodulação e fixação biológica de N entre os cultivares de feijoeiro (GRAHAM & ROSAS, 1979; ROSAS & BLISS, 1986; ANDRIOLLO, 1994; KIPE-NOLT et al., 1993; TSAI et al., 1993; ARAÚJO et al., 1998). No campo, HARDARSON et al. (1993) conduziram diversos experimentos utilizando a técnica de diluição isotópica de ^{15}N , em diferentes países da América do Sul, tendo verificado que há grandes diferenças na capacidade de fixação de N entre cultivares, com valores médios variando entre 35 a 70% de N derivado do ar, com valores mais elevados observados somente em locais onde as condições ambientais foram mais favoráveis. Estes resultados indicam que há espaço para o melhoramento desta planta visando à fixação biológica de N (STRALIOTTO & TEIXEIRA, 2000).

A biologia do solo oferece inúmeras alternativas para o desenvolvimento de novas tecnologias que visam substituir sistemas agrícolas tradicionais baseados no crescente uso de fertilizantes químicos e agrotóxicos. Devido ao alto custo dos fertilizantes nitrogenados (70% dos custos dos fertilizantes), a fixação biológica de N é o processo mais estudado na biologia do solo, e os desenvolvimentos da biotecnologia moderna em muito contribuíram para os progressos recentes neste campo. A agricultura tropical não só é sujeita à erosão do solo e, portanto, menos apropriada para agrossistemas baseados em uso intensivo de fertilizantes; ela ainda oferece umidade e temperaturas ótimas durante todo o ano para a atividade microbiológica (DÖBEREINER, 1990).

Atualmente, o inoculante comercial para o feijoeiro no Brasil é produzido com uma espécie de rizóbio adaptada aos solos tropicais, o *Rhizobium tropici*, resistente a altas temperaturas, acidez do solo e altamente competitiva, ou seja, em condições de cultivo favoráveis é capaz de formar a maioria dos nódulos da planta, predominando sobre a população de rizóbio presente no solo (STRALIOTTO et al., 2003). A eficiência da FBN, entretanto, depende das condições fisiológicas da planta hospedeira, que fornece a energia necessária para que a bactéria possa realizar eficientemente este processo (STRALIOTTO et al., 2003).

2.3 Influência do P e do Mo na Fixação Biológica de N

O feijoeiro é uma planta bastante exigente em termos nutricionais, uma vez que não tolera a acidez do solo, tendo seu crescimento limitado. Sob condições simbióticas, torna-se crítico o suprimento de Ca, P e Mo (STRALIOTTO & RUMJANEK, 1999).

O P é um elemento essencial ao crescimento e reprodução das plantas, as quais não alcançam seu máximo potencial produtivo sem um adequado suprimento nutricional (MARSCHNER, 1995). O P é componente de compostos importantes das células vegetais, incluindo fosfato presente nas moléculas de açúcares, intermediários da respiração e fotossíntese, bem como dos fosfolipídeos que compõem as membranas vegetais. É, também, componente de nucleotídeos utilizados no metabolismo energético das plantas (como ATP) e dos ácidos nucléicos (TAIZ & ZEIGER, 2004). A influência do suprimento de P sobre a produção do feijoeiro tem sido estudada em diversos trabalhos (FAGERIA & SANTOS 1998; PARRA & MIRANDA 1980; ARAÚJO et al., 2000), confirmando a grande importância desse nutriente para a cultura, embora seja, entre os macronutrientes, o menos exigido. Entretanto, esse nutriente é considerado de maior limitação nutricional ao desenvolvimento das culturas nos solos das regiões tropicais. Embora o teor total de P no solo se situe entre 200 e 3000 mg kg⁻¹, na maioria das vezes, menos de 0,1% (0,2 a 3 mg kg⁻¹) desse P se encontra em solução, ou seja, prontamente disponível à absorção vegetal (NOVAIS & SMYTH, 1999). Isso ocorre, pois, os solos das regiões tropicais são geralmente ácidos e apresentam quantidades significativas de caulinita e oxi-hidróxidos de Fe e Al carregados positivamente, apresentando alta capacidade de fixação de fosfato, que é adsorvido às superfícies dos colóides por um complexo de esfera interna (MEURER et al., 2004).

Estudos sobre a influência do P na fixação simbiótica do N têm recebido considerável atenção em leguminosas, em razão do alto requerimento desse elemento, durante as fases de iniciação, crescimento e funcionamento dos nódulos radiculares (AL-NIEMI et al., 1997). Observa-se que o P potencializa a fixação simbiótica do N₂ por estimular o crescimento da planta hospedeira, além de afetar diretamente o crescimento do rizóbio e do nódulo (CHAUDHARY & FUJITA, 1998). Como a fixação biológica de N₂ é um processo de grande demanda energética, e como o P tem um papel chave no metabolismo energético das células, a deficiência de P tem um impacto negativo no status energético dos nódulos (SA & ISRAEL, 1991). O P teria um efeito benéfico na fixação biológica de N₂, atuando diretamente sobre a iniciação, crescimento e funcionamento dos nódulos, aumentando sua atividade e causando simultâneo aumento na acumulação de N, ou através do estímulo ao crescimento do hospedeiro (ARAÚJO & MACHADO, 2006). Os nódulos atuam como fortes drenos de fotoassimilados, que são metabolizados para gerar ATP e poder redutor, essenciais à redução do N₂ atmosférico (MARSCHNER, 1995). Essa redução do N₂ pela nitrogenase consome cerca de 60% a 80% do ATP sintetizado no nódulo (TWARY & HEICHEL, 1991).

A sacarose translocada pelo floema, das folhas para os nódulos, fornece a energia e os esqueletos carbônicos para a fixação do N₂, assimilação do amônio e síntese "de novo" de purinas (SA & ISRAEL, 1995). A deficiência de P pode reduzir o suprimento de fotossintatos para os nódulos, resultando em um impacto negativo sobre a assimilação do nitrogênio em plantas de feijoeiro devido à redução no suprimento de esqueletos carbônicos e energia para efetuar o processo assimilatório do NH₄⁺ (SA & ISRAEL, 1995). Em soja, em que os nódulos apresentam crescimento determinado e transportam o N principalmente como ureídeos, a deficiência de P diminui a concentração de N, tanto na parte aérea quanto nos nódulos (RIBET & DREVON, 1995). Contudo, em alfafa, em que os nódulos apresentam crescimento indeterminado e o N fixado simbioticamente é transportado principalmente na forma de amidas e aminoácidos, os efeitos do ressuprimento de P nas fases vegetativas e reprodutivas podem ser distintos dos da soja (GOMES et al., 2002).

Em alfafa, a baixa disponibilidade de P nos solos reduziu a produção de fotoassimilados, afetando negativamente a capacidade dos nódulos de manter a taxa de fixação de N₂ (VANCE et al., 1979). A deficiência de P pode reduzir a produção de biomassa do hospedeiro e a demanda por N₂ fixado, reduzindo a força do dreno para os produtos dos nódulos (ROBSON et al., 1981; SINGLETON et al., 1985). A atividade específica da

nitrogenase e a concentração de ATP nos nódulos de soja foi reduzida sob suprimento limitado de P (SA & ISRAEL, 1991).

Plantas de soja dependente da fixação de N₂ apresentaram maior requerimento de P para obtenção de crescimento ótimo do que plantas supridas com nitrato em solução nutritiva, e os parâmetros associados à fixação de N₂ foram mais responsivos ao P do que o próprio crescimento vegetal (ISRAEL, 1987). Apesar da redução de teor de P nos vários tecidos vegetais do feijoeiro com menor suprimento de P, a concentração de P nos nódulos foi pouco afetada (PEREIRA & BLISS, 1987). Os nódulos de feijoeiro mostraram ser um forte dreno de P, com grande resposta às doses do nutriente (GRAHAM & ROSAS, 1979).

Altos teores de P em sementes estimularam o crescimento, a nodulação e a acumulação de N por cultivares de feijoeiro, particularmente sob baixa disponibilidade de P no solo (TEIXEIRA et al., 1999). Plantas de feijoeiro oriundas de sementes com alto teor de P apresentaram maior massa de parte aérea e de raiz aos 48 dias após a emergência do que plantas originadas de sementes com baixo teor de P. Porém, os maiores teores de Mo nas sementes promoveram redução no número de nódulos na primeira coleta (CHAGAS et al., 2006).

Por participar da estrutura e de ser ativador de diversas enzimas, o Mo é de fundamental importância a todos os vegetais (ZIMMER & MENDEL, 1999). Por causa de sua baixa concentração nos solos e utilização sem a devida reposição, o Mo tem-se esgotado, tornando-se comum a sua deficiência, principalmente nos solos de cerrado (SFREDO et al., 1997). Além disso, vários fatores podem interferir na disponibilidade de Mo nos solos, entre os quais o pH, a matéria orgânica, a textura, os óxidos de ferro e de alumínio, o potencial redox e a interação com outros nutrientes (SANTOS, 1991). O Mo é um micronutriente que tem efeito marcante sobre a eficiência da simbiose (FRANCO & DAY, 1990). A deficiência de Mo afeta o metabolismo do N devido à sua participação como componente da nitrogenase, enzima relacionada à fixação do N pelas leguminosas, e da redutase do nitrato, responsável pela redução deste em nitrito no processo de assimilação do N (MARSCHNER, 1995; ZIMMER & MENDEL, 1999).

A importância do Mo no processo de fixação biológica de N foi primeiramente descrita por BORTELS (1930, citado por JACOB-NETO, 1985), que demonstrou que *Azotobacter vinelandii*, quando inoculado em meio de cultura sem N combinado, necessitava de Mo para crescer, o que não ocorria se a fonte de N do meio de cultura fosse o amônio. Hoje, é sabido que o Mo faz parte do co-fator ferro molibdênio, o grupo prostético da fração dinitrogenase do complexo enzimático nitrogenase (MARTENS & WESTERMANN, 1991).

Diversas formas de aplicação de Mo às culturas têm sido descritas. O fornecimento de Mo através de pélete pode dificultar as trocas gasosas da semente, prejudicando a germinação. Alguns autores afirmam que o melhor é aplicar o Mo no solo, antes do plantio (JOHANNES & GUNARTO, 1987; VARGAS & RAMIREZ, 1989). Entretanto, em face da sua imobilização no solo, a sua eficiência seria muito inferior, requerendo quantidades de Mo superiores em dez vezes as exigidas pelas culturas, para equiparar a eficiência com a de outros métodos. Outra forma eficiente de aplicação de Mo, consiste em embeber as sementes em soluções que contenham Mo (SHERRELL, 1984). Contudo, o contato direto das sementes com estas soluções tem provocado a perda do poder germinativo, reduções do crescimento e da produção (REISENAUER, 1963) ou até mesmo aumentado a mortalidade de *Rhizobium* e, diminuindo, com isso, a nodulação (GAULT & BROCKWELL, 1980).

O uso de sementes oriundas de plantas cultivadas em solos com adequada disponibilidade de Mo e pH próximo de 6,0 poderia garantir níveis adequados do micronutriente para a cultura, pois tem sido verificado que o Mo se acumula nas sementes (TANNER, 1979). Em leguminosas, as sementes podem conter uma grande proporção das quantidades de nutrientes exigidas pelas culturas. Plantas de feijoeiro originadas de sementes

com alto teor de Mo absorveram muito pouco Mo do solo durante seu crescimento (BRODRICK et al., 1992). Entretanto, 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). O plantio de sementes com suficientes conteúdos de Mo em solos pobres da África preveniu o aparecimento de deficiência de Mo até o quarto cultivo consecutivo no mesmo local (BRODRICK et al., 1995). JACOB-NETO & FRANCO (1986) verificaram que uma quantidade de $3,51 \mu\text{g Mo semente}^{-1}$ é suficiente para que as plantas de feijão se desenvolvam sem adubação complementar, e foi suficiente para que a planta dependente da fixação biológica de N atingisse acumulação máxima de N sem adubação complementar com Mo.

Plantas de feijoeiro originadas de sementes com alto teor de Mo absorveram muito pouco Mo do solo durante seu crescimento, e apresentaram maior peso dos nódulos, acumularam mais N e produziram mais sementes (BRODRICK et al., 1992). A adubação foliar constituiria uma alternativa tecnológica para elevar os teores de P e Mo nas sementes, pois não acarretaria significativos aumentos no custo de produção, uma vez que pequenas quantidades de nutrientes são necessárias, e estas aplicações podem ser combinadas com o controle sanitário. KUBOTA (2006) verificou que a adubação foliar conjunta com P e Mo aumentou o teor de P nas sementes de três cultivares de feijoeiro, mas reduziu o teor de Mo nas sementes, indicando um possível efeito de competição entre o P e o Mo quando da absorção pelas folhas e transporte para as sementes. Além disto, a adubação foliar com Mo forneceu sementes com teores médios de $9,7 \mu\text{g Mo g}^{-1}$, em contraste com teores em torno de $0,02 \mu\text{g Mo g}^{-1}$ nas plantas que não receberam adubação foliar (KUBOTA, 2006).

Os nutrientes armazenados na semente suprem a plântula nos estádios iniciais durante o período de crescimento e de desenvolvimento. Cultivares com capacidade de acumular molibdênio nas sementes podem ser usados para produção de sementes em solos que possuam quantidades favoráveis desse nutriente para serem utilizadas, posteriormente, em solos ácidos e com deficiência de Mo (FRANCO & MUNNS, 1981).

TANNER (1979), estudando o efeito do Mo na qualidade das sementes de milho, constatou que a população de plantas, a massa foliar e a produção foram significativamente reduzidas quando o conteúdo do nutriente na semente era baixo. BRODRICK et al. (1992) verificaram que feijoeiros originados de sementes com maior conteúdo de molibdênio apresentaram maior peso dos nódulos, acumularam mais nitrogênio e produziram mais sementes.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Obtenção das Sementes

As sementes enriquecidas com P e Mo foram obtidas em um experimento de campo, destinado à produção de sementes de cultivares de feijoeiro com diferentes teores de P e de Mo via adubação foliar (KUBOTA, 2006).

O experimento foi conduzido em condições de campo, de setembro a dezembro de 2004, em solo classificado como Argissolo com baixa disponibilidade de P (2 mg P dm^{-3}), na Fazenda Santa Mônica da Embrapa Gado de Leite, no município de Valença-RJ. Foi adotado um delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições, em esquema fatorial $2 \times 4 \times 3$ em parcelas subsubdivididas: nas parcelas foram testados dois níveis de P aplicados ao solo (0 e 50 kg P ha^{-1}), nas subparcelas, quatro tratamentos de adubação foliar (sem adubação foliar, adubação foliar com P, adubação foliar com Mo, adubação foliar com P e Mo), e nas subsubparcelas três cultivares (Carioca, Manteigão e Rio Tibagi) (KUBOTA, 2006). As aplicações foliares foram efetuadas aos 52 e 71 dias após emergência, para cada tratamento, nas doses de 5 kg P ha^{-1} e 120 g Mo ha^{-1} cada aplicação.

A adubação foliar foi efetuada com pulverizador costal. Nas parcelas que receberam adubação foliar com P, foram aplicados 500 L ha^{-1} de uma solução com 10 g P L^{-1} como $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, 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 $0,24 \text{ g Mo L}^{-1}$ como $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 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. Nas parcelas que não receberam adubação foliar com P ou Mo, foi aplicada solução de uréia com dosagem de N equivalente à usada nos adubos foliares com P. Em todos os adubos foliares foi adicionado $0,2 \text{ ml L}^{-1}$ de surfactante (KUBOTA, 2006).

As sementes colhidas no experimento de campo foram analisadas quanto aos teores de P e Mo (KUBOTA, 2006). O molibdênio foi mineralizado por digestão nítrico-perclórica, em um grama de material vegetal. Os extratos mineralizados das sementes de feijão em meio ácido nítrico-perclórico foram utilizados para a determinação direta do teor de Molibdênio no laboratório de análises de solos e plantas do Centro Nacional de Pesquisa em Solos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (CNPQ – Embrapa), em aparelho ICP-EAS, marca Perkin-Elmer, como proposto por PIERZINSKY et al. (1986), e o teor de P por digestão nítrico-perclórica e dosagem colorimétrica no laboratório de análises de solos do Centro Nacional de Pesquisa em Agrobiologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (CNPAB – Embrapa).

Dentre estas sementes, foram selecionadas aquelas com teores contratantes de P e Mo para utilização no presente trabalho. As características das sementes testadas nos dois experimentos de vasos estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Teores de P, teores de Mo e massa de 100 sementes, das sementes da cultivar Carioca utilizadas nos dois experimentos de vaso.

Sementes	P (mg g ⁻¹)	Mo (µg Mo g ⁻¹)	Massa de 100 sementes (g)
Baixo P, baixo Mo	2,50	0,0*	21,44
Baixo P, alto Mo	2,71	12,2	20,60
Alto P, baixo Mo	3,59	0,0*	21,59
Alto P, alto Mo	3,87	5,81	21,35

* Valores inferiores a 0,5 µg Mo g⁻¹.

3.2 Primeiro Experimento

No primeiro experimento foram utilizados 176 vasos com 10 kg de material de solo Argissolo proveniente da Fazenda Santa Mônica da Embrapa Gado de Leite, no município de Valença-RJ. O solo foi coletado a uma profundidade de 0-20 cm, e transportado para a Embrapa Agrobiologia, onde foi peneirado em peneira de malha de 6 mm, e colocado em vasos com 10 kg de solo. A análise química do solo apresentou as seguintes características (de acordo com Embrapa, 1997): pH em água 4,6, Al 0,8 cmol_c dm⁻³, Ca 1,2 cmol_c dm⁻³, Mg 0,9 cmol_c dm⁻³, P 3,7 mg dm⁻³, K 112 mg dm⁻³.

Foram adotados dois delineamentos experimentais em esquema fatorial em blocos ao acaso, cada um referente a uma época de coleta das plantas. Para a 1^a coleta, o delineamento consistiu de um fatorial 2x3x2x2 com quatro repetições, entre duas doses de P aplicado ao solo (P1 20 mg P kg⁻¹ e P2 80 mg P kg⁻¹), três fontes de N (sem N, inoculado e N mineral), dois teores de P na semente (baixo e alto teor de P) e dois teores de Mo na semente (baixo e alto teor de Mo), totalizando 96 vasos. Como plantas controle, foram semeadas o genótipo de feijoeiro não nodulante NORH-54 e o sorgo cultivar BR-501, sob duas doses P aplicado ao solo com quatro repetições por genótipo, totalizando 16 vasos. Para a 2^a coleta, o delineamento consistiu de um fatorial 2x3x2 com quatro repetições, entre duas doses de P aplicado ao solo (20 e 80 mg P kg⁻¹), três fontes de N (sem N, inoculado e N mineral), dois teores de P e Mo na semente (baixos teores de P e Mo, e altos teores de P e Mo), totalizando 48 vasos, além das plantas controle feijoeiro não nodulante e sorgo sob duas doses de P aplicado ao solo com quatro repetições por genótipo, totalizando 16 vasos.

Os vasos com as fontes de N, “sem N” (testemunha absoluta - TA) e “inoculado” (IN), assim como os vasos com as plantas controle, receberam 5 mg N kg⁻¹ na forma de sulfato de amônio com 10% de enriquecimento de ¹⁵N, e os vasos com as fontes de N testemunha nitrogenada (TN), receberam 60 mg N kg⁻¹ na forma de uréia. Após 45 dias de estabilização, os vasos receberam as doses de P respectivas a cada tratamento, 20 e 80 mg P kg⁻¹ na forma de KH₂PO₄, sendo que os vasos com 20 mg P kg⁻¹ receberam 76 mg K kg⁻¹ como KCl para igualar as doses de K. Os vasos receberam também 10 mg Mg kg⁻¹ como MgSO₄.7H₂O, 2 mg Cu kg⁻¹ como CuSO₄.5H₂O, 1 mg Zn kg⁻¹ como ZnSO₄.7H₂O e 0,05 mg B kg⁻¹ como H₃BO₃. Os nutrientes foram aplicados por sobre os vasos diluídos em água, e posteriormente o material de cada vaso foi homogeneizado.

No dia 20 de julho 2006 foi realizada a semeadura, com oito sementes por vaso da cultivar Carioca, do feijão não nodulante e do sorgo. No plantio, nos tratamentos com fonte de N “inoculado”, cada semente recebeu 1 mL de inoculante líquido contendo as estirpes BR322 e BR520 de *Rhizobium spp.* da coleção da Embrapa Agrobiologia. A emergência deu-se 5 dias após o plantio, e o desbaste foi efetuado 6 dias após emergência, deixando-se 4 plantas por vaso. Os vasos permaneceram no interior da casa de vegetação até o fim do experimento.

A primeira coleta dos vasos foi efetuada no estágio de início de formação das vagens, em torno de 36 dias após emergência. A parte aérea foi cortada ao nível do solo, e separada em caules e folhas. Os sistemas radiculares das plantas de cada vaso foram recuperados cuidadosamente com auxílio de uma peneira, as raízes foram lavadas, e os nódulos separados das raízes e contados. Os caules, folhas, raízes e nódulos foram secos em estufa e pesados.

Após a primeira coleta, nos vasos restantes foram coletadas periodicamente as folhas senescentes de cada vaso, que foram secas, pesadas e reunidas em uma única amostra por vaso. Na maturação de grãos, as plantas foram cortadas rente ao solo, e as raízes recuperadas com auxílio de uma peneira. A parte aérea foi separada em caules, folhas e vagens, que foram secos em estufa e pesados. Foram calculados os componentes de produção: número de vagens por planta, número de sementes por vagem, massa de 100 sementes, e índice de colheita (razão entre a massa das sementes e a massa total de parte aérea).

Foi realizada análise estatística com fatorial, sendo que para a primeira coleta foi utilizado o fatorial $2 \times 3 \times 2 \times 2$ e para a segunda $2 \times 3 \times 2$. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, avaliando-se os efeitos da adubação com P no solo, fontes de N, sementes com diferentes teores de P e Mo e de suas interações. As médias foram comparadas através do teste Tukey a 5%.

3.3 Segundo Experimento

No segundo experimento, com apenas uma coleta, foram utilizados 122 vasos com 5,0 kg de material de solo de Latossolo Vermelho Escuro, proveniente de Piracicaba-SP, que foi misturado homogêneo com 5,0 kg de areia lavada, pois o mesmo apresentava textura muito argilosa. O solo em questão havia sido previamente enriquecido com 0,1% de ^{15}N , onde o N estava estabilizado. A análise química do solo apresentou as seguintes características (de acordo com Embrapa, 1997): pH em água 5,1, Al $0,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, Ca $4,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, Mg $1,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, P $28,0 \text{ mg dm}^{-3}$, K $121,0 \text{ mg dm}^{-3}$.

Foi adotado um delineamento experimental em esquema fatorial $2 \times 3 \times 2 \times 2$ em blocos ao acaso com quatro repetições, entre duas doses de P aplicado ao solo (P1 0 mg P kg^{-1} e P2 80 mg P kg^{-1}), três fontes de N (sem N, inoculado e N mineral), dois teores de P na semente (baixo e alto teor de P) e dois teores de Mo na semente (baixo e alto teor de Mo), totalizando 96 vasos. Como plantas controle, foram semeadas o genótipo de feijoeiro não nodulante NORH-54 e o sorgo cultivar BR-501, sob duas doses P aplicado ao solo com quatro repetições por genótipo, totalizando 16 vasos.

Cinco dias antes da semeadura, os vasos receberam as doses de P respectivas a cada tratamento, 0 e 80 mg P kg^{-1} na forma de KH_2PO_4 , sendo que os vasos com 0 mg P kg^{-1} receberam 76 mg K kg^{-1} como KCl para igualar as doses de K. Os vasos receberam também 10 mg Mg kg^{-1} como $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 2 mg Cu kg^{-1} como $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 1 mg Zn kg^{-1} como $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ e $0,05 \text{ mg B kg}^{-1}$ como H_3BO_3 . Nos tratamentos com N mineral, cada vaso recebeu 60 mg N kg^{-1} na forma de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Os nutrientes foram aplicados por sobre os vasos diluídos em água, e posteriormente o material de cada vaso foi homogeneizado.

No dia 6 de novembro 2007 foi realizada a semeadura, com sete sementes por vaso da cultivar Carioca, do feijão não nodulante e do sorgo. No plantio, nos tratamentos com fonte de N "inoculado", cada semente recebeu 1 mL de inoculante líquido contendo as estirpes BR322 e BR520 de *Rhizobium spp.* da coleção da Embrapa Agrobiologia. A emergência deu-se cinco dias após o plantio, e aos 10 dias após emergência os vasos foram transferidos para fora da casa de vegetação e dispostos ao ar livre em uma área gramada, sobre paralelepípedos de cimento. Neste mesmo dia o desbaste foi efetuada, deixando-se quatro plantas por vaso. Os tratamentos com N mineral receberam 30 mg kg^{-1} de N na forma de uréia, 18 dias após a emergência.

A coleta dos vasos foi efetuada no estádio de formação das vagens, nos dias 20 e 21 de dezembro de 2007, aos 41 DAE. A parte aérea foi cortada ao nível do solo, e separada em caules e folhas. Os sistemas radiculares das plantas de cada vaso foram recuperados cuidadosamente com auxílio de uma peneira, as raízes foram lavadas, e os nódulos separados das raízes e contados. Os caules, folhas, raízes e nódulos foram secos em estufa, pesados e moídos. Em cada porção foi determinado o teor de N pelo método semi-micro Kjeldahl (MALAVOLTA et al., 1989).

Uma sub-amostra de cada material vegetal foi moída em moinho de bola. Nas amostras de folhas foi determinada a composição isotópica de N, em espectrômetro de massa na Embrapa Agrobiologia (Finnigan Mat Deltaplus). Resultados obtidos por KUMARASINGHE et al. (1992) demonstram que a melhor parte da planta para se realizar o cálculo da contribuição da FBN através da diluição isotópica seria a vagem e em seguida a parte aérea. Como este ensaio foi conduzido até o estádio de emissão de vagens, a contribuição da FBN foi calculada considerando apenas a composição isotópica de N das folhas das plantas de feijoeiro.

A contribuição da fixação de N₂ foi efetuada pela técnica da diluição isotópica (BODDEY et al., 1984), utilizando-se como cultivos de referência os genótipos controle. Para o cálculo da contribuição da FBN foram utilizadas as médias do enriquecimento de ¹⁵N do feijão não nodulante e do sorgo, conforme Tabela 2. Nos tratamentos que receberam uréia como fonte de N não foi determinada a composição isotópica de ¹⁵N.

Tabela 2. Valores de delta ¹⁵ N de plantas de feijoeiro não nodulante e sorgo aos 41 dias após emergência, crescidas sob duas doses de P aplicado ao solo (P1 e P2, respectivamente 0 e 80 mg P kg⁻¹).

Delta	P1	P2	Média
Feijão	322	362	342
Sorgo	412	430	421
Média	367	396	

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância como um fatorial 2x3x2x2, avaliando-se os efeitos da adubação com P no solo, fontes de N, teores de P e Mo nas sementes e de suas interações. As médias foram comparadas através do teste Tukey a 5%.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Primeiro Experimento

4.1.1 Primeira coleta

No primeiro experimento, as plantas não apresentaram nodulação em ambas as coletas. Isso ocorreu provavelmente pela intensa mineralização da matéria orgânica, pois o solo havia sido retirado de um local há anos recoberto com pastagens na Fazenda Santa Mônica, e o processo de peneiramento e molhagem do solo deve ter liberado N do solo e conseqüentemente inibido a fixação biológica de nitrogênio. Portanto, as análises de N total e ^{15}N não foram realizadas, sendo injustificável sua execução, uma vez que não houve nodulação.

A aplicação de uréia causou redução da massa de parte aérea no estágio de floração, o que comprova que havia muito N no solo (Tabela 3). A dose de 80 mg P kg^{-1} aplicada ao solo aumentou a produção de biomassa de parte aérea e raiz pelas plantas. O maior teor de Mo e de P nas sementes causou aumento na parte aérea na floração, sendo o efeito do Mo na semente mais intenso que do P (Tabela 3). As plantas oriundas de sementes com alto teor de Mo apresentaram menor razão raiz: parte aérea, indicando que o efeito do alto Mo contido nas sementes foi mais intenso para o crescimento da parte aérea do que da raiz (Tabela 3).

Tabela 3. Massa seca de parte aérea e de raiz, e razão raiz: parte aérea, de plantas de feijoeiro originadas de sementes com diferentes teores de P e de Mo, sob três fontes de N, e duas doses de P aplicado ao solo, no estágio de floração, em função de cada fonte de variação estudada (dose de P no solo, teor de P na semente, teor de Mo na semente, e fonte de N).

Fonte de variação	Massa de parte aérea (g planta^{-1})	Massa de raiz (g planta^{-1})	Razão raiz : parte aérea (mg g^{-1})
Dose de P no solo			
20 mg P kg^{-1}	3,54 b	0,42 b	119
80 mg P kg^{-1}	5,63 a	0,64 a	116
Teor de P na semente			
Baixo P	4,44 b	0,52	120
Alto P	4,74 a	0,54	115
Teor de Mo na semente			
Baixo Mo	4,27 b	0,53	127 a
Alto Mo	4,91 a	0,53	109 b
Fonte de N			
Testemunha	4,70 ab	0,55 a	120
Inoculado	4,78 a	0,55 a	120
Uréia	4,30 b	0,49 b	112

Médias seguidas por letras iguais ou desprovidas de letra, dentro de uma mesma fonte de variação, não diferem pelo teste Tukey a 5%.

Os diferentes teores de P e Mo contidos nas sementes apresentaram comportamento semelhante nas diferentes doses de P aplicadas no solo (Figura 1). Plantas oriundas de sementes com alto teor de P e de Mo apresentaram maior produção de massa de parte aérea (Figura 1). Isto indica que o suprimento inicial de P e Mo via sementes é de extrema

importância para o estabelecimento e desenvolvimento das plantas de feijoeiro. Além disso, o maior teor de Mo nas sementes pode ter um efeito na enzima nitrato redutase, pois não havia nodulação, aumentando a assimilação do N absorvido do solo e o crescimento vegetal.

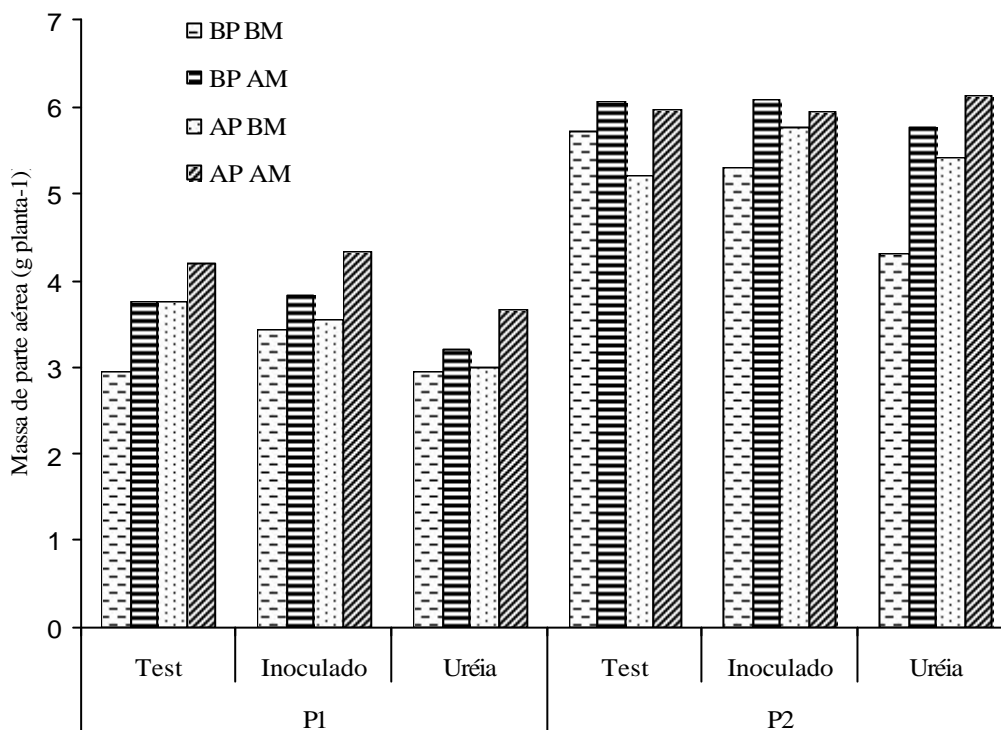


Figura 1. Massa seca de parte aérea de plantas de feijoeiro originadas de sementes com baixos e altos teores de P e Mo, sob três fontes de N, e sob duas doses de P aplicado ao solo, no estágio de floração. Teores de P na semente: BP baixo P, AP alto P, BM baixo Mo, AM alto Mo.

4.1.2 Segunda coleta

A análise de variância demonstra que houve efeito significativo das doses de P aplicadas no solo, dos níveis de enriquecimento de P e Mo das sementes, das fontes de N e das interações $P_{sol} \times N \times Sem$. Os coeficientes de variação foram baixos, exceto para massa de raiz na 2ª coleta (Tabela 13, Anexo). A maior dose de P aplicada no solo aumentou a massa de folhas senescentes, massa de grãos, massa de parte aérea, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e massa de cada grão, avaliados na maturação fisiológica, mas reduziu a massa de caule (Tabela 4). Isso demonstra que o adequado suprimento de P é fundamental para a obtenção de maior crescimento e rendimento na cultura do feijoeiro.

Plantas oriundas de sementes com alto P e alto Mo produziram mais massa de raiz, massa de caule e número de vagens por planta, avaliados na maturação fisiológica. Por outro lado, o número de grãos por vagem sofreu redução (Tabela 4). O fato de que as plantas originadas de sementes com alto P e alto Mo produzirem maior número de vagens evidencia que há um efeito na assimilação do N que estimula a produção de biomassa, pois não houve nodulação. Estes resultados confirmam aqueles obtidos na primeira coleta, onde os teores de P e Mo contidos nas sementes influenciaram a produção de biomassa de plantas de feijoeiro.

A aplicação de uréia reduziu a massa de parte aérea, massa de palhada das vagens, número de grãos por vagem e a massa de grãos (Tabela 4), confirmando que provavelmente

houve intensa mineralização da matéria orgânica liberando N para o sistema, causando um efeito tóxico da uréia e uma inibição da nodulação e da fixação biológica de nitrogênio.

Tabela 4. Massa de raiz, caule, folhas senescentes (na soma do período experimental após floração), de grãos e da palha da vagem, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e massa de cada grão, de plantas de feijoeiro no estágio de maturação fisiológica, em função de cada fonte de variação estudada (dose de P no solo, teor de P e Mo na semente, e fonte de N).

Fonte de variação	Massa de raiz (g planta ⁻¹)	Massa de caule (g planta ⁻¹)	Massa de folhas senescentes (g planta ⁻¹)	Massa de grãos (g planta ⁻¹)	Massa de palha da vagem (g planta ⁻¹)
Dose de P no solo					
20 mg P kg ⁻¹	0,75	2,31 a	4,27 b	1,59 b	1,14
80 mg P kg ⁻¹	0,88	2,11 b	4,60 a	5,28 a	2,72
Teor de P e Mo na semente					
Baixo P baixo Mo	0,67 b	2,04 b	4,30	3,62	1,80
Alto P alto Mo	0,95 a	2,38 a	4,57	3,25	2,05
Fonte de N					
Testemunha	0,90	2,09	4,24	3,94 a	2,04 a
Inoculado	0,84	2,28	4,49	4,17 a	2,20 a
Uréia	0,70	2,26	4,57	2,20 b	1,54 b
Fonte de variação	Massa de parte aérea (g planta ⁻¹)	Número de vagens por planta	Número de grãos por vagem	Massa de cada grão (mg)	
Dose de P no solo					
20 mg P kg ⁻¹	9,3 b	9,6 b	1,1 b	163 b	
80 mg P kg ⁻¹	14,7 a	12,3 a	1,8 a	243 a	
Teor de P e Mo na semente					
Baixo P baixo Mo	11,8	8,6 b	1,7 a	211	
Alto P alto Mo	12,2	13,3 a	1,2 b	195	
Fonte de N					
Testemunha	12,3 a	10,3	1,6 a	203	
Inoculado	13,1 a	11,2	1,8 a	202	
Uréia	10,6 b	11,5	0,9 b	204	

Letras comparam médias na coluna, dentro da mesma fonte de variação, pelo teste Tukey a 5%; a ausência de letras indica diferença não significativa.

4.2 Segundo Experimento

4.2.1 Acumulação de biomassa

A maior dose de P no solo aumentou a massa de folha, massa de caule, massa de parte aérea, massa de raiz, número de nódulos e massa de nódulos (Tabela 5). Resultados semelhantes foram verificados por ARAÚJO et al. (2002), onde o número e o peso de nódulos aumentaram com o incremento das doses de P no solo em três épocas avaliadas. TEIXEIRA et al. (1999) observaram que enquanto a massa seca de parte aérea aumentou no máximo 30% em alto nível de P no solo, a massa seca de nódulos teve incremento de 90%, confirmando que a nodulação é muito responsiva ao alto suprimento de P no solo (ISRAEL, 1987; ARAÚJO et al., 1998). Os tratamentos que receberam uréia como fonte de N apresentaram maior produção de massa de folha, massa de caule, massa de parte aérea e massa de raiz. Por outro lado, o número de nódulos nos tratamentos com uréia foi inferior à testemunha e ao tratamento inoculado, tanto em P1 como em P2 (Tabela 5), confirmando que a aplicação de N mineral inibe a nodulação. WESTERMANN et al. (1981) verificaram que a proporção de N obtida pela fixação biológica de N₂ decresceu curvilinearmente conforme aumentou o N disponível no solo. A massa dos nódulos não apresentou diferença significativa entre as fontes de N na maior dose de P aplicado ao solo (Tabela 5). A expressiva nodulação na testemunha confirma que o feijoeiro é um hospedeiro promíscuo com relação ao rizóbio, uma vez que uma grande diversidade de espécies podem formar associações mais ou menos eficientes com esta planta (STRALIOTTO & TEIXEIRA, 2000). Desta forma, as plantas que receberam P2 e uréia produziram menor número de nódulos, porém estes nódulos apresentaram maior peso, quando comparados aos nódulos produzidos por plantas que receberam P1, inoculação e a testemunha (Tabela 5).

Tabela 5. Massa de folha, caule, parte aérea, raiz e nódulos, e número de nódulos de plantas de feijoeiro aos 41 dias após emergência, crescidas sob duas doses de P aplicado ao solo (P1 e P2, respectivamente 0 e 80 mg P kg⁻¹) e sob três fontes de N (médias de dois níveis de P e de dois níveis de Mo na semente).

Fonte de N	P1	P2	Média	P1	P2	Média	P1	P2	Média
	Massa de folha (g planta ⁻¹)			Massa de caule (g planta ⁻¹)			Massa de parte aérea (g planta ⁻¹)		
Testemunha	1,99 b	3,72 b*	2,86 b	0,91 b	2,08 b*	1,49 b	2,90 b	5,80 b*	4,35 b
Inoculado	1,97 b	3,61 b*	2,79 b	0,96 b	1,92 b*	1,44 b	2,93 b	5,54 b*	4,23 b
Uréia	5,23 a	5,11 a	5,17 a	2,23 a	3,52 a*	2,88 a	7,46 a	8,63 a*	8,04 a
Média	3,06	4,15*		1,37	2,51*		4,42	6,65*	
	Massa de raiz (g planta ⁻¹)			Número de nódulos (planta ⁻¹)			Massa de nódulos (mg planta ⁻¹)		
Testemunha	0,92 b	1,24 b*	1,08 b	99 a	211 ab*	155 a	265 a	501 a*	383 a
Inoculado	1,00 b	1,06 b	1,03 b	145 a	233 a*	189 a	360 a	473 a*	416 a
Uréia	1,45 a	1,80 a*	1,62 a	27 b	148 b*	87 b	62 b	409 a*	236 b
Média	1,12	1,37*		90	198*		229	461*	

Letras comparam médias na coluna pelo teste Tukey a 5%.

* Diferença significativa entre doses de P pelo teste Tukey a 5%.

O alto teor de P na semente estimulou a produção de massa de parte aérea, com aumento da massa de folha e de caule aos 41 DAE (Tabela 6). Porém, este aumento só foi significativo nos tratamentos sem adição de N (testemunha). Estes resultados demonstram que o maior teor de P na semente estimulou o crescimento vegetativo do feijoeiro. Confirmam-se os resultados obtidos por TRIGO (1995) com soja, em casa de vegetação, e os de VIEIRA (1986), em experimento de campo, com feijão. Sementes de feijoeiro produzidas sob altas doses de fertilizante propiciaram maior número de plantas em condições adversas à germinação (VIEIRA, 1986). TEIXEIRA et al. (1999) observaram que plantas originadas de sementes com alto teor de P apresentaram incremento na massa seca de raiz, porém isso não foi observado no solo com alto nível de P. O maior crescimento do feijoeiro, proveniente de sementes com maior teor de P, pode impactar positivamente na produção de grãos, principalmente em solos com baixa disponibilidade deste nutriente, uma vez que a quantidade de P adicional contido na semente favorece o desenvolvimento da planta. SILVA et al. (2003) verificaram em condições de campo que o aumento de 1 mg g^{-1} de P no teor de P nas sementes promoveu um aumento de rendimento de grãos equivalente a 93 kg ha^{-1} no solo adubado, e a 61 kg ha^{-1} no solo não adubado com P. ARAÚJO et al. (2002) verificaram que plantas de feijoeiro originadas de sementes com alto teor de P são menos dependentes do suprimento de P de solo para produção de biomassa do que plantas oriundas de sementes com baixo P, confirmando observações de TEIXEIRA et al. (1999).

Plantas oriundas de sementes com maiores teores de P apresentaram maior número de nódulos e massa de nódulos, quando inoculadas e na testemunha (Tabela 6), indicando que o suprimento inicial e imediato de P à plântula é fundamental para o estabelecimento e desenvolvimento do nódulo bacteriano. Resultados semelhantes foram verificados por TEIXEIRA et al. (1999), onde em níveis baixos de P no solo, plantas originadas de sementes com alto teor de P apresentaram incremento de 128 e 235% no número e massa de nódulos respectivamente, quando comparadas com plantas originadas de sementes com baixo teor de P.

Plantas originadas de sementes que continham maior teor de Mo apresentaram redução na massa de folha no tratamento que recebeu uréia como fonte de N, mas esta redução não foi significativa na massa de parte aérea (Tabela 6). Isto pode indicar que o baixo teor de Mo contido na semente foi suficiente para estimular a assimilação de N pelas plantas até a taxa máxima com o suprimento adicional de N mineral disponível. Desta forma o maior teor de Mo das sementes não teve efeito, pois provavelmente nas condições em que se encontravam as plantas, outras limitações restringiram a utilização do Mo. O maior teor de Mo contido nas sementes ocasionou uma maior produção de massa de caule, isto para as plantas que não receberam N (Tabela 6). Neste caso como não havia suprimento adicional de N mineral, as plantas provavelmente maximizaram a assimilação de N utilizando o maior teor de Mo contido nas sementes.

A massa de raiz apresentou interação tripla N x Psem x Msem significativa (Tabela 13, Anexo). Os maiores teores de P e Mo contido nas sementes associado ao fornecimento de N através da uréia aumentaram a massa de raízes e estimularam o desenvolvimento do sistema radicular (Tabela 6). Este resultado demonstra que além do P e do N, um suprimento adequado de Mo associado a estes elementos é fundamental para a produção de biomassa do sistema radicular, conseqüentemente favorecendo o desenvolvimento das plantas de feijoeiro.

Tabela 6. Massa de folha, caule, parte aérea, raiz e nódulos, e número de nódulos de plantas de feijoeiro aos 41 dias após emergência, originadas de sementes com baixo e altos teores de P e Mo, sob três fontes de N (médias de duas doses de P aplicado ao solo).

	Testemunha			Inoculado			Uréia		
	Baixo Mo	Alto Mo	Média	Baixo Mo	Alto Mo	Média	Baixo Mo	Alto Mo	Média
Massa de folha (g planta ⁻¹)									
Baixo P	2,49 b	3,03	2,76	2,72	2,65	2,68	5,55 A	4,82 B	5,18
Alto P	3,18 a	2,73	2,95	2,87	2,93	2,90	5,09	5,22	5,15
Média	2,84	2,88		2,79	2,79		5,32	5,02	
Massa de caule (g planta ⁻¹)									
Baixo P	1,24 bB	1,64 A	1,44	1,40	1,28	1,34	2,93	2,84	2,88
Alto P	1,72 a	1,40	1,54	1,49	1,59	1,54	2,79	2,95	2,87
Média	1,48	1,52		1,45	1,44		2,86	2,89	
Massa de parte aérea (g planta ⁻¹)									
Baixo P	3,73 b	4,67	4,20	4,12	3,93	4,03	8,47	7,65	8,06
Alto P	4,87 a	4,13	4,50	4,36	4,52	4,44	7,88	8,17	8,02
Média	4,30	4,40		4,24	4,23		8,17	7,91	
Massa de raiz (g planta ⁻¹)									
Baixo P	0,90	1,19	1,04	0,89	0,97	0,93	1,71	1,41 b	1,56
Alto P	1,17	1,08	1,12	1,07	1,20	1,13	1,48 B	1,89 aA	1,68
Média	1,03	1,13		0,98	1,08		1,60	1,65	
Número de nódulos (planta ⁻¹)									
Baixo P	103 b	147	125 b	157	127 b	142 b	104	70	87
Alto P	194 a	176	185 a	214	258 a	236 a	83	93	88
Média	149	162		185	193		93	82	
Massa de nódulos (mg planta ⁻¹)									
Baixo P	281 b	350	316 b	373	249 b	311 b	306	120	213
Alto P	479 a	422	450 a	463	580 a	522 a	225	292	258
Média	380	386		418	415		266	206	

Letras minúsculas comparam níveis de P na semente (na coluna), e letras maiúsculas níveis de Mo na semente (na linha) pelo teste Tukey a 5%; a ausência de letra indica diferença não significativa.

A análise de variância indicou significância da interação quádrupla (P do solo x fonte de N x teor de P x teor de Mo) para a massa de nódulos, indicando as respostas complexas da nodulação do feijoeiro ao suprimento de nutrientes (Tabela 13, Anexo). Na maior dose de P no solo, o maior teor de Mo das sementes diminuiu a massa de nódulos em plantas que receberam inoculação ou uréia (Figura 2). Resultados semelhantes foram observados por CHAGAS et al. (2006), onde sementes com maior teor de Mo promoveram uma diminuição significativa da massa de nódulos aos 32 DAE em condições de campo, e por KUBOTA (2006), que verificou que o maior teor de Mo nas sementes reduziu o número de nódulos na cultivar Carioca aos 30 DAE, e nas cultivares Carioca e Manteigão aos 45 DAE. De forma geral, houve pouco efeito dos teores de Mo das sementes sobre o crescimento das plantas, isso ocorreu porque provavelmente o solo utilizado no ensaio continha quantidades relevantes de Mo. Parece que o Mo diminui a nodulação, indicando que o seu efeito não seria na enzima nitrogenase e sim na redutase do nitrato. Plantas originadas de sementes com alto teor de P produziram maior massa de nódulos em condições de alto teor de P no solo mesmo quando houve adição de uréia (Figura 2). Isto demonstra que sistemas que utilizem N mineral também podem se tornar mais eficientes, utilizando-se sementes com maiores teores de P.

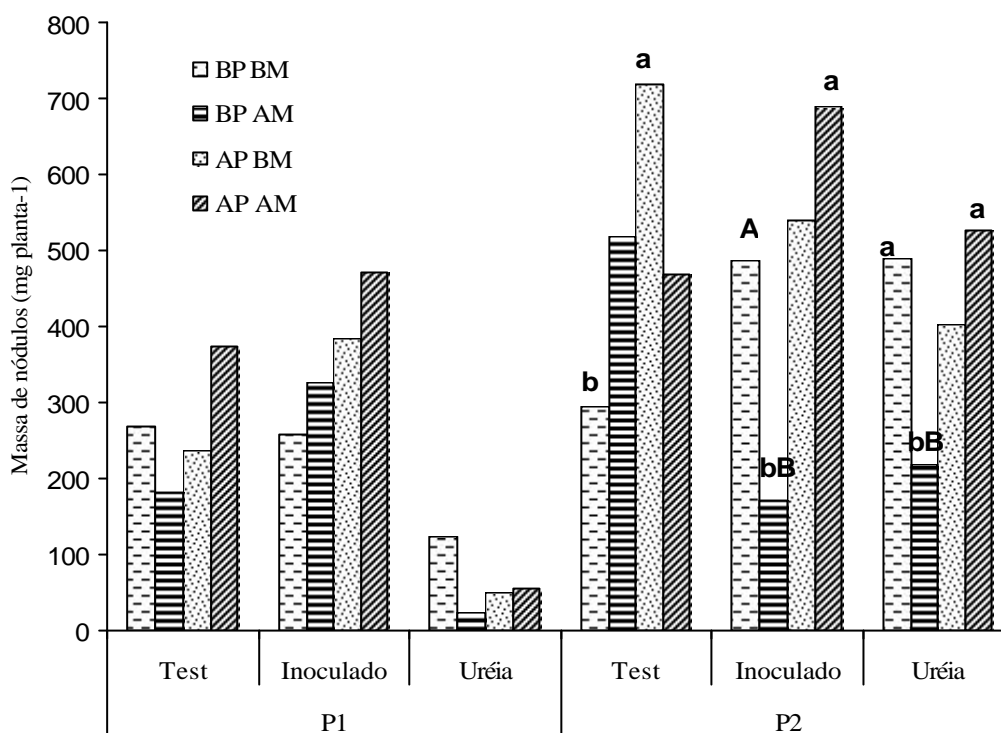


Figura 2. Massa de nódulos de plantas de feijoeiro aos 41 dias após emergência, originadas de sementes com baixos e altos teores de P e Mo, sob três fontes de N e duas doses de P aplicado ao solo (P1 e P2, respectivamente 0 e 80 mg P kg⁻¹) (médias de quatro repetições). Teores de P e Mo na semente: BP baixo P, AP alto P, BM baixo Mo, AM alto Mo. Letras minúsculas comparam níveis de P na semente, e letras maiúsculas níveis de Mo na semente, pelo teste Tukey a 5%; a ausência de letra indica diferença não significativa.

4.2.2 Acumulação de N

Houve diferença significativa nos teores de N nos tecidos vegetais avaliados aos 41 dias após emergência. A uréia reduziu o teor de N nas folhas em P2 (Tabela 7). Neste caso ocorreu efeito de diluição, pois com o maior suprimento de N e P as plantas apresentaram maior crescimento (Tabela 5). As diferentes fontes de N não afetaram o teor de N no caule (Tabela 7), indicando que os tecidos vegetais que constituem o caule do feijoeiro apresentam baixo teor de N, pois o suprimento adicional de N não aumentou o teor do elemento no caule. As doses de P não afetaram o teor de N nos diferentes tecidos vegetais (Tabela 7), isto ocorreu também em consequência de efeito de diluição devido ao maior crescimento das plantas que receberam a maior dose de P no solo.

Plantas que receberam uréia como fonte de N não diferiram na acumulação de N em P1 e P2 (Tabela 7), indicando que o suprimento de N mineral permitiu a acumulação de quantidades de N equivalentes sob diferentes suprimentos de P no solo. A uréia promoveu redução da acumulação de N nos nódulos (Tabela 7), confirmando que a adição de N mineral interfere no processo de nodulação. SIQUEIRA & FRANCO (1988) e MERCANTE et al. (1992) observaram que pequenas doses de N podem incrementar a nodulação, enquanto a alta disponibilidade de N não a favorece.

Tabela 7. Teor de N nas folhas, caules, raízes e nódulos, e conteúdo de N nas folhas, caules, parte aérea, raízes, nódulos e em toda a planta, de plantas de feijoeiro aos 41 dias após emergência, crescidas sob duas doses de P aplicado ao solo (P1 e P2, respectivamente 0 e 80 mg P kg⁻¹) e sob três fontes de N (médias de dois níveis de P e de dois níveis de Mo na semente).

Fonte de N	P1	P2	Média	P1	P2	Média
Teor de N na folha (mg N g ⁻¹)			Teor de N no caule (mg N g ⁻¹)			
Testemunha	21,2 a	19,2 ab	20,2 ab	11,7 a	11,3 a	11,5 a
Inoculado	22,4 a	22,7 a	22,5 a	11,0 a	11,9 a	11,5 a
Uréia	18,6 a	17,3 b	18,0 b	11,6 a	10,8 a	11,2 a
Média	20,7	19,8		11,4	11,3	
Teor de N na raiz (mg N g ⁻¹)			Teor de N no nódulo (mg N g ⁻¹)			
Testemunha	20,8 b	21,4 a	21,1 b	35,5 b	39,1 a	37,3 b
Inoculado	21,9 ab	22,1 a	22,0 ab	39,1 ab	40,1 a	39,6 ab
Uréia	24,6 a	23,5 a	24,1 a	43,1 a	41,6 a	42,3 a
Média	22,5	22,4		39,2	40,3	
Conteúdo de N na folha (mg N planta ⁻¹)			Conteúdo de N no caule (mg N planta ⁻¹)			
Testemunha	43 b	71 b*	57 b	11 b	23 b*	17 b
Inoculado	45 b	82 ab*	64 b	11 b	23 b*	17 b
Uréia	98 a	88 a	93 a	25 a	37 a*	31 a
Média	62	81*		15	28*	
Conteúdo de N na raiz (mg N planta ⁻¹)			Conteúdo de N no nódulo (mg N planta ⁻¹)			
Testemunha	19 b	26 b*	23 b	9,3 a	19,1 a*	14,2 ab
Inoculado	22 b	23 b	23 b	13,5 a	18,6 a	16,0 a
Uréia	35 a	41 a*	38 a	2,6 b	17,1 a*	9,8 b
Média	25	30*		8,5	18,2	
Conteúdo de N na parte aérea (mg N planta ⁻¹)			Conteúdo de N total (mg N planta ⁻¹)			
Testemunha	54 b	95 b*	74 b	82 b	140 b*	111 b
Inoculado	56 b	105 b*	80 b	91 b	147 b*	119 b
Uréia	123 a	126 a	125 a	161 a	184 a*	172 a
Média	78	109*		111	157*	

Letras comparam médias na coluna pelo teste Tukey a 5%.

* Diferença significativa entre doses de P pelo teste Tukey a 5%.

O maior teor de P da semente aumentou o teor de N nas folhas, e o conteúdo de N nas folhas, parte aérea e conteúdo total, mas este efeito só foi significativo com o alto Mo da semente (Tabela 8). ARAÚJO et al. (2002) verificaram que o alto teor de P da semente aumentou o teor de N na parte aérea de plantas de feijoeiro aos 20 DAE. SILVA et al. (2003) observaram que o Índice de Área Foliar medido por ocasião do florescimento aumentou exponencialmente em função do teor de P da semente, tanto na presença como na ausência da adubação fosfatada. Esses resultados demonstram a importância do teor de P da semente para o desenvolvimento vegetativo da cultura.

Em contra partida, o maior teor de Mo da semente reduziu o teor de N na folha, e o conteúdo de N nas folhas, parte aérea e conteúdo total, mas este efeito foi mais pronunciado no baixo P da semente. Apesar da redução da acumulação de N na parte aérea de plantas oriundas de sementes com alto Mo, não houve redução na biomassa de parte aérea (Tabela 6), ou seja, houve um efeito de diluição do N. Esta seria uma indicação de um efeito do Mo

causando maior atividade da nitrato redutase, aumentando a assimilação do N e reduzindo a absorção de N do solo.

Tabela 8. Teor de N nas folhas, caules, raízes e nódulos, e conteúdo de N nas folhas, caules, parte aérea, raízes, nódulos e em toda a planta, de plantas de feijoeiro aos 41 dias após emergência, originadas de sementes com baixos e altos teores de P e Mo (médias de duas doses de P aplicado ao solo e três fontes de N).

	Baixo Mo	Alto Mo	Média	Baixo Mo	Alto Mo	Média
	Teor de N na folha (mg N g ⁻¹)			Teor de N no caule (mg N g ⁻¹)		
Baixo P	21,9 A	16,8 bB	19,3	12,0 A	10,5 B	11,2
Alto P	21,4	20,9 a	21,2	12,3 A	10,8 B	11,6
Média	21,7 A	18,8 B		12,1 A	10,7 B	
	Teor de N na raiz (mg N g ⁻¹)			Teor de N no nódulo (mg N g ⁻¹)		
Baixo P	22,9	22,5	22,7	39,7	38,0	38,8
Alto P	22,2	22,1	22,1	41,7	39,7	40,7
Média	22,5	22,3		40,7	38,8	
	Conteúdo de N na folha (mg N planta ⁻¹)			Conteúdo de N no caule (mg N planta ⁻¹)		
Baixo P	75 A	57 bB	66 b	21,6	20,1	20,9
Alto P	79	74 a	77 a	24,0	20,9	22,5
Média	77 A	66 B		22,8	20,5	
	Conteúdo de N na raiz (mg N planta ⁻¹)			Conteúdo de N no nódulo (mg N planta ⁻¹)		
Baixo P	27	27	27	13,0	8,8	10,9 b
Alto P	28	30	29	15,1	16,4	15,8 a
Média	27	28		14,0	12,6	
	Conteúdo de N na parte aérea (mg N planta ⁻¹)			Conteúdo de N total (mg N planta ⁻¹)		
Baixo P	97 A	77 bB	87 b	137 A	113 bB	125 b
Alto P	103	95 a	99 a	146	141 a	143 a
Média	100 A	86 B		141 A	127 B	

Letras minúsculas comparam níveis de P na semente (na coluna), e letras maiúsculas níveis de Mo na semente (na linha) pelo teste Tukey a 5%; a ausência de letra indica diferença não significativa.

Os maiores teores de Mo contidos nas sementes diminuíram o conteúdo de N total nas plantas, porém este efeito foi mais pronunciado no baixo P da semente (Figura 3). Aparentemente o Mo aumenta a atividade da nitrato redutase, com isso a planta assimila mais N oriundo do solo e em consequência disto poderia ocorrer uma inibição da FBN. FERREIRA et al. (2003) verificaram que o conteúdo de molibdênio nas sementes não afetou significativamente os teores de N orgânico e N-NO₃⁻ na matéria seca das folhas do feijoeiro. Em contra partida, o maior teor de P das sementes aumentou significativamente o conteúdo de N total das plantas inoculadas e na testemunha na maior dose de P (Figura 3), indicando que o P da semente aumenta a FBN.

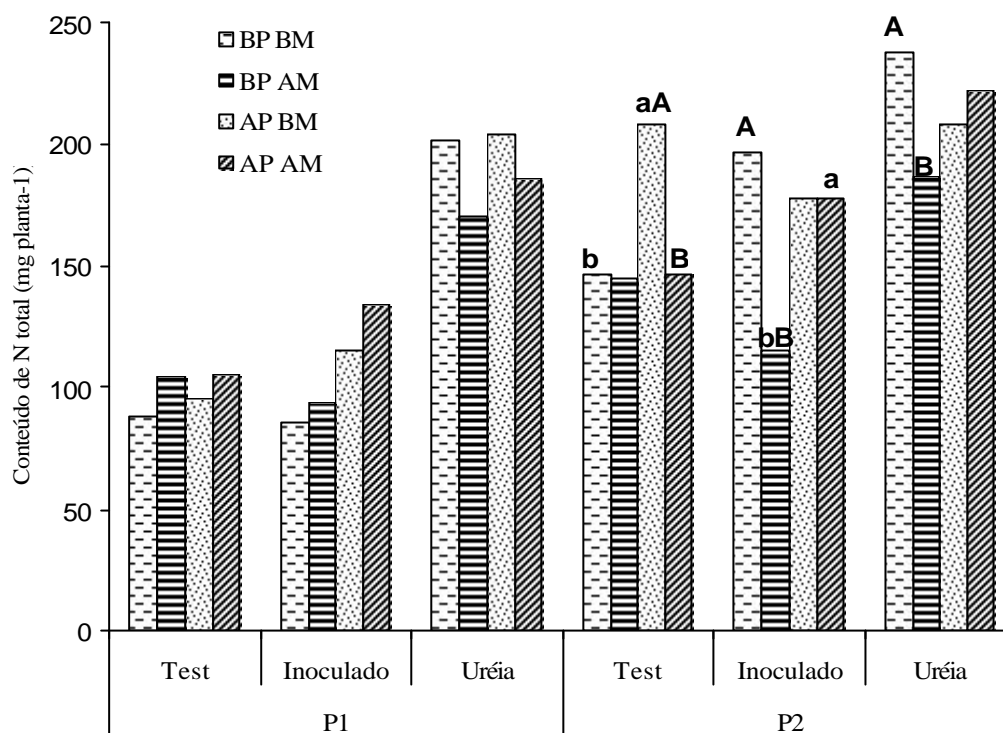


Figura 3. Conteúdo de N total de plantas de feijoeiro aos 41 dias após emergência, originadas de sementes com baixos e altos teores de P e Mo, sob três fontes de N e duas doses de P aplicado ao solo (P1 e P2, respectivamente 0 e 80 mg P kg⁻¹) (médias de quatro repetições). Teores de P e Mo na semente: BP baixo P, AP alto P, BM baixo Mo, AM alto Mo. Letras minúsculas comparam níveis de P na semente, e letras maiúsculas níveis de Mo na semente, pelo teste Tukey a 5%; a ausência de letra indica diferença não significativa.

4.2.3 Diluição isotópica de ¹⁵N

Como as folhas acumularam 53% do N contido nas plantas de feijoeiro (Tabela 7), as análises de ¹⁵N foram efetuadas somente na folha, assumindo-se que este compartimento representa a acumulação de N de toda a planta neste estágio de crescimento. Houve efeito significativo dos tratamentos na contribuição da FBN para o total de N acumulado pelas folhas, estimada pela diluição isotópica de ¹⁵N (Tabela 17, Anexo).

A fonte de N afetou significativamente a FBN (Tabela 9): o tratamento inoculado com a estirpe selecionada apresentou uma contribuição da fixação biológica de N de 68,7%, enquanto que a testemunha este valor foi 63,9%. RENNIE & KEMP (1983), utilizando a técnica da diluição isotópica de ¹⁵N, observaram em experimento de campo, uma contribuição da fixação biológica de N de 51,8% de média em cultivares de feijoeiro que receberam 10 kg N ha⁻¹, enquanto que para a dose 40 kg N ha⁻¹ a contribuição da fixação biológica de N reduziu para 40,7%. HARDARSON et al. (1993) obtiveram grandes diferenças em valores de fixação de nitrogênio, sendo observado dentre seus experimentos valores médios de 35% de N derivado da atmosfera e valores de até 70% de N derivado da atmosfera. Estas diferenças refletem a sensibilidade do *Rhizobium* que realiza simbiose com feijão para muitos fatores ambientais que pode estar aumentando ou reduzindo o efeito da fixação do N₂ (HARDARSON et al. 1993).

O P do solo aumentou a contribuição da FBN (Tabela 9), confirmando que o suprimento adequado deste elemento é fundamental para que a simbiose leguminosa - rizóbio forneça quantidades significativas de N para a planta de feijoeiro. Os tratamentos que receberam a maior dose de P no solo apresentaram em média uma contribuição da fixação biológica de N de 77,1% (Tabela 9). Valores semelhantes foram verificados por HARDARSON et al. (1993), onde em um experimento realizado no verão de 1989 o maior valor da contribuição da FBN observado foi de 71%, o que corresponde a 107 kg N ha⁻¹.

Estes dados demonstram que a inoculação de estirpes eficientes aliada ao suprimento de P do solo é de fundamental importância para que a FBN em feijoeiro possa fornecer quantidades satisfatórias de N às plantas.

Tabela 9. Contribuição da fixação biológica de N (em %), em relação ao total de N acumulado nas folhas, estimada pela diluição isotópica de ¹⁵N, de plantas de feijoeiro aos 41 dias após emergência, crescidas sob duas doses de P aplicado ao solo (P1 e P2, respectivamente 0 e 80 mg P kg⁻¹) e sob duas fontes de N (médias de dois níveis de P e de dois níveis de Mo na semente).

	P1	P2	Média
Testemunha	52,3	75,5*	63,9 b
Inoculado	58,9	78,6*	68,7 a
Média	55,6	77,1*	

Letras comparam médias na coluna pelo teste Tukey a 5%

* Diferença significativa entre doses de P pelo teste Tukey a 5%

O P da semente aumentou a contribuição da FBN, mas apenas no baixo P do solo e no tratamento inoculado (Tabela 10). TEIXEIRA et al. (1999) verificaram em experimento em casa de vegetação que plantas de feijoeiro originadas de sementes com alta concentração de P tiveram incremento da atividade da nitrogenase em raízes. Isto indica que o uso de sementes de feijoeiro com maiores teores de P, associado à inoculação com estirpes selecionadas, é uma alternativa para aumentar o suprimento de N em plantas de feijoeiro via FBN, principalmente em solos com baixos e médios teores de P disponíveis, como na maioria dos solos brasileiros.

O Mo da semente aumentou a contribuição da FBN, mas apenas na testemunha (Tabela 10). Isto provavelmente ocorreu, pois no tratamento inoculado, com a estirpe eficiente e maior contribuição da FBN, o Mo da semente não teve efeito significativo. Na verdade o maior teor de Mo da semente reduziu a acumulação de N (Tabela 8). Já na testemunha, com menor FBN das estirpes existentes no substrato, o Mo pode ter causado estímulo a FBN.

Tabela 10. Contribuição da fixação biológica de N (em %), em relação ao total de N acumulado nas folhas, estimada pela diluição isotópica de ^{15}N , de plantas de feijoeiro aos 41 dias após emergência, originadas de sementes com baixos e altos teores de P e Mo, crescidas sob duas doses de P aplicado ao solo (P1 e P2, respectivamente 0 e 80 mg P kg^{-1}) e sob duas fontes de N (médias de 4 repetições).

	Testemunha			Inoculado		
	Baixo Mo	Alto Mo	Média	Baixo Mo	Alto Mo	Média
0 mg P kg^{-1}						
Baixo P	41,5 B	59,3 A	50,4	46,0 b	50,9 b	48,4 b
Alto P	51,2	57,1	54,1	67,8 a	70,9 a	69,4 a
Média	46,4 B	58,2 A		56,9	60,9	
80 mg P kg^{-1}						
Baixo P	77,3	77,8	77,6	79,9	75,4	77,6
Alto P	76,1	70,9	73,5	81,2	78,0	79,6
Média	76,7	74,4		80,5	76,7	

Letras minúsculas comparam níveis de P na semente (na coluna), e letras maiúsculas níveis de Mo na semente (na linha) pelo teste Tukey a 5%; a ausência de letra indica diferença não significativa

5. CONCLUSÕES

Plantas originadas de sementes com maiores teores de P acumularam mais N, produziram maior número e massa de nódulos e apresentaram maior massa de parte aérea.

Sementes com maiores teores de P originaram plantas com maior contribuição da fixação biológica de N, estimada pela técnica da diluição isotópica de ^{15}N , porém este efeito ocorreu em condições de baixa disponibilidade de P no solo e com inoculação.

Os maiores teores de Mo contidos nas sementes apresentaram poucos efeitos, visto a complexidade das interações deste elemento com a fixação biológica de N.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEN, Agência Estadual de Notícias. Paraná se torna o maior produtor de feijão do país - 10/08/2006. Disponível em <www.aenoticias.pr.gov.br>. Acessado em 22 /06/2008.
- AL-NIEMI, T. S.; KAHN, M. L.; McDERMOTT, T. R. P. Metabolism in the bean-*Rhizobium tropici* symbiosis. **Plant Physiology**, Rockville, v. 113, n. 4, p. 1233-1242, 1997.
- ANDRIOLO, J.; PEREIRA, P.A.A.; HENSON, R.A. Variabilidade entre linhas de formas silvestres de *Phaseolus vulgaris* quanto a características relacionadas com a fixação biológica de N₂. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, p. 831-837, 1994.
- APP, A.; SANTIAGO, T.; DAEZ, T.; MENGUITO, C.; VENTURA, W.; TIROL A.; PO. J.; WATANABE. I.; DE DATTA, S.K.; ROGER, P. Estimation of the nitrogen balance for irrigated rice and the contribution of phototrophic nitrogen fixation. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 9, p. 17-27, 1984.
- 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**, Dordrecht, v. 203, n. 2, p. 173-182, 1998.
- ARAÚJO, A. P.; TEIXEIRA, M.G. Ontogenetic variations on absorption and utilization of phosphorus in common bean cultivars under biological nitrogen fixation. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 225, p. 1-10, 2000.
- 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**, Viçosa, v. 26, p. 183-189, 2002.
- ARAÚJO, A.P.; MACHADO, C.A.T. Fósforo. In: Fernandes, M.S. (ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.253-280.
- 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**, Brasília, v.35, n.4, p.809-817, 2000.
- BODDEY, R.M.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S. Quantificação da fixação biológica de nitrogênio associada a plantas utilizando o isótopo ¹⁵N. In: HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R.S. (Ed.). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: Embrapa-CNPAF, 1994. p. 471-494.
- BRODRICK, S. J.; AMIJEE, F.; KIPE-NOLT, J. A.; GILLER, K. E. Seed analysis as a means of identifying micronutrient deficiencies of *Phaseolus vulgaris* L. in the tropics. **Tropical Agriculture**, Trinidad, v. 72, p. 277-284, 1995.
- BRODRICK, S. J.; GILLER, K. E. Root nodules of *Phaseolus*: efficient scavengers of molybdenum for N₂-fixation. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 42, p. 679-686, 1991.

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**, Berlin, v. 13, p. 39-44, 1992.

CAMPO, R. J. ; HUNGRIA, M. Importância dos micronutrientes na fixação biológica do N₂. Informações Agronômicas nº. 98 – junho/2002. Disponível em: <<http://www.ipni.org.br/ppiweb/brazil>>. Acessado em 28/06/08.

CARVALHO, N. M.& NAKAGAWA, J. **Sementes: Ciência, Tecnologia e Produção**. 3 ed. Campinas: Fundação Cargill, 1988. 424p.

CHAGAS, E.; SILVA, L. F.; ARAÚJO, A.P.; TEIXEIRA, M. G. Efeito dos teores de fósforo e molibdênio em sementes no crescimento e nodulação do feijoeiro em condições de campo. Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 27., Bonito - MS, 2006. **Anais...** Bonito: SBCS/EMBRAPA-CPAO, 2006.

CHAUDHARY, M. I.; FUJITA, K. Comparison of phosphorus deficiency effects on the growth parameters of mashbean, mungbean, and soybean. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 44, n. 1, p. 19-30, 1998.

CONAB. Previsão e acompanhamento da safra 2004/2005: quarto levantamento, abril/2005. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acessado em 05/04/2008.

DÖBEREINER, J. Avanços recentes na pesquisa em fixação biológica de nitrogênio no Brasil. Estudos. Avançados. v.4 n.8 São Paulo, 1990. Disponível em <www.scielo.br/scielo>. Acessado em 20/06/08.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B. Adubação fosfatada para o feijoeiro em solo de várzea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 2, p. 124-127, 1998.

FERREIRA, A.C. de B.; ARAÚJO, G.A. de A.; CARDOSO, A.A.; FONTES, P.C.R.; VIEIRA, C. Características agronômicas do feijoeiro em função do molibdênio contido na semente e da sua aplicação via foliar. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 1, p. 65-72, 2003.

FRANCO, A.A.; DAY, J.M. Effect of lime and molybdenum on nodulation and nitrogen fixation of *Phaseolus vulgaris* L. in acid soils of Brazil. **Turrialba**, Costa Rica, v.30, p.99-105, 1990.

FRANCO, A. A.& MUNNS, D.N. Response of *Phaseolus vulgaris* L. to molybdenum under acid conditions. **Soil Science Society American Journal**. 45:1144-1148, 1981.

FIBGE. **Censo Agropecuário 1995**. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 2000.

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**, Victoria, v. 20, p. 63-71, 1980.

GOMES, F. T.; PEREIRA G. D.; BORGES A. C.; MOSQUIM, P. R.; FONTES, P. C. R. Fixação do nitrogênio em alfafa noduladas sob supressão e ressuprimento de fósforo **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, nº. 6, 2002.

GRAHAM, P.H.; ROSAS, J.C. Phosphorus fertilization and symbiotic nitrogen fixation in common bean. **Agronomy Journal**, 71: 925-926, 1979.

HARDARSON, G.; BLISS, F.A.; CIGALES-RIVERO, M.R.; HENSON, R.A.; KIPE-NOLT, J.A.; LONGERI, L.; MANRIQUE, A.; PEÑA-CABRIALES, J.J.; PEREIRA, P.A.A.; SANABRIA, C.A.; TSAI, S.M. Genotypic variation in biological nitrogen fixation by common bean. **Plant and Soil**, 152: 59-70, 1993.

HARDY, R. W. H.; BURNS, R. C.; HOLSTEN, R. D. Applications of the acetylene assay for measurement of nitrogen fixation. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 5, p. 47-81, 1973.

HERRIDGE, D.F.; O'CONNELL, P.; DONNELLY, K. The xylem ureide assay of nitrogen fixation: sampling procedures and sources of error. **Journal of Experimental Botany**, v 39, p. 12-22, 1988.

ISRAEL, D. W. Investigation of the role of phosphorus in symbiotic dinitrogen fixation. **Plant Physiology**, Rockville, v. 84, p. 835-840, 1987.

JACOB-NETO, J. **Variação estacional, concentração e níveis crítico de molibdênio nos nódulos de feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.)**. 1985. 145 f. Tese (Mestrado em Agronomia)-UFRuralRJ, Seropédica, RJ.

JACOB-NETO, J.; FRANCO, A. A. **Adubação de molibdênio em feijoeiro**. Seropédica: EMBRAPA-UAPNPBS, 1986. 4 p. (EMBRAPA-UAPNPBS. Comunicado Técnico, 12).

JACOB-NETO, J. & FRANCO, A. A. Determinação do nível crítico de Mo nos nódulos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Turrialba**, 39(2):215-223, 1989.

JOHANNES, E.; GUNARTO, L. Nodulation and uptake of nitrogen and phosphorus by soybean inoculated with four strains of *Bradyrhizobium japonicum* and applied with phosphorus, molybdenum and copper. **Philippine Agriculturist**, Laguna, v. 70, p. 193-201, 1987.

JORDAN, D.C. Family III. Rhizobiaceae. In: KRIEG, N.R. & HOLT, J.G. eds. **Bergey's manual of systematic bacteriology**. The Williams & Wilkins Co., Baltimore, v.1, p.234-242, 1984.

KIPE-NOLT, J.A.; VARGAS, H.; GILLER, K.E. Nitrogen fixation in breeding lines of *Phaseolus vulgaris* L. **Plant and Soil**. Dordrecht, v. 152, p. 103-106, 1993.

KUBOTA, F.Y. **Aumento dos teores de fósforo e de molibdênio em sementes de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) via adubação foliar**. Seropédica: UFRRJ, 2006. 61p. (Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo).

KUMARASINGHE, K.S.; DANSO, S.K.A.; ZAPATA, F. Field evaluation of N₂ fixation and N partitioning in climbing bean (*Phaseolus vulgaris* L.) using ¹⁵N. **Biology and Fertility of Soils**, 13: 142-146, 1992.

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. 201 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic, 1995. 889p.

MARTENS, D. C.; WESTERMANN, D. T. Fertilizers applications for correcting micronutrient deficiencies. In: MORTVEDT, J. J.; COX, F. R.; SHUMAN, L. M.; WELCH, R. M. (Ed.). Fertilizers applications for correcting micronutrient deficiencies: micronutrients in agriculture. 2. ed. Madison: **Soil Science Society of America**, 1991. p. 549-592.

MARTÍNEZ-ROMERO, E.; SEGOVIA, E.; MERCANTE, F.M.; FRANCO, A.A.; RAHAM, P.H. & PARDO, M.A. Rhizobium tropici, a novel species nodulating Phaseolus vulgaris L. beans and Leucaena sp. trees. **Inter. J. Syst. Bacteriol.**, 41:417-426, 1991.

MERCANTE, F. M. **Uso de inoculante garante economia de US\$ 3 bilhões**. Informativo Grupo Bio Soja. ANO II, n 04, outubro de 2006. Disponível em <www.biosoja.com.br>. Acessado em 19/06/08.

MERCANTE, F.M.; STRALIOTTO, R.; DUQUE, F.F.; FRANCO, A.A. **A inoculação do feijoeiro comum com rizóbio**. Seropédica: Embrapa-CNPBS, 1992. 8p. (Embrapa-CNPBS. Comunicado técnico, 10).

MEURER, E. J.; RHENHEIMER, D.; BISSANI, C. A. Fenômeno de sorção em solos. In: MEURER, J. E. (Ed.). **Fundamentos de química do solo**. 2. ed. Porto Alegre: Gênese, 2004. p. 131-179.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV/DPS, 1999. 399 p.

OTHMAN, W. M. W.; LIE, T. A.; MANNETJE, L.'t; WASSINK, G. Y. Low level phosphorus supply affecting nodulation, N₂ fixation and growth of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 135, p. 67-74, 1991.

PARRA, M. S.; MIRANDA, G. M. Uso de fertilizantes na cultura do feijoeiro. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Uso de fertilizantes na agricultura**. Londrina: IAPAR, 1980. p. 55-60. (IAPAR, Circular, 16).

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**, Dordrecht, v.104, p.79-84, 1987.

PIERZINSKY, G.M., CROUCH, S.R., JACOBS, L.W. Use of direct current plasma spectrometry for the determination of molybdenum in plant tissue digests and soil extracts. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v 17, p. 419-428, 1986.

RENNIE, R.J.; KEMP, G.A. N₂-fixation in field beans quantified by ¹⁵N isotope dilution. I. Effect of strains of *Rhizobium phaseoli*. **Agronomy Journal**, Madison, 75: 640-644, 1983.

REISENAUER, H. M. Relative efficiency of seed and soil applied molybdenum fertilizer. **Agronomy Journal**, Madison, v. 55, p. 459- 460, 1963.

RIBET, J.; DREVON, J. J. Phosphorus deficiency increases the acetylene-induced decline in nitrogenase activity in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 46, n. 291, p. 1479-1486, 1995.

ROBSON, A. D.; O'HARA, G. W.; ABBOTT, L. K. Involvement of phosphorus in nitrogen fixation by subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.). **Australian Journal of Plant Physiology**, Victoria, v. 8, p. 427-436, 1981.

ROSAS, J. C.; BLISS, F. A. Host-plant traits associated with estimates of nodulation and nitrogen fixation in common bean. **HortScience**, Alexandria, v. 21, p. 287-289, 1986.

SA, T. M.; ISRAEL, D. W. Energy status and functioning of phosphorus-deficient soybean nodules. **Plant Physiology**, Rockville, v. 97, p. 928-935, 1991.

SA, T. M.; ISRAEL, D. W. Nitrogen assimilation in nitrogen-fixing soybean plants during phosphorus deficiency. **Crop Science**, Madison, v. 35, n. 3, p. 814-820, 1995.

SANTOS, O. S. Molibdênio. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. (Ed.). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. p. 191-217.

SEGOVIA, L.; YOUNG, J.P.W.; MARTÍNEZ-ROMERO, E. Reclassification of american *Rhizobium leguminosarum* biovar phaseoli type I strains as *Rhizobium etli* sp. nov. **International Journal Systematic Bacteriology**, Washington, v.43, p. 374-377, 1993.

SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M.; NEPOMUCENO, A. L.; OLIVEIRA, M. C. N. Eficácia de produtos contendo micronutrientes, aplicados via semente, sobre produtividade e teores de proteína da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 41-45, 1997.

SHERRELL, C. G. Effect of molybdenum concentration in the seed on the response of pasture legumes to molybdenum. **New Zealand Journal of Agriculture Research**, Wellington, v. 27, p. 417-423, 1984.

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 Agrociência**, v. 9, n. 3, p. 247-250, 2003.

SINGLETON, P. W.; ABDELMAGID, H. M.; TAVARES, J. W. Effect of phosphorus on the effectiveness of strains of *Rhizobium japonicum*. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 49, p. 613-616, 1985.

SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. **Biotecnologia do solo**: fundamentos e perspectivas. São Paulo: Nagy, 1988. 236p.

STRALIOTTO, R. Cultivo do feijoeiro comum: fixação biológica de nitrogênio. Embrapa - Arroz e Feijão, 2003. **Sistemas de Produção 2**. Disponível em < www.cnpaf.embrapa.br >. Acessado em 20/06/08.

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. **A Variabilidade genética do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.L): aplicações nos estudos das interações simbióticas e patogênicas**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2000. 59 p. (Embrapa- Agrobiologia. Documentos, 126).

TANNER, P. D. The effect of molybdenum on maize seed quality. **Rhodesian Journal of Agricultural Research**, Salisbury, v. 17, p. 125-129, 1979.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

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.

TRIGO, L.F.N.; PESKE, S.T.; GASTAL, M.F.; 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.

TSAI, S.M.; BONETTI, R.; AGBALA, S.M.; ROSSETTO, 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.

TWARY, S. N.; HEICHEL, G. H. Carbon cost of dinitrogen fixation associated with dry matter accumulation in alfalfa. **Crop Science**, Madison, v. 31, n. 4, p. 985-992, 1991.

VANCE, C. P.; HEICHEL, G. H.; BARNES, D. K.; BRYAN, J. W.; JOHNSON, L. E. Nitrogen fixation, nodule development and vegetative regrowth of alfalfa (*Medicago sativa* L.) following harvest. **Plant Physiology**, Rockville, v. 64, n. 1, p. 1-8, 1979.

VARGAS, R.; RAMIREZ, C. Respuesta de la soya y el maní a *Rhizobium* y a la fertilización con N, P y Mo en un típico Pellustert de cañas, guanacaste. **Agronomía Costarricense**, San José, v. 13, p. 175-182, 1989.

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, n.186, p. 173-188. 1986.

VIEIRA, C.; BORÉM, A.; RAMALHO, M. A. P. Melhoramento do feijão. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: UFV, 1999. p. 273-349.

WANDER, A. E. **Cultivo do feijão irrigado na região noroeste de Minas Gerais**. Sistemas de Produção, No. 5, ISSN 1679-8869, Versão eletrônica, Embrapa Arroz e Feijão, Dezembro/2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>>. Acessado em 01/06/2008.

WESTERMANN, D. T.; KLEINKOPF, G. E.; PORTER, L.K.; LEGGTT, G. E. Nitrogen Sources for Bean Seed Productin. **Agronomy Journal**, Madison, v. 73, p. 660-664, 1981.

YOKOYAMA, L. P. (*in memoriam*). **Cultivo do Feijoeiro Comum**. Sistemas de Produção, 2. ISSN 1679-8869 Versão eletrônica (Jan/2003). Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>>. Acessado em 01/06/2008.

ZIMMER, W.; MENDEL, R. Molybdenum metabolism in plants. **Plant Biology**, Stuttgart, v. 1, n. 2, p. 160-168, 1999.

7. ANEXOS

7.1. Primeiro Experimento

Tabela 11. Análise de variância dos caracteres avaliados aos 36 dias após emergência (valores de quadrado médio).

Fonte de variação	GL	Massa de parte aérea	Massa de raiz	Razão raiz parte aérea
Rep	3	10,804***	0,157***	1197,622
Psol	1	104,834***	1,200***	250,260
Psem	1	2,160	0,003	555,844
Psol x Psem	1	0,213	0,004	1239,844
Msem	1	9,601***	0,000	7722,094**
Psol x Msem	1	0,135	0,038	3255,010*
Psem x Msem	1	0,037	0,001	1,760
Psol x Psem x Msem	1	0,295	0,006	133,010
N	2	2,103*	0,047*	666,792
Psol x N	2	0,095	0,034	985,542
Psem x N	2	0,237	0,000	95,375
Psol x Psem x N	2	0,977	0,004	1487,375
Msem x N	2	0,123	0,007	69,125
Psol x Msem x N	2	0,344	0,025	369,542
Psem x M sem x N	2	0,027	0,005	221,542
Psol x Psem x Msem x N	2	0,566	0,003	422,042
Erro	69	0,591	0,013	636,151
CV (%)		16,76	21,40	21,46

*, **, *** Efeito significativo a 5, 1 e 0,1% pelo teste F.

Tabela 12. Análise de variância dos caracteres avaliados na maturação dos grãos (valores de quadrado médio).

Fonte de variação	GL	Massa de raiz	Massa de caule	Massa de folhas senescentes	Massa de grãos	Massa de palha da vagem
Rep	3	0,160	0,095	0,823	3,846	0,773
Psol	1	0,185	0,506*	1,353	163,319***	30,178***
Sem	1	0,958*	1,404**	0,875	1,680	0,755
Psol x Sem	1	0,040	0,312	0,538	0,711	0,418
N	2	0,173	0,181	0,458	18,456***	1,881*
Psol x N	2	0,148	0,729**	0,552	0,706	0,148
Sem x N	2	0,016	0,441*	0,948	2,515	0,216
Psol x Sem x N	2	0,007	0,192	0,291	1,069	0,126
Erro	33	0,183	0,120	0,356	2,031	0,357
CV (%)		52,59	15,69	13,45	41,48	30,99
Fator	GL	Massa de parte aérea	Número de vagens por planta	Número de grãos por vagem	Massa de cada grão	
Rep	3	14,566*	11,188	0,342	604,167	
Psol	1	350,568***	87,480*	5,400***	76640,083***	
Sem	1	2,842	266,963***	2,385***	3136,333	
Psol x Sem	1	7,792	42,941	0,025	2670,083	
N	2	27,496**	6,561	3,448***	20,271	
Psol x N	2	0,217	1,773	0,221	9727,521*	
Sem x N	2	2,888	60,776*	0,133	2782,146	
Psol x Sem x N	2	4,465	3,276	0,003	732,896	
Erro	33	4,813	13,323	0,163	1871,303	
CV (%)		18,29	33,25	27,94	21,30	

*, **, *** Efeito significativo a 5, 1 e 0,1% pelo teste F.

7.2 Segundo Experimento

Tabela 13. Análise de variância dos caracteres de acumulação de biomassa avaliados aos 41 dias após emergência (valores de quadrado médio).

Fator	GL	Massa de folha	Massa de caule	Massa de parte aérea	Massa de raiz	Número de nódulos	Massa de nódulos
Rep	3	1,629**	0,792**	4,238**	0,395**	12796*	13859*
Psol	1	28,188***	31,339***	118,949***	1,431***	276598***	1285057***
N	2	58,621***	21,185***	150,220***	3,429***	85636***	295536***
Psol x N	2	8,717***	0,214	6,848***	0,209	2337	109623
Psem	1	0,383	0,223	1,179	0,454*	64118**	406250**
Psol x Psem	1	1,540	0,283	3,154	0,000	15836	100298
N x Psem	2	0,151	0,085	0,444	0,033	17648	54659
Psol x N x Psem	2	0,565	0,168	1,328	0,030	3297	846
Msem	1	0,173	0,016	0,084	0,172	196	8683
Psol x Msem	1	0,260	0,130	0,470	0,001	6919	34770
N x Msem	2	0,283	0,009	0,277	0,006	1382	10000
Psol x N x Msem	2	0,598	0,311	1,766	0,124	8388	10870
Psem x Msem	1	0,000	0,033	0,032	0,091	2100	90959
Psol x Psem x Msem	1	0,118	0,294	0,774	0,175	3302	219
N x Psem x Msem	2	1,728*	0,573*	4,165*	0,594**	10108	92692
Psol x N x Psem x Msem	2	0,163	0,211	0,716	0,330*	17066	190358**
Erro	69	0,395	0,147	0,897	0,096	5814	37743
CV (%)		17,43	19,82	17,10	24,89	52,99	56,31

*, **, *** Efeito significativo a 5, 1 e 0,1% pelo teste F.

Tabela 14. Análise de variância dos caracteres de teor de N nos tecidos vegetais avaliados aos 41 dias após emergência (valores de quadrado médio).

Fator	GL	Teor de N na folha	Teor de N no caule	Teor de N na raiz	Teor de N no nódulo
Rep	3	957487**	862134***	187555	6070963***
Psol	1	239400	2410	2604	250411
N	2	1668692***	9703	739735**	2012572*
Psol x N	2	107869	66658	66950	511970
Psem	1	790614	25514	74259	855982
Psol x Psem	1	526882	29435	101790	2450
N x Psem	2	432619	25472	38893	290217
Psol x N x Psem	2	18481	3293	68816	79657
Msem	1	1886083**	515534**	17067	792975
Psol x Msem	1	750481	13514	395267	3349
N x Msem	2	237469	3008	93251	142803
Psol x N x Msem	2	60561	69305.823	134792	1272079
Psem x Msem	1	1282975*	23	7668	4442
Psol x Psem x Msem	1	122551	14875	32193	160803
N x Psem x Msem	2	221874	93127	149603	222342
Psol x N x Psem x Msem	2	84829	68101	12539	626918
Erro	69	200922	57048	118328	420675
CV (%)		22,14	20,97	15,35	16,31

*, **, *** Efeito significativo a 5, 1 e 0,1% pelo teste F.

Tabela 15. Análise de variância dos caracteres de acumulação de N nos tecidos vegetais avaliados aos 41 dias após emergência (valores de quadrado médio).

Fator	GL	Conteúdo de N na folha	Conteúdo de N no caule	Conteúdo de N na parte aérea	Conteúdo de N na raiz	Conteúdo de N no nódulo	Conteúdo de N total
Rep	3	198629**	24154***	303866**	11740*	3081	447950**
Psol	1	824920***	372132***	2307020***	54626***	229615***	4983626***
N	2	1171154***	226480***	2412227***	257893***	32578**	3578719***
Psol x N	2	481818***	176	495721***	6169	17744	305824*
Psem	1	258649*	6192	344880*	6435	57184**	823436**
Psol x Psem	1	349	5689	3151	1233	18233	1899
N x Psem	2	36814	685	37952	3637	5540	102105
Psol x N x Psem	2	13340	2399	27103	2092	105	41518
Msem	1	318206**	12536	456780**	1276	4774	503006*
Psol x Msem	1	229615*	1935	274134*	10251	6096	493210*
N x Msem	2	1461	179	2192	3857	2065	3318
Psol x N x Msem	2	57924	11456*	119943	4002	2907	174965
Psem x Msem	1	105404	1576	81317	4056	17794	231772
Psol x Psem x Msem	1	12083	3255	2795	3337	1465	22113
N x Psem x Msem	2	80399	9761	142286	17189*	10957	337053*
Psol x N x Psem x Msem	2	30818	9034	64951	8867	27796*	166498
Erro	69	38509	3390	52241	4090	5712	87632
CV (%)		27,51	26,85	24,57	23,05	56,65	22,07

*, **, *** Efeito significativo a 5, 1 e 0,1% pelo teste F.

Tabela 16. Análise de variância do valor de delta ^{15}N na parte aérea das espécies controle (feijão não nodulante e sorgo) aos 41 dias após emergência (valores de quadrado médio).

Fator	GL	Delta
Repetição	3	4845
Espécie	1	24959**
P solo	1	3341
Exp x P	1	442
Erro	9	1442
CV (%)		9,96

Tabela 17. Análise de variância da contribuição da FBN para o N acumulado nas folhas aos 41 dias após emergência (valores de quadrado médio).

Fator	GL	%FBN
Rep	3	4107252*
Psol	1	73929903***
N	1	3744225
Psol x N	1	508369
Psem	1	5098564*
Psol x Psem	1	7118224*
N x Psem	1	5395168*
Psol x N x Psem	1	1251602
Msem	1	923041
Psol x Msem	1	4856514*
N x Msem	1	881721
Psol x N x Msem	1	395641
Psem x Msem	1	835396
Psol x Psem x Msem	1	221841
N x Psem x Msem	1	723776
Psol x N x Psem x Msem	1	24885
Erro	45	982879
CV (%)		14,95

*, *** Efeito significativo a 5 e 0,1% pelo teste F.