

**RESPOSTA DO FEIJOEIRO
(cv. BRS - MG Talismã) A DOSES DE
NITROGÊNIO E FÓSFORO**

HAMILTON KIKUTI

2004

HAMILTON KIKUTI

**RESPOSTA DO FEIJOEIRO (cv. BRS-MG Talismã)
A DOSES DE NITROGÊNIO E FÓSFORO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração Fitotecnia, para obtenção de título de “Doutor”.

Orientador

Prof. Dr. Messias José Bastos de Andrade

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2004

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Kikuti, Hamilton

Resposta do feijoeiro (cv. BRS-MG Talismã) a doses de nitrogênio e
fósforo / Hamilton Kikuti. – Lavras : UFLA, 2004.

124 p. : il.

Orientador: Messias José Bastos de Andrade.

Tese (Doutorado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Feijão. 2. Adubação. 3. Nutrição. 4. *Phaseolus vulgaris*. 5. Micronutrientes
6. Viabilidade econômica. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-635.652894

HAMILTON KIKUTI

**RESPOSTA DO FEIJOEIRO (cv. BRS-MG Talismã)
A DOSES DE NITROGÊNIO E FÓSFORO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração Fitotecnia, para obtenção de título de “Doutor”.

APROVADA em 27 de fevereiro de 2004.

Prof.^ª Dr.^ª Janice Guedes de Carvalho
DCS/UFLA

Prof. Dr. Pedro Milanez de Rezende
DAG/UFLA

Prof. Dr. Élberis Pereira Botrel
DAG/UFLA

Pesq. Dr. Wander E. de B. Andrade
PESAGRO-RIO

Prof. Dr. Messias José Bastos de Andrade
DAG/UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

Aos meus pais, Eiti Kikuti e Terezinha Satiko Matsumoto Kikuti, pelo amor, dedicação, apoio incondicional e confiança depositada durante todas as etapas de minha vida, fundamentais para a conclusão de mais esse trabalho;

À minha avó Sumiko e ao meu avô Tsunetoki (in memoriam) pelo carinho, apoio e confiança;

Às minhas irmãs, Lízia, Eloisa e Elaine, e aos meus cunhados, Luiz, Gerson e Marcos, pelo apoio constante, companheirismo e amizade;

À minha sogra Maria, meu sogro Geraldo e cunhados Vander e Carlos pela acolhida calorosa e apoio junto aos meus filhos e esposa, que tornaram mais prazerosa a realização do trabalho proposto;

AGRADEÇO e OFEREÇO

À minha esposa, Ana Lúcia, meu filho Bruno e minha filha Amanda
pela paciência e compreensão para com as ausências do dia-a-dia, necessárias
para a vitória em mais essa etapa de nossas vidas;

DEDICO

HOMENAGEM

Ao Prof. Dr.

MESSIAS JOSÉ BASTOS DE ANDRADE

Por ter me proporcionado o prazer e a honra de conviver e conhecer melhor o Profissional, Professor, Amigo e Ser Humano que admiro e tenho como exemplo a ser seguido.

Nas atividades diárias, pelos conhecimentos transmitidos, a dedicação, a visão crítica e imparcial e, principalmente, a ética profissional.

Nos momentos difíceis, pela tranquilidade, pela compreensão e pelas atitudes positivas, que auxiliaram sobremaneira o meu crescimento profissional, bem como minha visão sobre o mundo que nos cerca e as pessoas.

MUITO OBRIGADO.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras pela oportunidade de realização desse curso;
À Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida;

Ao Departamento de Agricultura pela oportunidade de desenvolvimento deste trabalho;

Ao Prof. Dr. Messias José Bastos de Andrade pela amizade, orientação e ensinamentos transmitidos;

À Professora Dra. Janice Guedes de Carvalho pela co-orientação e exemplo de dedicação à pesquisa científica;

Ao Prof. Augusto Ramalho de Moraes pela co-orientação e apoio;

Ao Prof. Pedro Milanez de Rezende pela participação na banca de defesa, apoio, sugestões e disponibilidade durante a condução dos trabalhos;

Ao Prof. Élberis Pereira Botrel pela participação na banca de defesa, amizade e contribuições;

Ao Pesq. Wander Eustáquio de Bastos Andrade pela participação na banca de defesa, convívio e contribuições;

Ao Prof. Dr. Samuel Pereira de Carvalho pelos conselhos, amizade e compreensão nas etapas desgastantes e passageiras;

Ao Prof. Dr. Luiz Edson Mota pela convivência, apoio, conselhos e conhecimentos transmitidos;

Ao Prof. Dr. João Almir Oliveira e à Professora Édila Vilela de Resende Von Pinho pela amizade demonstrada e pelo apoio nos momentos difíceis;

A todos os colegas de curso pela convivência, os quais permitiram uma passagem mais agradável por essa conceituada instituição;

E a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para o sucesso na realização de mais esse trabalho;

MUITO OBRIGADO.

SUMÁRIO

páginas

RESUMO	i
ABSTRACT	iii
CAPITULO 1	1
1 Introdução geral	1
2 Referencial teórico	3
2.1 Nutrição mineral de <i>Phaseolus vulgaris</i> L.	3
2.2 Nutrição nitrogenada	5
2.2.1 Nitrogênio no solo	5
2.2.2 Nitrogênio na planta	7
2.2.3 Fixação biológica do nitrogênio	8
2.2.4 Resposta do feijoeiro à adubação nitrogenada	10
2.3 Nutrição mineral fosfatada	13
2.3.1 Fósforo no solo	13
2.3.2 Fósforo na planta	15
2.3.3 Resposta do feijoeiro à adubação fosfatada	16
2.4 Adubação nitrogenada x adubação fosfatada	18
2.5 Retorno econômico das adubações	19
3 Referências bibliográficas	22
CAPÍTULO 2: Estabelecimento da cultura e rendimento de grãos do feijoeiro (cv. BRS-MG Talismã) em função de doses de nitrogênio e fósforo	31
1 Resumo	31
2 Abstract	32
3 Introdução	33

4 Material e Métodos	35
5 Resultados e Discussão	42
5.1 Estande inicial	43
5.2 Estande final	48
5.3 Rendimento de grãos	52
6 Conclusões	59
7 Referências Bibliográficas	60
CAPÍTULO 3. Teores de macro e micronutrientes na parte aérea do feijoeiro (cv. BRS-MG Talismã) em função de doses de nitrogênio e fósforo	64
1 Resumo	64
2 Abstract	65
3 Introdução	66
4 Material e Métodos	68
5 Resultados e Discussão	72
5.1 Macronutrientes	72
5.1.1 Macronutrientes nas folhas e pecíolos	73
5.1.2 Macronutrientes nas hastes e ramos	77
5.1.3 Macronutrientes nas flores e vagens	79
5.2 Micronutrientes	82
5.2.1 Micronutrientes nas folhas e pecíolos	83
5.2.2 Micronutrientes nas hastes e ramos	86
5.2.3 Micronutrientes nas flores e vagens	88
5.3 Teores de macro e micronutrientes correspondentes às máximas produtividades	90
6 Conclusões	93
7 Referências Bibliográficas	94

CAPÍTULO 4. Viabilidade econômica da produção de feijão (cv. BRS-MG Talismã) em função de doses de nitrogênio e fósforo	97
1 Resumo	97
2 Abstract	98
3 Introdução	99
4 Material e Métodos	101
5 Resultados e Discussão	104
6 Conclusões	121
7 Referências Bibliográficas	122

RESUMO

KIKUTI, Hamilton. **Resposta do feijoeiro (cv. BRS-MG Talismã) a doses de nitrogênio e fósforo.** 2004. 124p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras - Lavras, MG.¹

A busca por produtividades cada vez maiores, tem levado os produtores mineiros de feijão à utilização de doses de fertilizantes superiores às recomendadas oficialmente, com potencial de risco ambiental e baixa eficiência econômica. O presente trabalho objetivou estudar o efeito de doses de N e P₂O₅ sobre o feijoeiro cv. BRS-MG Talismã. Foram conduzidos quatro experimentos de campo (inverno-primavera 2000, primavera-verão 2000/2001 e 2001/2002 e inverno-primavera 2002), em um Latossolo Vermelho distroférico típico da área experimental do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras-MG, Brasil. Empregou-se o delineamento experimental de blocos casualizados com três repetições e esquema fatorial 4x4 envolvendo quatro doses de fósforo (0, 100, 200 e 300 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, fonte superfosfato triplo) e quatro doses de N (0, 70, 140 e 210 kg.ha⁻¹ de N, fonte uréia, fracionando-se ½ na semeadura e ½ em cobertura no início da etapa V₄ do ciclo do feijoeiro). Por ocasião do pleno florescimento, cinco plantas por parcela foram separadas em folhas + pecíolos, hastes + ramos e flores + vagens para a determinação dos teores de macro e micronutrientes. Aos 21 dias após semeadura foi determinado o estande inicial e na colheita, o estande final de plantas e o rendimento de grãos. Para apreciação econômica dos efeitos que se mostraram significativos, estimou-se o custo efetivo, a receita bruta e a margem bruta proporcionada em cada situação. O incremento das doses de N resultou em menor população de plantas e as doses de P₂O₅ atenuaram este efeito. O rendimento de grãos elevou-se de forma quadrática com o aumento da dose de N, atingindo pontos de máxima produtividade que variaram conforme a safra. A resposta do rendimento às doses de P₂O₅ foi linear ou quadrática e também variou de safra para safra. As doses recomendáveis de N e P₂O₅, calculadas de acordo com o critério de 90% da produtividade máxima, foram superiores às oficialmente recomendadas em Minas Gerais. A aplicação de N e P₂O₅, mesmo nas doses mais elevadas, não resultou em grandes alterações nos teores de nutrientes da parte aérea, os quais se mantiveram próximos às faixas consideradas adequadas. O incremento de N na adubação elevou significativamente os teores foliares de N, P, K, Mg, Cu, Zn e Mn, os teores de N, K, Mg e Cu nas hastes + ramos e os teores de N, K, B, Cu e Mn nas flores +

¹ Comitê Orientador: Messias José Bastos de Andrade – UFLA (Orientador), Janice Guedes de Carvalho – UFLA, Augusto Ramalho de Moraes – UFLA.

vagens. Com a adição de doses de P_2O_5 , elevaram-se significativamente os teores de B nas folhas + pecíolos e nas flores + vagens. Os teores de S e de K nas flores + vagens do feijoeiro decresceram significativamente com o incremento das doses de N e P_2O_5 , respectivamente. Na maioria das situações analisadas, a margem bruta obtida com o feijão cresceu de forma quadrática com o incremento das doses de N ou P_2O_5 . As doses de N ou P_2O_5 correspondentes aos pontos de máxima margem bruta superaram expressivamente as doses calculadas pelo critério de 90% do rendimento máximo. A inclusão de análise com preços diferenciados mostrou-se eficiente, já que a venda do produto pelo menor preço do período considerado resultou em margem bruta negativa, enquanto o maior preço do período resultou em margem bruta positiva.

ABSTRACT

KIKUTI, Hamilton. **Common bean (cv. BRS-MG Talismã) response to nitrogen and phosphorus levels.** 2004. 124p. (Thesis – Doctorate in Agronomy / Crop Science) – Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG¹.

Aiming to study the effect of N and P₂O₅ doses on common bean cv. BRS-MG Talismã, four field experiments were set (winter-spring 2000, spring-summer 2000/2001 and 2001/2002 and winter-spring 2002) in a typical dark red latossol at the experimental area of Departamento de Agricultura of Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras-MG, Brasil. The experimental design was randomized blocks with three replications and 4x4 factorial scheme using four phosphorus doses (0, 100, 200 and 300 kg.ha⁻¹ of P₂O₅, triple superphosphate source) and four doses of N (0, 70, 140 and 210 kg.ha⁻¹ of N, urea source, split in two: the first ½ at sowing and the other ½ as side dressing at the beginning of the V4 stage of common bean cycle). By the time of the full flowering process, the sampled plants were separated in leaves and beanstalk for the macro and micronutrients content determination. At harvest, it was determined the beginning and the final standards and also the grains yield. For the economical studies of the effects that showed to be significative, the effective cost was estimated, the crude profit and the crude margin given in each situation. Enhanced N doses resulted in lowering the plants population and increasing P doses decrease N effect. The grain yield rose in the square way with the increasing of N dose, reaching peaks of maximum productivity that changed with the crop. The yield response to P₂O₅ was linear or quadratic and also changed from crop to crop. Those recommended N and P₂O₅ doses calculated based on the 90% maximum productivity were higher to those officially recommended for Minas Gerais. The N and P₂O₅ P₂O₅ applying even in higher doses did not result in higher changes among the nutrients levels from aerial parts and kept close to those said to be good bands. Increasing N in the fertilization rose a little the leaves levels of N, P, K, Mg, Cu, Zn and Mn, the branches levels of N, K, Mg and Cu and the levels of N, K, B, Cu and Mn in the flowers. With the increasing of P doses there were little elevation on B in tre leaves and in the flowers. The levels of S and of K and Zn in the common bean's flowers decreased with the increasing of N and P₂O₅ doses, respectively. In most of the analysed situations, the crude margin gained with bean had rose in a square way when N or P₂O₅ doses were increased. These N and P₂O₅ doses

¹ Guidance Committee: Messias José Bastos de Andrade – UFLA (Major Professor), Janice Guedes de Carvalho – UFLA and Augusto Ramalho de Moraes – UFLA.

related to points of maximum crude margin overcame those calculated doses by the 90% criteria of maximum yield. Putting analysis with differentiated prices showed to be efficient and realed that to sell the product by the lowest price of the season resulted in a negative crude margin, while, the highest season price always resulted in positive crude margin.

CAPÍTULO 1

1 Introdução geral

A maioria dos resultados disponíveis sobre a adubação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) permite concluir que há maior frequência de resposta da cultura à calagem e, isoladamente, aos macronutrientes fósforo (P) e nitrogênio (N).

Depois da calagem, o fósforo é um dos fatores que mais limitam a produtividade do feijoeiro. O nutriente é fundamental no metabolismo das plantas, desempenhando papel importante na transferência de energia das células, na respiração e na fotossíntese, além de tratar-se de componente estrutural dos ácidos nucléicos, de genes e de cromossomos, assim como de coenzimas, de fosfoproteínas e de fosfolipídeos. O suprimento adequado de P é essencial desde os primeiros estádios de crescimento da planta, não se recuperando de limitações na disponibilidade inicial, mesmo com o posterior aumento do suprimento do nutriente. As doses de P na adubação são altas em função da baixa taxa de recuperação do P aplicado, sendo inferior a 10% em solos de cerrado.

Outra limitação ao crescimento e rendimento do feijoeiro é o N. Esta limitação ocorre porque as plantas requerem quantidades relativamente grandes de N, porque a fixação biológica de N (FBN) tem baixa eficiência na espécie (apesar de leguminosa) e também porque na maioria dos solos o seu teor disponível é insuficiente para sustentar os altos níveis de produção alcançados atualmente pelas lavouras empresariais. Aliás, a adubação nitrogenada é a tecnologia que maior número de questionamentos tem gerado, desde reações e mecanismos controladores da sua disponibilidade no solo até aspectos práticos da adubação, como fontes, doses, métodos de aplicação e economicidade.

Grande parte dos trabalhos de pesquisa sobre adubação nitrogenada e fosfatada do feijoeiro estudou separadamente os efeitos do P e do N, foi conduzida já há alguns anos e/ou empregou cultivares mais tradicionais, com baixo potencial de rendimento.

Desta forma, o lançamento de novas cultivares de feijoeiro no mercado e o atual emprego de elevadas doses de fertilizantes (com alto potencial de risco ambiental e econômico) justificam o presente estudo, que teve por objetivos: a) avaliar, em um Latossolo Vermelho do município de Lavras-MG, a resposta do feijoeiro cv. Talismã a doses elevadas de N e P_2O_5 e suas possíveis interações; b) verificar o efeito dessas doses sobre a nutrição mineral do feijoeiro e c) estabelecer, se for o caso, a(s) melhor(es) combinação (ões) de doses de N e P_2O_5 para máxima eficiência econômica, de forma a contribuir para o estabelecimento de novas recomendações e otimização da exploração deste cultivo.

2 Referencial teórico

2.1 Nutrição mineral de *Phaseolus vulgaris* L.

O feijoeiro apresenta crescimento inicial muito lento. Na cultivar Chumbinho Opaco, Haag et al. (1967) constataram que nos primeiros 20 dias após a germinação há acúmulo de apenas 5% da matéria seca total e que ocorre grande incremento na taxa de crescimento no período compreendido entre o início do florescimento até aos 50 dias após a germinação, reduzindo-se o crescimento a partir daí.

Estas informações são compatíveis com os resultados de Cobra Neto et al. (1971), os quais encontraram maior taxa de crescimento da cultivar Roxinho durante o florescimento (entre 45 e 55 dias), quando o feijoeiro acumulou cerca de 67 kg de matéria seca.ha⁻¹.dia⁻¹.

Rosolem (1987), ao comparar estas pequenas diferenças de resultados, chama a atenção para a necessidade de se estudar o comportamento de novas cultivares, com hábito de crescimento distinto e potencial de rendimento superior às tradicionais.

Dados preliminares sobre os estádios de crescimento e acúmulo de matéria seca da cv. BRS-MG Talismã (Silva et al., 2003), recentemente lançada pela Universidade Federal de Lavras, indicam que os resultados não diferiram muito dos já discutidos. Até a emissão da terceira folha trifoliolada, correspondendo ao estágio V4, definido de acordo com Fernandez et al. (1985), o crescimento foi lento, acentuando-se em seguida, até alcançar um ponto de máximo acúmulo de matéria seca total aos 77 DAE (Dias Após Emergência), principalmente devido ao acentuado aumento de matéria seca de grãos e vagens a partir dos 70 DAE (início do estágio R8 - enchimento de grãos).

O feijoeiro é considerado uma espécie exigente em nutrientes, o que pode ser creditado ao seu sistema radicular superficial e ao seu reduzido ciclo cultural (Rosolem, 1987; El-Husny, 1992; Rosolem & Marubayashi, 1994; Fageria & Souza, 1995).

Analisando os resultados disponíveis sobre as exigências nutricionais do feijoeiro, ou seja, da absorção de nutrientes em função da idade da planta (Gallo & Miyasaka, 1961; Haag et al., 1967; Cobra Neto et al., 1971) e outras publicações a respeito (Rosolem, 1987; Moraes, 1988; Rosolem & Marubayashi, 1994), verifica-se que a absorção de nutrientes segue a curva de crescimento, o que, por sua vez, remete à constatação de que a maior exigência nutricional se dá no período que antecede o maior crescimento da cultura. Moraes (1988) situou esta máxima exigência nutricional entre os 15-20 DAE e 50 DAE, apesar de salientar a importância da adequada disponibilidade de nutrientes logo após a germinação, imprescindível ao adequado estabelecimento da cultura. Diferenças encontradas entre os trabalhos disponíveis foram, por este último autor, creditadas principalmente aos diferentes ciclos culturais das cultivares utilizadas nos respectivos estudos.

Com relação à extração e exportação de nutrientes pelo feijoeiro, há grandes diferenças entre os resultados obtidos por vários autores, o que pode ser atribuído aos métodos empregados, cultivares diferentes ou tipo de estudo (casa-de-vegetação ou campo, por exemplo), entre outros fatores. De maneira geral, a extração de nutrientes pelo feijoeiro segue a seguinte ordem decrescente: N, K, Ca, Mg, S, P, Fe, Mn, B, Zn e Cu; e a exportação, da mesma maneira: N, K, P, S, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, B e Cu (Rosolem, 1987; El-Husny, 1992; Fageria & Souza, 1995). Em 1,0 tonelada de grãos, Rosolem & Marubayashi (1994) calcularam a exportação média de nutrientes como da ordem de 35,5 kg de N; 4,0 kg de P; 15,3 kg de K; 3,1 kg de Ca; 2,6 kg de Mg e 5,4 kg de S. Segundo Malavolta & Lima Filho (1997), para uma produtividade 1,5 tonelada de grãos

são, respectivamente, extraídas pela planta e exportadas pelos grãos, em média, as seguintes quantidades, em $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$ de micronutrientes: B-138 e 54, Cu-46 e 18, Fe-2970 e 120, Mn-563 e 50, Mo-4 e 1 e Zn-224 e 76.

Com relação aos teores adequados na matéria seca de todas as folhas do feijoeiro, coletadas na época do florescimento, Raij et al. (1996) citam os seguintes valores: N= 30-50, P= 2,5-4,0, K= 20-24, Ca= 10-25, Mg= 2,5-5,0, S= 2,0-3,0 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ e B= 15-26, Cu= 4-20, Fe= 40-140, Mn= 15-100, Mo= 0,5-1,5 e Zn= 18-50 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Estes teores geralmente são usados como faixas críticas para avaliação do estado nutricional da cultura pela diagnose foliar (Andrade et al., 1996; Lima et al., 1996).

Embora todos os nutrientes essenciais sejam igualmente importantes na nutrição do feijoeiro, maiores respostas têm sido observadas com a aplicação de fertilizantes nitrogenados e fosfatados, conforme será visto a seguir.

2.2 Nutrição nitrogenada

2.2.1 Nitrogênio no solo

O N não é um constituinte comum das rochas terrestres, devido à elevada solubilidade dos sais nitrogenados. É encontrado apenas em depósitos de sais localizados no Chile, Bolívia e Peru (salitre do Chile – NaNO_3) ou nos desertos da Índia, Pérsia e Egito (salitre de Bengala – KNO_3) (Vitti et al., 1999).

No solo, o N ocorre em três formas principais: N orgânico (integrante da matéria orgânica do solo e não disponível para as plantas), N amoniacal fixado pelos materiais argilosos (muito lentamente disponível para as plantas) e íons de amônio e nitrato ou compostos solúveis (o N que as plantas usam). O N orgânico, o qual representa mais de 90% do N total do solo (Below, 2002), é convertido a N inorgânico (ou disponível) através da mineralização decorrente

da decomposição da matéria orgânica pela ação de microorganismos do solo (Lopes, 1989). De acordo com Fassbender (1975), os componentes orgânicos são mineralizados em duas etapas: amonificação (com formação de NH_4^+) e nitrificação (com formação de NO_2^- e, posteriormente, NO_3^-).

Ainda que a matéria orgânica seja a principal fonte de N no solo (Flora, 1991), a atmosfera também pode fornecer N ao solo por três tipos de processos: a) fixação biológica (não simbiótica ou simbiótica, como nas leguminosas), b) fixação por oxidação natural (formação de NO_3^- pelas descargas elétricas dos relâmpagos e posterior transporte pluvial até o solo) e c) indiretamente, pela fixação industrial por meio da fabricação de fertilizantes a partir da síntese da amônia (Lopes, 1989).

As perdas de N do solo, por sua vez, ocorrem em função da remoção pelas culturas, das queimadas, da imobilização, da denitrificação e da lixiviação (Fassbender, 1975; Malavolta, 1980). A remoção de N pelo feijoeiro de alta produtividade pode superar os $100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Vieira, 1998). As queimadas reduzem a matéria orgânica do solo, causando grandes perdas de N e S na forma gasosa e esterilização do solo (Fassbender, 1975). A imobilização converte o N inorgânico em N orgânico por microorganismos que atuam na decomposição da matéria orgânica do solo (Lopes, 1989). A denitrificação, que compreende uma série de processos que conduzem à redução do nitrato, com perda de N na forma de N_2 , também pode ser biológica (quando produzida por microorganismos denitrificantes heterotróficos como, por exemplo, *Pseudomonas* sp. e *Xanthomonas* sp.) ou não biológica, também conhecida por volatilização (Fassbender, 1975). Na lixiviação o N se perde no perfil do solo, pela ação da água gravitacional, principalmente na forma nítrica, que é predominantemente a fração disponível no solo (Lopes, 1989).

As deficiências de N ocorrem principalmente em solos arenosos e lixiviados, por precipitação pesada ou irrigação excessiva, em solos com baixo

teor de matéria orgânica (<2%) e em solos com longa história de cultivo, onde o N foi exaurido. Pode também ocorrer deficiência temporária de N em solos férteis, quando intensamente cultivados, pesadamente lixiviados ou inundados (Oliveira et al., 1996).

2.2.2 Nitrogênio na planta

O N é o único, entre os nutrientes minerais, que pode ser absorvido pelas plantas em duas formas distintas: como ânion NO_3^- ou como cátion NH_4^+ (Below, 2002), além de aminoácidos e uréia (Malavolta, 1980). A absorção na forma amoniacal libera prótons de H^+ no meio, o que diminui o pH, enquanto a absorção de nitrato libera hidroxilas OH^- , aumentando o pH.

Independentemente da forma absorvida, uma vez na planta o N inorgânico tem que ser assimilado, ou seja, incorporado em compostos de carbono, em formas orgânicas, tipicamente aminoácidos (Below, 1995). O transporte na planta é rápido, tanto no xilema, na forma de nitrato, amidas, aminoácidos e ureídeos, como no floema, na forma de aminoácidos (Malavolta, 1980; Faquin, 1994; Oliveira et al., 1996).

Embora o N seja incorporado em numerosos compostos essenciais à planta, a vasta maioria, 90% ou mais, está presente nas proteínas. Resumidamente, o N tem duas funções gerais: a) estabelecimento e manutenção da capacidade fotossintética e b) desenvolvimento e crescimento dos drenos reprodutivos (Below, 1995 e 2002). É componente estrutural de macromoléculas e constituinte de enzimas, além de atuar como precursor de hormônios vegetais, clorofila e citocromo (Faquin, 1994).

De maneira geral, o maior acúmulo de N no feijoeiro ocorre entre 50 e 60 dias após a germinação, tanto na planta inteira como nas folhas, raízes, grãos

e vagens (Oliveira et al., 1996), seguindo aproximadamente a curva de acúmulo de matéria seca (Cobra Neto et al., 1971; Rosolem, 1987).

De acordo com Oliveira et al. (1996), quando o N é deficiente no feijoeiro, com teores foliares inferiores a 2 dag.kg^{-1} de N, as plantas são atrofiadas, com caule e ramos delgados e folhas apresentando coloração entre verde-pálido e amarela. A formação de ramos é reduzida e poucas flores se desenvolvem. As vagens contêm poucas sementes e estas são pequenas, resultando em baixo rendimento de grãos. Segundo Malavolta (1980), plantas deficientes apresentam baixo teor de clorofila e redução no crescimento e na síntese de proteína. Peñuelas et al. (1993) observaram ainda decréscimo na taxa de crescimento da parte aérea em relação à taxa de crescimento do sistema radicular, redução de 15% na massa foliar do feijoeiro, diminuição na fotossíntese total e na produtividade.

Como o N é rapidamente transferido das folhas velhas para as folhas novas, os sintomas de deficiência aparecem primeiro e são mais severos nas folhas velhas, avançando para as novas se a deficiência persiste (Oliveira et al., 1996).

2.2.3 Fixação biológica do nitrogênio

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) nas leguminosas consiste, essencialmente, na transformação biológica do nitrogênio atmosférico (N_2) em amônia (NH_3), principalmente por bactérias especializadas denominadas comumente rizóbios. O rizóbio caracteriza-se pela capacidade de interação com o sistema radicular da planta hospedeira por meio do desenvolvimento de estrutura altamente especializada - o nódulo radicular, onde se processa a FBN. Esta interação caracteriza uma simbiose ou, mais precisamente, uma interação mutualística, pois a bactéria se beneficia do suprimento de fotossintatos ou

carbono orgânico fornecidos pela planta hospedeira, enquanto a planta recebe o nitrogênio fixado pelo rizóbio microssimbionte na forma amoniacal, assimilando-o em compostos nitrogenados que podem ser translocados para as suas diferentes partes (Cassini & Franco, 1998).

Existem pelo menos três gêneros e nove espécies de rizóbio que nodulam o feijoeiro (Pereira et al., 1999): *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli*, *R. tropici*, *R. etli*, *R. giardinii* bv. *phaseoli*, *R. gallicum* bv. *phaseoli* e *R. mongolense*, *Sinorhizobium fredii*, *Mesorhizobium loti* e *M. huakuii*.

A diversidade genética e fisiológica encontrada no rizóbio do feijoeiro, no qual os limites entre as espécies das populações nativas não foram ainda definidos (Eardly et al., 1985), aliada à capacidade de nodulação da planta frente às diferentes espécies de rizóbio, vem evidenciar a elevada variabilidade de resposta à nodulação nas diversas cultivares de feijoeiro e pode explicar, em alguns casos, a razão do insucesso da utilização de inoculantes rizobianos nessa cultura no campo (Cassini & Franco, 1998).

Outros fatores que podem interferir na FBN do feijoeiro são a acidez e a temperatura do solo, as deficiências nutricionais e a fisiologia da cultivar em simbiose (Cassini & Franco, 1998).

Apesar do grande número de fatores que podem atuar no sentido de reduzir a eficiência da nodulação e da FBN no feijoeiro, existem estimativas otimistas da fixação de N, da ordem de 50 kg.ha⁻¹ (Yamada, 1997) a 110 kg.ha⁻¹ de N por cultivo (Rennie, 1984). Também existem recomendações, como as de Franco (1995), que sugerem a inoculação como única fonte de N para cultivares que apresentam boa nodulação, como Carioca e Ouro Negro, e para níveis de produtividades de até 1500 kg.ha⁻¹. Segundo esse autor, para produtividades superiores, deve ser recomendada adubação com N mineral.

Em contrapartida, existem na literatura diversos trabalhos nos quais o uso da inoculação não proporcionou bons resultados em relação à adubação

nitrogenada (Peres et al., 1994; Alvarenga, 1995; Andrade et al., 1998a; Alves, 2002; Silva, 2002). Esses resultados levam à constatação de que, embora se tenha obtido considerável avanço no conhecimento de fatores que afetam a FBN, ainda não se dispõem de informações seguras para uma recomendação generalizada de estirpes, cultivares ou inoculação, de forma a permitir ao agricultor usufruir os benefícios da FBN pelo feijoeiro (Andrade & Ramalho, 1995). Rosolem (1996) resume essas constatações afirmando que a inoculação é uma prática que ainda encontra uma série de limitações para emprego generalizado.

2.2.4 Resposta do feijoeiro à adubação nitrogenada

A aplicação de N mineral nos solos tropicais pode resultar, às vezes, em baixa frequência de resposta pela cultura do feijoeiro (Franco, 1977; Vieira, 1998). Apesar disso, respostas do feijoeiro à aplicação de N ocorrem em todo o Brasil, embora com frequência e amplitude variável em função de região, clima, solo e manejo da cultura (Rosolem, 1987). Em Minas Gerais, levantamento realizado por Vieira (1998) revelou que cerca de 61% dos ensaios de adubação realizados no campo mostraram resposta positiva à aplicação de N, sendo que apenas um dos ensaios registrou resposta a doses elevadas, no caso 150 kg.ha⁻¹. Rosolem (1996), citando outros autores, registra respostas da cultura a doses de até 80 kg.ha⁻¹ de N em São Paulo, 90 kg.ha⁻¹ de N no Rio Grande do Sul e 120 kg.ha⁻¹ de N no Paraná.

De acordo com Vieira (1998), quantidades de N superiores a 100 kg.ha⁻¹ são necessárias para altas produtividades do feijoeiro, o que é compreensível face ao papel do nutriente na planta, uma leguminosa, com 22% de proteína nos grãos, em média. Nos últimos anos, produtores de feijão em lavouras comerciais irrigadas por pivô central têm, sistematicamente, incrementado a dose total de N

aplicada durante o ciclo cultural. Doses elevadas de N têm sido questionadas por técnicos e ambientalistas, pois o N não aproveitado, além de elevar o custo de produção, pode causar dano ambiental se perdido no solo. Em outros países, perdas excessivas de fertilizantes nitrogenados já foram responsabilizadas por contaminação de lençóis freáticos por nitrato e têm contribuído para formação de zonas hipóxicas, como no Golfo do México (Carpenter et al., 1998; Burkart & James, 1999).

Em função de incrementos da dose total de N na cultura do feijoeiro, tem-se verificado também certa tendência de aumento da dose aplicada na semeadura. Já na década de sessenta, Malavolta (1967) afirmava serem possíveis resultados satisfatórios usando a uréia apenas no plantio, na safra do inverno, quando a nitrificação é atenuada. Deve-se ter em mente, entretanto, que doses elevadas de N no plantio, devido ao efeito salino do fertilizante nitrogenado sobre a semente ou a plântula, podem reduzir a população de feijoeiros (Rodrigues, 2001), principalmente se associadas a doses também elevadas de K_2O (Silveira & Damasceno, 1993). Esta, aliás, tem sido a forte argumentação a favor do parcelamento da adubação nitrogenada.

Outro aspecto relevante ligado ao incremento das doses de N no plantio foi discutido por Valério (2002) e diz respeito à dificuldade de sua aplicação juntamente com os fertilizantes fosfatado e potássico via semeadora, face à natureza altamente higroscópica da uréia, a fonte mais usada. Segundo o mesmo autor, estas dificuldades poderiam ser contornadas pela aplicação do fertilizante nitrogenado, ou parte dele, imediatamente antes da semeadura, em operação específica com a própria semeadora ou via pivô central. Nos casos em que isto não fosse possível, restaria ainda a alternativa de reduzir a dose de plantio e fazer uma ou mais coberturas.

Apesar destas considerações, Rosolem (1996) recomenda que, em qualquer situação, a dose total de N já deve estar aplicada até o florescimento.

Em sequeiro, o autor recomenda que o N seja aplicado todo na sementeira ou, no máximo, até 20 DAE. Em condições irrigadas, recomenda cobertura em até duas vezes, pois o parcelamento excessivo da cobertura nitrogenada leva à redução da resposta da planta, da eficiência e da economicidade da adubação e ao aumento da mão-de-obra. O autor conclui, desta forma, que pode ser interessante aumentar a dose de N aplicada no início do ciclo da cultura.

As recomendações oficiais de adubação para o feijoeiro em Minas Gerais parecem seguir esta tendência. No período entre 1989 e 1999, a Comissão de Fertilidade do Solo do Estado recomendava 20 kg.ha⁻¹ de N na sementeira e 20-40 kg.ha⁻¹ de N em cobertura (Comissão..., 1989). Entretanto, muitos resultados posteriores indicaram respostas lineares a doses mais elevadas de N na sementeira, como nos trabalhos de Andrade et al. (1998b) e Garrido (1998). Esses resultados, dentre outros, levaram a Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais a recomendar, a partir de 1999, doses que variam de 20 a 40 kg.ha⁻¹ de N na sementeira, além de 20 - 60 kg.ha⁻¹ de N em cobertura (Chagas et al., 1999), em função dos níveis de tecnologia empregados.

Teixeira et al. (2000), trabalhando com doses de até 150 kg.ha⁻¹ de N, 100 kg.ha⁻¹ de N na sementeira + 50 kg.ha⁻¹ de N em cobertura, verificaram resposta linear da cv. Pérola nas safras das águas, seca e inverno-primavera, no município de Lavras-MG. No ano seguinte, com as cultivares Carioca e Pérola, Rodrigues et al. (2002), testando doses de até 120 kg.ha⁻¹ de N, sendo 80 kg.ha⁻¹ de N na sementeira + 40 kg.ha⁻¹ de N em cobertura, na presença de diferentes doses de P₂O₅, obtiveram resposta linear em duas safras e quadrática em outra, esta com máxima produtividade estimada com o uso de 108,6 kg.ha⁻¹ de N, 72,4 kg.ha⁻¹ na sementeira e 36,2 kg.ha⁻¹ em cobertura. Estes resultados, principalmente as citadas respostas lineares, remetem à possibilidade de o feijoeiro responder a doses ainda superiores a 80-100 kg.ha⁻¹ na sementeira.

Ainda em Lavras-MG, Valério (2002) realizou um estudo envolvendo a interação de doses de até 120 kg.ha⁻¹ de N na semeadura, com doses de até 90 kg.ha⁻¹ de N em cobertura. O autor concluiu que um mesmo rendimento de grãos pode ser obtido com diferentes combinações de doses de N no plantio e em cobertura e que, de maneira geral, as combinações envolvendo maiores doses de N na semeadura e menores doses de N em cobertura tenderam a menores doses totais de N. Outra conclusão do autor foi que, considerando apenas a interação safras x doses de N no plantio, o rendimento de grãos apresentou uma resposta do tipo linear-platô, estabilizando-se a partir da dose de 80 kg.ha⁻¹ na semeadura.

2.3 Nutrição mineral fosfatada

2.3.1 Fósforo no solo

O fósforo (P) difere do nitrogênio (N) na natureza por não descrever um ciclo completo. O maior responsável pela ciclagem do P é o homem, que retira parte do mineral das rochas, transformando-o em fertilizante; parte permanece fixada no solo e parte é conduzida para o mar (Malavolta, 1976). Além disso, o P tem relativa estabilidade e não apresenta formas inorgânicas que possam ser volatilizadas ou lixiviadas (Fassbender, 1975).

O P do solo ocorre quase exclusivamente como ortofosfato e se divide em fosfatos inorgânicos não disponível e disponível e orgânicos. Os primeiros são encontrados em minerais primários (como fluorapatita e hidroxiapatita) ou em minerais secundários, resultantes de reações entre o ácido fosfórico e ferro, alumínio ou cálcio. Os orgânicos, encontrados em substâncias de origem animal ou vegetal, podem ser aproveitados direta e lentamente pelas plantas (Malavolta, 1981).

Apesar dos valores de 100 a 2500 kg.ha⁻¹ de fósforo total na camada arável do solo, a sua concentração na solução do solo é extremamente baixa, entre 0,1 e 1,0 kg.ha⁻¹. Isto se deve à elevada tendência de fixação do P da solução, tanto por precipitação em solos ácidos, com íons de Al e Fe, e alcalinos, com íons Ca, quanto por adsorção na superfície de argilas, óxidos hidratados de Fe e Al ou carbonato de cálcio em solos calcários. Por esta razão, o P limita o desenvolvimento de qualquer atividade agrícola rentável, tornando difícil até mesmo o manejo de adubos fosfatados, que além de suprir as exigências da planta, necessitam também suprir as exigências do solo (Vale et al., 1997)

Raij (1991) explica o nível de disponibilidade de P no solo utilizando a sua classificação em P da solução, P lábil e P não-lábil. O P lábil seria aquele em equilíbrio rápido com o P da solução, enquanto o não-lábil representaria a maior parte do P inorgânico do solo, como compostos insolúveis e que só lentamente poderiam ser transformados em lábil.

O principal mecanismo de contato do P da solução do solo com as raízes é a difusão, razão pela qual boa disponibilidade de água é imprescindível para uma boa eficiência na absorção deste nutriente (Mahtab et al., 1971; Saito et al., 1982; Rosolem, 1987; Silveira et al., 1996).

Verifica-se, pois, que para fornecer às culturas o P necessário é preciso utilizar estratégias para diminuir a fixação e aumentar o P disponível. Entre essas, para a cultura do feijoeiro, poderiam ser citadas a correção do solo para pH próximo de 6,5, a adubação total no plantio e localizada (sulco) e a fosfatagem corretiva (Malavolta, 1981), além do emprego, na irrigação, de lâminas de 450 a 500 mm de água por ciclo de plantio (Silveira & Moreira, 1990).

2.3.2 Fósforo na planta

Na solução do solo, a dissociação do ácido ortofosfórico produz H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} e PO_4^{3-} . Na faixa de pH 4 a 8 predomina o primeiro íon, forma mais absorvida pelas plantas. No xilema o transporte ainda é feito principalmente na forma H_2PO_4^- , enquanto no floema a principal forma é a fosforil-colina. O P absorvido é incorporado a compostos orgânicos, como hexoses e difosfato de uridina, e vai, posteriormente, desempenhar funções estruturais e de armazenamento e fornecimento de energia (Malavolta, 1980). O P é fundamental no metabolismo das plantas, desempenhando importante papel nas transferências de energia das células, na respiração e na fotossíntese. É também componente estrutural de ácidos nucleicos de genes e cromossomos, assim como de muitas coenzimas, fosfoproteínas e fosfolípidos (Grant et al., 2001).

As limitações da disponibilidade de P no início do ciclo vegetativo podem resultar em restrições no desenvolvimento, das quais a planta não se recupera posteriormente, mesmo aumentando o suprimento de P a níveis adequados. O suprimento de P é essencial desde os estádios iniciais de crescimento da planta (Grant et al., 2001).

Os sintomas de deficiência aparecem primeiro nas folhas completas e são mais severos nas folhas mais velhas, as quais apresentam clorose marginal seguida por escurecimento com necrose marrom e margens enroladas para cima, quando as folhas morrem; as nervuras são ligeiramente proeminentes e verdes. Nas folhas jovens os folíolos são menores que o normal e adquirem coloração verde-azulada (Oliveira et al., 1996). A deficiência de fósforo ocasiona efeitos fisiológicos, como decréscimo na taxa de crescimento, redução na expansão e no alongamento celular, devido à diminuição na condutividade hidráulica da célula e à redução na área foliar (Rao & Terry, 1989). O estresse ocasionado pela deficiência de P reduz a absorção de nitrato e sua translocação da raiz para a

parte aérea e aumento do teor de aminoácidos livres (Rufty Jr. et al., 1990; Rufty Jr. et al., 1993).

2.3.3 Resposta do feijoeiro à adubação fosfatada

Em função das características da grande maioria dos solos brasileiros, que apresentam baixos teores de P e grande capacidade de fixação do P aplicado, as respostas à adubação fosfatada são bastante freqüentes e de magnitude considerável (Rosolem, 1996). Levantamento realizado por Vieira (1998), registra que dentre 60 ensaios de campo conduzidos em 28 municípios mineiros, em 42 ensaios (70%) houve efeito positivo da adubação fosfatada. Em um desses ensaios (Junqueira Netto, 1977) chegou-se a constatar respostas a doses tão altas como 150 ou 260 kg.ha⁻¹ de P₂O₅.

Rodrigues et al. (2002), trabalhando em Lavras-MG, em um Latossolo Vermelho distroférico, encontraram respostas lineares das cv. Carioca e Pérola a doses de até 150 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, na presença de N.

De maneira geral, as tabelas oficiais de recomendação baseiam-se no teor de P no solo e em ensaios de resposta da cultura à aplicação de doses crescentes do nutriente. O teor de P no solo é bastante variável em função do extrator utilizado para o nutriente (Mehlich, resina e outros) e da textura do solo em questão, principalmente quando se utiliza o extrator Mehlich (Raij et al., 1982), cujas quantidades de P extraível apresentam relação inversa com os teores de argila do solo. Carvalho et al. (1995), por exemplo, observaram que a quantidade de P extraída por Mehlich - 1 em quatro solos de cerrado foi menor nos solos mais argilosos, os quais, entretanto, apresentaram menores requerimentos do nutriente para obter 90% da produção relativa de grãos.

A textura do solo é importante porque interfere no coeficiente de difusão do P do solo até as raízes, da mesma forma como as condições hídricas

(Rosolem, 1990). A associação de calagem, adubação e irrigação aumentam o crescimento radicular, a concentração de P e o coeficiente de difusão do nutriente no solo, o que explica a razão da máxima resposta ao P nessas condições (Rosolem, 1996).

Diversos trabalhos confirmam a interação entre irrigação e respostas à adubação fosfatada, mostrando que em culturas irrigadas: a) para mesma dose de P, obtém-se maior produtividade, em função da maior eficiência na utilização do fertilizante pela planta; b) dentro de certos limites pode-se atingir a mesma produtividade utilizando diferentes combinações de doses de P e lâminas de água (Parra & Voss, 1978; Frizzone, 1986; Silveira & Moreira, 1990). Da mesma forma, o efeito da calagem na resposta à adubação fosfatada também é bastante conhecido, pois a reação do solo afeta grandemente o grau de solubilidade dos diferentes compostos no solo (Fontes et al., 1965; Lopes, 1989).

Na cultura do feijoeiro, vários trabalhos demonstram resposta diferencial de cultivares de feijão à adubação fosfatada, sendo que alguns autores sugerem que as recomendações devem levar em consideração as diferentes cultivares (Miranda & Lobato, 1978; Gomes & Braga, 1980; Ronzelli Júnior et al., 1985). Junqueira Netto (1977) chegou a conclusão semelhante, verificando que as doses máximas de P_2O_5 para se obterem os rendimentos máximos variaram de 144 a 260 $kg \cdot ha^{-1}$, em função das cultivares e das condições ambientais do experimento, estimando a dose média máxima em 195 $kg \cdot ha^{-1}$. Oliveira et al. (1987), avaliando cultivares de feijão quanto à eficiência no uso de fósforo, também encontraram respostas diferentes entre as cultivares, sendo que o maior retorno econômico ficou situado entre 30 e 120 $kg \cdot ha^{-1}$ de P_2O_5 e o máximo de rendimento físico, entre 500 e 600 $kg \cdot ha^{-1}$ de P_2O_5 .

Contudo, trabalhos como o de Rodrigues et al. (2002) mostraram que as cv. Carioca e Pérola responderam de forma equivalente às adubações nitrogenada, de 0 a 120 $kg \cdot ha^{-1}$ de N, e fosfatada, de 0 a 150 $kg \cdot ha^{-1}$ de P_2O_5 .

2.4 Adubação nitrogenada x adubação fosfatada

O P é vital para o vigoroso e rápido crescimento das plantas na fase inicial e o N parece exercer importante papel na absorção de P pelas plantas. Quando aplicado com N, o P se torna mais disponível para as plantas do que quando aplicado sem N (Lopes, 1989).

Fageria et al. (2003), citados por Yamada & Abdalla (2003), afirmam que quando o solo é corrigido em relação ao P, o N se torna mais limitante. Sugerem, entre outras práticas para aumentar a absorção de P pelo feijoeiro, a adubação nitrogenada.

Fontes et al. (1980) estudaram a resposta do feijoeiro cv. Rico 23 à aplicação de calcário, nitrogênio e fósforo em ensaios de campo conduzidos nos municípios de Viçosa, Visconde do Rio Branco e São Pedro dos Ferros, todos na Zona da Mata de Minas Gerais. Em Viçosa, onde os resultados se mostraram mais conclusivos, o N foi o fator mais importante, seguido do P e do calcário. Com o aumento da dose de calcário naquela localidade, menores doses de N e P foram requeridas para maiores produtividades e, em cada dose de calcário, diversas combinações N e P poderiam ser empregadas para alcançar uma certa produtividade. Para as condições daquele ensaio, o rendimento máximo foi estimado em 1943 kg.ha⁻¹ de grãos, através do emprego de 5,9 t.ha⁻¹ de calcário, 127 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ e 53,7 kg.ha⁻¹ de N.

Na Zona Metalúrgica mineira, também com a cv. Rico 23, Bolsanello et al. (1975) conduziram dois ensaios em Itaúna, dois em Pará de Minas e um em Divinópolis, testando três doses de N (0, 30 e 60 kg.ha⁻¹) e quatro doses de P (0, 40, 80 e 100 kg.ha⁻¹ P₂O₅). A interação entre os dois fatores foi significativa, exceto em Pará de Minas. Em Itaúna e em um dos ensaios de Pará de Minas o efeito das doses de P₂O₅ foi quadrático, obtendo-se produções máximas com cerca de 80 kg.ha⁻¹ P₂O₅, e mostrando-se linear nos outros dois ensaios. O efeito

das doses de N foi linear em Itaúna e Divinópolis e quadrático nos outros dois, obtendo-se produções máximas com cerca de 50 kg.ha⁻¹ de N.

Em Tietê-SP, Feitosa et al. (1980) utilizaram a cv. Carioca para estudar o efeito de duas doses de N (25 e 50 kg.ha⁻¹) e três doses de P₂O₅ (30, 60 e 90 kg.ha⁻¹) na ausência e presença de calcário (0 e 1 t.ha⁻¹). A produtividade média do ensaio foi excelente, 2757 kg.ha⁻¹ de grãos. A calagem causou aumento significativo médio da ordem de 267 kg.ha⁻¹ no rendimento. Na presença da calagem observou-se efeito linear de N, mas não houve efeito do P. Na ausência de calagem houve efeito linear das doses de N e também efeito linear das doses de P₂O₅ na presença de 50 kg.ha⁻¹ de N.

Mais recentemente, Rodrigues et al. (2002) conduziram estudo em Lavras-MG visando verificar o comportamento do feijoeiro, cvs. Carioca e Pérola, submetido a doses de N (0, 60 e 120 kg.ha⁻¹ de N) e de P (0, 50, 100 e 150 kg.ha⁻¹ de P₂O₅). Os resultados mostraram que a resposta ao N em ambas as cultivares foi linear, mas variou com a dose de P. O efeito das doses de P₂O₅ não foi significativo apenas na ausência de N, mas na presença desse nutriente, foi linear crescente e variou com a sua dose.

2.5 Retorno econômico das adubações

A maioria dos estudos leva em consideração apenas o máximo de produção e a dose do nutriente a ser aplicada para atingir esse máximo. Esse valor é normalmente denominado Máximo de Eficiência Física - MEF. Quando se dispõe de uma equação do 2º grau, esse valor pode ser calculado tomando-se a sua derivada primeira e igualando-a a zero. Entretanto, como se trata de adubação, é necessária uma maior preocupação com o sentido econômico; daí a necessidade de se encontrar a dose do nutriente capaz de produzir o máximo economicamente, ou seja, o Máximo de Eficiência Econômica - MEE. Para

encontrá-lo, iguala-se a relação preço unitário do nutriente pelo preço unitário do produto (feijão), igualando-se a expressão ao preço unitário do nutriente. O valor obtido corresponde à dose econômica a ser usada (Braga, 1982).

Utilizando quatro experimentos de adubação com cálcio, nitrogênio e fósforo conduzidos na Zona da Mata de Minas Gerais, Silva (1967) verificou que a função quadrática ajustou-se melhor aos dados, mostrando-se mais coerente que a função de produção Cobb-Douglas e a função raiz quadrada. Empregando aquele modelo aos dados de Viçosa, o autor obteve como econômicos os níveis de 5.422 kg.ha⁻¹ de calcário, 105,8 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ e 44,6 kg.ha⁻¹ de N.

Junqueira Netto (1977), trabalhando com diferentes cultivares, observou respostas cúbicas e quadráticas à aplicação de P₂O₅. Entre as cultivares estudadas, encontrou máximos econômicos de até 184 kg.ha⁻¹ de P₂O₅.

No Estado do Espírito Santo, município de Domingos Martins, Delazari (1981) procurou determinar o rendimento econômico de três cultivares de feijoeiro (Cornell 49-242, Manteigão Fosco 11 e Ricobaio 1014) em função da aplicação de quatro doses de N (0, 50, 100 e 150 kg.ha⁻¹) e quatro doses de P (0, 100, 200 e 300 kg.ha⁻¹ de P₂O₅). A cv. Cornell 49-242 mostrou-se mais produtiva e responsiva às adubações, seguida da Ricobaio 1014 e Manteigão Fosco 11. Nas três cultivares a resposta ao P foi quadrática, com máximos físicos entre 214 e 227 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ e máxima eficiência econômica entre 187 e 212 kg.ha⁻¹ de P₂O₅. Cornell 49-242 e Manteigão Fosco 11 responderam linearmente às doses de N, mas na Ricobaio 1014 a resposta foi quadrática, com máximo físico em 94 kg.ha⁻¹ de N e máxima eficiência econômica entre 78 e 83 kg.ha⁻¹ de N.

Outra forma de abordagem econômica em ensaios de adubação consiste em uma análise baseada no uso da teoria do custo em curto prazo (Ferguson, 1978; Reis & Guimarães, 1986). Para obter informações da lucratividade das

diferentes situações de adubação, compara-se o preço do kg de feijão, ou receita, com o custo total. Alguns trabalhos procuram ainda calcular a quantidade necessária de feijão para pagar cada custo envolvido no processo produtivo e também a quantidade para cobrir o custo total.ha⁻¹ da cultura. Almeida et al. (1990), por exemplo, analisando um sistema de produção irrigado em Lavras - MG, verificaram que seria necessária uma produtividade média mínima de 1037 kg.ha⁻¹ para não haver prejuízo com o empreendimento.

Dependendo da natureza do estudo, a abordagem econômica mais simplificada também pode dar uma boa aproximação da viabilidade econômica de sistemas de produção ou de simples tratamentos, conforme empregaram Kikuti (2000) e Souza (2000).

Na avaliação da viabilidade econômica da produção de feijão em função de doses de nitrogênio e fósforo, Rodrigues (2001) obteve crescimento da receita com o incremento das doses de N ou P₂O₅ quando considerados os preços médio e máximo de feijão, porém a utilização do preço mínimo para essa análise apresentou receitas inferiores ao custo de produção.

3 Referências bibliográficas

ALMEIDA, V.M.; RAMALHO, M.A.P.; REIS, A.J.; MUNIZ, J.A. Avaliação agronômica e econômica de sistemas de produção de feijão irrigado (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Prática**, Lavras, v.14, n.2, p.125-136, maio/ago. 1990.

ALVARENGA, P.E. de. **Resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) às adubações nitrogenada e molíbdica e à inoculação com *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli***. 1995. 67p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

ALVES, V. G. **Resposta do feijoeiro a doses de nitrogênio no plantio e cobertura e à inoculação de sementes com rizóbio**. 2002. 46p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

ANDRADE, M.J.B. de; ALVARENGA, P.E.; CARVALHO, J.G.; SILVA, R.; NAVES, R.L. Influência do nitrogênio, rizóbio e molibdênio sobre o crescimento, nodulação radicular e teores de nutrientes no feijoeiro. **Revista Ceres**, Viçosa, v.45, n.257, p.65-79, jan./fev. 1998a.

ANDRADE, M.J.B. de; DINIZ, A.R.; CARVALHO, J.G.; LIMA, S.F. Resposta da cultura do feijoeiro à aplicação foliar de molibdênio e às adubações nitrogenadas de plantio e cobertura. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.22, n.4, p.499-508, out./dez. 1998b.

ANDRADE, M.J.B. de; RAMALHO, M.A.P. Cultura do feijoeiro. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Curso de atualização técnica dos engenheiros agrônomos do Banco do Brasil, módulo sudeste**. Sete Lagoas, 1995. 97p.

ANDRADE, M.J.B. de; ALVARENGA, P.E.de; SILVA, R. da; CARVALHO, J.G. de; LUNKES, J.A. Resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) às adubações nitrogenadas e molíbdica e à inoculação com *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli*. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 5., 1996, Goiânia. **Resumos...** Goiânia: EMBRAPA/CNPAF, 1996. p.78-81.

BELOW, F.E. Fisiologia, nutrição e adubação nitrogenada do milho. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 99, p.7-12, set. 2002.

BELOW, F.E. Nitrogen metabolism and crop productivity. In: PRESSARAKLI, M. (ed.) **Handbook of Plant and Crop Physiology**. New York: Marcel Dekkar, Inc., 1995. p.275-301.

BOLSANELLO, J.; VIEIRA, C.; SEDIYAMA, C.S.; VIEIRA, H.A. Ensaio de adubação nitrogenada e fosfatada da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), na Zona Metalúrgica de Minas Gerais. **Revista Ceres**, Viçosa, v.22, n.124, p.423-430, nov./dez. 1975.

BRAGA, J.M. **Avaliação da fertilidade do solo**: ensaios de campo. Viçosa: UFV, 1982. 101p.

BURKART, M.R.; JAMES, D.E. Agricultural-nitrogen contributions to hypoxia in the Gulf of México. **Journal of environment Quality**, Madison, v.28, n.3, p.850-859, May/June, 1999.

CARPENTER, S.R.; CARACO, N.E.; CORRELL, D.L.; HOWARTH, R.W.; SHARPLEY, A.N.; SMITH, V.H. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. **Ecological Applications**, Washington, v.8, n.3, p.559-568, Aug. 1998.

CARVALHO, A.M. de; FAGERIA, N.K.; OLIVEIRA, I.P. de; KINJO, T. Resposta do feijoeiro à aplicação de fósforo em solos dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.1, p.61-67, jan./abr. 1995.

CASSINI, S.T.A.; FRANCO, M.C. Fixação biológica de nitrogênio. In: VIEIRA, C.; PAULA JUNIOR, T.J. de; BORÉM, A. (ed.). **Feijão**: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas. Viçosa: UFV, 1998. p.153-180.

CHAGAS, J.M.; BRAGA, J.M.; VIEIRA, C.; SALGADO, L.T.; JUNQUEIRA NETO, A.; ARAÚJO, G.A.A.; ANDRADE, M.J.B. de; LANA, R.M.Q.; RIBEIRO, A.C. Feijão. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p.306-307.

COBRA NETO, A.; ACCORSI, W.R.; MALAVOLTA, E. Estudos sobre a nutrição mineral do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) var. Roxinho. **Anais Escola Superior Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v.28, p.251-271, 1971.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes, em Minas Gerais**: 4ª aproximação. Lavras: UFLA, 1989. 176p.

DELAZARI, P.C. Rendimento econômico de três cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em função da aplicação de nitrogênio e fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.5, n.1, p.46-50, jan./abr. 1981.

EARDLY, B.D.; HANNAWAY, D.B.; BOTTOMLEY, P.J. Characterization of rhizobia from ineffective alfalfa nodules: ability to nodulate bean plants (*Phaseolus vulgaris* (L.) Savi.). **Applied and environmental microbiology**, Washington, v.50, n.5, p. 1422-1427, May, 1985.

EL-HUSNY, J.C. **Limitações nutricionais para a cultura do feijoeiro** (*Phaseolus vulgaris* L.) **em solo do Norte de Minas Gerais**. 1992. 151p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.

FAGERIA, N.K.; SOUZA, N.P. de. Resposta das culturas de arroz e feijão em sucessão a adubação em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.3, p.359-368, mar. 1995.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1994. 227p. (Curso de Especialização "Lato Sensu". Solos e Meio Ambiente).

FASSBENDER, H.W. **Química de suelos**: com énfasis en suelos de América Latina. Turrialba: Editorial IICA, 1975. 398p.

FEITOSA, C.T.; RONZELLI JR., P.; ALMEIDA, L' Ade; VEIGA, A.A.; HIROCE, R.; JORGE, J.P.N. Adubação NP para o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) na presença e na ausência de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.4, n.3, p.156-159, set./dez. 1980.

FERGUSON, C.E. **Microeconomia**. Rio de Janeiro: Forense, 1978. 615p.

FERNANDEZ, F.; GEPTS, P.; LÓPEZ, M. Etapas de desarrollo em la planta de frijol. In: LÓPEZ, M.; FERNANDEZ, F.; SCHOOVHOVEN, A. V. **Frijol, investigación y producción**. Colombia: CIAT, 1985. p.61-80.

FLORA, O. **Calagem e adubação**. Campinas: Instituto Brasileiro de Ensino Agrícola, 1991. 503p.

FONTES, L.A.N.; BRAGA, L.J.; GOMES, F.R. Resposta da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) à aplicação de calcário, adubo nitrogenado e fosfatado, em municípios da Zona da Mata, Minas Gerais. **Revista Ceres**, Viçosa, v.27, n.150, p.134-144, mar./abr. 1980.

FONTES, L.A.N.; GOMES, F.R.; VIEIRA, C. Resposta do feijoeiro à aplicação de N, P, K, e calcário na Zona da Mata, Minas Gerais. **Revista Ceres**, Viçosa, v.12, n.71, p.265-285, set./dez. 1965.

FRANCO, A.A. Nutrição nitrogênio na cultura do feijoeiro. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.70, p.4-5, dez. 1995.

FRANCO, A.A. Nutricional restraints for tropical grain legume symbiosis. In: VICENT, J.M.K.; WHITNEY, J. (Ed.). **Exploiting the legume-Rhizobium in tropical agriculture**. Hawaii: University of Hawaii, 1977. p.237-252.

FRIZZONE, J.A. **Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao uso de nitrogênio e lâmina de irrigação**. 1986. 133p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

GALLO, J.R.; MIYASAKA, S. Composição química do feijoeiro e absorção de elementos nutritivos, do florescimento à floração. **Bragantia**, v.20, n.40, p. 867-884, set. 1961.

GARRIDO, M.A.T. **Resposta do feijoeiro às lâminas de água e adubação nitrogenada**. 1998. 205 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

GOMES, J. de C.; BRAGA, J.M. Relação entre a capacidade tampão de fósforo de três latossolos de Minas Gerais e a absorção diferencial de fósforo em três cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Ceres**, Viçosa, v.27, n.150, p.135-144, mar./abr. 1980.

GRANT, C.A.; FLATEN, D.N.; TOMASIEWICZ, D.J.; SHEPPARD, S.C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.95, p.1-5, set. 2001.

HAAG, H.P.; MALAVOLTA, E.; GARGANTINI, H.; BLANCO, H.G. Absorção de nutrientes pela cultura do feijoeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 26, n.30, p.381-391, ago. 1967.

JUNQUEIRA NETTO, A. **Resposta diferencial de variedades de feijão à adubação nitrogenada e fosfatada.** 1977, 99p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

KIKUTI, H. **Resposta diferencial de cultivares de milho e feijão ao efeito residual da adubação da batata.** 2000. 85p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

LIMA, S.F. de; ANDRADE, M.J.B. de; CARVALHO, J.G.de. Resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) a dose de boro, molibdênio e zinco aplicados via foliar. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 5., 1996, Goiânia. **Resumos...** Goiânia: EMBRAPA/CNPAP, 1996. p. 82-84.

LOPES, A.S. (Trad.) **Manual de fertilidade do solo.** São Paulo: ANDA/POTAFOS, 1989. 153p.

MAHTAB, S.K.; GODFREY, C.L.; SWOBODA, A.B.; THOMAS, G.W. Phosphorus diffusion in soils. In: The effect of applied P, clay content and water content. **Proceeding Soil Science Society American**, Madison, v.35, n.3, p.393-397, May/June, 1971.

MALAVOLTA, E. Adubos nitrogenados. In: **Manual de química agrícola: adubos e adubações.** 2 ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1967. p. 11-53.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola.** São Paulo: Agronômica Ceres, 1976. 528p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação.** 3.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 596p.

MALAVOLTA, E.; LIMA FILHO, O.F. Nutrição e adubação do feijoeiro. In: Fancelli, A.L.; Dourado Neto, D. (eds.) **Tecnologia da produção do feijão irrigado.** 2.ed.rev./aum. - Piracicaba: Publique, 1997. 182p.: il. 1997.

MIRANDA, L.N.; LOBATO, E. Tolerância de variedade de feijão e de trigo ao alumínio e à baixa disponibilidade de fósforo no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.2, n.1, p.44-50, jan./abr. 1978.

MORAES, J.F.V. Calagem e adubação. In: ZIMMERMANN, M.J.O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do feijoeiro fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa de Potassa e do Fosfato, 1988. p.261-301.

OLIVEIRA, I.P. de; ARAUJO, R.S.; DUTRA, L.G. Nutrição mineral e fixação biológica de nitrogênio. In: ARAUJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J. de O. (coord.) **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: POTAFOS, 1996. p.169-222.

OLIVEIRA, I.P.; THUNG, M.; KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H.; CARVALHO, J.R.P. de. Avaliação de cultivares de feijão quanto à eficiência no uso de fósforo. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v.22, n.1, p.39-45, jan. 1987.

PARRA, M.S.; VOSS, M. Adubação do feijoeiro no Paraná. In: **Manual Agropecuário do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1978. p.247-255.

PEÑUELAS, J.; BIEL, C.; ESTIARTE, M. Changes in biomass, chlorophyll content and gas exchange of beans and peppers under nitrogen and water stress. **Photosynthetica**, Prague, v.29, n.4, p.535-542, 1993.

PEREIRA, E.G.; LACERDA, A.M.; LIMA, A.S.; MOREIRA, F.M.S.; CARVALHO, D.; SIQUEIRA, J.O. Genotypic, phenotypic and symbiotic diversity amongst rhizobia isolates from *Phaseolus vulgaris* L. growing in the amazon region. In: PEDROSA, F.O.; HUNGRIA, M.; YATES, M.G.; NEWTON, W.E. **Nitrogen fixation: from molecules to crop productivity**. Foz do Iguaçu: Kluwer Academic Publishers, 1999. p.199.

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

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Ceres, 1991. 343p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (eds). **Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, 1996. 285p. (IAC. Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. van; FEITOSA, C.T.; CARMELLO, Q.A.C. Adubação Fosfato no Estado de São Paulo. In: OLIVEIRA, A.J. de; LOURENÇO, S.; GODERT, W.J (ed.). **Adubação fosfatada no Brasil**. Brasília: EMBRAPA-DID, 1982. p.103-136.

RAO, I.M.; TERRY, N. Leaf phosphate status, photosynthesis and carbon partitioning in sugar beet: I. Changes in growth, gas exchange, and Calvin cycle enzymes. **Plant Physiology**, Rokville, v.90, n.3, p.814-819, July, 1989.

REIS, A.J.; GUIMARÃES, J.M.P. Custo de produção na agricultura. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.12, n.143, p.15-22, nov. 1986.

RENNIE, R.J. Comparison N balance and ¹⁵N isotope dilution to quantify N₂ fixation in field grown legumes. **Agronomy Journal**, Madison, v.76, n.5, p.785-790, Sept./Oct., 1984.

RODRIGUES, J.R.de M. **Resposta do feijoeiro (cvs. Carioca e Pérola) a doses de nitrogênio e fósforo**. 2001. 124 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

RODRIGUES, J.R.de M.; ANDRADE, M.J.B. de; CARVALHO, J.G. de; MORAIS, A.R.de; REZENDE, P.M. de. População de plantas e rendimento de grãos do feijoeiro em função de doses de nitrogênio e fósforo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.26, n.6, p.1218-1227, nov./dez., 2002.

RONZELLI JÚNIOR, P.; VIEIRA, C.; BRAGA, J.M.; SEDIYAMA, C.S. Resposta de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) à calagem e adubação fosfatada. **Revista Ceres**, Viçosa, v.32, n.184, p.500-524, nov./dez. 1985.

ROSOLEM, C.; MARUBAYASHI, O.M. Seja o doutor do seu feijoeiro. **Informações Agrômicas**, Piracicaba, n.68, p.1-16, dez. 1994.

ROSOLEM, C.A **Nutrição e adubação do feijoeiro**. Piracicaba: POTAFOS, 1987. 93p. (POTAFOS. Circular Técnica, 8)

ROSOLEM, C.A. Adubação do feijoeiro sob irrigação. In: FANCELLI, A.L. (coord.) **A cultura do feijoeiro irrigado**. Piracicaba: FEALQ/ESALQ, 1990. p.57-94.

ROSOLEM, C.A. Calagem e adubação mineral. In: ARAUJO, R.S.; RAVA, C. A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J. de O. (coord.) **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: POTAFOS, 1996. p.353-416.

RUFTY JR., T.W.; Mac KOWN, C.T.; ISRAEL, D.W. Phosphorus stress effects on assimilation of nitrate. **Plant Physiology**, Rockville, v.94, n.1, p.328-333, Sept. 1990.

RUFTY JR., T.W.; ISRAEL, D.W.; VOLK, R.J.; QIU, J.; SA, T. Phosphate regulation of nitrate assimilation in soybean. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.44, n.262, p.879-891, May 1993.

SAITO, S.M.T.; BONETTI, R.; URQUIAGA, S.; VICTÓRIA, R.L. Nodulação e utilização de nitrogênio e fósforo em duas variedades de *Phaseolus vulgaris* sob déficit de água. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 1., 1982, Goiânia, **Anais...** Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1982. p.316 (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 1).

SILVA, M.V. da. **Aplicação foliar de cobalto, inoculação com rizóbio e adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro**. 2002. 54p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SILVA, P.R. **Análise econômica do emprego de fertilizantes na cultura do feijoeiro, através da função de produção – Zona da Mata-MG**. Viçosa, MG.: UFV, 1967. 61p. (Dissertação em Economia Rural)

SILVA, V.M.P.; ANDRADE, M.J.B. de; MORAES, A.R.; CARVALHO, J.G. de; VIEIRA, N.M.B.; JÚNIOR, J.A. Acúmulo de matéria seca e estádios de desenvolvimento do feijoeiro cv. *BRS-MG Talismã* na safra de inverno irrigada. REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 29. **Resumos...** Ribeirão Preto, 2003. (CD – rom).

SILVEIRA, P.M. da; DAMASCENO, M.A. Doses e parcelamento de K e de N na cultura do feijoeiro irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.11, p.1269-1276, nov. 1993.

SILVEIRA, P.M. da; MOREIRA, J.A.A. Resposta do feijoeiro a doses de fósforo e lâminas de água de irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.1, p.63-67, jan./abr. 1990.

SILVEIRA, P.M. da; STONE, L.F.; RIOS, G.P.; CUBUCCI, T.; AMARAL, A.M. do. **A irrigação e a cultura do feijoeiro**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP-APA, 1996. 51p. (EMBRAPA-CNPAP, Documentos, 63).

SOUZA, A. B. **População de plantas, níveis de adubação e calagem para o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) num solo de baixa fertilidade.** 2000. 69p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

TEIXEIRA, I.R.; ANDRADE, M.J.B.; CARVALHO, J.G.; MORAIS, A.R.; CORRÊA, J.B.D. Resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pérola) a diferentes densidades de semeadura e doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.24, n.2, p.399-408, abr./jun. 2000.

VALE, F.R.; GUILHERME, L.R.G.; GUEDES, G. A. de A. **Fertilidade do solo: dinâmica e disponibilidade dos nutrientes de plantas.** Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 171p. (Curso de pós-graduação “lato sensu” especialização à distância: solos e meio ambiente).

VALÉRIO, C.R. **Resposta do feijoeiro comum ao nitrogênio no plantio, em cobertura e em diferentes safras.** 2002. 62p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

VIEIRA, C. Adubação Mineral e Calagem. In: VIEIRA, C.; PAULA JR, T.J. de; BORÉM, A. (ed.) **Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas.** Viçosa: UFV, 1998. p.123-152.

VITTI, G.C.; FAVARIN, J.L.; RESENDE, L.O.de; TREVISAN, W. **Manejo do nitrogênio: em diversos sistemas de produção agrícola.** Piracicaba: SERRANA/FEALQ/GAPE, 1999, 38p.

YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. Simpósio destaca a essencialidade do fósforo na agricultura brasileira. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.102, p.1-9, jun. 2003.

YAMADA, T. A prática da adubação: fatores que afetam o uso eficiente. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. (eds.) **Tecnologia da produção do feijão irrigado.** 2.ed.rev./aum. Piracicaba: Publique, 1997. 182p.: il.

CAPÍTULO 2

ESTABELECIMENTO DA CULTURA E RENDIMENTO DE GRÃOS DO FEIJOEIRO (cv. BRS-MG TALISMÃ) EM FUNÇÃO DE DOSES DE NITROGÊNIO E FÓSFORO.

1 Resumo

KIKUTI, Hamilton. Estabelecimento da cultura e rendimento de grãos do feijoeiro (cv. BRS-MG Talismã) em função de doses de nitrogênio e fósforo. In: **_____ Resposta do feijoeiro (cv. BRS-MG Talismã) a doses de nitrogênio e fósforo.** 2004. p.31-63, Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG¹.

Visando estudar o efeito de doses de N e P₂O₅ sobre o estabelecimento da cultura e o rendimento de grãos do feijoeiro BRS-MG Talismã, foram conduzidos quatro experimentos de campo (inverno-primavera 2000, primavera-verão 2000/2001 e 2001/2002 e inverno-primavera 2002) em Latossolo Vermelho distroférico típico da área experimental do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras-MG, Brasil. Empregou-se o delineamento experimental de blocos casualizados com três repetições e esquema fatorial 4x4, envolvendo quatro doses de fósforo (0, 100, 200 e 300 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, fonte superfosfato triplo) e quatro doses de N (0, 70, 140 e 210 kg.ha⁻¹ de N, fonte uréia, fracionando-se ½ na semeadura e ½ em cobertura no início da etapa V₄ do ciclo do feijoeiro). Determinou-se o efeito dos fatores em análise por meio do estande inicial e final de plantas e do rendimento de grãos. O incremento das doses de N resultou em menor população de plantas tanto inicial quanto final, na maioria das situações, e as crescentes doses de P atenuaram este efeito. O rendimento de grãos elevou-se de forma quadrática com o aumento da dose de N, atingindo pontos de máxima produtividade que variaram conforme a safra. A resposta do rendimento às doses de P₂O₅ foi linear ou quadrática e também variou de safra para safra. As doses de N e P₂O₅ recomendáveis, calculadas de acordo com o critério de 90% da produtividade máxima, foram superiores às oficialmente recomendadas em Minas Gerais.

¹ Comitê Orientador: Messias José Bastos de Andrade – UFLA (Orientador), Janice Guedes de Carvalho – UFLA, Augusto Ramalho de Moraes – UFLA.

2 Abstract

KIKUTI, Hamilton. Plant populations and grain yield of common bean (cv. BRS-MG Talismã) as a result of nitrogen and phosphorus levels. In: **Common bean (cv. BRS-MG Talismã) response to nitrogen and phosphorus levels**. 2004. p.31-63, Thesis (Doctorate in Crop Science) - Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG¹.

Aiming to study N and P₂O₅ doses effect on plant population and grain yield of the common bean BRS-MG Talismã cultivar, were conducted four experiments (winter-spring 2000, spring-summer 2000/2001, spring-summer 2001/2002, winter-spring 2002) in a typical dark red latossol at experimental area of the Departamento de Agricultura, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras-Minas Gerais, Brasil. It was used randomized complete block design with three replications in a 4 x 4 factorial scheme using four phosphorus doses (0, 100, 200 and 300 kg.ha⁻¹ of P₂O₅, triple superphosphate source), and four N doses (0, 70, 140 and 210 kg.ha⁻¹ of N in two split doses: the first ½ at the sowing and the other ½ as side dressing at the beginning of V4 stage of the common bean cycle). The effects were evaluated by the beginning and ending plants standards and grains yield. Increasing N doses resulted low plants population, as in the initial stage well as in the final, in most situation. Increasing P doses diminished N effect over plants population. The grain yield increased in the quadratic way when N dosage where enhanced, reaching the highest productivity peaks that changed with the sowing seasons. The yield response to suggested N and P₂O₅ doses, calculated by the 90% criteria of maximum productivity, were higher to those recommended officially in Minas Gerais State, Brazil.

¹ Guidance Committee: Messias José Bastos de Andrade – UFLA (Major Professor), Janice Guedes de Carvalho – UFLA and Augusto Ramalho de Moraes – UFLA.

3 Introdução

Embora a literatura seja relativamente rica em resultados sobre a aplicação de N (nitrogênio) e P (fósforo) no feijoeiro, permitindo estabelecer que estes são os nutrientes aos quais a cultura tem apresentado maiores respostas, persistem vários questionamentos sobre a sua utilização.

No caso do N, são bem conhecidas a baixa eficiência da fixação simbiótica (Malavolta, 1980; Cassini & Franco, 1998), a sua grande remoção pelo feijoeiro (Haag et al., 1967; Cobra Neto et al., 1971; El-Husny, 1992), as perdas por lixiviação (Caballero, 1982; Oziname et al., 1983) e volatilização (Caballero, 1982) e a sua imobilização (Lopes, 1989).

Em relação ao P, é satisfatório o conhecimento sobre os baixos teores disponíveis e sobre a grande capacidade de fixação nos solos brasileiros (Malavolta, 1980; Raij, 1991; Sousa & Lobato, 2003; Yamada & Abdalla, 2003). Quando se trata, entretanto, de definir as doses a serem recomendadas, encontra-se a dificuldade representada pela diversidade dos atuais sistemas de produção, que vão da lavoura de sequeiro à irrigada, do plantio convencional ao plantio direto, do emprego de cultivares tradicionais com baixo potencial produtivo às cultivares de lançamento mais recente, com alto potencial de rendimento.

Em lavouras irrigadas empresariais de Minas Gerais, onde os rendimentos de grãos normalmente ultrapassam 3000 kg.ha^{-1} , os produtores têm sistematicamente elevado as doses de fertilizantes aplicadas, superando de maneira significativa as recomendações oficiais do Estado (Chagas et al., 1999). Procurando contribuir para recomendações adequadas àquela realidade, Rodrigues et al. (2002) estudaram o comportamento das cultivares Carioca e Pérola submetidas a doses relativamente elevadas de N (0, 60 e 120 kg.ha^{-1} de N, sendo 2/3 na semeadura e 1/3 em cobertura aos 20 DAE) e P_2O_5 (0, 50, 100 e

150 kg.ha⁻¹ de P₂O₅). Os resultados mostraram que não houve comportamento diferencial das cultivares em relação à adubação, mas a interação doses de N x doses de P₂O₅ foi significativa para o estande inicial e para o rendimento de grãos. A resposta de ambas as cultivares foi linear, indicando que para a obtenção de máxima produtividade as doses de N e P₂O₅ deveriam ser aumentadas.

O objetivo do presente trabalho foi, portanto, estudar o comportamento de doses de N e P₂O₅ ainda mais elevadas, agora com o emprego da cv. BRS-MG Talismã, recentemente recomendadas pela pesquisa para Minas Gerais.

4 Material e Métodos

O estudo constou de quatro experimentos de campo conduzidos em Lavras-MG, nas safras do inverno-primavera 2000 e 2002, primavera-verão 2000/2001 e 2001/2002, conforme classificação de Vieira & Vieira (1995), para épocas de cultivo e tratadas, a partir desse ponto, de inverno de 2000 e 2002 e águas de 2000/2001 e 2001/2002.

Lavras está situada na região sul de Minas Gerais, a 21°14' de latitude sul e 45°00' de longitude oeste (Brasil, 1992), com níveis altimétricos compreendidos entre 822 e 1259 metros em relação ao nível do mar e topografia caracterizada pela dominância de um relevo colinoso (Sebrae, 1998).

O clima do Município encontra-se no limite entre Cwb e Cwa, caracterizando clima temperado a temperado subtropical com inverno seco, segundo a classificação de Köppen (Lavras, 1993). A temperatura média do mês mais quente é 26,1°C e do mês mais frio, 14,8°C, sendo a média anual de 19,4°C. A precipitação média anual é de 1.529,7 mm, com cerca de 70% desse total concentrado de novembro a março. A evaporação total no ano é, em média, 1.034,3 mm, e a umidade relativa média anual do ar é de 76,2% (Brasil, 1992). Nas Figuras 1 e 2 são apresentadas as principais ocorrências climáticas durante o período em que foram conduzidos os experimentos.

O solo da área experimental, pertencente ao Departamento de Agricultura (DAG) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico típico de textura argilosa (Embrapa, 1999), originalmente sob vegetação de cerrado, com altitude de 912 metros.

Resultados da análise química de amostras de material de solo, coletadas antes de cada plantio, à profundidade de 0-20 cm nas áreas utilizadas, são apresentados na Tabela 1.

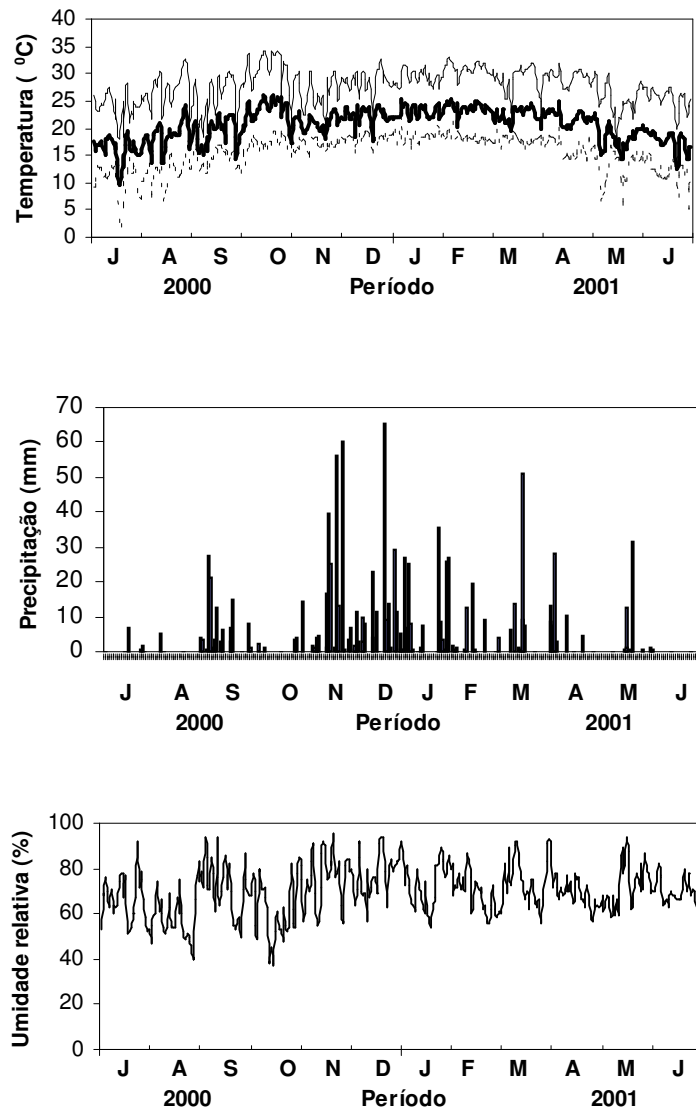


FIGURA 1. Variação diária das médias de temperaturas (máxima, média e mínima), precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar no período de julho de 2000 a junho de 2001 (Dados fornecidos pela Estação Climatológica Principal de Lavras - MG, situada no “campus” da UFLA, em convênio com o Instituto Nacional de Meteorologia - INMET).

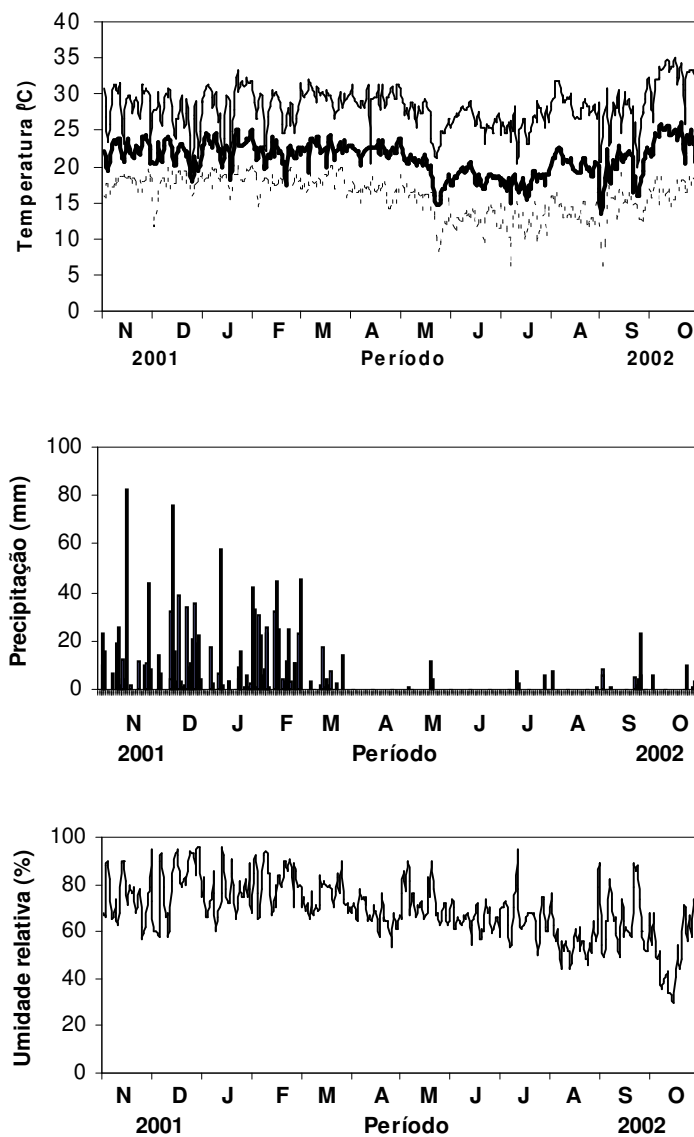


FIGURA 2. Variação diária das médias de temperaturas (máxima, média e mínima), precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar no período de novembro de 2001 a outubro de 2002 (Dados fornecidos pela Estação Climatológica Principal de Lavras - MG, situada no “campus” da UFLA, em convênio com o Instituto Nacional de Meteorologia - INMET).

TABELA 1. Resultados da análise química de amostras (0-20 cm profundidade) de material dos solos utilizados, antes de cada semeadura. UFLA, Lavras - MG, 2000/2002.⁽¹⁾

Características ⁽²⁾	Safrá			
	Inverno 2000	Águas 2000/2001	Águas 2001/2002	Inverno 2002
pH água (1:2,5)	5,6 AcM	5,8 AcM	5,3 AcM	5,3 AcM
P (mg.dm ⁻³)	9,0 M	7,0 Ba	15,0 Bo	15,4 Bo
K (mg.dm ⁻³)	98,0 Bo	80,0 Bo	61,0 M	94,0 Bo
Ca (cmol _c .dm ⁻³)	3,6 Bo	3,6 Bo	1,8 M	2,7 Bo
Mg (cmol _c .dm ⁻³)	1,0 Bo	0,6 M	0,5 M	0,8 M
Al (cmol _c .dm ⁻³)	0,0 Mba	0,0 Mba	0,2 Mba	0,2 Mba
H+Al (cmol _c .dm ⁻³)	3,6 M	3,0 M	4,5 M	3,6 M
SB (cmol _c .dm ⁻³)	4,9 Bo	4,4 Bo	2,5 M	3,7 Bo
t (cmol _c .dm ⁻³)	4,9 Bo	4,4 M	2,7 M	3,9 M
T (cmol _c .dm ⁻³)	8,5 M	7,6 M	7,0 M	7,3 M
m (%)	0,0 Mba	0,0 Mba	8,0 Mba	5,0 Mba
V (%)	57,4 M	58,2 M	35,3 Ba	51,0 M
M.O (dag.kg ⁻¹)	3,4 M	3,4 M	1,8 Ba	2,6 M

⁽¹⁾ Análises realizadas nos laboratórios do Departamento de Ciências do Solo (DCS) da UFLA, de acordo com a metodologia da Embrapa (1997) e interpretação de acordo com Alvarez V. et al. (1999). AcM = acidez média, Mba = teor muito baixo, Ba = teor baixo, M = teor médio, Bo = teor bom.

⁽²⁾ SB = soma de bases, t = CTC efetiva, m = saturação por Al, T = CTC a pH 7,0, V = saturação por bases.

O delineamento experimental empregado foi o de blocos casualizados, com três repetições e esquema fatorial 4x4, envolvendo quatro doses de nitrogênio e quatro doses de fósforo.

A cultivar utilizada foi a BRS-MG Talismã, desenvolvida pelo convênio UFLA/UFV/Epamig/Embrapa e recomendada para Minas Gerais (Cultivar, 2002). Apresenta grãos tipo carioca, crescimento indeterminado com guias longas (tipo III), porte prostrado, ciclo médio de 85 dias, resistência à raça alfa brasil (patótipo 89) de antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) e ao mosaico comum (VMCF) e resistência intermediária à mancha angular (*Phaeoisariopsis griseola*).

O fósforo foi empregado nas doses de 0, 100, 200 e 300 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, utilizando-se como fonte o superfosfato triplo, aplicado totalmente por ocasião da semeadura do feijão, juntamente com o fertilizante potássico (cloreto de potássio, 50 kg.ha⁻¹ de K₂O) e parte do fertilizante nitrogenado, quando este estava presente.

As doses de nitrogênio foram 0, 70, 140 e 210 kg.ha⁻¹ de N, empregando-se a uréia como fonte e parcelando-se a dose em duas aplicações: ½ na semeadura e ½ em cobertura, no início da etapa V4 do feijoeiro, aproximadamente aos 25 dias após a emergência (DAE) das plântulas, resultando, portanto, nas aplicações de 0+0, 35+35, 70+70 e 105+105 kg.ha⁻¹ de N. A cobertura nitrogenada foi feita de forma convencional, manual, em filete contínuo, lateralmente às plantas, realizando-se uma irrigação nas safras de inverno (cerca de 4 a 6 mm) após o término dessa prática.

O preparo das glebas utilizadas foi convencional, com uma aração e duas gradagens nas safras de inverno de 2000 e das águas, e uma aração e três gradagens na safra de inverno de 2003. Mostrou-se inadequado para o experimento conduzido nas águas 2000/2001 pela presença de grande quantidade de “torrões” e da maior competição por plantas daninhas.

O cálculo da necessidade de calagem foi realizado pelo método que se baseia nos teores de alumínio e de cálcio mais magnésio (Alvarez V & Ribeiro, 1999), não tendo sido necessária a correção do solo nas áreas utilizadas (Tabela 1). As semeaduras foram realizadas manualmente na primeira quinzena de julho nas safras de inverno e na primeira quinzena de novembro nas safras das águas.

Adotou-se o espaçamento de 0,5 m entre linhas, densidade de 15 sementes por metro e profundidade de semeadura de 3-4 cm. As sementes apresentaram poder germinativo entre 85 e 90%. Cada parcela foi constituída

por quatro fileiras de 5,0 m de comprimento, perfazendo área total de 10 m² e área útil de 5 m², correspondente as duas fileiras centrais.

Apenas os experimentos de inverno foram irrigados, utilizando-se a aspersão convencional. A cultura foi permanentemente monitorada e não foram necessárias quaisquer medidas de controle fitossanitário. O manejo de plantas daninhas foi realizado por capinas manuais, objetivando manter a cultura no limpo até o completo fechamento do espaço entre as fileiras de plantas. Esse objetivo não foi totalmente alcançado na safra das águas 2000/2001 devido à grande infestação da área por tiririca (*Cyperus* sp.).

Nos experimentos conduzidos nas águas de 2000/2001 e inverno 2002, foi avaliado o estande inicial, aos 21 dias após a semeadura, e o estande final, por ocasião da colheita, com a contagem do número de plantas existentes nas duas fileiras centrais de cada parcela.

O rendimento de grãos foi determinado, em cada experimento, pela pesagem da totalidade dos grãos obtidos na parcela útil, após a trilha de todas as plantas nela existentes. O peso originalmente obtido foi corrigido para 13% de água, de acordo com a expressão a seguir, e posteriormente expresso em kg.ha⁻¹:

$$P = \frac{Pc.(100 - Uo)}{(100 - Ui)}$$

em que: P: peso de grãos corrigido;
Pc: peso de grãos obtido no campo;
Uo: umidade dos grãos (% de água);
Ui: umidade de correção (% de água).

Os dados obtidos nos quatro experimentos foram submetidos à análise de variância individual e conjunta, de acordo com esquema baseado em Banzatto

& Kronka (1995), usando-se o pacote computacional SISVAR, versão 4.0 (Ferreira, 2000).

Os efeitos das doses de N e P₂O₅, quando significativos pelo teste de F, foram estudados mediante análise de regressão, com posterior seleção da(s) equação(ões) mais representativa(s) das relações entre as variáveis envolvidas (Gomes, 1990) observando-se, concomitantemente, a significância do modelo e o valor do coeficiente de determinação (R²).

5 Resultados e Discussão

Na análise de variância conjunta dos dados relativos aos estandes inicial e final e ao rendimento de grãos (Tabela 2) observa-se, inicialmente, que os valores do coeficiente de variação (CV%) indicaram precisão experimental adequada, coerente com a obtida com a cultura do feijoeiro na região (Abreu et al., 1994).

Os efeitos principais foram sempre significativos. Dentre as interações duplas, a interação safra (S) x doses de nitrogênio (N) influenciou o rendimento de grãos; a interação S x doses de P₂O₅ (P) influenciou o estande final e o rendimento; e a interação N x P influenciou os estandes inicial e final. A interação tripla foi significativa para estande inicial e final (Tabela 2).

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios das características nas análises conjuntas, em função das safras e das doses de N e P₂O₅.

TABELA 2. Resumo da análise de variância conjunta dos dados relativos aos estandes inicial e final e rendimento de grãos. UFLA, Lavras - MG, 2000/2002.

Fontes de Variação	Estande inicial		Estande final		Rendimento grãos	
	GL	Q Mx10 ⁶	Q Mx10 ⁶	GL	Q Mx10 ²	
Bloco d/ safra	4	2 216	3 250**	8	3 626,3	
Safra (S)	1	22 940**	31 901**	3	43 106,6**	
Nitrogênio (N)	3	118 645**	96 353**	3	112 151,9**	
Fósforo (P)	3	5 179**	3 496**	3	46 122,1**	
S x N	3	804	944	9	4 596,8**	
S x P	3	1 084	2 772**	9	2 926,5**	
N x P	9	1 382**	1 333*	9	1 003,4	
S x N x P	9	981*	1 171*	27	849,2	
Resíduo Médio	60	418	546	120	976,3	
CV (%)		9,8	12,3		18,9	

** , * Significativo a 1 e 5 % de probabilidade pelo teste F.

5.1 Estande inicial

Os estandes iniciais médios de 193,2 mil plantas.ha⁻¹ nas águas 2000/2001 e 224,1 mil plantas.ha⁻¹ no inverno 2002 diferiram significativamente (Tabela 3). Na primeira destas safras o menor estande inicial, certamente afetou o estande final e conseqüentemente, de forma suficiente para ocasionar queda no rendimento de grãos. Provavelmente, o decréscimo na população de plantas superou os limites de recuperação do rendimento da cultura, ou seja, da sua capacidade de compensar a produção de grãos dentro de certos limites de populações de plantas (Fernandes, 1987).

TABELA 3. Valores médios dos estandes inicial e final e do rendimento de grãos do feijoeiro cv. BRS-MG Talismã em função de safras e de doses de N e P₂O₅. UFLA, Lavras - MG, 2000/2002.

Fatores	Estande inicial (mil plantas.ha ⁻¹)	Estande final (mil plantas.ha ⁻¹)	Rendimento de grãos (kg.ha ⁻¹)
Safras ^{IV}:			
Inverno 2000	-	-	1805 a
Águas 2000/2001	193,2 b	171,7 b	1211 b
Águas 2001/2002	-	-	1737 a
Inverno 2002	224,1 a	208,1 a	1863 a
N (kg.ha⁻¹):			
0	277,1	253,3	946
70	252,6	226,4	1753
140	183,4	169,4	2007
210	121,6	110,7	1911
P₂O₅ (kg.ha⁻¹):			
0	195,4	174,5	1216
100	198,7	186,8	1657
200	213,2	196,5	1898
300	227,4	202,0	1846
Média	208,7	189,9	1654

^{IV} Em cada coluna, médias seguidas por diferentes letras diferem significativamente a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Embora seja comum na região a obtenção de menor estande inicial no inverno, devido às baixas temperaturas no período (Araújo, 1998), no presente estudo ocorreu o inverso, sendo que as dificuldades de preparo do solo e problemas com plantas daninhas na safra das águas 2000/2001 podem ter sido determinantes na redução do estande inicial nesta última safra.

De modo geral, observa-se que o aumento das doses de N diminuiu o estande inicial, ocorrendo o contrário em relação ao P₂O₅ (Tabela 3), fato também observado por Rodrigues et al. (2002).

Objetivando melhor esclarecer os efeitos da interação S x N x P sobre o estande inicial, foram realizados quatro tipos de desdobramentos (Figuras 3, 4, 5 e 6).

0 kg.ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ o o o o o	$\hat{Y} = 262\,400 - 875,238 x$	(R ² = 97,5%)**
100 kg.ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ - - - - -	$\hat{Y} = 273\,333 - 838,095 x$	(R ² = 97,1%)**
200 kg.ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ _____	$\hat{Y} = 259\,667 - 580,952 x$	(R ² = 88,3%)**
300 kg.ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ —————	$\hat{Y} = 265\,133 + 87,619 x - 3,265 x^2$	(R ² = 99,9%)**

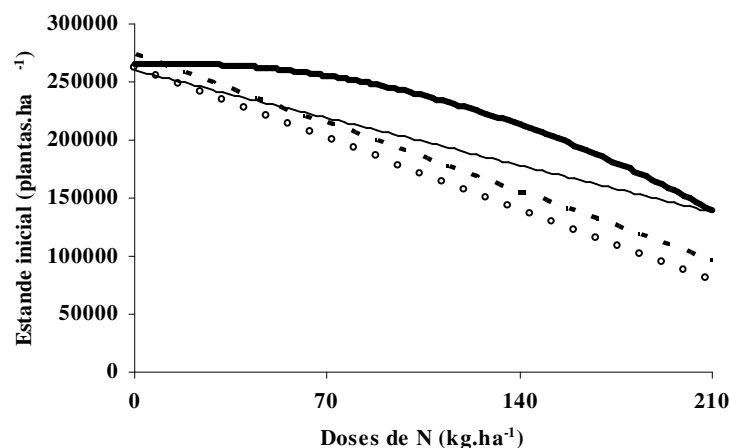


FIGURA 3. Estande inicial da cultivar BRS-MG Talismã em função de doses de N para cada dose de P₂O₅. UFLA, Lavras - MG, águas 2000/2001.

Na Figura 3 foram estudados os efeitos das doses de N dentro de cada dose de P₂O₅ na safra águas 2000/2001. À medida que se aumentou a dose de N, reduziu-se o estande inicial. Este efeito foi quadrático na presença de 300 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ e linear nas demais doses. Pode-se observar, ainda, que o efeito negativo das doses de N sobre o estande foi gradativamente amenizado com o incremento da dose de P₂O₅.

De modo similar, no segundo desdobramento (Figura 4) o efeito negativo das doses de N sobre o estande inicial mostrou-se significativo, ajustando-se a modelos quadráticos nas doses de 0 e 200 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, com queda mais acentuada do estande na ausência de P₂O₅, fato também observado nas águas 2000/2001 (Figura 3). Para as outras duas situações, o modelo linear decrescente se ajustou melhor (Figura 4).

0 kg.ha ⁻¹ de P ₂ O ₅	o o o o o	$\hat{Y} = 298\,733 - 180,00 x - 3,469 x^2$	(R ² = 99,9%)**
100 kg.ha ⁻¹ de P ₂ O ₅	- - - - -	$\hat{Y} = 303\,000 - 866,67 x$	(R ² = 91,0%)**
200 kg.ha ⁻¹ de P ₂ O ₅	_____	$\hat{Y} = 294\,667 - 28,57 x - 4,082 x^2$	(R ² = 99,9%)**
300 kg.ha ⁻¹ de P ₂ O ₅	—————	$\hat{Y} = 302\,200 - 625,71 x$	(R ² = 92,6%)**

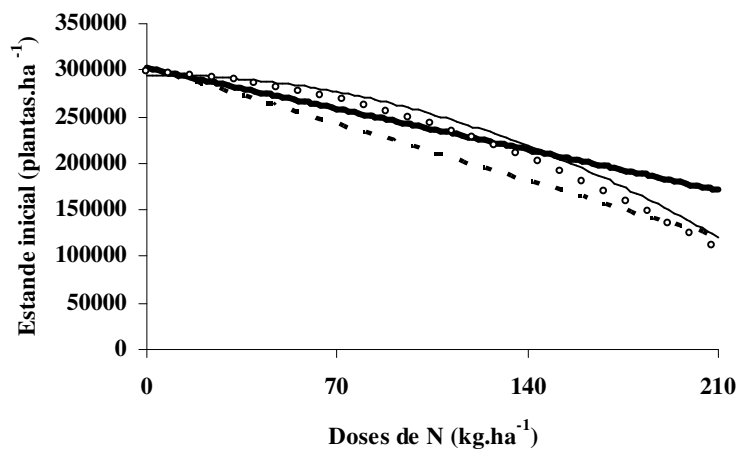


FIGURA 4. Estande inicial da cultivar BRS-MG Talismã em função de doses de N para cada dose de P₂O₅. UFLA, Lavras - MG, inverno 2002.

Os resultados até então discutidos não deixam dúvidas, portanto, sobre o efeito negativo do aumento da dose de N em semeadura sobre o estande inicial. Este fato já havia sido constatado por diversos autores (Silveira & Damasceno, 1993; Araújo et al., 1994; Teixeira et al., 2000 e Rodrigues et al., 2002), os quais atribuíram este resultado a um aumento no efeito salino do fertilizante sobre a germinação das sementes. Este argumento é altamente relevante também para o presente trabalho, em que a dose máxima utilizada foi de 210 kg.ha⁻¹ de N, com aplicação de 105 kg.ha⁻¹ de N na semeadura.

A Figura 5 contempla o efeito das doses de P₂O₅ em cada dose de N, no experimento conduzido nas águas 2000/2001. Na ausência de N não foi verificado efeito significativo das doses de P₂O₅, mas nas demais situações o incremento da dose de P₂O₅ contribuiu para aumento do estande, sendo que os maiores acréscimos ocorreram na dose de 140 kg.ha⁻¹ de N. Este efeito positivo foi também constatado por Rodrigues et al. (2002) em algumas combinações de safra e dose de N, todas na presença de baixo teor de P no solo, o que também ocorreu na safra das águas 2000/2001 (Tabela 1). Provavelmente, o acréscimo do P solúvel proporcionado pelo aumento da dose de P₂O₅ nesta fase de estabelecimento da cultura aumentou a sobrevivência inicial das plântulas, pela melhora da nutrição e crescimento, com conseqüente diminuição do efeito salino.

Na safra do inverno 2002 (Figura 6), o efeito das doses de P₂O₅ foi significativo apenas na presença da dose de 210 kg.ha⁻¹ de N, com melhor ajuste dos dados ao modelo linear crescente, sendo não significativo nas demais situações. Provavelmente, nesta safra, a resposta às doses de P₂O₅ foi inferior à primeira, devido aos teores mais elevados de P no solo (Tabela 1).

0 kg.ha⁻¹ de N o o o o $Y = 261\,333,333$
 70 kg.ha⁻¹ de N - - - - $\hat{Y} = 199\,066,667 + 207,333 x$ ($R^2 = 83,7\%$)**
 140 kg.ha⁻¹ de N _____ $\hat{Y} = 127\,600,000 + 269,333 x$ ($R^2 = 94,7\%$)**
 210 kg.ha⁻¹ de N ————— $\hat{Y} = 84\,533,333 + 192,000 x$ ($R^2 = 86,4\%$)**

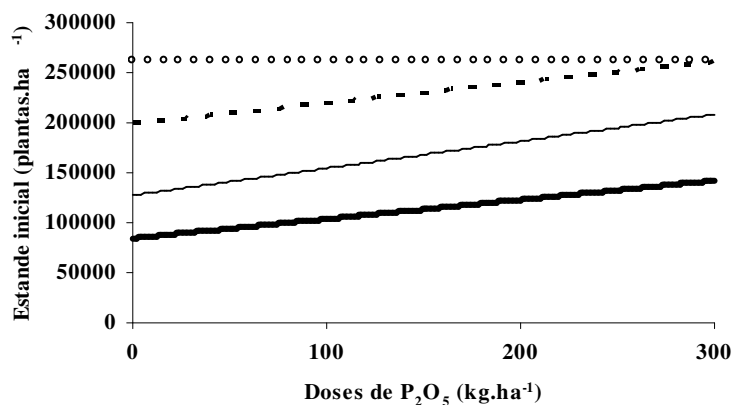


FIGURA 5. Estande inicial da cultivar BRS-MG Talismã em função de doses de P₂O₅ para cada dose de N UFLA, Lavras - MG, águas 2000/2001.

0 kg.ha⁻¹ de N o o o o $Y = 292\,833,333$
 70 kg.ha⁻¹ de N - - - - $Y = 275\,000,000$
 140 kg.ha⁻¹ de N _____ $Y = 198\,833,333$
 210 kg.ha⁻¹ de N ————— $\hat{Y} = 111\,766,666 - 39 x + 0,683 x^2$ ($R^2 = 84,7\%$)**

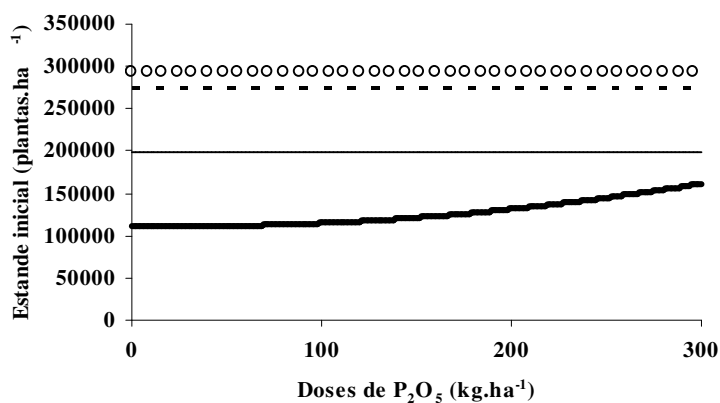


FIGURA 6. Estande inicial da cultivar BRS-MG Talismã em função de doses de P₂O₅ para cada dose de N UFLA, Lavras - MG, inverno 2002.

Nota-se, entretanto, que nas duas safras o efeito das doses de P_2O_5 foi maior na presença das maiores doses de N, o que reforça a interdependência das adubações nitrogenada e fosfatada (Fageria et al., 2003), principalmente no estabelecimento da cultura, representado pelo estande inicial.

5.2 Estande final

O estande final médio considerando as duas safras avaliadas, foi de 189,9 mil plantas.ha⁻¹ (Tabela 3), o que correspondeu a cerca de 9,5 plantas por metro. Observa-se que a população final da cultura diferiu nas safras, com cerca de 10,4 plantas.m⁻¹ no inverno 2002 e 8,6 plantas.m⁻¹ nas águas 2000/2001. De certa forma, estes valores podem ser uma boa referência para a qualidade do ambiente em cada safra estudada: nas águas 2000/2001, por exemplo, o baixo estande final médio pode ser reflexo do preparo insatisfatório do solo (com a presença de muitos “torrões”) e da maior competição exercida pela tiririca (*Cyperus* sp.), conforme já discutido, o que influenciou no rendimento de grãos, que também se mostrou significativamente inferior nessa safra (Tabela 3). Na safra do inverno 2002, o estande médio de 10,4 plantas.m⁻¹ não chegou a causar redução no rendimento médio, provavelmente devido ao efeito compensatório da cultura, que se traduz, na prática, na obtenção de produtividades equivalentes com diferentes populações (Fernandes, 1987).

A significância da interação S x N x P em relação ao estande final (Tabela 2) indica que nas diferentes safras, o efeito das doses de N diferiu em função das doses de P_2O_5 e vice-versa. De fato, ao se desdobrar esta interação, verificou-se que nas duas safras o incremento da dose de N reduziu o estande final, o que já era esperado. Na safra das águas 2000/2001 este efeito foi linear decrescente nas menores doses de P_2O_5 e quadrático na maior dose, 300 kg.ha⁻¹ (Figura 7).

0 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ o o o o o $\hat{Y} = 223\,466,666 - 774,286 x$ ($R^2 = 96,1\%$)**
 100 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ - - - - $\hat{Y} = 248\,533,333 - 778,095 x$ ($R^2 = 98,1\%$)**
 200 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ ——— $\hat{Y} = 233\,000,000 - 476,191 x$ ($R^2 = 80,2\%$)**
 300 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ ——— $\hat{Y} = 224\,700,000 + 376,666 x - 4,048 x^2$ ($R^2 = 92,6\%$)**

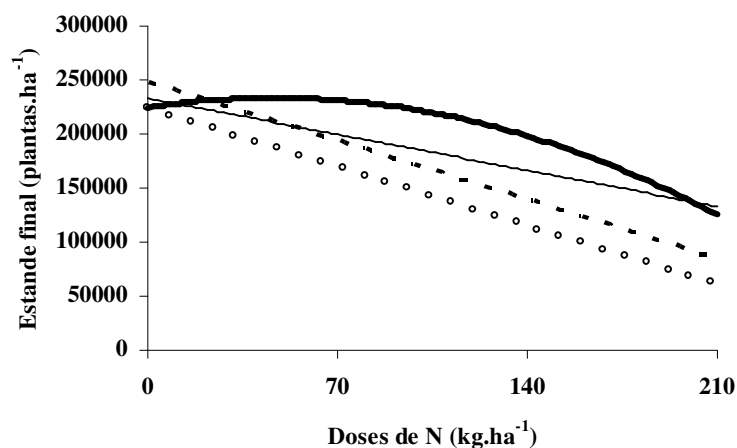


FIGURA 7. Estande final da cultivar BRS-MG Talismã, em função de doses de N para cada dose de P₂O₅. UFLA, Lavras - MG, águas 2000/2002.

Na safra de inverno de 2002, o efeito decrescente das doses de N sobre o estande final nas diferentes doses de P₂O₅ se faz notar, com destaque para o fato de que as diferenças entre as doses de P₂O₅ se apresentam com menores magnitudes (Figura 8). Mesmo utilizando doses menores que as do presente trabalho, Rodrigues et al. (2002) já haviam verificado esse efeito tanto sobre o estande inicial como sobre o estande final das cv. Carioca e Pérola. Como já mencionado, é possível que o aumento das doses de N tenha elevado o efeito salino do fertilizante sobre a semente, causando problemas à germinação e/ou emergência dos feijoeiros, reduzindo o estande inicial e refletindo-se sobre o estande final. Esse efeito já havia sido constatado por outros autores, como Silveira & Damasceno (1993); Araújo et al. (1994) e Teixeira et al. (2000).

0 kg.ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ o o o o o	$\hat{Y} = 304\,533,333 - 930,476 x$	(R ² = 98,2%)**
100 kg.ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ - - - - -	$\hat{Y} = 278\,066,666 - 680,000 x$	(R ² = 97,7%)**
200 kg.ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ _____	$\hat{Y} = 279\,266,666 - 81,905 x - 3,537 x^2$	(R ² = 99,2%)**
300 kg.ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ —————	$\hat{Y} = 272\,466,666 - 602,857 x$	(R ² = 96,8%)**

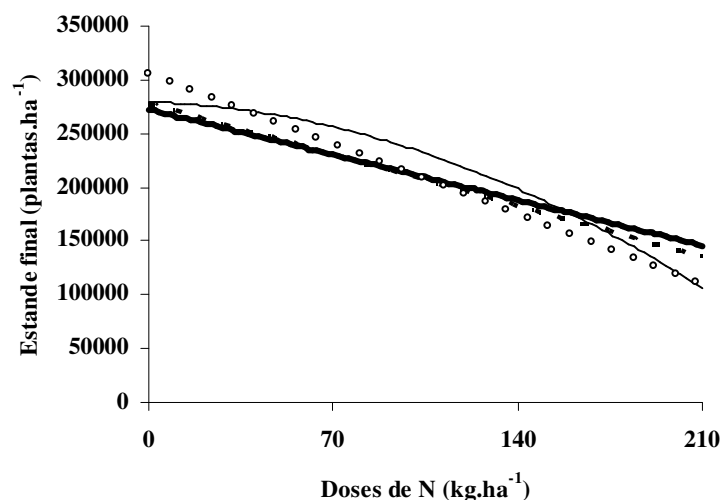


FIGURA 8. Estande final da cultivar BRS-MG Talismã, em função de doses de N para cada dose de P₂O₅. UFLA, Lavras - MG, inverno 2002.

O efeito das doses de P₂O₅ sobre o estande final se mostrou dependente das doses de N na safra das águas de 2000/2001, conforme pode ser observado na Figura 9. O incremento da dose de P₂O₅ elevou o estande final do feijoeiro segundo ajuste linear nas maiores doses de N (140 e 210 kg.ha⁻¹) ou quadrático na dose de 70 kg.ha⁻¹, mas não foi significativo na testemunha, que não fez uso de N.

Na safra do inverno 2002 este efeito não foi observado (Figura 10), o que pode estar relacionado ao adequado teor de P no solo, da ordem de 15,4 mg.dm⁻³ (Tabela 1), aliado à questão de que a água fornecida via irrigação certamente facilitou a movimentação do fósforo pelo mecanismo de difusão, aumentando sua disponibilidade, proporcionando maior absorção e crescimento do feijoeiro e, conseqüentemente, resultando em maior sobrevivência de

plantas. Rodrigues et al. (2002), mesmo trabalhando em solos com baixo teor de P, também não observaram efeito das doses de P_2O_5 sobre o estande final, a despeito de verificarem influência sobre o estande inicial.

$$\begin{array}{ll}
 0 \text{ kg.ha}^{-1} \text{ de N } \circ \circ \circ \circ & Y = 229\,166,66 \\
 70 \text{ kg.ha}^{-1} \text{ de N } - - - - & \hat{Y} = 153\,533,33 + 662,000 x - 1,366 x^2 \quad (R^2 = 99,9\%)* \\
 140 \text{ kg.ha}^{-1} \text{ de N } \text{ ————} & \hat{Y} = 107\,666,66 + 293,333 x \quad (R^2 = 97,2\%)** \\
 210 \text{ kg.ha}^{-1} \text{ de N } \text{ —————} & \hat{Y} = 69\,600,00 + 209,333 x \quad (R^2 = 81,9\%)**
 \end{array}$$

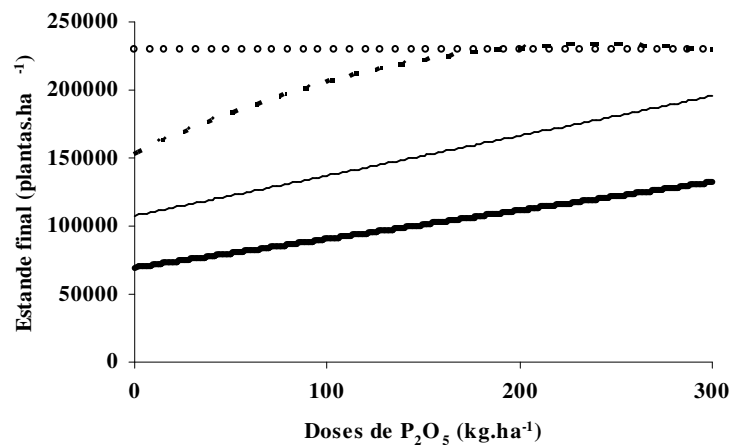


FIGURA 9. Estande final da cultivar BRS-MG Talismã, em função de doses de P_2O_5 para cada dose de N. UFLA, Lavras - MG, águas 2000/2001.

Conclui-se, portanto, que de forma geral o incremento das doses de N também reduziu o estande final. Entretanto, essa redução não seguiu o mesmo padrão na presença de diferentes doses de P_2O_5 e nas diferentes safras, o que ressalta a importância do ambiente. Do mesmo modo, o efeito das doses de P_2O_5 foi dependente da safra e das diferentes doses de N.

Estes aspectos sinérgicos da interação P x N são interessantes e se somam a outros já descritos na literatura, principalmente nos estágios iniciais da planta (Lopes, 1989; Fageria et al., 2003).

0 kg.ha⁻¹ de N o o o o $\hat{Y} = 277\ 333$
 70 kg.ha⁻¹ de N - - - - $\hat{Y} = 247\ 833$
 140 kg.ha⁻¹ de N _____ $\hat{Y} = 187\ 167$
 210 kg.ha⁻¹ de N ————— $\hat{Y} = 120\ 333$

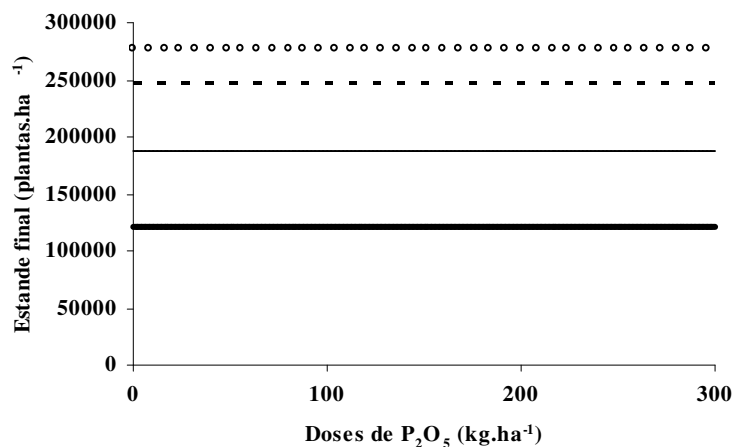


FIGURA 10. Estande final da cultivar BRS-MG Talismã em função de doses de P₂O₅ para cada dose de N. UFLA, Lavras - MG, inverno 2002.

5.3 Rendimento de grãos

O rendimento médio de grãos, obtido na análise conjunta das quatro safras, foi de 1654 kg.ha⁻¹ (Tabela 3), bastante superior aos rendimentos médios nacional (740 kg.ha⁻¹) e mineiro (1178 kg.ha⁻¹) em 2002/2003 (Agrianual, 2004). Considerando-se, entretanto, o nível de tecnologia empregado e somente o resultado das maiores doses de N e P₂O₅ (Tabela 3), a produtividade obtida foi coerente com a prevista por Chagas et al., 1999 para o nível 3 de tecnologia, de 1800 a 2500 kg.ha⁻¹ de grãos.

Quando se compara o rendimento médio de grãos obtido em cada uma das safras (Tabela 3), verifica-se que no inverno a produtividade superou os 1800 kg.ha⁻¹, enquanto nas águas ela foi inferior a este limite (Tabela 3). Embora o rendimento em 2001/2002 não tenha diferido daquele obtido nas duas safras

do inverno, este comportamento inferior da lavoura do feijoeiro nas águas é comum na região e foi bastante discutido por Andrade (1998). Nas águas de 2000/2001, o menor rendimento de grãos (Tabela 3) foi devido, além dos fatores edáficos (Tabela 1) e climáticos (Figura 1), ao o preparo não ideal do solo, com grande quantidade de torrões quando da implantação da cultura, e à infestação por ciperáceas.

Ao contrário da população de plantas, o rendimento de grãos não foi influenciado pelas interações N x P e S x N x P; entretanto, como as demais interações duplas (S x N e S x P) foram significativas (Tabela 2), nota-se que a resposta da produtividade às doses de N ou P₂O₅ foi dependente da safra considerada (Figuras 11 e 12).

Inverno 2000	—	$\hat{Y} = 861,167 + 17,342 x - 0,051 x^2$	(R ² = 97,9%)**
Águas 2000/01	o o o o	$\hat{Y} = 768,042 + 12,305 x - 0,0495 x^2$	(R ² = 99,9%)**
Águas 2001/02	- - - -	$\hat{Y} = 1017,408 + 11,948 x - 0,031 x^2$	(R ² = 99,9%)**
Inverno 2002	—	$\hat{Y} = 1178,696 + 15,078 x - 0,052 x^2$	(R ² = 99,9%)**

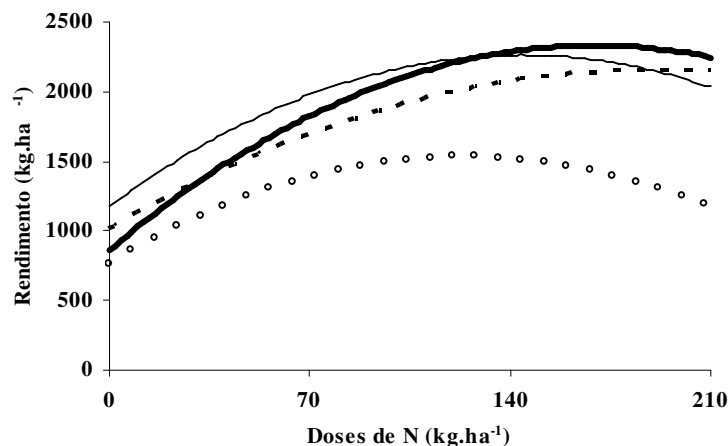


FIGURA 11. Rendimento de grãos da cultivar BRS-MG Talismã em função de doses de N, em quatro safras. UFLA, Lavras - MG, 2000/2002.

À medida que se aumentou a dose de N, o rendimento de grãos elevou-se de forma quadrática, em diferentes taxas em cada safra, conforme observado na Figura 11. Deve ser ressaltado que em todas as safras o incremento da dose de N elevou o rendimento de grãos até doses relativamente altas, quando comparadas às recomendações oficiais. Esse fato é relevante porque indica que a redução da população, tanto inicial quanto final, provocada pelo N (Figuras 3, 4, 7 e 8) não resultou em imediata queda de rendimento (Figura 11). Para esse resultado, certamente contribuíram a boa capacidade de compensação do feijoeiro e a grande plasticidade entre os componentes do rendimento da espécie (Fernandes, 1987). Na realidade, o rendimento de grãos somente começou a declinar com a adição de doses bem superiores (Figura 11) às aquelas que causaram redução de estande (Figuras 3, 4, 7 e 8).

Inverno 2000	—	$\hat{Y} = 1436,383 + 5,296 x - 0,012 x^2$	$(R^2 = 97,5\%)^{**}$
Águas 2000/01	o o o o o	$\hat{Y} = 840,858 + 5,429 x - 0,013 x^2$	$(R^2 = 99,9\%)^{**}$
Águas 2001/02	- - - - -	$\hat{Y} = 983,692 + 9,380 x - 0,019 x^2$	$(R^2 = 99,9\%)^{**}$
Inverno 2002	—	$\hat{Y} = 1640,875 + 1,480 x$	$(R^2 = 89,1\%)^{**}$

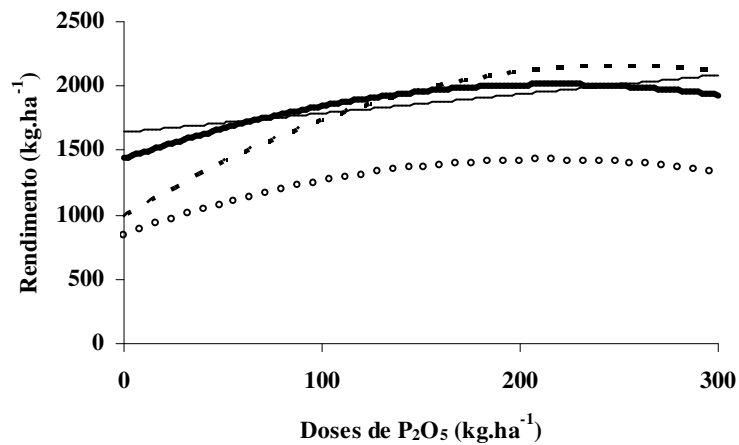


FIGURA 12. Rendimento de grãos da cultivar BRS-MG Talismã em função de doses de P_2O_5 , em quatro safras. UFLA, Lavras - MG, 2000/2002.

As menores respostas em rendimento de grãos ao incremento das doses de N foi observada nas safras das águas (Figura 11), safras que apresentaram menores produtividades (Tabela 3). Como já foi mencionado, além dos fatores climáticos (Figuras 1 e 2) característicos desta safra (Andrade, 1998), no experimento conduzido em 2000/2001 não se conseguiu um preparo adequado do solo e houve grande infestação por tiririca (*Cyperus* sp.), que não foi devidamente controlada, conforme já relatado anteriormente. A produtividade máxima nesse experimento foi de apenas 1533 kg.ha⁻¹, alcançada com a dose de 124 kg.ha⁻¹ de N, ou seja, 62 kg.ha⁻¹ de N na semeadura + 62 kg.ha⁻¹ de N em cobertura. Certamente, o ambiente menos favorável limitou o crescimento e, conseqüentemente, a produtividade.

Nas águas 2001/2002, o rendimento médio foi intermediário, superior ao do ano agrícola anterior, provavelmente por não ter apresentado os problemas relacionados ao ambiente, desfavoráveis nesta época de cultivo.

No inverno de 2002, a dose de 144 kg.ha⁻¹ de N proporcionou o máximo rendimento de grãos (2264 kg.ha⁻¹). A maior resposta à aplicação de N, entretanto, ocorreu na safra do inverno de 2000, quando o rendimento máximo foi de 2332 kg.ha⁻¹ de grãos, alcançado com a dose de 170 kg.ha⁻¹ de N (Figura 11).

A resposta às doses de P₂O₅ foi linear na safra de inverno 2002 e quadrática nas demais safras (Figura 12); em todas elas, o máximo rendimento ocorreu com doses de P₂O₅ bem superiores às recomendadas (Chagas et al., 1999) para a cultura no estado.

Na safra de inverno 2002, as adequadas condições climáticas (Figura 1) e de solo (Tabela 1) possivelmente resultaram em maior produtividade da testemunha. Por outro lado, a boa disponibilidade de P no solo (Tabela 1) provavelmente reduziu a magnitude da resposta no rendimento de grãos em relação às doses de P₂O₅ adicionadas. Nessa safra, o máximo rendimento de

grãos não foi atingido, indicando ainda a possibilidade de respostas a doses ainda superiores a 300 kg.ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 12).

Calculando-se a derivada primeira das equações ajustadas em cada uma das demais safras e igualando-as a zero, foi possível obter as doses de P_2O_5 correspondentes às máximas produtividades fisiológicas ou máximas eficiências físicas – MEF's (Braga, 1982; Alvarez V., 1985). Na safra de primavera-verão 2000/2001, quando as condições ambientais reduziram a produtividade, o ponto de máximo rendimento (1.422 kg.ha^{-1}) foi estimado com a dose de 214 kg.ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 12).

Na safra das águas de 2001/2002, o ponto de máximo rendimento (2.161 kg.ha^{-1}) foi estimado com a dose de 251 kg.ha^{-1} de P_2O_5 . Essa maior resposta se deve, certamente, às melhores condições de cultivo, que possibilitaram maior desenvolvimento das plantas e maior absorção de nutrientes, culminando em maior produtividade da cultura em comparação com as demais safras (Figura 12) já abordadas nas discussões anteriores.

Este resultado pode ser considerado como uma indicação da importância da umidade do solo na nutrição fosfatada pelo fato de a difusão ser o mecanismo principal de contato do P com as raízes (Rosolem, 1996). Observa-se, nas Figuras 1 e 2, que a precipitação pluvial nas duas safras das águas confirma este argumento, ou seja, o de que no ano agrícola 2001/2002 teoricamente houve maior disponibilidade de água no solo em comparação com a safra 2000/2001.

Já na safra de inverno de 2000, o ponto de máximo rendimento (2013 kg.ha^{-1}) foi obtido com a dose estimada de 219 kg.ha^{-1} de P_2O_5 , bem próxima à obtida para a safra das águas 2000/2001 (Figura 12).

De acordo com alguns autores, como Alvarez V. (1985), as doses recomendáveis devem ser aquelas equivalentes a 90% daquelas que proporcionaram o rendimento máximo por corresponderem à máxima eficiência econômica (MEE). Resumindo os resultados relativos ao rendimento de grãos,

na Tabela 4 são apresentadas estas doses de N e P₂O₅, calculadas em cada uma das safras estudadas, baseadas nas regressões obtidas nas Figuras 11 e 12.

TABELA 4. Produtividades máxima (PM) e correspondente a 90% da máxima (0,9 PM), com as respectivas doses necessárias para serem atingidas. UFLA, Lavras - MG, 2000/2002.

Safra	PM (kg.ha ⁻¹)	Dose p/ PM	0,9 PM (kg.ha ⁻¹)	Dose p/ 0,9 PM
N:				
Inverno 2000	2332	170	2099	102
Águas 2000/2001	1533	124	1380	69
Águas 2001/2002	2162	192	1946	108
Inverno 2002	2264	144	2038	78
P₂O₅:				
Inverno 2000	2013	218	1812	88
Águas 2000/2001	1422	214	1280	108
Águas 2001/2002	2161	251	1945	108
Inverno 2002	-	-	-	-

Embora as doses de N necessárias para alcançar os pontos de máxima produtividade ou MEF tenham variado de 124 a 192 kg.ha⁻¹ de N, o mencionado critério para recomendação, baseado em 90% da PM, remete a doses totais de 69 a 108 kg.ha⁻¹ de N (Tabela 4), doses estas bem mais próximas das recomendadas oficialmente no Estado de Minas Gerais (Chagas et al., 1999), que variam de 40 a 100 kg.ha⁻¹ de N. Considerando especificamente o patamar de produtividade alcançado em cada safra, entretanto, verifica-se que nas águas 2000/2001 (1533 kg.ha⁻¹ de grãos) o rendimento foi equivalente ao nível 2 de tecnologia (1200 a 1800 kg.ha⁻¹), para o qual são recomendadas oficialmente as doses de 20 kg.ha⁻¹ de N no plantio + 30 kg.ha⁻¹ de N em cobertura, totalizando 50 kg.ha⁻¹ de N. O critério de 90% do máximo rendimento elevou a dose recomendável para 69 kg.ha⁻¹ de N, 38% acima da recomendada oficialmente. Nas demais safras a produtividade foi correspondente ao nível de tecnológico 3,

para o qual as doses recomendadas (Chagas et al., 1999) são de 30 kg.ha^{-1} de N no plantio + 40 kg.ha^{-1} de N em cobertura, totalizando 70 kg.ha^{-1} de N. As doses indicadas na Tabela 4 superam esta dose principalmente no inverno 2000 (46%) e nas águas 2001/2002 (54%).

As doses de P_2O_5 correspondentes à produção máxima variaram de 214 a 251 kg.ha^{-1} de P_2O_5 , sendo que as doses recomendáveis pelo critério de 90% da produtividade máxima variaram de 88 a 108 kg.ha^{-1} de P_2O_5 (Tabela 4). De acordo com o teor de P no solo e com o nível de tecnologia, as doses recomendadas oficialmente (Chagas et al., 1999) variam de 30 a 110 kg.ha^{-1} de P_2O_5 . Nas safras do inverno 2000 e águas 2001/2002, quando o solo apresentou teor médio ou bom de P e a produtividade correspondeu ao nível tecnológico 3, as doses indicadas pelo critério de 90% da produtividade máxima superaram as recomendadas em 26% e 116%, respectivamente. Nas águas 2000/2001 (NT₂ e P baixo), a dose da Tabela 4 (108 kg.ha^{-1} de P_2O_5) superou a recomendada (60 kg.ha^{-1} de P_2O_5) em 80%.

De forma geral, portanto, no presente estudo o critério de 90% da produtividade máxima indicou doses de N e P_2O_5 superiores às oficialmente recomendadas. No caso do N, as doses indicadas superaram as recomendadas em 38 a 54%, dependendo da safra. Com relação às doses de P_2O_5 indicadas neste estudo, verifica-se que elas também superaram as doses oficialmente recomendadas em 26 a 116%, em função da safra. Estes resultados confirmam o caráter generalizado das recomendações e, por outro lado, a necessidade de estudos em maior número de ambientes, face ao grande número de variáveis envolvidas. Embora a inclusão do nível tecnológico como critério de recomendação oficial de adubação tenha representado um avanço, a adoção de outros critérios adicionais é necessária para o seu aprimoramento.

6 Conclusões

O incremento das doses de N resultou em menor população de plantas, tanto inicial quanto final, na maioria das situações, o mesmo não se verificando em função do fósforo.

O rendimento de grãos elevou-se de forma quadrática com o aumento da dose de N e de forma linear ou quadrática com os acréscimos de P_2O_5 , com pontos de máxima produtividade que variaram de safra para safra.

As doses de N e P_2O_5 recomendáveis, calculadas de acordo com o critério de 90% da produtividade máxima, foram superiores às oficialmente recomendadas em Minas Gerais.

7 Referências Bibliográficas

ABREU, A. de F.B.; RAMALHO, MA.P.; SANTOS, J.B. dos; MARTINS, L.A. Progresso do melhoramento genético do feijoeiro: nas décadas de setenta e oitenta nas regiões Sul e Alto Paranaíba em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.23, n.1, p.105-112, jan. 1994.

AGRIANUAL 2004 – **Anuário da agricultura brasileira**. FNP Consultoria e Comércio, São Paulo, 2004, p.301.

ALVAREZ V., V.H. **Avaliação da fertilidade do solo**: superfícies de resposta – modelos aproximativos para expressar a relação fator resposta. Viçosa: UFV, 1985. n.228, 75p.

ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F. de; BARROS, N.F. de; CANTARUTTI, R.B.; LOPES, A.L. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 25-32.

ALVAREZ V., V.H.; RIBEIRO, A.C. Calagem. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 43-60.

ANDRADE, M.J.B. de. Clima e solo. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T.J. de; BORÉM, A. **Feijão**: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas. Viçosa: UFV, 1998. Cap. 4, p. 83-97.

ARAÚJO, G.A. de A. Preparo do solo e plantio. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T.J. de; BORÉM, A. **Feijão**: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas. Viçosa: UFV, 1998. Cap.5, p.99-122.

ARAÚJO, G.A. de A.; VIEIRA, C.; MIRANDA, G.V. Efeito da época de aplicação do adubo nitrogenado em cobertura sobre o rendimento do feijão, no período de outono-inverno. **Revista Ceres**, Viçosa, v.14, n.236, p.442-450, jul./ago. 1994.

BANZATTO, D.A.; KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola**. 3.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 247p.

BRAGA, J.M. **Avaliação da fertilidade do solo**: ensaios de campo. Viçosa: UFV, 1982. 101p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Normais climatológicos** (Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro). Brasília: MARA, 1992. 84p.

CABALLERO, S.S.V. **Dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta na cultura do feijão** (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar **Carioca**. 1982. 154p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

CASSINI, S.T.A.; FRANCO, M.C. Fixação biológica de nitrogênio. In: VIEIRA, C.; PAULA JUNIOR, T.J. de; BORÉM, A. (ed.) **Feijão**: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas. Viçosa UFV, 1998. p.153-180.

CHAGAS, J.M.; BRAGA, J.M.; VIEIRA, C.; SALGADO, L.T.; JUNQUEIRA NETO, A.; ARAÚJO, G.A.A.; ANDRADE, M.J.B. de; LANA, R.M.Q.; RIBEIRO, A.C. Feijão. In: Ribeiro, A.C.; Guimarães, P.T.G.; Alvarez V., V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 306-307.

COBRA NETO, A.; ACCORSI, W.R.; MALAVOLTA, E. Estudos sobre a nutrição mineral do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) var. Roxinho. **Anais Escola Superior Agricultura “Luiz de Queiroz”**, Piracicaba, v.28, p.251-271, 1971.

CULTIVAR de feijão Talismã. Sete Lagoas: UFLA/UFV/Embrapa/Epamig, 2002. Folder.

EL-HUSNY, J.C. **Limitações nutricionais para a cultura do feijoeiro** (*Phaseolus vulgaris* L.) em solo do Norte de Minas Gerais. 1992. 151p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS. documento, 1)

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 1999. 412p.

FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P.; STONE, L.F. Resposta do feijão à adubação fosfatada. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. Simpósio destaca a essencialidade do fósforo na agricultura brasileira. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.102, p.8, jun. 2003.

FERNANDES, M.I.P.S. **Efeito da variação de estande dos experimentos com a cultura do feijoeiro**. 1987. 73p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do SISVAR para Windows versão 4.0. In: REUNÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos, SP. **Programa e Resumo...** São Carlos: UFSCar, 2000. p.235.

GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1990. 460p.

HAAG, H.P.; MALAVOLTA, E.; GARGANTINI, H.; BLANCO, H.G. Absorção de nutrientes pela cultura do feijoeiro. **Bragantia**, Campinas, v.26, n.30, p.381-391, ago. 1967.

LAVRAS. Prefeitura Municipal de Lavras. Secretaria de indústria, comércio, serviços e tecnologia. **Conheça Lavras**. Lavras, 1993. 97p.

LOPES, A.S. (Trad.) **Manual de fertilidade do solo**. São Paulo: ANDA/POTAFOS, 1989. 153p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

OZINAME, O.; VAN GIJN, H.; ULEX, P.L.G. Effect nitrifications inhibitions of the force and efficiency of nitrogenous fertilizers under simulated humid tropical condition. **Tropical Agriculture**, Trinidad, v.20, n.3, p.211-217, July, 1983.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Ceres, 1991. 343p.

RODRIGUES, J.R.de M.; ANDRADE, M.J.B. de; CARVALHO, J.G. de; MORAIS, A.R.de; REZENDE, P.M. de. População de plantas e rendimento de grãos do feijoeiro em função de doses de nitrogênio e fósforo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.26, n.6, p.1218-1227, nov./dez., 2002.

ROSOLEM, C.A. Calagem e adubação mineral. In: ARAUJO, R.S.; RAVA, C. A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J. de O. (coord.) **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: POTAFOS, 1996. p.353-416.

SERVIÇO DE APOIO AS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS DE MINAS GERAIS. Sebrae-MG. **Lavras: diagnóstico municipal**. Belo Horizonte, 1998. 179p.

SILVEIRA, P.M. da; DAMASCENO, M.A. Doses e parcelamento de K e de N na cultura do feijoeiro irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.11, p.1269-1276, nov. 1993.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do cerrado. **Encarte Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n.102, p.1-16, jun. 2003.

TEIXEIRA, I.R.; ANDRADE, M. J. B.; CARVALHO, J. G.; MORAIS, A. R.; CORRÊA, J.B.D. Resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pérola) a diferentes densidades de semeadura e doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.24, n.2, p.399-408, abr./jun. 2000.

VIEIRA, C.; VIEIRA, R.F. Época de plantio de feijão e proposta de nomenclatura para designá-las. **Revista Ceres**, Viçosa, v.42, n.244, p.685-688, nov./dez. 1995.

YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. Simpósio destaca a essencialidade do fósforo na agricultura brasileira. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n.102, p.1-9, jun. 2003.

CAPÍTULO 3

TEORES DE MACRO E MICRONUTRIENTES NA PARTE AÉREA DO FEIJOEIRO (cv. BRS-MG TALISMÃ) EM FUNÇÃO DE DOSES DE NITROGÊNIO E FÓSFORO.

1 Resumo

KIKUTI, Hamilton. Teores de macro e micronutrientes na parte aérea do feijoeiro (cv. BRS-MG Talismã) em função de doses de nitrogênio e fósforo. In: _____ **Resposta do feijoeiro (cv. BRS-MG Talismã) a doses de nitrogênio e fósforo.** 2004. p.64-94, Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG¹.

Com o objetivo de estudar o efeito de doses de N e P₂O₅ sobre os teores de macro e micronutrientes na parte aérea do feijoeiro cv. BRS-MG Talismã, foi conduzido um experimento de campo (inverno-primavera 2002), em Latossolo Vermelho distroférrico típico da área experimental do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras-MG, Brasil. Empregou-se o delineamento experimental de blocos casualizados com três repetições e esquema fatorial 4x4 envolvendo quatro doses de fósforo (0, 100, 200 e 300 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, fonte superfosfato triplo) e quatro doses de N (0, 70, 140 e 210 kg.ha⁻¹ de N, fonte uréia, fracionando-se ½ na semeadura e ½ em cobertura no início da etapa V₄ do ciclo do feijoeiro). Por ocasião do pleno florescimento, foram retiradas cinco plantas por parcela, com separação das partes em folhas com pecíolos, flores + vagens e hastes + ramos para a determinação dos teores de macro e micronutrientes. Os dados foram submetidos às análises de variância e de regressão. Os resultados mostraram que de maneira geral a aplicação de N e P₂O₅ no feijoeiro cv. BRS-MG Talismã, mesmo nas doses mais elevadas, não resultou em grandes alterações nos teores de macro e micronutrientes na parte aérea. Apesar de ocorrerem alguns efeitos significativos, os teores se mantiveram próximos às faixas consideradas adequadas. O incremento de N na adubação elevou significativamente os teores foliares de N, P, K, Cu, Mg, Mn e Zn, os teores de N, K, Mg e Cu nas hastes + ramos e os teores de N, K, B, Cu e Mn nas flores + vagens do feijoeiro cv. BRS-MG Talismã. Com a adição de doses crescentes de P, elevaram-se significativamente os teores de B nas folhas + pecíolos e nas flores + vagens. Os teores de K e Zn e de S nas flores + vagens do feijoeiro decresceram significativamente com o incremento das doses de P₂O₅ e de N, respectivamente.

¹ Comitê Orientador: Messias José Bastos de Andrade – UFLA (Orientador), Janice Guedes de Carvalho – UFLA, Augusto Ramalho de Moraes – UFLA.

2 Abstract

KIKUTI, Hamilton. Macro and micronutrients levels in the aerial parts of the common bean plant submitted to nitrogen and phosphorus levels. In: ____ **Common bean (cv. BRS-MG Talismã) response of nitrogen and phosphorus levels.** 2004. p.64-94, Thesis (Doctorate in Crop Science) - Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG¹.

With the purpose to study the effect of N and P₂O₅ doses on the levels of macro and micronutrients in the aerial parts of the common bean cv. BRS-MG Talismã, was conducted a field experiment (winter-spring 2002) in a typical dark red latossol in an experimental area from Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA) Lavras-MG, Brasil. A randomized complete block design was used with three replications and a factorial scheme 4x4 involving from phosphorus doses (0, 100, 200 and 300 kg.ha⁻¹ of P₂O₅, triple superphosphate as source) and four N doses (0, 70, 140 and 210 kg.ha⁻¹ of N, urea as source, split in two: The first ½ in the sowing process and the other ½ as side dressing at the beginning of V4 stage in the common bean cycle). By the time of the total flowering, five plants were picked per parcel and divided in leaves with petiole, flowers + pods and beanstalks + branches for macro and micronutrient level determination. The data were submitted to analyses of variance and of regression. In general, the results showed that N and P₂O₅ in common bean cv. BRS-MG Talismã, even in high dose didn't result in big changes in macro and micronutrient levels in aerial parts, in spite of some significant effects, the amounts still kept close to those standard bands. Increasing N in the fertilization raising significantly the levels of N, P, K, Cu, Mg, Zn and Mn in the leaves, and N, K, Mg and Cu levels in the beanstalks + branches and N, K, S, B, Cu and Mn levels in the flowers + pods of the common bean cv. BRS-MG Talismã. Increasing addition of P doses raised B levels significantly in leaves + petioles and flowers + pods. The levels of S, K and Zn in the flowers decreased when N and P₂O₅ were enhanced, respectively.

¹ Guidance Committee: Messias José Bastos de Andrade – UFLA (Major Professor), Janice Guedes de Carvalho – UFLA and Augusto Ramalho de Morais – UFLA.

3 Introdução

Para obtenção de elevadas produtividades com a cultura do feijoeiro, são aspectos fundamentais a correção do solo e a adubação, além da irrigação, principalmente nos cultivos de inverno. Para a prescrição da adubação de base ou de sementeira, a análise de solo é a principal ferramenta, sendo, às vezes, auxiliada pelo nível de produtividade esperado ou sua respectiva extração de nutrientes.

Em se tratando de lavouras irrigadas de alta produtividade, há necessidade de aplicações complementares de fertilizantes, o que pode ser realizado em cobertura, de forma tradicional, por meio da água de irrigação ou, em alguns casos, via foliar. Para esta aplicação complementar pode-se lançar mão da diagnose visual e da diagnose foliar, embora ambas apresentem limitações.

A diagnose visual, embora possa fornecer informações instantâneas sobre a existência de deficiências de nutrientes, tem caráter apenas qualitativo e é extremamente dependente da experiência do técnico que a realiza. Já a diagnose que se baseia nos teores de macro e micronutrientes nos tecidos vegetais pode ser mais eficiente, pois correlaciona os valores encontrados nas amostras com níveis críticos internos previamente determinados para a cultura. Valores abaixo da faixa crítica indicam carência nutricional e necessidade de correção, enquanto valores superiores indicam toxicidade (Oliveira et al., 1996; Martinez et al., 1999).

No caso do feijoeiro, as faixas críticas mais utilizadas para os teores foliares são as propostas por Wilcox & Fageria (1976) e Malavolta (1992), que variam de 2,80 a 6,0% de N; 0,25 a 0,50% de P; 1,80 a 5,00% de K; 0,80 a 3,00% de Ca e de 0,25 a 0,70% de Mg e S. No que diz respeito aos

micronutrientes, estes valores são de 30 a 60 ppm de B, de 10 a 20 ppm de Cu, 100 a 450 ppm de Fe, 30 a 300 ppm de Mn e 20 a 100 ppm de Zn.

Com relação aos teores adequados na matéria seca de todas as folhas do feijoeiro, coletadas na época do florescimento, Raij et al. (1996) citam os seguintes valores: N= 30-50, P= 2,5 -4,0, K= 20-24, Ca= 10-25, Mg= 2,5-5,0, S= 2,0-3,0 g.kg⁻¹ e B= 15-26, Cu= 4-20, Fe= 40-140, Mn= 15-100, Mo= 0,5-1,5 e Zn= 18-50 mg.kg⁻¹. Estes teores geralmente são usados como faixas críticas para avaliação do estado nutricional da cultura pela diagnose foliar (Andrade et al., 1996; Lima et al., 1996).

Em Minas Gerais, Martinez et al. (1999) recomendam a utilização dos seguintes valores de referência para interpretação dos resultados da análise de folhas amostradas do terço mediano da planta de feijão: para N-3,00 a 3,50; P-0,40 a 0,70; K-2,70 a 3,50; Ca-2,50 a 3,50; Mg-0,30 a 0,60 e S-0,15 a 0,20 (dag.kg⁻¹) e para B-100 a 150 e Cu-8 a 10; Fe-300 a 500; Mn-200 a 300 e Zn-45 a 55 (mg.kg⁻¹) de matéria seca.

O crescimento, a produtividade e o estado nutricional do feijoeiro são afetados por um grande número de fatores, destacando-se as adubações realizadas. Assim, o objetivo do presente estudo foi o de verificar o efeito de adubações com doses crescentes de N e P₂O₅ sobre os teores de macro e micronutrientes presentes na parte aérea do feijoeiro.

4 Material e Métodos

O estudo foi realizado em Lavras - MG, a partir de experimento de campo conduzido na safra de inverno (ou inverno-primavera, segundo Vieira & Vieira, 1995) de 2002, em área do campo experimental do Departamento de Agricultura (DAG) da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

Lavras esta situada na região sul de Minas Gerais, a 21°14' de latitude sul e 45°00' de longitude oeste (Brasil, 1992), com níveis altimétricos compreendidos entre 822 e 1259 metros em relação ao nível do mar e topografia caracterizada pela dominância de relevo colinoso (Sebrae, 1998).

O clima do Município encontra-se no limite entre Cwb e Cwa, caracterizando clima temperado a temperado subtropical com inverno seco, segundo a classificação de Köppen (Lavras, 1993). A temperatura média do mês mais quente é 26,1°C e do mês mais frio, de 14,8°C, sendo a média anual de 19,4°C. A precipitação média anual é de 1.529,7 mm, com cerca de 70% desse total concentrados de novembro a março. A evaporação total no ano é, em média, 1.034,3 mm, e a média anual da umidade relativa é de 76,2% (Brasil, 1992).

O solo da área experimental é um Latossolo Vermelho distroférico típico de textura argilosa (Embrapa, 1999), originalmente sob vegetação de cerrado, com altitude de 912 metros. Os valores resultantes da análise química de amostra de material de solo, coletado à profundidade de 0-20 cm, antes da semeadura do feijão, são apresentados na Tabela 1.

A cultivar de feijoeiro utilizada foi a BRS-MG Talismã, desenvolvida pelo convênio UFLA/UFV/Epamig/Embrapa e recomendada recentemente para Minas Gerais (Cultivar..., 2002). Apresenta grãos tipo carioca, crescimento indeterminado com guias longas (tipo III), porte prostrado, ciclo médio de 85 dias, resistência à raça alfa brasil (patótipo 89) de antracnose (*Colletotrichum*

lindemuthianum) e ao mosaico comum (VMCF) e resistência intermediária à mancha angular (*Phaeoisariopsis griseola*).

TABELA 1. Resultados da análise química de amostra de material de solo coletada entre 0 e 20 cm de profundidade na área experimental utilizada, antes da semeadura. UFLA, Lavras - MG, inverno 2002.

Características ⁽¹⁾	Valor e interpretação ⁽²⁾
pH em água (1:2,5)	5,3 AcM
P (mg.dm ⁻³)	15,4 Bo
K (mg.dm ⁻³)	94,0 Bo
Ca (cmolc.dm ⁻³)	2,7 Bo
Mg (cmolc.dm ⁻³)	0,8 M
Al (cmolc.dm ⁻³)	0,2 Mba
H+Al (cmolc.dm ⁻³)	3,6 M
SB (cmolc.dm ⁻³)	3,7 Bo
t (cmolc.dm ⁻³)	3,9 M
T (cmolc.dm ⁻³)	7,3 M
m (%)	5,0 Mba
V (%)	51,0 M
M.O (dag.kg ⁻¹)	2,6 M

⁽¹⁾ SB = soma de bases, t = CTC efetiva, m = saturação por Al, T = CTC a pH 7,0, V = saturação por bases.

⁽²⁾ Análises realizadas nos laboratórios do Departamento de Ciências do Solo (DCS) da UFLA, de acordo com a metodologia da Embrapa (1997) e interpretação de acordo com Alvarez V. et al. (1999). AcM = acidez média, Mba = teor muito baixo, M = teor médio, Bo = teor bom.

O delineamento experimental empregado foi o de blocos casualizados, com três repetições e esquema fatorial 4x4, envolvendo quatro doses de fósforo e quatro doses de nitrogênio.

O fósforo foi empregado nas doses de 0, 100, 200 e 300 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, utilizando-se como fonte o superfosfato triplo, aplicado totalmente por ocasião da semeadura do feijão, juntamente com fertilizante potássico, cloreto de potássio na dose de 50 kg.ha⁻¹ de K₂O e parte do fertilizante nitrogenado, quando este estava presente.

As doses de nitrogênio foram 0, 70, 140 e 210 kg.ha⁻¹ de N, empregando-se a uréia como fonte e parcelando-se a dose em duas aplicações: ½ na semeadura e ½ em cobertura aos 25 dias após a emergência (DAE) das plântulas, resultando nas aplicações de 0+0, 35+35, 70+70 e 105+105 kg.ha⁻¹ de N. A cobertura nitrogenada foi feita de forma convencional, manual, em filete contínuo, lateralmente às plantas, realizando-se irrigação de cerca de 4 a 6 mm após o seu término.

O preparo da gleba utilizada foi convencional, com uma aração e três gradagens. O cálculo da necessidade de calcário foi realizado pelo método que se baseia nos teores de alumínio e de cálcio mais magnésio (Alvarez V. & Ribeiro, 1999), não sendo necessária a realização da calagem. A semeadura foi realizada em 10/07/2002, manualmente, e o controle de plantas daninhas foi realizado mediante capinas manuais. A irrigação utilizada foi por aspersão convencional.

Adotou-se o espaçamento de 0,5 m entre linhas, densidade de 15 sementes por metro e profundidade de semeadura de 3-4 cm. As sementes apresentaram poder germinativo entre 85 e 90%. Cada parcela foi constituída por quatro fileiras de 5,0 m de comprimento, perfazendo área total de 10 m² e área útil de 5 m², correspondendo às duas fileiras centrais.

Por ocasião da plena floração, foram coletadas cinco plantas de cada parcela útil para determinação dos teores de macro e micronutrientes, seguindo metodologia descrita por Malavolta et al. (1997). As plantas foram cortadas rente ao solo, sendo a parte aérea separada em folhas + pecíolo, ramos + hastes e flores + vagens para análise. Após a coleta e separação, o material foi lavado em água deionizada, secado com papel toalha, cortado e depois levado para estufa de circulação forçada de ar a 65°C até peso de equilíbrio, sendo posteriormente moído para o preparo das amostras. Os teores de nutrientes no material vegetal foram analisados quimicamente como se segue: N pelo método Kjeldahl; P, K,

Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn através da digestão com ácido nítrico e perclórico e determinados no extrato (P-colorimetria; K-fotometria de chama; S-turbidimetria; Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn - espectrofotometria de absorção atômica); e B por incineração e determinação colorimétrica, pelo método da curcumina, de acordo com Malavolta et al. (1997).

Os dados foram transformados em arco seno da raiz quadrada de $(x/100)$ de acordo com sugestão de Gomes (1984). Após transformação, esses valores foram submetidos à análise de variância baseada em Banzatto & Kronka (1995), usando-se o pacote computacional SISVAR versão 4.0 (Ferreira, 2000).

Os efeitos das doses de N e P_2O_5 sobre os teores de nutrientes nas diferentes partes das plantas, quando significativos pelo teste F, foram estudados mediante análise de regressão, com posterior seleção da(s) equação(ões) mais representativa(s) das relações entre as variáveis envolvidas (Gomes, 1990), considerando-se, concomitantemente, a significância do modelo e o valor do coeficiente de determinação (R^2).

5 Resultados e Discussão

5.1 Macronutrientes

As análises de variância dos dados relativos aos teores de macronutrientes nas folhas + pecíolos, hastes + ramos e flores + vagens estão resumidas nas Tabelas 2, 3 e 4, respectivamente. Verifica-se, nestas tabelas, que as doses de N influenciaram os teores foliares de N, P, K e Mg (Tabela 2), os teores de N, K e Mg nas hastes e ramos (Tabela 3) e os teores de N, K e S nas flores e vagens (Tabela 4) do feijoeiro. As doses de P, por sua vez, somente afetaram o teor de K nas flores e vagens. A interação N x P não se apresentou significativa em nenhuma situação.

TABELA 2. Resumo da análise de variância dos dados transformados relativos aos teores de macronutrientes nas folhas + pecíolo da cultivar BRS-MG Talismã, safra de inverno. UFLA, Lavras - MG, 2002.

Fontes variação	GL	OM x10 ⁴					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Blocos	2	4,72	2,95	30,63	175,95	0,04	3,30
N	3	83,17**	2,21**	33,25**	5,67	0,62**	0,58
P	3	1,45	0,30	0,45	3,77	0,02	0,14
N x P	9	1,73	0,50	1,64	6,69	0,07	0,34
Resíduo	30	3,10	0,43	1,32	4,95	0,04	0,25
CV (%)		9,80	11,95	7,06	15,51	5,83	9,46

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

Nas Tabelas 2, 3 e 4 observa-se, ainda, que os valores do coeficiente de variação indicam que, em geral, foi adequada a precisão experimental com que foram estimados os teores de nutrientes nos diferentes órgãos da parte aérea do feijoeiro. Pequenas exceções ficaram por conta do Ca nas folhas e nas hastes mais ramos, cujos valores do CV, 15,5% e 20,83%, foram superiores aos de outros trabalhos, como Andrade et al. (1998), com a cv. Carioca. No caso dos

teores foliares, o CV% relativo ao Ca, apesar de elevado, ainda foi inferior ao obtido por Rodrigues (2001) nas cv. Carioca e Pérola.

TABELA 3. Resumo da análise de variância dos dados transformados relativos aos teores de macronutrientes nas hastes e ramos da cultivar BRS-MG Talismã, safra de inverno. UFLA, Lavras - MG, 2002.

FV	GL	OM x 10 ⁴					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Blocos	2	108,97	22,90	17,11	45,67	0,45	0,03
N	3	69,98**	0,87	12,96**	14,19	0,22**	0,93
P	3	0,21	0,50	2,08	5,92	0,03	0,02
N x P	9	2,00	0,37	1,37	4,87	0,02	0,22
Resíduo	30	6,76	0,51	1,20	6,87	0,03	0,38
CV (%)		16,01	12,68	6,64	20,83	4,99	11,33

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

TABELA 4. Resumo da análise de variância dos dados transformados relativos aos teores de macronutrientes nas flores e vagens da cultivar BRS-MG Talismã, safra de inverno. UFLA, Lavras - MG, 2002.

FV	GL	OM x 10 ⁴					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Blocos	2	97,72	16,18	12,36	6,05	0,19	1,29
N	3	30,20*	0,87	11,61**	0,95	0,06	5,98**
P	3	11,98	0,17	5,01**	0,96	0,02	0,17
N x P	9	11,62	0,33	2,38	1,79	0,02	0,37
Resíduo	30	7,57	0,88	1,09	3,34	0,02	0,36
CV (%)		17,26	17,84	6,41	16,27	4,07	10,42

*, ** Significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F.

5.1.1 Macronutrientes nas folhas e pecíolos

Os teores médios de macronutrientes nas folhas do feijoeiro, em função das doses de N e P₂O₅, são apresentados na Tabela 5. Quando se comparam as médias gerais desta tabela com a faixa adequada proposta por Raij et al. (1996), verifica-se que os teores de N, P, Ca e S estão adequados, mas há excesso de K e

deficiência de Mg. Empregando as faixas indicadas por Wilcox & Fageria (1976) e Malavolta (1992), o teor de K também seria normal. Da mesma forma, os valores de referência propostos por Martinez et al. (1999) destacam como deficiente apenas o Mg, cujo teor seria inferior à faixa adequada recomendada, de 0,3 a 0,6 dag.kg⁻¹. Rodrigues (2001), trabalhando com doses de N e P₂O₅ aplicadas às cv. Carioca e Pérola, encontrou alguns resultados diferentes para K, Ca e S, o que pode ser explicado, pelo menos em parte, pelas diferenças relacionadas às doses e cultivares utilizadas.

Os efeitos das doses de N sobre os teores foliares de N, P, K e Mg ajustaram-se melhor a modelos quadráticos crescentes que, entretanto, apresentaram pontos de máximo teor fora do espaço experimental, ou seja, que seriam alcançados com doses superiores às empregadas no estudo (Figuras 1 e 2).

TABELA 5. Teores médios de macronutrientes nas folhas da cultivar BRS-MG Talismã, em função de doses de N e P₂O₅, safra de inverno. UFLA, Lavras - MG, 2002 (dados não transformados).

Fatores	Teores (dag.kg ⁻¹)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
N (kg.ha⁻¹):						
0	2,12	0,25	1,97	1,89	0,10	0,32
70	3,09	0,36	2,66	2,14	0,12	0,28
140	3,97	0,33	3,15	2,45	0,13	0,26
210	4,20	0,30	3,08	2,32	0,14	0,27
P₂O₅ (kg.ha⁻¹):						
0	3,26	0,33	2,70	2,16	0,12	0,27
100	3,23	0,31	2,71	2,17	0,12	0,28
200	3,45	0,29	2,67	2,39	0,12	0,30
300	3,44	0,31	2,78	2,07	0,12	0,29
Médias	3,35	0,31	2,72	2,20	0,12	0,28

À medida que se aumentou a dose de N, aumentaram os seus teores foliares, mas com pequena magnitude (Figura 1). Aumento do teor de N nas

folhas do feijoeiro em função de acréscimos nas doses desse nutriente também foi obtido por outros autores, como Andrade et al. (1998), Rodrigues (2001) e Teixeira (1998). Rodrigues (2001), trabalhando no campo com as cv. Carioca e Pérola, encontrou resposta linear do teor foliar de N às doses de N e calculou um acréscimo médio de 0,004% de N nas folhas com a adição de cada quilograma de N na adubação.

$$N \text{ _____ } \hat{Y} = 0,143997 + 0,00055 x - 0,0000010 x^2 \quad (R^2 = 99,7\%)*$$

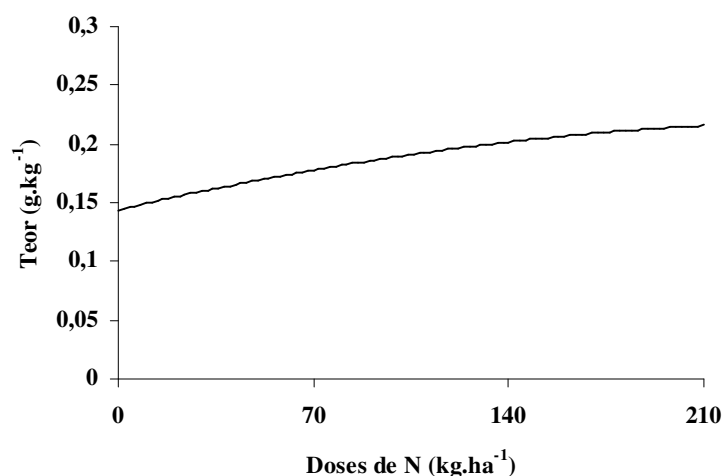


FIGURA 1. Teor de N nas folhas do feijoeiro em função de doses de N. UFLA, Lavras - MG, 2002, dados transformados em arc sen de $(x/100)^{0,5}$.

Comparando, em vasos, um tratamento sem adição de N com outro que recebeu N, Jasmin et al. (2002) verificaram que os teores de N-nítrico aumentaram de 3,17 para 3,44 g.kg⁻¹, resultado de certa forma concordante com o obtido no presente estudo, no que diz respeito à pequena magnitude deste efeito, apesar das levando em conta as diferenças metodológicas utilizadas.

As respostas nos teores foliares de P, K e Mg às doses de N também foram de pequena magnitude, conforme pode ser observado na Figura 2.

Lima et al. (2001), trabalhando em casa-de-vegetação, observaram que com a utilização de 60 kg.ha⁻¹ de K, as doses de até 120 kg.ha⁻¹ de N não influenciaram o teor foliar de P, mas reduziram esses teores foliares com a utilização de 120 kg.ha⁻¹ potássio.

P - - - - - $\hat{Y} = 0,050004 + 0,000150 x - 0,0000010 x^2$ ($R^2 = 83,0\%$) **
 K o o o o o o $\hat{Y} = 0,138870 + 0,000430 x - 0,0000010 x^2$ ($R^2 = 99,7\%$) **
 Mg ————— $\hat{Y} = 0,031727 + 0,000051 x - 0,0000001 x^2$ ($R^2 = 96,0\%$) *

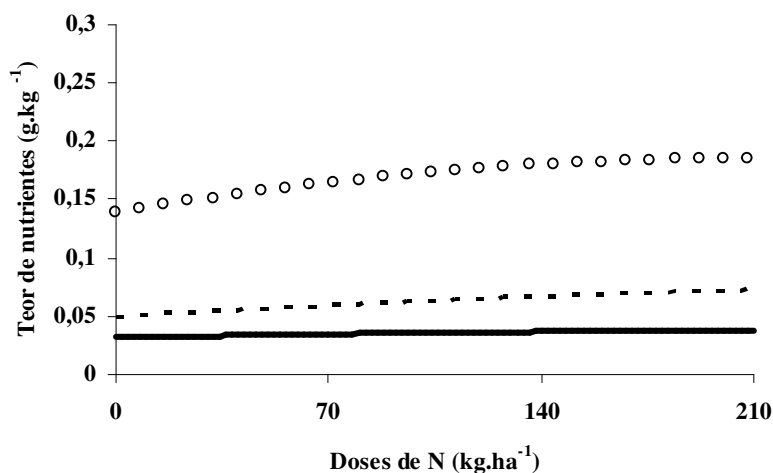


FIGURA 2. Teores de P, K e Mg nas folhas do feijoeiro em função de doses de N. UFLA, Lavras - MG, 2002, dados transformados em arc sen de $(x/100)^{0,5}$.

O incremento linear de baixa magnitude nos teores de Mg observado por Teixeira (1998) até a dose de 150 kg.ha⁻¹ de N pode ser considerado coerente com os do presente trabalho. Os resultados daquele estudo, porém, são conflitantes com os da presente análise em relação aos teores de Ca (acrécimo linear) e de S (resposta quadrática negativa até a dose de 100 kg.ha⁻¹ de N, a partir da qual se tornou positiva).

Verifica-se, pois, que à exceção do efeito do N sobre o próprio teor, os resultados não são muito consistentes, ora apresentando e ora não apresentando influência sobre os teores dos macronutrientes nas folhas do feijoeiro.

Com relação ao efeito do P_2O_5 observa-se, nas Tabelas 2 e 5, que apesar das elevadas doses utilizadas (até 300 kg.ha^{-1}), os teores dos macronutrientes nas folhas apresentaram pequena variação, não significativa. Rodrigues (2001) também não observou efeito significativo das doses de P_2O_5 , então utilizadas exceto sobre o teor foliar de K, quando ajustou um modelo cúbico. Teixeira (1998) também verificou teores foliares crescentes de K com os acréscimos de doses de N até 150 kg.ha^{-1} , o que não ocorreu no presente trabalho. Resultado diferente foi obtido por Silva et al. (2001) em um Neossolo Quartzarênico, onde o aumento das doses de P_2O_5 até 140 kg.ha^{-1} elevou linearmente o teor foliar de P. Estes últimos trabalhos ressaltam as diferenças de comportamento e a diversidade dos seus teores disponíveis em diferentes tipos de solo.

5.1.2 Macronutrientes nas hastes e ramos

Os teores médios dos macronutrientes nas hastes e ramos do feijoeiro são apresentados na Tabela 6. Observando as médias gerais desta tabela, verifica-se que os teores de N e Ca foram inferiores aos teores foliares, mas os de P, K, Mg e S se mostraram similares. Com exceção do S, os demais macronutrientes apresentaram valores médios bem próximos dos obtidos por Andrade et al. (1998) nas hastes e ramos da cv. Carioca-MG.

Como já indicado na Tabela 3, apenas as doses de N influenciaram os teores de N, K e Mg (Figura 3). As doses de P_2O_5 , bem como sua interação com as doses de N, não influenciaram nenhuma das características avaliadas (Tabelas 3 e 6).

TABELA 6. Teores médios de macronutrientes nas hastes + ramos da cultivar BRS-MG Talismã, em função de doses de N e P₂O₅, safra de inverno. UFLA, Lavras - MG, 2002 (dados não transformados).

Fatores	Teores (dag.kg ⁻¹)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
N (kg.ha⁻¹):						
0	2,03	0,29	2,29	1,97	0,11	0,34
70	2,33	0,33	2,77	1,76	0,12	0,31
140	3,13	0,33	2,99	1,68	0,13	0,28
210	3,73	0,37	3,01	1,30	0,13	0,27
P₂O₅ (kg.ha⁻¹):						
0	2,73	0,32	2,72	1,89	0,12	0,31
100	2,82	0,31	2,72	1,58	0,12	0,30
200	2,87	0,33	2,67	1,78	0,12	0,30
300	2,79	0,36	2,96	1,46	0,13	0,29
Médias	2,80	0,33	2,76	1,68	0,12	0,30

N ————— $\hat{Y} = 0,134666 + 0,000264 x$ (R² = 98,0%) **
 K ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ $\hat{Y} = 0,149987 + 0,000262 x - 0,000001 x^2$ (R² = 99,9%) *
 Mg ————— $\hat{Y} = 0,033512 + 0,000014 x$ (R² = 86,9%) **

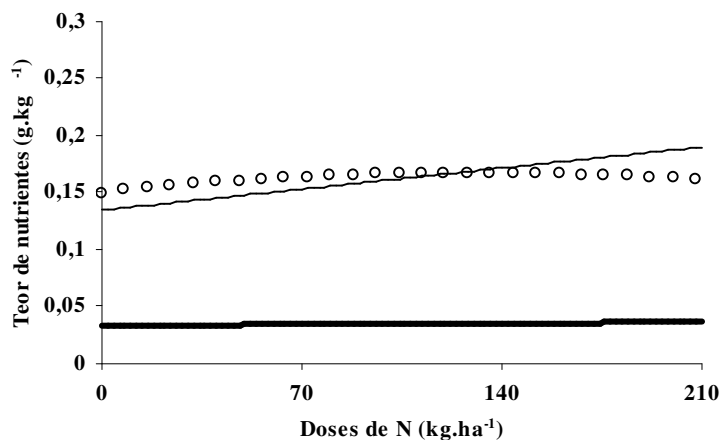


FIGURA 3. Teores de N, K e Mg nas hastes e ramos do feijoeiro em função de doses de N. UFLA, Lavras - MG, 2002, dados transformados em arc sen de (x/100)^{0,5}.

Os teores de N e de Mg nas hastes e ramos cresceu linearmente com o acréscimo das doses de N na adubação, enquanto nos teores de K o efeito foi quadrático (Figura 3).

Andrade et al. (1998), trabalhando em vasos com a cv. Carioca, verificaram que o emprego de N na adubação elevou os seus teores e reduziu os de Ca nas hastes do feijoeiro. Pelo menos com relação aos teores de N nas hastes, estes resultados concordam com os do presente estudo.

Ao contrário de trabalhos envolvendo teores foliares, na literatura há escassez de resultados sobre os teores de nutrientes em outras partes vegetais, o que dificulta, de certo modo, maiores comparações sobre os teores nas hastes e ramos do feijoeiro.

5.1.3 Macronutrientes nas flores e vagens

Conforme verificado na Tabela 4, os teores dos macronutrientes nas flores e vagens do feijoeiro foram afetados pelas doses de N, que alteraram os teores de N, K e S, e pelas doses de P_2O_5 , no teor de K.

Os valores médios destes teores na cultivar BRS-MG Talismã por ocasião da floração plena estão apresentados na Tabela 7, em função das doses de N e P_2O_5 . Observa-se nesta tabela que os teores de P, Ca e Mg não sofreram influência em relação às doses de N, da mesma forma que os teores de N, P, Ca, Mg e S em relação às doses de P_2O_5 .

Na Figura 4 são mostrados os efeitos crescentes das doses de N sobre os teores de N (linear) e K (quadrático) e decrescente sobre o teor de S (linear).

TABELA 7. Teores médios de macronutrientes nas flores e vagens da cultivar BRS-MG Talismã, em função de doses de N e P₂O₅, safra de inverno. UFLA, Lavras - MG, 2002 (dados não transformados).

Fatores	N	P	K	Ca	Mg	S
N (kg.ha⁻¹):						
0	2,11	0,25	2,23	1,41	0,11	0,46
70	2,61	0,29	2,81	1,23	0,12	0,35
140	2,83	0,37	2,85	1,23	0,12	0,28
210	3,27	0,32	2,94	1,31	0,12	0,27
P₂O₅ (kg.ha⁻¹):						
0	2,31	0,30	3,02	1,30	0,12	0,35
100	2,74	0,30	2,68	1,20	0,12	0,33
200	3,07	0,27	2,54	1,37	0,12	0,35
300	2,72	0,29	2,59	1,31	0,12	0,32
Médias	2,71	0,29	2,71	1,30	0,12	0,34

N _____ $\hat{Y} = 0,141061 + 0,000175 x$ (R²= 99,0%)**
 K o o o o o o o o o $\hat{Y} = 0,149315 + 0,00025 x - 0,000001 x^2$ (R²= 93,8%)*
 S + + + + + + + $\hat{Y} = 0,065441 - 0,000075 x$ (R²= 92,8%)**

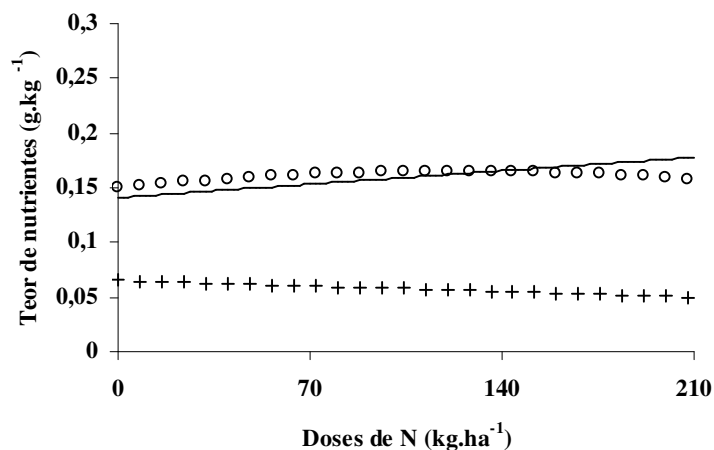


FIGURA 4. Teores de N, K e S nas flores e vagens do feijoeiro em função de doses de N. UFLA, Lavras - MG, 2002, dados transformados em arc sen de (x/100)^{0,5}.

Apenas o teor de K mostrou-se significativamente influenciado pelas doses de P_2O_5 , com melhor ajuste dos dados a um modelo linear decrescente, embora com baixa magnitude de resposta (Figura 5). Embora esta queda pudesse, a princípio, ser creditada a uma maior absorção de Ca com o incremento das doses da fonte fosfatada (superfosfato triplo), essa hipótese fica descartada com a similaridade das médias relativas aos teores de Ca, que não mostra qualquer efeito.

$$K \text{ o o o o o o } \hat{Y} = 0,169208 - 0,000042 x \quad (R^2 = 70,9\%) **$$

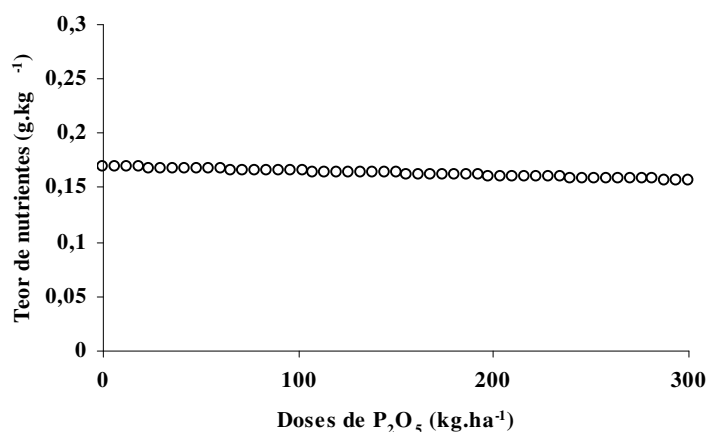


FIGURA 5. Teor de K nas flores e vagens do feijoeiro, em função de doses de P_2O_5 . UFLA, Lavras - MG, 2002, dados transformados em arc sen de $(x/100)^{0,5}$.

Da mesma forma indicada no caso dos teores nas hastes e ramos, a falta de maior número de trabalhos envolvendo os teores de nutrientes nas flores e vagens do feijoeiro limitam a discussão dos resultados.

5.2 Micronutrientes

As análises de variância dos dados relativos aos teores de micronutrientes nas folhas + pecíolos, hastes + ramos e flores + vagens estão resumidas nas Tabelas 8, 9 e 10, respectivamente. Verifica-se, nestas tabelas, que as doses de N influenciaram significativamente os teores de Cu, Zn e Mn nas folhas + pecíolos (Tabela 8), de Cu nas hastes + ramos (Tabela 9) e de B, Cu e Mn nas flores + vagens (Tabela 10). As doses de P_2O_5 afetaram apenas o teor de B nas folhas + pecíolos e os teores de B e Zn nas flores + vagens. A interação doses de N x doses de P_2O_5 não foi significativa em nenhuma das situações, resultado semelhante ao obtido para os macronutrientes.

TABELA 8. Resumo da análise de variância dos dados transformados relativos aos teores de micronutrientes nas folhas e pecíolos da cultivar BRS-MG Talismã, safra de inverno. UFLA, Lavras - MG, 2002.

FV	GL	OM x 10 ⁴				
		B	Cu	Fe	Mn	Zn
Blocos	2	458,94	0,35	8290,57	1219,48	358,97
N	3	17,68	37,93**	936,00	1051,48*	165,21**
P	3	55,69*	8,83	1157,50	511,30	39,51
N x P	9	8,87	7,89	1732,57	175,58	24,92
Resíduo	30	17,54	3,69	1028,80	315,12	31,38
CV (%)		8,64	6,39	21,44	19,86	7,63

*, ** Significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F

Nas Tabelas 8, 9 e 10 verifica-se, ainda, que a precisão experimental avaliada pelos valores do coeficiente de variação pode ser considerada satisfatória, exceto nos casos do Fe e do Mn, estimados com menor precisão, o que parece ser comum em trabalhos dessa natureza (Rodrigues, 2001; Andrade et al., 1998). Dentre os trabalhos mais recentes, apenas o de Teixeira (2002) conseguiu melhor precisão em relação à estimativa dos teores daqueles dois micronutrientes.

TABELA 9. Resumo da análise de variância dos dados transformados relativos aos teores de micronutrientes nas hastes e ramos da cultivar BRS-MG Talismã, safra de inverno. UFLA, Lavras - MG, 2002.

FV	GL	OM x 10 ⁴				
		B	Cu	Fe	Mn	Zn
Blocos	2	7,76	81,00	5350,78	4005,83	130,63
N	3	13,83	61,78**	3281,11	134,15	55,89
P	3	4,65	15,36	171,18	125,61	143,15
N x P	9	9,94	7,88	1097,46	467,07	73,66
Resíduo	30	7,19	8,74	1460,93	428,85	79,42
CV (%)		5,63	9,59	27,74	25,78	12,17

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

TABELA 10. Resumo da análise de variância dos dados transformados relativos aos teores de micronutrientes nas flores e vagens da cultivar BRS-MG Talismã, safra de inverno. UFLA, Lavras - MG, 2002.

FV	GL	OM x 10 ⁴				
		B	Cu	Fe	Mn	Zn
Blocos	2	967,75	12,26	2198,84	844,80	23,25
N	3	167,75*	63,07**	221,41	794,97**	42,57
P	3	468,37**	17,17	200,46	127,62	165,54*
N x P	9	84,74	7,54	369,22	105,82	71,50
Resíduo	30	43,71	7,68	400,08	159,99	48,86
CV (%)		14,51	8,95	16,97	20,37	9,55

*, ** Significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F

5.2.1 Micronutrientes nas folhas e pecíolos

Na Tabela 11 são apresentados os teores médios dos micronutrientes nas folhas e pecíolos do feijoeiro cv. BRS-MG Talismã, por ocasião da floração plena. Observando as médias gerais verifica-se que, de acordo com as faixas críticas propostas por Raij et al. (1996), apenas o B e o Cu se apresentam com teores adequados, enquanto os teores de Fe e Mn se encontram elevados e o de Zn, deficiente. Vale lembrar que os Latossolos Vermelhos sob cerrado, como o utilizado no presente trabalho, geralmente apresentam elevados teores de Fe e de

Mn e podem, com frequência, apresentar deficiências de Zn. Considerando, entretanto, as faixas propostas por Wilcox & Fageria (1976), apenas dois nutrientes não estariam com teores adequados nas folhas: o Cu (deficiente) e o Fe (elevado). Finalmente, levando-se em conta os valores de referência propostos por Martinez et al. (1999), o teor de Cu estaria adequado e os de B, Mn e Fe estariam baixos, enquanto o teor de Zn poderia ser considerado elevado. Estas diferenças observadas nas faixas propostas refletem a importância de se utilizarem dados obtidos em situações as mais próximas possíveis da realidade de trabalho. No presente caso, as faixas propostas por Raij et al. (1996) se mostraram mais adequadas.

Verifica-se, na Tabela 11, que os teores de B nas folhas variaram pouco em relação às doses de N e que os teores de Fe, embora tenham mostrado maior variação, não apresentaram nenhuma tendência importante, ao contrário do que encontrou Rodrigues (2001): redução dos teores foliares de Fe com o incremento das doses de N.

TABELA 11. Teores médios de micronutrientes nas folhas e pecíolos da cultivar BRS-MG Talismã, em função de doses de N e de P₂O₅, safra de inverno. UFLA, Lavras - MG, 2002 (dados não transformados).

Fatores	Teores (mg.kg ⁻¹)				
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
N (kg.ha⁻¹):					
0	24,01	8,08	708,05	85,39	54,87
70	27,43	9,25	396,82	88,81	63,47
140	26,51	9,39	676,95	136,45	70,60
210	25,89	10,88	651,41	152,74	72,97
P₂O₅ (kg.ha⁻¹):					
0	24,42	9,93	593,14	95,75	65,26
100	25,25	9,68	785,39	131,71	69,31
200	24,25	9,39	582,92	130,39	67,25
300	29,91	8,60	471,78	105,55	60,09
Médias	25,96	9,40	608,30	115,85	65,48

Os efeitos das doses de N sobre os teores foliares de Zn e Mn estão representados na Figura 6. Observa-se que à medida que se incrementou a dose de N, elevaram-se linearmente os teores dos três micronutrientes. Até a dose de 120 kg.ha⁻¹ de N, Rodrigues (2001) já havia encontrado resposta positiva do teor de Zn (linear) e do teor de Mn (quadrática crescente). A explicação mais provável refere-se à acidificação do solo pelos acréscimos de N, o que aumentaria a disponibilidade desses micronutrientes.

Cu	- - - -	$\hat{Y} = 0,280859 + 0,000189 x$	$R^2 = (92,5\%)**$
Mn	————	$\hat{Y} = 0,791535 + 0,000973 x$	$R^2 = (88,3\%)**$
Zn	+ + + + +	$\hat{Y} = 0,692449 + 0,000396 x$	$R^2 = (93,0\%)**$

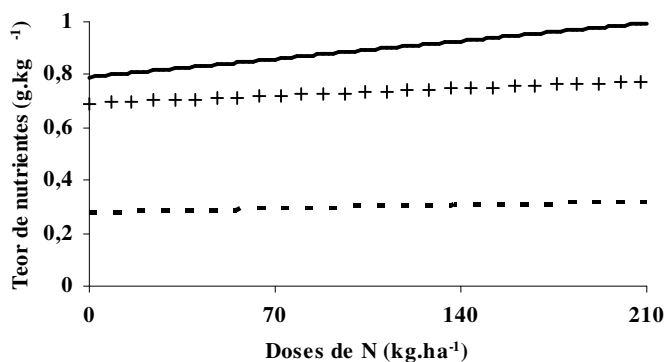


FIGURA 6. Teores de Cu, Zn e Mn nas folhas do feijoeiro, em função de doses de N, safra de inverno. UFLA, Lavras - MG, 2002, dados transformados em arc sen de $(x/100)^{0,5}$.

As doses crescentes de P₂O₅ influenciaram significativamente os teores foliares de B nas folhas do feijoeiro, incrementando-os de forma linear (Figura 7). Esse comportamento, diferente do observado por Rodrigues (2001), que não encontrou efeito das doses de P₂O₅, pode ser atribuído às doses mais elevadas empregadas no presente trabalho. O acréscimo de fósforo aumenta o crescimento da planta e, conseqüentemente, a transpiração, o que possibilita uma maior absorção de B. De qualquer forma, deve ser considerado que não houve bom ajuste dos dados ao modelo ($R^2 = 54,7$).

B _____ $\hat{Y} = 0,466387 + 0,000123 x$

$R^2 = (54,7\%)*$

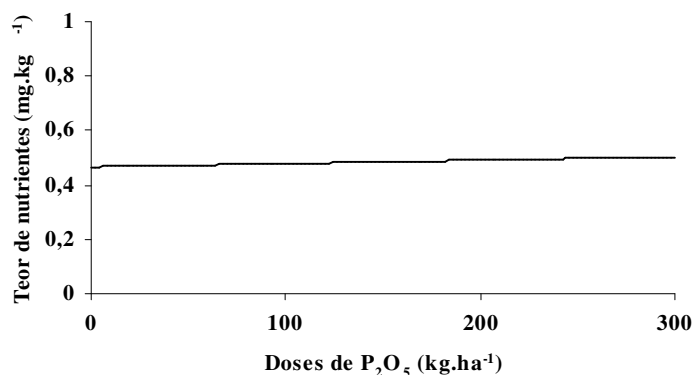


FIGURA 7. Teor de B nas folhas do feijoeiro, em função de doses de P₂O₅, safra de inverno. UFLA, Lavras - MG, 2002, dados transformados em arc sen de $(x/100)^{0,5}$.

5.2.2 Micronutrientes nas hastes e ramos

Na Tabela 12 estão os valores médios do teor de micronutrientes nas hastes e ramos do feijoeiro cv. BRS-MG Talismã por ocasião do florescimento pleno. De maneira geral, os valores médios são compatíveis com os obtidos por Andrade et al. (1998) com a cv. Carioca-MG, exceto com relação ao teor de Mn, o qual se mostrou mais elevado que o obtido por aqueles autores.

O único efeito significativo dos tratamentos sobre os teores dos micronutrientes nas hastes e ramos foi do fator doses de N, as quais incrementaram o teor de Cu (Figura 8). O fato de os acréscimos de N acidificarem o solo pode ter contribuído para disponibilizar uma maior quantidade de Cu para as plantas. Andrade et al. (1998), trabalhando em vasos com a cv. Carioca, não encontraram diferenças entre os teores de Cu nas hastes apresentados pelos tratamentos adubados e não adubados com N. Estas

diferenças de resultado podem ser, pelo menos parcialmente, explicadas pelas condições experimentais, principalmente relativas a cultivares e doses utilizadas.

TABELA 12. Teores médios de micronutrientes nas hastes e ramos da cultivar BRS-MG Talismã, em função de doses de N e P₂O₅, safra de inverno. UFLA, Lavras - MG, 2002 (dados não transformados).

Fatores	Teores (mg.kg ⁻¹)				
	B	Cu	Zn	Fe	Mn
N (kg.ha⁻¹):					
0	23,53	8,93	63,33	852,46	87,18
70	24,59	8,96	61,19	316,84	89,86
140	23,85	9,90	65,92	448,58	104,36
210	26,38	12,16	72,74	463,93	97,27
P₂O₅ (kg.ha⁻¹):					
0	23,73	10,44	72,77	465,10	108,17
100	24,44	9,80	64,13	527,09	96,57
200	24,60	9,14	57,25	425,49	93,24
300	25,58	10,58	69,03	664,13	80,68
Médias	24,59	9,99	65,79	520,45	94,67

Cu ----- $\hat{Y} = 0,293432 + 0,000149 x + 0,000002 x^2$ $R^2 = (99,4\%)*$

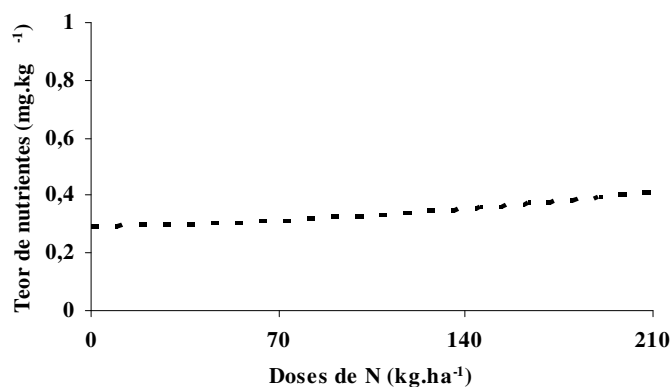


FIGURA 8. Teor de Cu nas hastes e ramos do feijoeiro, em função de doses de N, safra de inverno. UFLA, Lavras - MG, 2002, dados transformados em arc sen de $(x/100)^{0,5}$.

5.2.3 Micronutrientes nas flores e vagens

Os teores médios de micronutrientes nas flores e vagens do feijoeiro na floração plena são apresentados na Tabela 13. Verifica-se que, em geral, os teores de B, Cu e Zn são compatíveis com os teores obtidos nas folhas (Tabela 11) e nas hastes (Tabela 12), mas que os de Fe e Mn são inferiores nas flores e vagens do feijoeiro, o que pode indicar um menor transporte desses micronutrientes para os órgãos reprodutivos do feijoeiro, pelo menos até a etapa do florescimento. De fato, Malavolta (1980) relata maior proporção de Fe e Mn na parte vegetativa em relação aos órgãos reprodutivos das plantas.

TABELA 13. Teores médios de micronutrientes nas flores e vagens da cultivar BRS-MG Talismã de feijoeiro, em função de doses de N e de P₂O₅, safra de inverno. UFLA, Lavras - MG, 2002 (dados não transformados).

Fatores	Teores (mg.kg ⁻¹)				
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
N (kg.ha⁻¹):					
0	22,70	9,79	241,20	38,76	64,01
70	19,50	8,27	206,19	34,23	59,81
140	25,22	10,15	245,58	48,19	68,28
210	27,71	11,91	286,87	78,31	68,52
P₂O₅ (kg.ha⁻¹):					
0	15,52	10,74	222,31	38,61	75,97
100	31,55	10,37	276,81	51,56	64,50
200	21,60	10,04	257,42	62,44	61,89
300	26,46	8,97	223,31	46,87	58,24
Médias	23,78	10,03	244,96	49,87	65,15

Conforme a Tabela 10, as doses de N influenciaram os teores de B, Cu e Mn nas flores e vagens do feijoeiro cv. BRS-MG Talismã (Figura 9).

Como já discutido, a maior acidificação do solo causada pelos acréscimos de N proporciona aumentos na absorção de Cu e Mn (Malavolta et al., 1997).

B	_____	$\hat{Y} = 0,421293 + 0,000328 x$	$R^2 = (62,9\%)*$
Cu	-----	$\hat{Y} = 0,303820 - 0,000371 x + 0,000003 x^2$	$R^2 = (89,1%)**$
Mn	—————	$\hat{Y} = 0,537277 - 0,000798 x + 0,000010 x^2$	$R^2 = (78,6%)**$

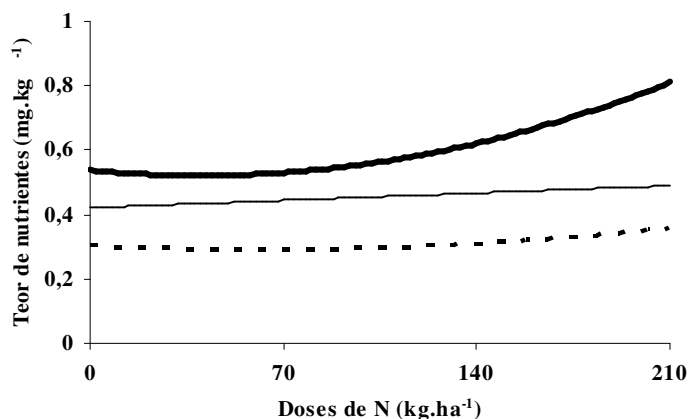


FIGURA 9. Teores de B Cu e Mn nas flores e vagens do feijoeiro cultivar BRS-MG Talismã, em função de doses de N, safra inverno. UFLA, Lavras – MG, 2002, dados transformados em arc sen de $(x/100)^{0,5}$.

Na Figura 10, verifica-se que as doses de P₂O₅ afetaram os teores de B e Zn. No caso dos teores de B, deve-se ressaltar o baixo coeficiente de determinação da ordem de 42% indicando pequeno ajuste.

O fósforo adicionado ao solo pode ter precipitado o zinco na superfície da raiz (Malavolta et al., 1997) ou inibido o transporte de zinco da raiz para a parte aérea (Malavolta, 2003, citado por Yamada & Abdalla, 2003); ainda pode ter havido contribuição do efeito de diluição, ou seja, um maior crescimento da planta proporcionado pelos acréscimos de fósforo, não acompanhado proporcionalmente por acréscimos na absorção de zinco.

$$\begin{array}{ll} \text{B} & \text{---} \hat{Y} = 0,397006 + 0,000896 x - 0,000002 x^2 \quad (R^2 = 42,1\%)* \\ \text{Zn} & \text{+++++} \hat{Y} = 0,77305 - 0,000275 x \quad (R^2 = 91,2\%)** \end{array}$$

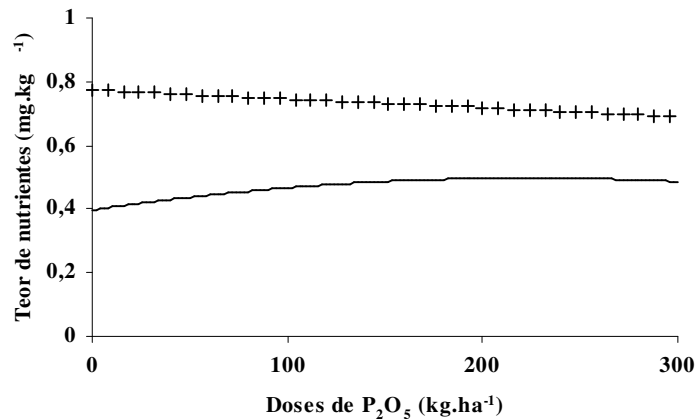


FIGURA 10. Teor de B e Zn nas flores e vagens do feijoeiro cultivar BRS-MG Talismã, em função de doses de P_2O_5 , safra inverno. UFLA, Lavras - MG, 2002, dados transformados em arc sen de $(x/100)^{0,5}$.

5.3 Teores de macro e micronutrientes correspondentes às máximas produtividades

Com o objetivo de se conhecer os teores de macro e micronutrientes que corresponderam às máximas produtividades, procurou-se identificar, nas curvas de cada nutriente, os valores correspondentes às doses de 144 kg.ha^{-1} de N ou 300 kg.ha^{-1} de P_2O_5 , os quais sofreram transformação inversa e são apresentados, respectivamente, nas Tabelas 14 e 15. Nos casos de não significância para doses de N ou P_2O_5 , ou seja, na ausência de equação ajustada, são apresentados nas citadas tabelas os valores médios obtidos.

Quando a produtividade máxima foi alcançada com a dose de 144 kg.ha^{-1} de N (Tabela 14), os teores dos nutrientes encontravam-se, na sua maioria, dentro da faixa considerada adequada. Dentre os macronutrientes, apenas o teor de Mg ($0,14 \text{ dag.kg}^{-1}$) foi nitidamente inferior aos valores

adequados das tabelas convencionais, que variaram de 0,20 a 0,70 dag.kg⁻¹. Dentre os micronutrientes, o teor de Fe foi o que mais se destacou, com valor superior (608,30 mg.kg⁻¹) aos normalmente indicados como adequados, entre 40 e 500 mg.kg⁻¹ (Wilcox & Fageria, 1976; Malavolta, 1992; Raij et al., 1996; Martinez et al., 1999).

TABELA 14. Teores de macro e micronutrientes na parte aérea da cultivar BRS-MG Talismã correspondentes à produtividade máxima, safra inverno. UFLA, Lavras - MG, 2002 (dados não transformados) ^{1/}.

Nutrientes	Folhas + pecíolos	Hastes + ramos	Flores + vagens
Teores (dag.kg ⁻¹)			
N	4,05 *	2,95 *	2,74 *
P	0,46 *	0,33 ^{ns}	0,29 ^{ns}
K	3,22 *	2,76 *	2,68 *
Ca	2,20 ^{ns}	1,68 ^{ns}	1,30 ^{ns}
Mg	0,14 *	0,13 *	0,12 ^{ns}
S	0,28 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,30 *
Teores (mg.kg ⁻¹)			
B	25,96 ^{ns}	24,59 ^{ns}	20,39 *
Cu	9,19 *	12,17 *	9,46 *
Fe	608,30 ^{ns}	520,45 ^{ns}	244,96 ^{ns}
Mn	64,41 *	94,67 ^{ns}	36,84 *
Zn	46,41 *	65,79 ^{ns}	65,15 ^{ns}

^{1/} Os valores seguidos de * foram obtidos a partir da equação ajustada, enquanto os valores seguidos de ^{ns} representam a média dos teores do nutriente em questão.

Comparando-se os dados da Tabela 15 com os níveis considerados adequados nas folhas + pecíolos de diversos autores, também chega-se às mesmas conclusões, ou seja, de maneira geral os teores mostraram-se dentro da faixa adequada, exceto o de Mg (0,12 dag.kg⁻¹), que se mostrou deficiente, e o de Fe, que se mostrou excessivo (608,30 mg.kg⁻¹).

É interessante ressaltar que os valores relativos à Tabela 15 devem ser interpretados com cautela, já que o modelo ajustado às doses de P₂O₅ foi linear

e, conseqüentemente, os valores máximos correspondem à maior dose empregada, ou seja, 300 kg.ha⁻¹ de P₂O₅.

Com relação aos teores de nutrientes nas hastes + ramos e flores + vagens, a não existência de faixas estabelecidas como adequadas e o pequeno número de trabalhos com envolvimento destas características, dificultam a discussão.

TABELA 15. Teores de macro e micronutrientes na parte aérea da cultivar BRS-MG Talismã correspondentes à produtividade máxima, safra inverno. UFLA, Lavras - MG, 2002 (dados não transformados)^{1/}.

Nutrientes	Folhas + pecíolos	Hastes + ramos	Flores + vagens
Teores (dag.kg ⁻¹)			
N	3,35 ^{ns}	2,80 ^{ns}	2,71 ^{ns}
P	0,31 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,29 ^{ns}
K	2,72 ^{ns}	2,76 ^{ns}	2,71 ^{ns}
Ca	2,20 ^{ns}	1,68 ^{ns}	1,30 ^{ns}
Mg	0,12 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,12 ^{ns}
S	0,28 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,34 ^{ns}
Teores (mg.kg ⁻¹)			
B	23,26 *	24,59 ^{ns}	21,80 *
Cu	9,40 ^{ns}	9,99 ^{ns}	10,03 ^{ns}
Fe	608,30 ^{ns}	520,45 ^{ns}	244,96 ^{ns}
Mn	115,85 ^{ns}	94,67 ^{ns}	49,87 ^{ns}
Zn	65,48 ^{ns}	65,79 ^{ns}	40,57 *

^{1/} Os valores seguidos de * foram obtidos a partir da equação ajustada, enquanto os valores seguidos de ^{ns} representam a média dos teores do nutriente em questão.

6 Conclusões

A aplicação de N e P_2O_5 no feijoeiro cv. BRS-MG Talismã, mesmo nas doses mais elevadas, não resultou em grandes alterações nos teores de macro e micronutrientes na parte aérea, os quais se mantiveram próximos às faixas consideradas adequadas.

O incremento de N na adubação elevou os teores foliares de N, P, K, Mg, Cu, Mn e Zn, os teores de N, K, Mg e Cu nas hastes e ramos e os teores de N, K, B, Cu e Mn nas flores e vagens do feijoeiro.

Com a utilização de doses crescentes de P_2O_5 , elevaram-se os teores de B nas folhas e nas flores e vagens.

Nas flores e vagens do feijoeiro, decresceram os teores de S com as doses de N e os teores de K e Zn com as doses de P_2O_5 .

7 Referências Bibliográficas

ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F. de; BARROS, N.F. de; CANTARUTTI, R.B.; LOPES, A.L. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p.25-32.

ALVAREZ V., V.H.; RIBEIRO, A.C. Calagem. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p.43-60.

ANDRADE, M.J.B. de; ALVARENGA, P.E.; CARVALHO, J.G; SILVA, R.; NAVES, R.L. Influência do nitrogênio, rizóbio e molibdênio sobre o crescimento, nodulação radicular e teores de nutrientes no feijoeiro. **Revista Ceres**, Viçosa, v.45, n.257, p.65-79, jan./fev. 1998.

ANDRADE, M.J.B. de; ALVARENGA, P.E.de; SILVA, R. da; CARVALHO, J.G. de; LUNKES, J.A. Resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) às adubações nitrogenadas e molíbdica e à inoculação com *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli*. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 5., 1996, Goiânia. **Resumos...** Goiânia: EMBRAPA/CNPAF, 1996. p.78-81.

BANZATTO, D.A.; KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola**. 3.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 247p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Normais climatológicas** (Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro). Brasília: MARA, 1992. 84p.

CULTIVAR de feijão Talismã. Sete Lagoas: UFLA/UFV/EMBRAPA/EPAMIG, 2002. Folder.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (Embrapa-CNPS. documento, 1)

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 1999. 412p.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do SISVAR para Windows versão 4.0. In: REUNÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos, SP. **Programa e Resumo...** São Carlos: UFSCar, 2000. p.235.

GOMES, F.P. **A estatística moderna na pesquisa agropecuária**. Piracicaba: POTAFOS, 1984. 160p.

GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1990. 460p.

JASMIM, J.M.; MONNERAT, P.H.; ROSA, R.C.C. Efeito da omissão de N, Ni, Mo, Co e S sobre os teores de N e S em feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.4, p.967-975, out/dez. 2002.

LAVRAS. Prefeitura Municipal de Lavras. Secretaria de indústria, comércio, serviços e tecnologia. **Conheça Lavras**. Lavras, 1993. 97p.

LIMA, E. do V.; ARAGÃO, C.A.; MORAIS, O.M.; TANAKA,R.; GRASSI FILHO, H. Adubação NK no desenvolvimento e na concentração de macronutrientes no florescimento do feijoeiro. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.58, n.1, p.125-129, jan./mar. 2001.

LIMA, S.F. de; ANDRADE, M.J.B. de; CARVALHO, J.G.de. Resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) a dose de boro, molibdênio e zinco aplicados via foliar. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 5., 1996, Goiânia. **Resumos...** Goiânia: EMBRAPA/CNPAP, 1996. p.82-84.

MALAVOLTA, E. **ABC da análise de solos e folhas: amostragem, interpretação e sugestões de adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1992. 124p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas, princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MARTINEZ, H.E.P.; CARVALHO, J.G.; SOUZA, R.B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Eds). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5^a. Aproximação, Comissão de Fertilidade do Estado de Minas Gerais-CFSEMG, Viçosa, 1999, p.143-168.

OLIVEIRA, I.P. de; ARAUJO, R.S.; DUTRA, L.G. Nutrição mineral e fixação biológica de nitrogênio. In: ARAUJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J. de O. (coord.) **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: POTAFOS, 1996. p.169-222.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (eds). **Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, 1996. 285p. (IAC. Boletim Técnico, 100).

RODRIGUES, J.R.de M. **Resposta do feijoeiro (cvs. Carioca e Pérola) a doses de nitrogênio e fósforo**. 2001. 124p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SERVIÇO DE APOIO AS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS DE MINAS GERAIS. Sebrae-MG. **Lavras: diagnóstico municipal**. Belo Horizonte, 1998. 179p.

SILVA, E. de B.; RESENDE, J.C.F. de; CINTRA, W.B.R. Resposta do feijoeiro a doses de fósforo em solo arenoso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.6, p.973-977, nov./dez., 2001.

TEIXEIRA, I.R. **Comportamento do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L. cv. Pérola) submetido a diferentes densidades de semeadura e níveis de adubação nitrogenada**. 1998. 67p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia).

TEIXEIRA, I.R. **Efeito de diferentes doses de manganês e zinco na produtividade, nutrição mineral e qualidade fisiológica do feijão**. 2002. 114p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa.

VIEIRA, C.; VIEIRA, R.F. Época de plantio de feijão e proposta de nomenclatura para designá-las. **Revista Ceres**, Viçosa, v.42, n.244, p.685-688, nov./dez. 1995.

WILCOX, G.E.; FAGERIA, N.K. **Deficiências nutricionais do feijão, sua identificação e correção**. Goiânia: Embrapa/CNPAF, 1976. 22p. (Embrapa/CNPAF. Boletim, 5).

YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. Simpósio destaca a essencialidade do fósforo na agricultura brasileira. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.102, p.1-9, jun. 2003.

CAPÍTULO 4

VIABILIDADE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE FEIJÃO (cv. BRS-MG TALISMÃ) EM FUNÇÃO DE DOSES DE NITROGÊNIO E FÓSFORO.

1 Resumo

KIKUTI, Hamilton. Viabilidade econômica da produção de feijão (cv. BRS-MG Talismã) em função de doses de nitrogênio e fósforo. In: ____ **Resposta do feijoeiro (cv. BRS-MG Talismã) a doses de nitrogênio e fósforo.** 2004. p.95-124, Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG¹.

Com o objetivo de determinar, a partir dos rendimentos de grãos de feijão obtidos com a aplicação de doses de N e P₂O₅, as variações do custo de produção e da margem bruta da atividade em cada situação, foram conduzidos quatro experimentos de campo (inverno-primavera 2000 e 2002, primavera-verão de 2000/2001 e 2001/2002) em área experimental do Departamento de Agricultura da UFLA, em Lavras-MG, Brasil. Empregou-se o delineamento experimental de blocos casualizados com três repetições e esquema fatorial 4x4 envolvendo quatro doses de P₂O₅ (0, 100, 200 e 300 kg.ha⁻¹, fonte super fosfato triplo) e quatro doses de N (0, 70, 140 e 210 kg.ha⁻¹, fonte uréia, fracionando-se ½ na semeadura e ½ em cobertura no início da etapa V₄ do ciclo do feijoeiro). Para a apreciação econômica dos efeitos significativos na análise de variância, estimaram-se o custo efetivo e a renda bruta proporcionada em cada situação. Os preços dos insumos e serviços foram coletados em Lavras-MG em fevereiro de 2004, e para estimativa da renda, foram simulados três níveis de preços recebidos pelo produtor (R\$ 0,50; R\$ 1,00 e R\$ 1,50.kg⁻¹ de feijão). De posse do custo estimado e da renda bruta pôde-se calcular, por diferença, a margem bruta. Na maioria das situações analisadas, a margem bruta obtida com o feijão cresceu de forma quadrática com o incremento das doses de N ou P₂O₅. As doses de N ou P₂O₅ correspondentes aos pontos de máxima margem bruta superaram expressivamente as doses calculadas pelo critério de 90% do rendimento máximo. A inclusão de análise com preços diferenciados mostrou-se eficiente, já que a venda do produto pelo menor preço do período considerado resultou em margem bruta negativa, enquanto o maior preço do período resultou em margem bruta positiva.

¹ Comitê Orientador: Messias José Bastos de Andrade – UFLA (Orientador), Janice Guedes de Carvalho – UFLA, Augusto Ramalho de Moraes – UFLA.

2 Abstract

KIKUTI, Hamilton. Economical feasibility of the common bean crop (cv. BRS-MG Talismã) in function of nitrogen and phosphorus increasing doses. In: _____ **Common bean (cv. BRS-MG Talismã) response to nitrogen and phosphorus levels.** 2004. p.95-122. Thesis (Doctorate in Crop Science) - Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG¹.

Aiming to determine, from common bean yield obtained with N and P₂O₅ doses, the yield cost variations and crude margin of the common bean activity in each situation, were set four field experiments (winter-spring 2000, wet season 2000/2001, and 2001/2002 and winter-spring 2002) in an experimental area of the Departamento de Agricultura da UFLA, at Lavras – MG, Brasil. It was used randomized complete block design with three replications in a 4x4 factorial scheme using four P₂O₅ doses of (0, 100, 200 and 300 kg.ha⁻¹ triple superphosphate as source) and four N doses (0, 70, 140 and 210 kg.ha⁻¹ of N, urea source, split in two: the first ½ at sowing and the other ½ as side dressing at the beginning of the V4 stage of the common bean cycle). For the economical evaluation of the significant effects on the analysis of variance, the effective cost and the rough profit in each given situation were considered. The products and services costs were collected in the city of Lavras, during the month of February/2004, and for the profit estimative were used three levels of prices given by the producers (R\$ 0,50; R\$ 1,00 and R\$ 1,50.kg⁻¹ of bean). From those estimated cost and crude profit, could be calculated by difference, a crude margin which did not include the machines, irrigation equipment depreciating and the financial costs and administrative remunerations. In most of the analysed situations, the crude margin gained with bean had rose in a square way when N or P₂O₅ doses were increased. These N and P₂O₅ doses related to points of maximum crude margin overcame those calculated doses by the 90% criteria of maximum yield. Putting analysis with differentiated prices showed to be efficient, since selling the product by the lowest price of the season resulted in a negative rough margin, while, the highest season price always resulted in positive rough margin.

¹ Guidance Committee: Messias José Bastos de Andrade – UFLA (Major Professor), Janice Guedes de Carvalho – UFLA and Augusto Ramalho de Moraes – UFLA.

3 Introdução

Em Minas Gerais e outros Estados brasileiros a cultura irrigada do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) vem sendo explorada com enfoque empresarial, com acentuada busca por produtividades cada vez maiores. Nessas áreas tem sido cada vez mais freqüente a obtenção de produtividades acima de 60 sacas.ha⁻¹ (ou 3600 kg.ha⁻¹).

Para isto, entretanto, têm sido utilizadas doses mais elevadas de insumos, principalmente fertilizantes nitrogenados e fosfatados, pelas maiores respostas apresentadas pelo feijoeiro (Vieira, 1998).

Apesar das evidências de que as doses usadas são superiores às recomendadas, há resistência dos produtores em reduzi-las, com receio de que ocorra queda na produtividade. Como resultado, há boa remuneração da atividade quando os preços do feijão estão em patamares mais elevados, mas há perdas quando os preços são menores, levando à freqüente saída de produtores da atividade e ao agravamento da sazonalidade da oferta e dos preços no mercado.

Considerando que um dos principais objetivos da economia da produção é tornar mais eficiente o uso dos recursos (Reis et al., 1979), na agricultura procura-se otimizar o uso de insumos, determinando a(s) dose(s) do(s) insumo(s) que apresenta(m) máxima eficiência física - MEF ou econômica - MEE (Alvarez V., 1985). Ao empregar determinado insumo, é de fundamental importância o conhecimento a respeito do custo de produção e do lucro derivados, com finalidade de otimizar o seu uso, já que, via de regra, os insumos representam significativo componente dos custos de produção (Alvarez V., 1985).

Apesar do grande número de trabalhos sobre adubação do feijoeiro encontrado na literatura, e a despeito da grande importância do enfoque econômico nessa área, poucos são os artigos publicados que procuram explorar

esse aspecto (Silva, 1967; Bolsanello et al., 1975; Junqueira Netto, 1977). Mais recentemente, Rodrigues (2001) realizou interessante abordagem econômica relativa ao emprego de doses de N (0, 60 e 120 kg.ha⁻¹) e de P₂O₅ (0, 50, 100 e 150 kg.ha⁻¹) nas cultivares Carioca e Pérola, em três estações de plantio. As respostas aos nutrientes foram, na sua grande maioria, lineares, o que de certa forma limitou as conclusões.

O objetivo do presente trabalho foi, portanto, a partir dos rendimentos de grãos de feijão obtidos com a aplicação de doses mais elevadas de N e de P₂O₅, determinar as variações do custo, do valor da produção e do lucro proporcionado em quatro safras, nos anos agrícolas 2000/2001 e 2001/2002.

4 Material e Métodos

O presente estudo constou de quatro experimentos de campo conduzidos em área experimental do Departamento de Agricultura (DAG) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras - MG, nas safras do inverno-primavera 2000 e 2002 e primavera-verão 2000/2001 e 2001/2002, conforme classificação de Vieira & Vieira (1995) para épocas de cultivo e tratadas, a partir desse ponto, de inverno de 2000 e 2002 e águas de 2000/2001 e 2001/2002.

O delineamento experimental empregado foi blocos casualizados, com três repetições e esquema fatorial 4x4, envolvendo quatro doses de nitrogênio e quatro doses de fósforo.

O nitrogênio foi empregado nas doses de 0, 70, 140 e 210 kg.ha⁻¹ de N, utilizando-se a uréia como fonte e parcelando-se a dose em duas aplicações: ½ na semeadura e ½ em cobertura, no início da etapa V4 do ciclo do feijoeiro, aproximadamente aos 25 dias após a emergência (DAE) das plântulas.

As doses de fósforo foram 0, 100, 200 e 300 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, empregando-se como fonte o superfosfato triplo, aplicado totalmente por ocasião da semeadura do feijão, juntamente com o fertilizante potássico, cloreto de potássio, 50 kg.ha⁻¹ de K₂O, e parte do fertilizante nitrogenado, quando este estava presente.

A cultivar utilizada foi a BRS-MG Talismã, desenvolvida pelo convênio UFLA/UFV/Epamig/Embrapa e recomendada recentemente para Minas Gerais (Cultivar..., 2002). Apresenta grãos tipo carioca, crescimento indeterminado com guias longas (tipo III), porte prostrado, ciclo médio de 85 dias, resistência à raça alfa brasil (patótipo 89) de antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) e ao mosaico comum (VMCF), além de resistência intermediária à mancha angular (*Phaeoisariopsis griseola*).

O preparo das glebas utilizadas foi convencional, com uma aração e duas gradagens nas safras de inverno de 2000 e águas de 2000/2001 e 2001/2002 e uma aração e três gradagens na safra de inverno de 2003. Nas águas 2000/2001 o preparo mostrou-se inadequado, resultando na presença em grande quantidade de “torrões” e maior competição por plantas daninhas. O cálculo da necessidade de calagem, realizado pelo método que se baseia nos teores de alumínio e de cálcio mais magnésio (Alvarez V. & Ribeiro, 1999), não indicou necessidade de correção do solo nas áreas utilizadas.

Adotou-se o espaçamento de 0,5 m entre linhas, densidade de 15 sementes por metro e profundidade de semeadura de 3-4 cm. As sementes apresentaram poder germinativo entre 85 e 90%. Cada parcela foi constituída por quatro fileiras de 5,0 m de comprimento, perfazendo área total de 10 m² e área útil de 5 m², correspondente às duas fileiras centrais.

No inverno os experimentos foram conduzidos sob irrigação por aspersão convencional e nas águas não houve irrigação. A ocorrência de doenças foi permanentemente monitorada, mas não foram necessárias quaisquer medidas de controle. O manejo de plantas daninhas foi realizado por capinas manuais, objetivando manter a cultura no limpo até o completo fechamento do espaço entre fileiras. Esse objetivo não foi totalmente alcançado na safra das águas 2000/2001 devido à grande infestação da área por tiririca (*Cyperus* sp.).

Em cada ensaio foi avaliado o rendimento de grãos, determinado pela pesagem da totalidade dos grãos obtidos na parcela útil após a trilha de todas as plantas nela existentes. O peso originalmente obtido foi corrigido para 13% de teor de água e, posteriormente expresso em kg.ha⁻¹.

Os dados obtidos foram submetidos às análises de variância individual e conjunta (Banzatto & Kronka, 1995), usando-se o pacote computacional SISVAR versão 4.0 (Ferreira, 2000).

Os dados do rendimento de grãos foram utilizados para a obtenção das funções de produção, ou seja, das relações entre a produtividade de grãos e as doses de N ou P₂O₅.

O número de funções estudado em relação a cada nutriente foi determinado pela significância das interações dos fatores envolvidos na análise de variância. No caso da interação safras x doses de N, por exemplo, considerou-se um único fator variável (doses de N), mantendo-se os demais constantes.

Para a apreciação econômica dos efeitos que se mostraram significativos pela análise de variância, obtiveram-se o custo estimado (CE) e a receita bruta (RB) proporcionada em cada situação.

Considerou-se custo estimado o preço do fator variável (PX₁), nitrogênio ou fósforo, multiplicado pela quantidade (X₁) aplicada, somado ao custo dos fatores mantidos constantes, para cada situação. Todos os preços foram coletados no mercado local de Lavras - MG em fevereiro de 2004, mediante consulta direta às revendas de insumos agrícolas e prestadoras de serviços.

A receita bruta (RB) foi obtida pela multiplicação entre o preço do feijão (PY) e a quantidade produzida (Y) com cada dose aplicada e foi expressa em R\$.ha⁻¹. Para o cálculo da receita bruta foram considerados três níveis de preços recebidos pelos produtores: R\$ 0,50; R\$ 1,00 e R\$ 1,50.kg⁻¹ de feijão. Estes valores foram estipulados por aproximação dos preços efetivamente recebidos pelo produtor no período de 2000 a 2002: preço mínimo de R\$ 0,56.kg⁻¹ (abril de 2000), preço médio de R\$ 0,90.kg⁻¹ e preço máximo de R\$ 1,45.kg⁻¹ (dezembro de 2002) (Agroanalysis, 2000; 2001; 2002; 2003).

De posse do custo estimado e da receita bruta pode-se calcular, por diferença, a margem bruta (MB), a qual deixou, no entanto, de incluir a depreciação das máquinas e do equipamento de irrigação, os custos financeiros e remunerações administrativas.

5 Resultados e Discussão

O resumo da análise de variância conjunta é apresentado na Tabela 1, onde se observa que a precisão experimental obtida, avaliada pelo valor do CV%, foi adequada e coerente com as obtidas com a cultura do feijoeiro na região (Abreu et al., 1994; Kikuti et al., 2002). Os efeitos principais de safras (S), doses de nitrogênio (N) e doses de fósforo (P) foram significativos, assim como as interações duplas S x N e S x P. As demais interações não apresentaram significância.

TABELA 1. Resumo da análise de variância conjunta dos dados relativos ao rendimento de grãos. UFLA, Lavras – MG, 2000/2002.

Fontes de Variação	GL	Q M
Bloco d/ safra	8	362 630,18
Safra (S)	3	4 310 659,98**
Nitrogênio (N)	3	11 215 192,28**
Fósforo (P)	3	4 612 209,01**
S x N	9	459 681,08**
S x P	9	292 644,89**
N x P	9	100 335,77
S x N x P	27	84 924,24
Resíduo Médio	120	97 625,74
CV (%)	18,9	

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

O rendimento médio de grãos, considerando as quatro safras estudadas, foi de 1.654 kg.ha⁻¹ (Tabela 2), superior à média mineira de 1178 kg.ha⁻¹ (Agriannual, 2004). A menor produtividade, que diferiu significativamente das demais, foi obtida na safra das águas de 2000/2001, quando as condições ambientais foram menos favoráveis, principalmente as associadas ao inadequado preparo de solo e ao controle de plantas daninhas.

TABELA 2. Valores médios do rendimento de grãos do feijoeiro cv. BRS-MG Talismã, em quatro safras. UFLA, Lavras - MG, 2000/2002.

Safras	Rendimento de grãos (kg.ha ⁻¹)
Inverno 2000	1805 a
Águas 2000/2001	1211 b
Águas 2001/2002	1737 a
Inverno 2002	1863 a
Média	1654

⁽¹⁾ Médias seguidas por diferentes letras diferem significativamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

O rendimento de grãos não foi influenciado pela interação doses de N x doses de P₂O₅; entretanto, como as interações duplas S x N e S x P foram significativas (Tabela 1), deduz-se que a resposta da produtividade às doses de N ou P₂O₅ foi dependente da safra considerada (Figuras 1 e 2).

À medida que se aumentou a dose de N, o rendimento de grãos elevou-se de forma quadrática, mas a diferentes taxas em cada safra. Este comportamento pode ser observado na Figura 1. Em todas as safras o incremento da dose de N elevou o rendimento de grãos até doses relativamente altas, decrescendo em seguida, certamente em função da redução da população de feijoeiros ocasionada pela salinidade observada em altas doses de N.

As menores respostas do rendimento de grãos ao incremento das doses de N foram observadas nas duas safras das águas (Figura 1), as quais apresentaram menores produtividades (Tabela 2). Além dos fatores climáticos característicos desta safra (Andrade, 1998), em 2000/2001 não se conseguiu um preparo adequado do solo e houve grande infestação por tiririca (*Cyperus* sp.), que não foi devidamente controlada. A produtividade máxima neste ano agrícola foi de apenas 1533 kg.ha⁻¹, alcançada com a dose de 124 kg.ha⁻¹ de N, ou seja, 62 kg.ha⁻¹ de N na semeadura + 62 kg.ha⁻¹ de N em cobertura. Certamente, os elevados índices pluviométricos observados no período promoveram maior lixiviação de parte do N localizado no sulco por ocasião da semeadura,

limitando a resposta. Em adição, o ambiente menos favorável também limitou o crescimento e, conseqüentemente, a produtividade.

Inverno 2000	—	$\hat{Y} = 861,167 + 17,342 x - 0,051 x^2$	$(R^2 = 97,9\%)**$
Águas 2000/01	o o o o	$\hat{Y} = 768,042 + 12,305 x - 0,0495 x^2$	$(R^2 = 99,9\%)**$
Águas 2001/02	- - - -	$\hat{Y} = 1017,408 + 11,948 x - 0,031 x^2$	$(R^2 = 99,9\%)**$
Inverno 2002	—	$\hat{Y} = 1178,696 + 15,078 x - 0,052 x^2$	$(R^2 = 99,9\%)**$

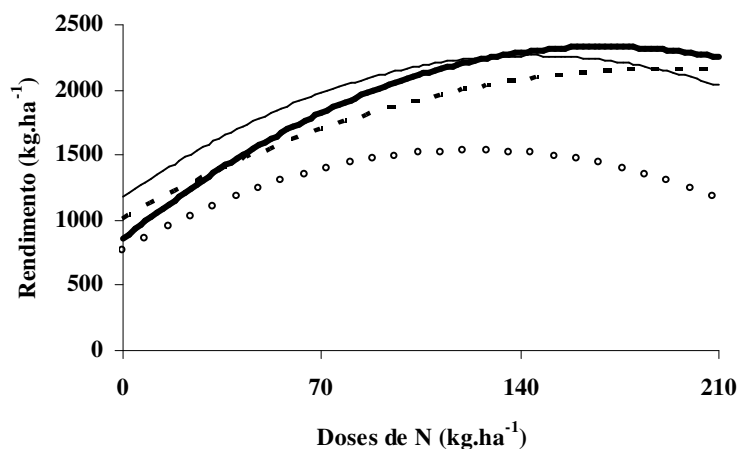


FIGURA 1. Rendimento de grãos de feijão cv. BRS MG Talismã em função de doses de N, em quatro safras. UFLA, Lavras - MG, 2000/2002.

Nas águas 2001/2002, o rendimento médio foi intermediário, superior ao do ano agrícola anterior, provavelmente por não ter apresentado os problemas adicionais às condições climáticas, desfavoráveis nessa época de cultivo. O rendimento de grãos máximo, de 2162 kg.ha⁻¹, foi alcançado com a dose de 192 kg.ha⁻¹ de N.

No inverno de 2002 a dose de N que proporcionou o máximo rendimento de grãos (2264 kg.ha⁻¹) foi 144 kg.ha⁻¹ de N. A maior resposta à aplicação de N, entretanto, ocorreu na safra do inverno de 2000, com a obtenção do rendimento de grãos máximo de 2332 kg.ha⁻¹, alcançado com a dose de 170 kg.ha⁻¹ de N (Figura 1).

A resposta às doses de P_2O_5 foi linear na safra de inverno 2002 e quadrática nas demais safras (Figura 2) e em todas elas o máximo rendimento ocorreu com doses de P_2O_5 bem superiores às recomendadas (Chagas et al., 1999) para a cultura no Estado de Minas Gerais.

Inverno 2000	—	$\hat{Y} = 1436,383 + 5,296 x - 0,012 x^2$	$(R^2 = 97,5\%)**$
Águas 2000/01	o o o o o o	$\hat{Y} = 840,858 + 5,429 x - 0,013 x^2$	$(R^2 = 99,9\%)**$
Águas 2001/02	- - - - -	$\hat{Y} = 983,692 + 9,380 x - 0,019 x^2$	$(R^2 = 99,9\%)**$
Inverno 2002	_____	$\hat{Y} = 1640,875 + 1,480 x$	$(R^2 = 89,1\%)**$

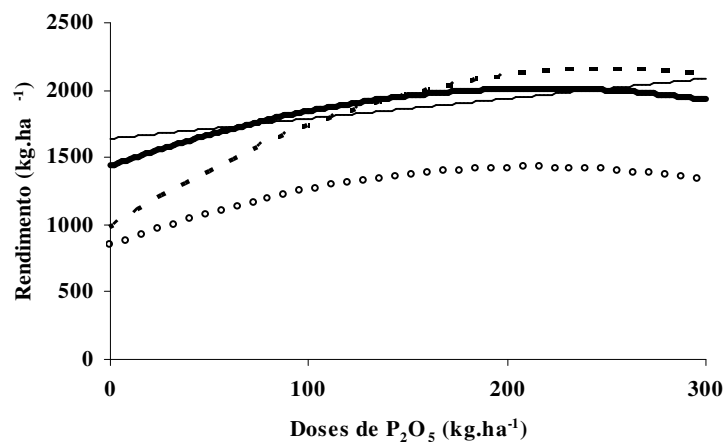


FIGURA 2. Rendimento de grãos de feijão cv. BRS MG Talismã em função de doses de P_2O_5 , em quatro safras. UFLA, Lavras - MG, 2000/2002.

Na safra de inverno 2002, a irrigação e as adequadas condições climáticas e de solo possivelmente resultaram em maior produtividade da testemunha. Por outro lado, a boa disponibilidade de P no solo provavelmente reduziu a magnitude da resposta às doses de P_2O_5 , da ordem de $1,48 \text{ kg.ha}^{-1}$ de grãos para cada quilograma de P_2O_5 adicionado. Nessa safra, o máximo rendimento de grãos não foi atingido, indicando a possibilidade de respostas da cultivar BRS-MG Talismã a doses ainda superiores a 300 kg.ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 2).

Calculando-se a derivada primeira das equações ajustadas em cada uma das demais safras e igualando-as a zero, foi possível obter as doses de P_2O_5 correspondentes às máximas produtividades ou de máxima eficiência física (MEF). Na safra das águas 2000/2001, quando as condições ambientais reduziram a produtividade, o ponto de máximo rendimento (1.422 kg.ha^{-1}) foi estimado com a dose de 214 kg.ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 2).

Na safra das águas de 2001/2002, o ponto de máximo rendimento (2.161 kg.ha^{-1}) foi estimado com a dose de 251 kg.ha^{-1} de P_2O_5 . Essa maior resposta se deve, certamente, às melhores condições de cultivo que possibilitaram maior desenvolvimento das plantas e maior absorção de nutrientes, culminando em maior produtividade da cultura em comparação com as demais safras (Figura 2).

Os dados de rendimento dos experimentos das águas ilustram bem a importância da condição ambiental na produção final do feijoeiro, conforme já discutido anteriormente, uma das causas predominantes na sazonalidade da oferta do grão.

Já na safra de inverno de 2000, o ponto de máximo rendimento (2013 kg.ha^{-1}) foi obtido com a dose estimada de 219 kg.ha^{-1} de P_2O_5 , bem próxima à obtida para a safra das águas de 2000/2001 (Figura 2), com ponto de máximo rendimento em 1422 kg.ha^{-1} .

Os resultados discutidos até então permitem indicar as doses de N e de P_2O_5 responsáveis pelas produtividades máximas ou pela Máxima Eficiência Física – MEF (Alvarez V., 1985). Resta saber, entretanto, como se comportaram economicamente as doses estudadas.

No estudo do efeito das doses de N nas diferentes safras foi empregado o custo dos fatores mantidos constantes, fornecido pela Tabela 3. Observa-se que neste caso foi considerado, nas quatro safras, o custo da dose média de P_2O_5 ($150 \text{ kg de } P_2O_5.\text{ha}^{-1}$). Na Tabela 3 não estão ainda considerados os custos

devidos ao fertilizante nitrogenado, os quais serão incorporados nos cálculos referentes à margem bruta.

TABELA 3. Custo dos fatores de produção de feijão mantidos constantes, estimado em quatro safras. UFLA, Lavras - MG, 2000/2002⁽¹⁾.

Especificações	⁽²⁾ U	⁽²⁾ P U (R\$)	⁽²⁾ Q (ha)	Safras			
				inverno 2000	águas 2000/01	águas 2001/02	inverno 2002
Sementes	kg	3,10	81	251	251	251	251
Aração	H/M	25,00	3,5	88	88	88	88
Gradagem	H/M	25,00	1,5	75	75	75	113
Plantio	H/M	25,00	2	50	50	50	50
Cloreto de K	kg	0,72	100	72	72	72	72
Super triplo	kg	1,20	349	419	419	419	419
Capina	D/H	14,00	7	196	294	196	196
Trilha	H/M	25,00	4	100	100	100	100
Mão de obra	D/H	14,00	6	84	84	84	84
Sacaria	Sc	0,40	-	12	8	12	13
Irrigação (inv.)	Kw/H	0,40	80	32	-	-	32
Irrigação (inv.)	D/H	14,00	5	70	-	-	70
Subtotais				1449	1441	1347	1488

(1) Os coeficientes técnicos foram estimados a partir dos gastos efetivos nos experimentos. Preços coletados no mercado local de Lavras - MG em fevereiro de 2004, mediante consulta direta a revendas de insumos agrícolas e prestadoras de serviços. Não estão computados os custos relativos ao fertilizante nitrogenado.

(2) U: unidade, P U (R\$): preço unitário em reais, Q (ha): quantidade utilizada em um hectare, H/M: horas máquina (trator), D/H: dias homem, Sc: saco de anagem.

Nas safras de inverno, verificaram-se os maiores custos, acima de R\$ 1449,00.ha⁻¹, devido ao emprego da irrigação; em 2002, o preparo do solo também elevou o custo. Nas águas, sem a irrigação, este custo variou de R\$ 1347,00 a R\$ 1441,00.ha⁻¹, diferença devida à capina adicional (Tabela 3). Uma alternativa às capinas seria a utilização de herbicidas, com custo de uma aplicação, da ordem de R\$ 140,00.ha⁻¹. A capina manual foi a considerada na planilha de custo por ter sido a efetivamente utilizada na condução dos experimentos.

O custo de produção variou muito pouco entre as safras, com uma variação máxima da ordem de 9,5%. Este fato também foi constatado por Rodrigues (2001), embora os seus custos de produção (ano base 2000) tenham sido inferiores e demonstrem que, em geral, o produtor de feijão tem enfrentado, nos últimos três anos, aumentos de custos da ordem de 50%, apesar da suposta estabilização da economia nacional. Deve ser ressaltado, entretanto, que a situação somente foi suportada pelos produtores porque, apesar das grandes variações nesse custo, pode-se dizer que houve certa recuperação dos preços recebidos pelo produtor, conforme Figura 3.

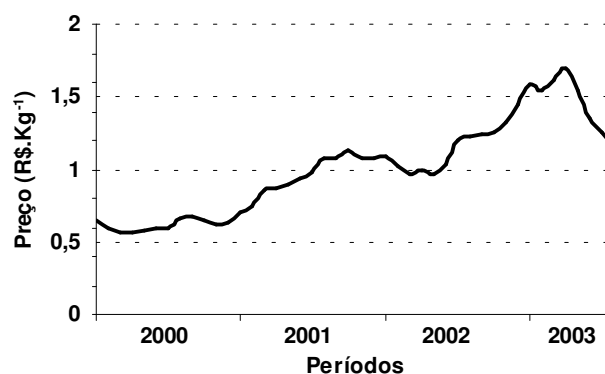


FIGURA 3. Preços médios recebidos pelo produtor de grãos de feijão no período de janeiro de 2000 a agosto de 2003 (Fonte: Agroanalysis 2000; 2001; 2002; 2003).

No período deste estudo, o dólar americano foi vendido pelo Banco Central, ao câmbio oficial, por valores que variaram de R\$ 1,7419.US\$⁻¹ (março de 2000), a R\$ 3,7985.US\$⁻¹ (outubro de 2002), com média de R\$ 2,3690.US\$⁻¹ (Indicadores..., 2003).

As Figuras 4 a 7 ilustram, nas quatro safras estudadas, o comportamento da margem bruta obtida com lavoura de feijão em função das doses de N, considerando as três situações de preços do produto. Deve ser observado que ao se considerar o menor preço do período, R\$ 0,50.kg⁻¹, a margem bruta foi inferior ao custo de produção nas quatro safras estudadas (Figuras 4 a 7 e Tabela 4).

$$\begin{aligned} \text{—} \quad \hat{Y}_{(1,50)} &= -157,25 + 25,013x - 0,077x^2 & \text{—} \quad \hat{Y}_{(1,00)} &= -587,83 + 16,342x - 0,051x^2 \\ \text{- - - - -} \quad \hat{Y}_{(0,50)} &= -1018,40 + 7,671x - 0,026x^2 & \text{O O O} \quad Y &= 0 \end{aligned}$$

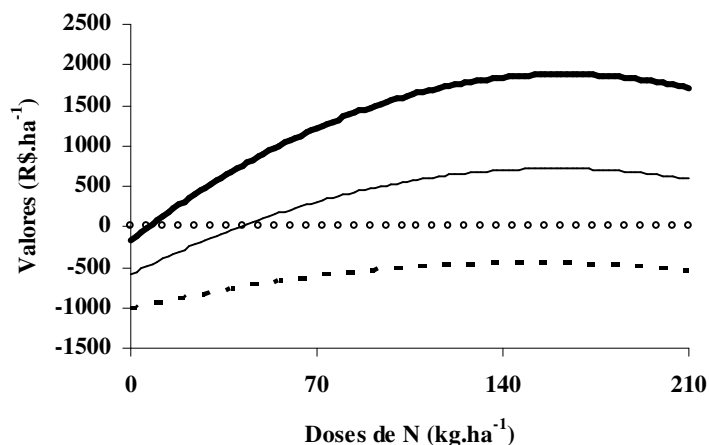


FIGURA 4. Margem bruta de um hectare de feijão em função de doses de N, safra inverno 2000, considerando-se três situações de preços do feijão: R\$ 0,50, R\$ 1,00 e R\$ 1,50.kg⁻¹. Preço do N= R\$ 1,00.kg⁻¹. UFLA, Lavras - MG, 2000.

Ao se considerar, entretanto, o preço de R\$ 1,50 kg⁻¹ de feijão, a margem bruta obtida pela diferença entre a receita bruta e o custo estimado de produção foi sempre positiva (Figuras 4 a 7), tendo-se verificado a maior margem bruta na safra do inverno 2000, de R\$ 1882,00 ha⁻¹, com a dose de 164 kg.ha⁻¹ de N (Tabela 4).

Tomando-se o preço médio de R\$ 1,00 kg⁻¹ de feijão, verifica-se que a margem bruta foi negativa nas doses muito baixas de N, tornando-se positiva quando estas ultrapassaram, aproximadamente, 42 kg ha⁻¹ de N no inverno 2000 (Figura 4), 34 kg ha⁻¹ de N nas águas 2001/2002 (Figura 6) e 26 kg ha⁻¹ de N no inverno 2002 (Figura 7). Nas águas 2000/2001, a margem bruta foi sempre negativa (Figura 5).

$$\begin{aligned} \text{—} \quad \hat{Y}_{(1,50)} &= -288,940 + 17,458 x - 0,074 x^2 & \text{—} \quad \hat{Y}_{(1,00)} &= -672,96 + 11,305 x - 0,050 x^2 \\ \text{- - - - -} \quad \hat{Y}_{(0,50)} &= -802,980 + 5,153 x - 0,025 x^2 & \text{0 0 0 0} \quad Y &= 0 \end{aligned}$$

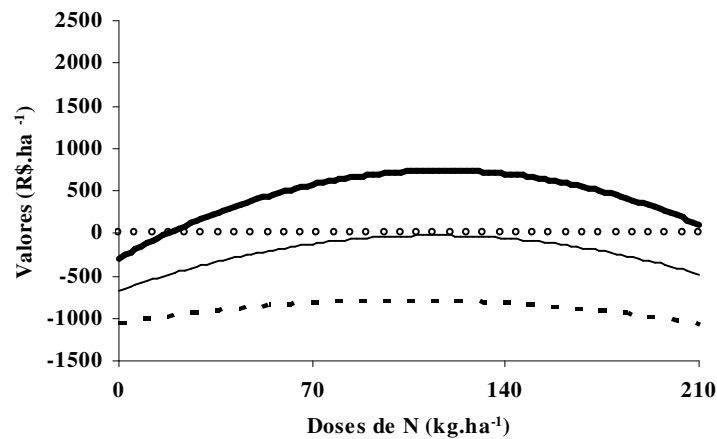


FIGURA 5. Margem bruta de um hectare de feijão em função de doses de N, safra águas 2000/2001, considerando-se três situações de preços do feijão: R\$ 0,50, R\$ 1,00 e R\$ 1,50.kg⁻¹. Preço do N = R\$ 1,00.kg⁻¹. UFLA, Lavras - MG, 2000/2001.

$$\begin{aligned} \text{---} \hat{Y}_{(1,50)} &= 179,11 + 16,922x - 0,047x^2 & \text{---} \hat{Y}_{(1,00)} &= -329,59 + 10,948x - 0,031x^2 \\ \text{- - - - -} \hat{Y}_{(0,50)} &= -838,30 + 4,974x - 0,016x^2 & \text{0 0 0 0 } Y &= 0 \end{aligned}$$

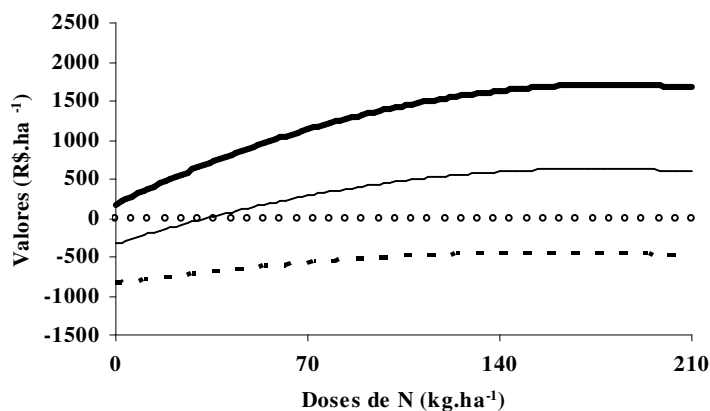


FIGURA 6. Margem bruta de um hectare de feijão em função de doses de N, safra águas 2001/2002, considerando-se três situações de preços do feijão: R\$ 0,50, R\$ 1,00 e R\$ 1,50.kg⁻¹. Preço do N = R\$ 1,00.kg⁻¹. UFLA, Lavras - MG, 2000/2001.

$$\begin{aligned} \text{---} \hat{Y}_{(1,50)} &= 280,04 + 21,618x - 0,079x^2 & \text{---} \hat{Y}_{(1,00)} &= -309,30 + 14,078x - 0,052x^2 \\ \text{- - - - -} \hat{Y}_{(0,50)} &= -898,65 + 6,539x - 0,026x^2 & \text{0 0 0 0 } Y &= 0 \end{aligned}$$

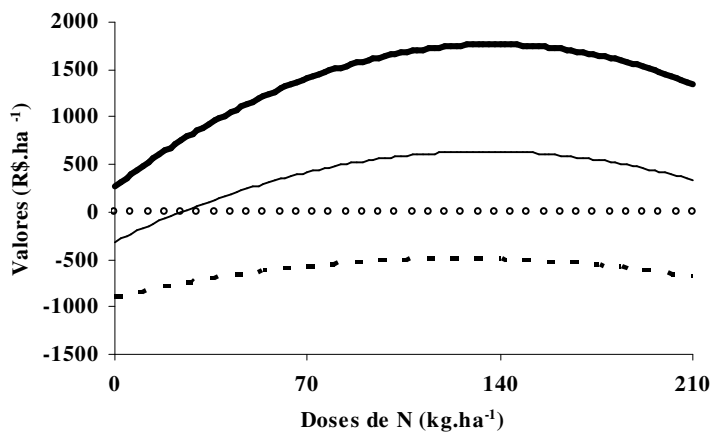


FIGURA 7. Margem bruta de um hectare de feijão em função de doses de N, safra inverno 2002, considerando-se três situações de preços do feijão: R\$ 0,50, R\$ 1,00 e R\$ 1,50.kg⁻¹. Preço do N = R\$ 1,00.kg⁻¹. UFLA, Lavras - MG, 2000.

Na Tabela 4 são apresentadas as doses de N correspondentes às máximas margens brutas (pontos de máximo das equações das Figuras 4 a 7), calculadas em cada safra, considerando-se as três situações de preço: R\$ 0,50; R\$ 1,00 e R\$ 1,50 kg⁻¹ de feijão. Deve ser notado que à medida que aumenta o preço do feijão, aumenta a máxima margem bruta e aumenta a dose de N necessária para alcançá-la. Observa-se ainda que as doses da Tabela 4, embora inferiores às doses equivalentes aos máximos de produtividade, não ficaram muito distantes delas e superaram expressivamente as doses calculadas pelo critério de 90% do rendimento máximo, utilizado por vários autores como Alvarez V. (1985), e resumidas na Tabela 5. Estas diferenças parecem traduzir a importância de se incluir, em estudos desta natureza, uma análise econômica mais detalhada.

Estas informações tornam ainda mais dinâmica a exploração da cultura do feijão, já que os preços finais obtidos alteram-se muito rápido. Deste modo, a adubação nitrogenada deve ser bem planejada antes do início do cultivo, já que alterações posteriores a safra só poderão ser feitas em relação à cobertura, ou seja, por volta de 25 dias após a emergência das plântulas.

TABELA 4. Valores máximos da margem bruta - MB com as respectivas doses de N. UFLA, Lavras - MG, 2000/2002.

Safras	Preço de feijão (R\$.kg ⁻¹)					
	0,50		1,00		1,50	
	MB (R\$)	N (kg.ha ⁻¹)	MB (R\$)	N (kg.ha ⁻¹)	MB (R\$)	N (kg.ha ⁻¹)
Inverno 2000	-443	150	718	160	1882	164
Águas 2000/01	-789	104	-27	114	737	118
Águas 2001/02	-442	160	631	176	1709	180
Inverno 2002	-491	124	636	134	1766	138
Médias	-541	135	490	146	1524	150

TABELA 5. Produtividades máxima (PM) e correspondente a 90% da máxima (0,9 PM), com as respectivas doses de N. UFLA, Lavras - MG, 2000/2002.

Safra	PM (kg.ha ⁻¹)	Dose (kg.ha ⁻¹) p/ PM	0,9 PM (kg.ha ⁻¹)	Dose (kg.ha ⁻¹) p/ 0,9 PM
Inverno 2000	2332	170	2099	102
Águas 2000/2001	1533	124	1380	69
Águas 2001/2002	2162	192	1946	108
Inverno 2002	2264	144	2038	78

O mesmo procedimento adotado para o estudo das doses de N foi adotado para doses de P₂O₅, ou seja, foi empregado o custo dos fatores constantes fornecidos pela Tabela 6, a qual contempla, nas quatro safras, o custo da dose média de N (105 kg ha⁻¹), mas ainda não considera os custos devidos ao fertilizante fosfatado.

Nas safras de inverno foram verificados os maiores custos, próximos de R\$1300,00.ha⁻¹, devido ao emprego da irrigação, enquanto nas safras das águas, sem a irrigação, esses custos variaram de R\$1161,00 a 1255,00.ha⁻¹, sem considerar o emprego do fertilizante fosfatado (Tabela 6). Houve, portanto, pequena variação entre as safras, como já comentado no estudo das doses de N. As diferenças de custo entre as Tabelas 3 e 6 são devidas ao nutriente considerado, ora fixando o fertilizante fosfatado (Tabela 3), ora o nitrogenado (Tabela 6).

O comportamento da margem bruta obtida nas quatro safras estudadas, em função das doses de P₂O₅, para as três situações de preços do produto, é apresentado nas Figuras 8, 9, 10 e 11.

Ao se considerar o preço de R\$ 0,50.kg⁻¹ de feijão, a receita bruta foi novamente inferior ao custo de produção nas quatro safras (Figuras 8 a 11). Com o preço de R\$ 1,50.kg⁻¹ de feijão, a margem bruta foi sempre positiva. Já com o preço de R\$ 1,00.kg⁻¹ de feijão, a margem foi sempre positiva, à exceção da

safras das águas 2000/2001 (Figura 9), e das doses iniciais de P_2O_5 na safra das águas 2001/2001 (Figura 10), quando a margem bruta apresentou-se negativa.

TABELA 6. Custo dos fatores de produção de feijão mantidos constantes, estimado em quatro safras. UFLA, Lavras - MG, 2000/2002⁽¹⁾.

Especificações	⁽²⁾ U	⁽²⁾ P U (R\$)	⁽²⁾ Q (ha)	Safras			
				inverno 2000	águas 2000/01	águas 2001/02	inverno 2002
Sementes	kg	3,10	81	251	251	251	251
Aração	H/M	25,00	3,5	88	88	88	88
Gradagem	H/M	25,00	1,5	75	75	75	113
Plantio	H/M	25,00	2	50	50	50	50
Cloreto de K	kg	0,72	100	72	72	72	72
Uréia	kg	1,00	233	233	233	233	233
Capina	D/H	14,00	7	196	294	196	196
Trilha	H/M	25,00	4	100	100	100	100
Mão de obra	D/H	14,00	6	84	84	84	84
Sacaria	Sc	0,40	-	12	8	12	13
Irrigação (inv.)	Kw/H	0,40	80	32	-	-	32
Irrigação (inv.)	D/H	14,00	5	70	-	-	70
Subtotais				1263	1255	1161	1302

(1) Os coeficientes técnicos foram estimados a partir dos gastos efetivos nos experimentos. Preços coletados no mercado local de Lavras - MG em fevereiro de 2004, mediante consulta direta a revendas de insumos agrícolas e prestadoras de serviços. Não estão computados os custos relativos ao fertilizante fosfatado.

(2) U: unidade, P U (R\$): preço unitário em reais, Q (ha): quantidade utilizada em um hectare, H/M: horas máquina (trator), D/H: dias homem, Sc: saco de aniagem.

Do mesmo modo observado para as doses de N verifica-se, na Tabela 7, que à medida que aumenta o preço do feijão, crescem a máxima margem bruta e a dose de P_2O_5 necessária para alcançá-la. Nota-se que as doses da Tabela 7, embora inferiores às doses equivalentes aos máximos de produtividade, ou MEF (Figura 2), não ficaram muito distantes dessas e superaram expressivamente as doses obtidas pelo critério de 90% do rendimento máximo (Tabela 8). Vale ressaltar que a safra inverno 2002 não foi incluída nesta tabela devido à resposta linear às doses de P_2O_5 .

$$\begin{aligned} \text{---} \hat{Y}_{(1,50)} &= 891,57 + 6,945 x - 0,018 x^2 & \text{---} \hat{Y}_{(1,00)} &= 173,38 + 4,096 x - 0,012 x^2 \\ \text{- - - - -} \hat{Y}_{(0,50)} &= -544,81 + 1,448 x - 0,006 x^2 & \text{0 0 0 0} & Y = 0 \end{aligned}$$

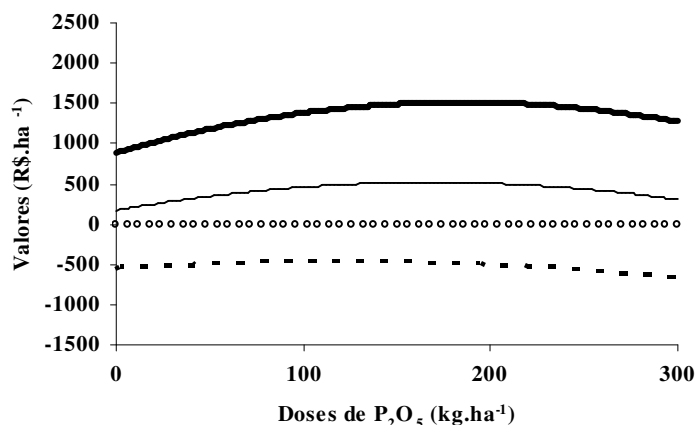


FIGURA 8. Margem bruta de um hectare de feijão em função de doses de P_2O_5 , safra inverno 2000, considerando-se três situações de preços do feijão: R\$ 0,50, R\$ 1,0 e R\$ 1,50.kg⁻¹. Preço do P_2O_5 = R\$ 0,72.kg⁻¹. UFLA, Lavras - MG, 2000.

$$\begin{aligned} \text{---} \hat{Y}_{(1,50)} &= 6,288 + 6,944 x - 0,019 x^2 & \text{---} \hat{Y}_{(1,00)} &= -160,14 + 4,229 x - 0,013 x^2 \\ \text{- - - - -} \hat{Y}_{(0,50)} &= -834,570 + 1,515 x - 0,006 x^2 & \text{0 0 0 0} & Y = 0 \end{aligned}$$

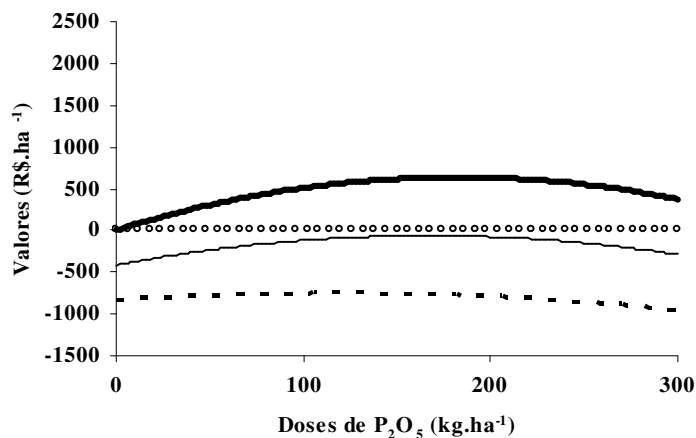


FIGURA 9. Margem bruta de um hectare de feijão em função de doses de P_2O_5 , safra águas 2000/2001, considerando-se três situações de preços do feijão: R\$ 0,50, R\$ 1,0 e R\$ 1,50.kg⁻¹. Preço do P_2O_5 = R\$ 0,72.kg⁻¹. UFLA, Lavras - MG, 2000/2001.

$$\begin{aligned} \text{---} \hat{Y}_{(1,50)} &= 314,54 + 12,870 x - 0,028 x^2 & \text{---} \hat{Y}_{(1,00)} &= -177,31 + 8,180 x - 0,019 x^2 \\ \text{- - - -} \hat{Y}_{(0,50)} &= -499,15 + 3,4899 x - 0,0093 x^2 & \text{---} Y &= 0 \end{aligned}$$

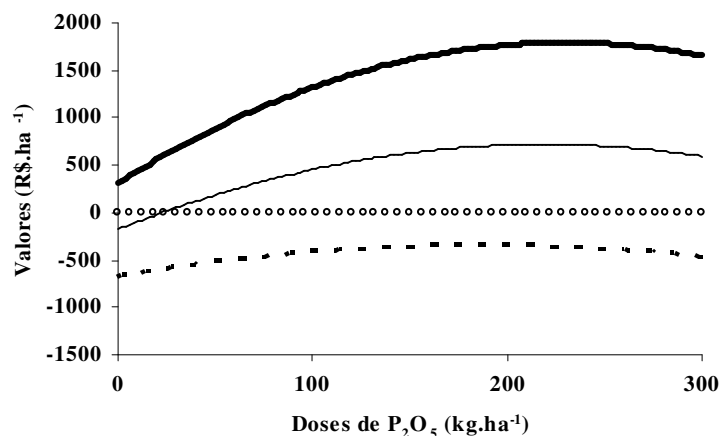


FIGURA 10. Margem bruta de um hectare de feijão em função de doses de P_2O_5 , safra águas 2001/2002, considerando-se três situações de preços do feijão: R\$ 0,50, R\$ 1,00 e R\$ 1,50.kg⁻¹. Preço do P_2O_5 = R\$ 0,72.kg⁻¹. UFLA, Lavras - MG, 2001/2002.

$$\begin{aligned} \text{---} \hat{Y}_{(1,50)} &= 1381,30 + 1,021 x & \text{---} \hat{Y}_{(1,00)} &= 560,88 + 0,2804 x \\ \text{- - - -} \hat{Y}_{(0,50)} &= -259,56 - 0,460 x & \text{---} Y &= 0 \end{aligned}$$

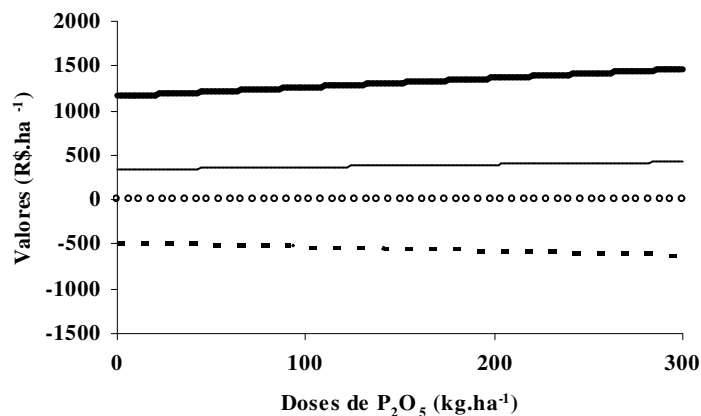


FIGURA 11. Margem bruta de um hectare de feijão em função de doses de P_2O_5 , safra inverno 2002, considerando-se três situações de preços do produto: R\$ 0,50, R\$ 1,00 e R\$ 1,50.kg⁻¹ de feijão. Preço do P_2O_5 = R\$ 0,72.kg⁻¹. UFLA, Lavras - MG, 2002.

TABELA 7. Valores máximos da margem bruta - MB com as respectivas doses de P₂O₅. UFLA, Lavras - MG, 2000/2002.

Safras	Preço de feijão (R\$.kg ⁻¹)					
	0,50		1,00		1,50	
	MB (R\$)	P ₂ O ₅ (kg.ha ⁻¹)	MB (R\$)	P ₂ O ₅ (kg.ha ⁻¹)	MB (R\$)	P ₂ O ₅ (kg.ha ⁻¹)
Inverno 2000	-459	120	518	168	1515	184
Águas 2000/01	-774	120	-62	166	640	182
Águas 2001/02	-343	186	718	220	1793	230
Inverno 2002	-	-	-	-	-	-
Médias	-525	142	391	185	1316	199

TABELA 8. Produtividades máxima (PM) e correspondente a 90% da máxima (0,9 PM), com as respectivas doses de P₂O₅. UFLA, Lavras - MG, 2000/2002.

Safra	PM (kg.ha ⁻¹)	Dose (kg.ha ⁻¹) p/ PM	0,9 PM (kg.ha ⁻¹)	Dose (kg.ha ⁻¹) p/ 0,9 PM
Inverno 2000	2013	218	1812	88
Águas 2000/2001	1422	214	1280	108
Águas 2001/2002	2161	251	1945	108
Inverno 2002	-	-	-	-

Ao se comparar as doses das Tabelas 4 e 7 com as doses das Tabelas 5 e 8, notam-se grandes diferenças. É necessário salientar que o critério que se baseia na dose responsável por 90% do rendimento máximo para determinar a dose recomendável de um nutriente é uma primeira aproximação para tão importante informação. Deve-se observar que ela se baseia tão somente na produtividade máxima e no formato genérico das curvas de resposta à adubação, o qual pressupõe mínimos acréscimos na produtividade com o aumento na dose do nutriente após alcançar 90% do rendimento máximo. Entretanto, tanto a produtividade máxima como o próprio formato da curva de resposta apresentam-se altamente modificados por uma série de fatores ambientais, de manejo e econômicos.

Verifica-se, portanto, que uma análise econômica mais detalhada, com a inclusão de outros fatores, é mais eficiente e pode levar à recomendação de doses que melhor correspondem às relacionadas aos maiores retornos econômicos para o produtor.

Os resultados sinalizam ainda para a constatação que para o produtor não basta aumentar a produtividade e reduzir custos, mas principalmente, vender bem o seu produto.

6 Conclusões

Na maioria das situações analisadas, a margem bruta obtida com o feijão cresceu de forma quadrática com o incremento das doses de N ou P_2O_5 .

As doses de N ou P_2O_5 correspondentes aos pontos de máxima margem bruta superaram expressivamente as doses calculadas pelo critério de 90% do rendimento máximo.

A inclusão de análise com preços diferenciados mostrou-se eficiente e revelou que os resultados econômicos da produção de feijão dependem não só da maximização do rendimento de grãos e minimização dos custos, mas também de boa habilidade na venda do produto.

7 Referências Bibliográficas

ABREU, A. de F.B.; RAMALHO, MA.P.; SANTOS, J.B. dos; MARTINS, L.A. Progresso do melhoramento genético do feijoeiro: nas décadas de setenta e oitenta nas regiões Sul e Alto Paranaíba em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.23, n.1, p.105-112, jan. 1994.

AGRIANUAL , **Anuário da agricultura brasileira**. Rio de Janeiro: Editora Agros Comunicação - FNP Consultoria e Comércio, São Paulo, 2004, p.301.

AGROANALYSIS: a revista de agronegócio da FGV. Rio de Janeiro, v.23, n.1-8, 2003.

AGROANALYSIS: a revista de agronegócio da FGV. Rio de Janeiro, v.22, n.1-11, 2002.

AGROANALYSIS: a revista de agronegócio da FGV. Rio de Janeiro, v.21, n.1-11, 2001.

AGROANALYSIS: a revista de agronegócio da FGV. Rio de Janeiro, v.20, n.1-12, 2000.

ALVAREZ V., V.H. **Avaliação da fertilidade do solo**: superfícies de resposta – modelos aproximativos para expressar a relação fator resposta. Viçosa: UFV, 1985. n.228, 75p.

ALVAREZ V., V.H.; RIBEIRO, A.C. Calagem. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p.43-60.

ANDRADE, M.J.B. de. Clima e solo. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T.J. de; BORÉM, A. **Feijão**: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas. Viçosa: UFV, 1998. Cap. 4, p.83-97.

BANZATTO, D.A.; KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola**. 3.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 247p.

BOLSANELLO, J.; VIEIRA, C.; SEDIYAMA, C.S.; VIEIRA, H.A. Ensaio de adubação nitrogenada e fosfatada da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), na Zona Metalúrgica de Minas Gerais. **Revista Ceres**, Viçosa, v.22, n.124, p.423-430, nov./dez. 1975.

CHAGAS, J.M.; BRAGA, J.M.; VIEIRA, C.; SALGADO, L.T.; JUNQUEIRA NETO, A.; ARAÚJO, G.A.A.; ANDRADE, M.J.B. de; LANA, R.M.Q.; RIBEIRO, A.C. Feijão. In: Ribeiro, A.C.; Guimarães, P.T.G.; Alvarez V., V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 306-307.

CULTIVAR de feijão Talismã. Sete Lagoas: UFLA/UFV/Embrapa/Epamig, 2002. Folder.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do SISVAR para Windows versão 4.0. In: REUNÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos, SP. **Programa e Resumo...** São Carlos: UFSCar, 2000. p.235.

INDICADORES Econômicos. In: ANUALPEC 2003. Anuário da pecuária brasileira. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2003. p. 391.

JUNQUEIRA NETTO, A. **Resposta diferencial de variedades de feijão à adubação nitrogenada e fosfatada**. Viçosa: UFV, 1977, 99p. (Tese em Fitotecnia).

KIKUTI, H.; ANDRADE, M.J.B. de; RAMALHO, M.A.P. Resposta diferencial de cultivares de milho ao efeito residual da adubação da batata. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.26, n.1, p.108-116, jan./fev. 2002.

REIS, A.J. dos; VIEIRA, G.; ANDRADE, J.G. de; GUIMARÃES, J.M.P.; Economia rural uma abordagem analítica. Lavras: ESAL, 1979. 367p. (Apostila).

RODRIGUES, J.R.de M. **Resposta do feijoeiro (cvs. Carioca e Pérola) a doses de nitrogênio e fósforo**. Lavras: UFLA, 2001. 124p. il. (Tese em Fitotecnia).

SILVA, P.R. **Análise econômica do emprego de fertilizantes na cultura do feijoeiro, através da função de produção – Zona da Mata-MG**. Viçosa, MG.: UFV, 1967. 61p. (Dissertação em Economia Rural)

VIEIRA, C. Adubação Mineral e Calagem. In: VIEIRA, C.; PAULA JR, T.J. de; BORÉM, A. (ed.) **Feijão**: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas. Viçosa: UFV, 1998. p.123-152.

VIEIRA, C.; VIEIRA, R.F. Época de plantio de feijão e proposta de nomenclatura para designá-las. **Revista Ceres**, Viçosa, v.42, n.244, p.685-688, nov./dez. 1995.