

ARTIGO



AUTORES:

Milena Rodrigues
Fonseca¹

Antonio Rodrigues
Fernandes¹

George Rodrigues da
Silva¹

Edílson Carvalho Brasil²

¹Instituto de Ciências Agrárias,
Universidade Federal Rural da
Amazônia, 66077-530, Belém,
PA, Brasil.

²Embrapa Amazônia Oriental, Av.
Dr. Enéas Pinheiro, s/n, Marco,
66095-100, Belém, Pará, Brasil.

Recebido: 06/11/2009
Aprovado: 02/07/2010

AUTOR CORRESPONDENTE:

Milena Rodrigues Fonseca
E-mail:
miagro2000@yahoo.com.br

PALAVRAS-CHAVE:

Vigna unguiculata,
Nutrição mineral,
Calagem,
Adubação fosfatada.

KEY WORDS:

Vigna unguiculata,
Mineral nutrition,
Liming,
Phosphate fertilization.

Teor e acúmulo de nutrientes por plantas de feijão caupi em função do fósforo e da saturação por bases

The nutrient uptake of caupi plants in terms of phosphorus and base saturation levels

Resumo: O feijão caupi (*Vigna unguiculata* L., Walp) é utilizado como uma das principais fontes proteicas da população rural na região Amazônica e da região Nordeste. O crescimento, a produtividade e o estado nutricional do feijão caupi são afetados por um grande número de fatores, destacando-se a acidez do solo e baixa disponibilidade de fósforo (P). Por outro lado, há escassez de informações sobre a nutrição mineral do feijão caupi, em relação a teores e acúmulos foliares e nos grãos. Neste contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da saturação por bases e da adubação fosfatada sobre os teores e acúmulos de macro e micronutrientes, na massa seca da parte aérea e nos grãos de feijão caupi. O delineamento experimental foi de blocos casualizados, em esquema fatorial 4 x 2, sendo quatro doses de P (0, 25, 50 e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e duas saturações por bases (50 e 60%), com oito repetições. Os teores e acúmulos de macronutrientes do feijão caupi foram influenciados pelas doses de P e pela saturação por bases. Os maiores teores e acúmulos, de uma maneira geral, ocorreram na saturação por base de 60%. A planta de feijão caupi acumulou macronutrientes na seguinte ordem: N>K>Ca>Mg>P, enquanto os micronutrientes seguiram a ordem Fe>B>Mn>Zn>Cu. O N e o P são os nutrientes exportados em maior quantidade pelos grãos, em relação à quantidade acumulada na matéria seca da parte aérea.

Abstract: Cowpea beans (*Vigna unguiculata* L., Walp) are the main source of protein for the agricultural population of the Amazon and Northeast regions of Brazil. The plant's growth, yield and nutritional value are affected by many factors, such as soil acidity and low availability of phosphorus (P). However, few studies have been conducted regarding the mineral nutrition of cowpea beans or the mineral content of shoots and beans. The aim of this study, therefore, was to evaluate the effect of base saturation levels and phosphate fertilization on the concentration and accumulation of macronutrients in cowpea shoots and beans grown in Yellow Latosol. The experimental design used was that of complete randomized blocks with eight replications. The experimental design was 4 x 2 factorial, with four rates of P (0, 25, 50 and 100 kg ha⁻¹ of P₂O₅) and two base saturation levels (50 and 60%). The concentration and accumulation of nutrients in cowpea beans were influenced by P rates and the base saturation levels. Furthermore, the highest concentrations and accumulations were achieved at a saturation base of 60%. The cowpea bean plants accumulated the nutrients in the following order: N > K > Ca > Mg > P, while micronutrients were accumulated in the following order Fe > B > Mn > Zn > Cu. N and P are the nutrients exported in greater quantities by the beans in relation to the amount accumulated in the dry matter of shoots.

1 Introdução

O feijão caupi (*Vigna unguiculata* L., Walp), também denominado feijão-macáçar, feijão-de-corda ou feijão-fradinho, é uma planta rústica adaptada às diferentes condições de clima e solo brasileiro, é cultivado na região Amazônica como uma das principais fontes proteicas da população rural e, em menor escala, também da população urbana, tornando-se assim, uma cultura de grande expressão socio-econômica para essa região. Além disso, também é utilizado em outras regiões brasileiras, como forragem verde, feno, na forma de silagem, farinha para alimentação animal e, ainda, como adubação verde e cobertura do solo (ANDRADE JÚNIOR, 2000).

Na região Amazônica, o Latossolo é a unidade taxonômica de maior ocorrência, na qual a baixa fertilidade, a elevada acidez do solo e a baixa disponibilidade de fósforo são fatores limitantes para sua exploração econômica (VIEIRA, 1981). Tais características contribuem para a redução de sua produtividade, e nesse aspecto o conhecimento da fertilidade do solo e da nutrição de plantas é importante para maximizar o aproveitamento dos nutrientes aplicados, mas principalmente para que sejam evitadas perdas de recurso financeiros, possibilitando maior retorno econômico aos agricultores.

O aumento da produtividade das plantas em solos ácidos normalmente é alcançado com aplicações adequadas de fertilizantes e corretivos (CRAVO; SMYTH, 1997), principalmente adubação fosfatada e o uso da calagem, que, além de elevar o pH do solo, é fonte de cálcio e magnésio que se encontram em baixas concentrações nestes solos. Além disso, a calagem possui a finalidade de proporcionar um ambiente adequado ao crescimento radicular, por meio da neutralização do alumínio trocável, favorecendo o aumento na disponibilidade de elementos essenciais, como o fósforo.

O crescimento, a produtividade e o estado nutricional do feijão caupi são afetados por um grande número de fatores, destacando-se as adubações realizadas. Porém, há escassez de informações sobre a nutrição mineral de plantas de feijão caupi, principalmente relacionadas à aplicação de calcário e de adubo contendo fósforo.

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da calagem e da adubação fosfatada nos teores e acúmulos de macro e micronutrientes na massa seca da parte aérea e nos grãos de feijão caupi.

2 Material e Métodos

O experimento foi realizado em condições de campo, no período de julho a outubro de 2006, em um

Latossolo Amarelo distrófico, de textura média, no Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus de Belém, Estado do Pará.

Com base na classificação de Köppen, o clima na região é do tipo Afi, o qual se caracteriza por apresentar pluviosidade anual superior a 2000 mm, com um regime de chuvas durante praticamente todo o ano, sendo aquelas totais mensais iguais ou superiores a 60 mm. A média das temperaturas máximas é de 31,4 °C e das mínimas 22,4 °C. O total de horas de insolação por ano fica em torno de 2.338 e a umidade relativa do ar, em média, é de 84% (BASTOS; PACHECO, 2001).

Amostras de solo foram coletadas antes da instalação do experimento, na profundidade de 0-0,2 m. Após serem secadas ao ar e passadas em peneiras de 2 mm, foram analisadas quimicamente e granulometricamente (Tabela 1), conforme a metodologia proposta pela Embrapa (1997). Foram calculadas por saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%) e capacidade de troca de cátions, a pH 7 (T).

Tabela 1. Características químicas do solo antes da implantação do experimento, na profundidade de 0-20 cm.

pH	P	K	Ca	Mg	Al	(H+Al)T	MO	V	m	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
água				(trocável)			g kg ⁻¹ -%			g kg ⁻¹				
4,1	23,4	0,03	1,0	3,6	11	51	56	17,2	8,8	68	475	337	92	96

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 4x2, correspondendo à combinação de quatro doses de fósforo (0, 25, 50 e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e dois níveis de saturações por bases (50 e 60%), com oito repetições. As doses de fósforo tiveram como fonte o superfosfato simples, aplicado em sulco, por ocasião da semeadura do feijão caupi.

O preparo do solo consistiu em uma aração e duas gradagens e o controle de plantas daninhas foi efetuado com capinas manuais. A semeadura foi realizada em 18/07/2006, utilizando a cultivar BR3-Tracuateua no espaçamento de 0,5 m entre linhas e 0,25 m entre plantas. A área total do experimento foi de 480 m² (24 m x 20 m), em que cada parcela foi constituída por quatro fileiras de plantas com 5,0 m de comprimento e 1,5 de largura, tendo como área útil as duas fileiras centrais, excluindo as plantas das extremidades.

Efetuuou-se uma adubação básica 10 dias após a semeadura, que consistiu de 50 kg ha⁻¹ de N, na forma de sulfato de amônio e 100 kg ha⁻¹ de K₂O, como de cloreto de potássio. Foi realizada ainda a aplicação de 20 kg ha⁻¹ de FTE BR 12, por ocasião

do plantio do caupi. O FTE BR-12 apresentava a seguinte composição: 9,2% de Zn; 2,2% de B; 0,8% de Cu; 3,8% de Fe; 3,4% de Mn e 0,13% de Mo.

Na floração (28/09/2006), ou seja, 70 dias após a semeadura, foram coletadas duas plantas representativas, na área útil de cada parcela, para a determinação da massa seca da parte aérea (MSPA). O material foi lavado, cortado e secado a 65 °C em estufa de circulação forçada de ar, para posterior pesagem e determinação do teor de nutrientes.

Na colheita (20/10/2006), avaliou-se o estande final das plantas para determinação da MSPA e da produção de grãos por hectare. As análises de tecido vegetal foram realizadas no Laboratório de Química de Solos da Embrapa Amazônia Oriental – CPATU, seguindo a metodologia descrita por Sarruge e Haag (1974).

O acúmulo de nutrientes nas diferentes partes da planta de feijão caupi foi estimado multiplicando-se os teores do elemento (g kg^{-1} de matéria seca), pelos valores de MSPA e dos grãos, dividindo-se o produto por mil (1000).

Os resultados foram submetidos à análise de variância, e conforme a significância, efetuou-se a análise de regressão, cujas equações foram ajustadas às variáveis, em função dos tratamentos aplicados, utilizando o programa Sanest (ZONTA; MACHADO, 1991). Para determinação do modelo com melhor ajuste, considerou-se o maior coeficiente de determinação e a sua significância.

3 Resultados e Discussão

A adubação fosfatada na saturação por bases de 60% (V60) não alterou o teor nitrogênio (N) na massa seca da parte aérea (MSPA), enquanto que na saturação por bases de 50% (V50) houve aumento nos teores de N, de forma linear, com aplicação das doses de P_2O_5 (Figura 1a). A V60, ausência da aplicação do P, promoveu maiores teores de N na MSPA do que a V50. Os teores de N obtidos, independente da saturação por bases e das doses de P, estão acima da faixa considerada adequada por Malavolta et al. (1997), que varia entre 18 e 22 g kg^{-1} . Os elevados teores de N observados neste estudo podem ser devidos à calagem. Segundo Silva, Vale e Guilherme (1994), com a aplicação de calcário ocorre uma aceleração no processo de mineralização da matéria orgânica e aumento da disponibilidade de nitrogênio, além de favorecer a fixação biológica do mesmo. Os teores de N observados neste estudo, também foram mais elevados do que os obtidos por Parry, Kato e Carvalho (2008), em feijão caupi cultivado em

Latossolo Amarelo do Nordeste paraense, que variaram de 16,4 a 24,5 g kg^{-1} .

Nos grãos, os teores de N foram mais elevados na maior saturação por bases, com a maior dose de P (Figura 1b). Tais valores foram superiores aos observados nas folhas e vêm demonstrar o elevado valor proteico dos grãos de feijão caupi quando comparado com o feijão comum, que é de 35,5 g kg^{-1} (ANDRADE, 1997). Ademais, os grãos constituem-se fisiologicamente como um drenó forte, quanto à redistribuição de nutrientes e fotoassimilados.

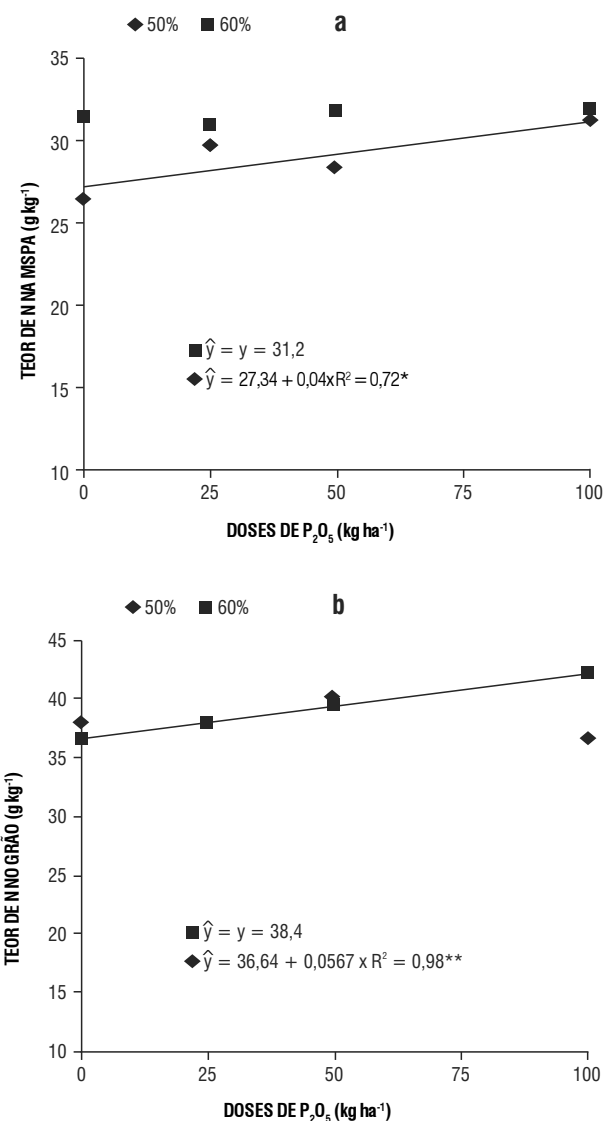


Figura 1. Teor de N na massa seca da parte aérea (a) e nos grãos de feijão caupi (b), em função da interação fósforo e saturação por bases. * e ** significativos a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

O teor de P na MSPA e nos grãos de feijão caupi foi influenciado pelas doses de P_2O_5 e pela satura-

ção por bases (Figura 2). Nas doses mais baixas de P_2O_5 observaram-se teores significativamente maiores de P na MSPA, para V60, sendo que, para os grãos, ocorreu apenas na ausência da adubação fosfatada. Independente da saturação por bases e das doses P_2O_5 , os teores de P na MSPA foram mais elevados do que aqueles considerados adequados por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) e por Oliveira e Dantas (1984), para o feijão caupi. Aumentos do teor de P em função da adubação fosfatada foram observados por Silva et al. (2010), em Latossolo Amarelo do Estado de Roraima. Parry, Kato e Carvalho (2008) também observaram aumento do teor de P na MSPA e nos grãos do feijão caupi, com o aumento das doses de fósforo.

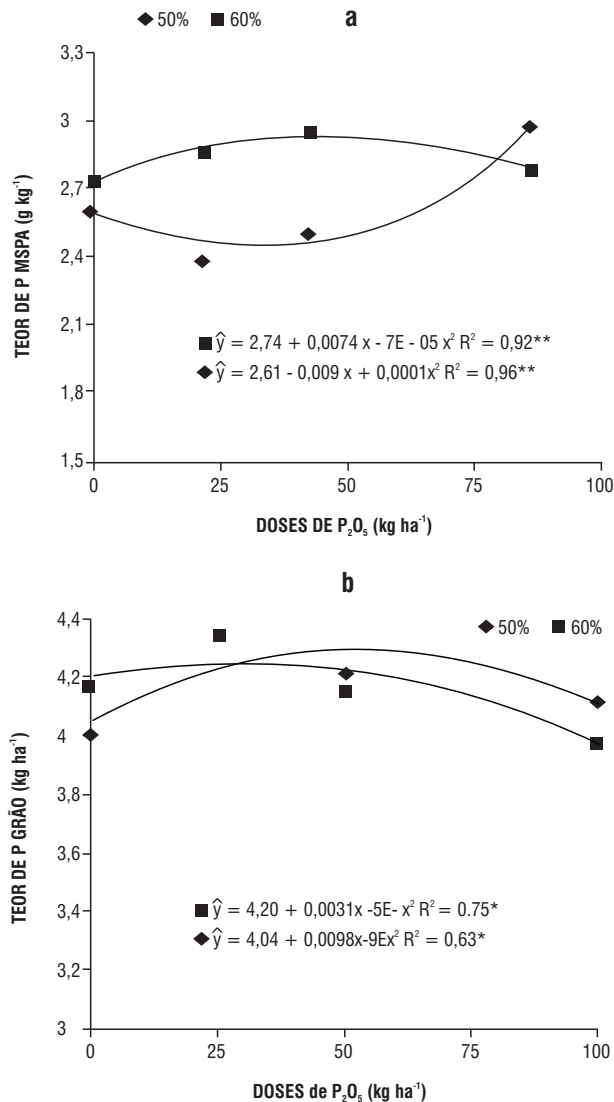


Figura 2. Teor de P na massa seca da parte aérea (a) e nos grãos de feijão caupi (b), em função da interação fósforo e saturação por bases. * e ** significativos a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Os elevados teores de P na MSPA e nos grãos

podem ser justificados pelo baixo conteúdo de argila do solo, de 96 g dm⁻³ (Tabela 1), correção do solo pelo uso do calcário e a adubação fosfatada, que favorecem a disponibilidade do P, possibilitando uma maior absorção pela planta. De acordo com Fernandes et al. (1998), em solos com menor poder tampão ocorre uma maior extração de P pelas plantas. Além disso, a disponibilidade inicial de P no solo (Tabela 1) pode ter favorecido a maior absorção de P pelo feijão caupi. Inada (2005) também verificou altos teores de P nas folhas de feijão caupi cultivado em diferentes Gleissolos de várzea do rio Pará, em função da calagem, cujo teor de argila variou de 246 a 334 g dm⁻³. No trabalho citado acima, todos os tratamentos receberam adubação fosfatada.

As doses de P_2O_5 aumentaram o teor de K na MSPA do feijão caupi na V50 de forma linear, enquanto na V60 não houve influência significativa (Figura 3a). Por outro lado, nos grãos o teor de K diminuiu com as doses de P_2O_5 , independente da saturação por bases, sendo que não houve interação entre a calagem e as doses de P (Figura 3b). Muito embora tenha havido aumento dos teores de K na MSPA na V50, os valores mais altos ainda são considerados baixos, conforme a faixa proposta por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), como adequada. Os teores nos grãos podem ser considerados baixos, tendo em vista que Parry, Kato e Carvalho (2008) observaram teores médios de 18,5 g kg⁻¹ no caupi cultivado em Latossolo Amarelo, em função da adubação fosfatada. Os teores baixos do K podem ter influenciado a produção do caupi, tendo em vista ser esse nutriente um dos mais exigidos pela cultura do feijão, segundo Fageria, Oliveira e Dutra (1996). Os baixos teores de K na MSPA e nos grãos podem estar relacionados ao aumento do Ca no solo, promovido pela calagem, que inibe a absorção de K, devido à competição entre esses cátions em níveis mais altos de Ca (SOARES et al., 1983). Além disso, como o solo tem baixo teor de argila, a perda de K por lixiviação é alta, diminuindo o teor no solo, consequentemente a absorção pela planta.

A saturação por bases e as doses de P influenciaram o teor de Ca nos grãos, aumentando com a menor dose e depois diminuindo com as doses mais elevadas, enquanto na MSPA houve uma redução com as doses intermediárias de P, elevando-se com a dose mais alta (Figura 4a, b). A redução dos teores de Ca na MSPA com as doses intermediárias pode estar relacionada ao maior crescimento das plantas com aquelas doses. De maneira geral, os teores de Ca estão abaixo da faixa considerada adequada por

Malavolta Vitti e Oliveira (1997). Resultados diferentes foram obtidos por Parry, Kato e Carvalho (2008), para o feijão caupi cultivado em Latossolo Amarelo submetido a doses de P, em que os teores na MSPA foram maiores, enquanto que nos grãos foram menores do que os obtidos neste trabalho.

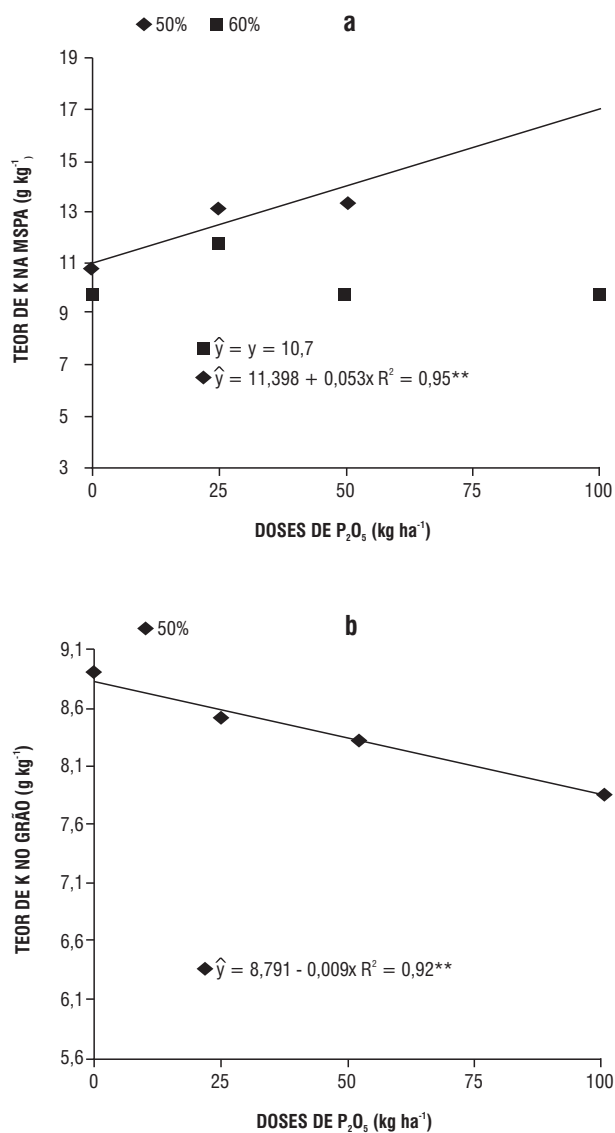


Figura 3. Teor de K na massa seca, parte aérea (a), e nos grãos de feijão caupi (b), em função da interação fósforo e saturação por bases. * e ** significativos a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Os teores de Mg na MSPA foram influenciados pela interação da saturação por bases com as doses de P, sendo mais elevados na V60, enquanto nos grãos o teor não foi influenciado pela saturação por bases e os maiores valores foram observados com a dose de 25 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 5). Os teores na

MSPA estão acima dos sugeridos como adequado por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), de 5 a 8 g kg⁻¹, para o feijão caupi. Nos grãos, houve um decréscimo na absorção de Mg na maior dose (Figura 5b). Os altos teores de Mg observados neste trabalho podem estar relacionados ao efeito sinérgico causado pelo P. Segundo Wilkinson et al. (1999), o sinérgismo entre o P e o Mg ocorre após o ponto crítico de absorção de P, ponto em que aumenta a absorção de magnésio. Neste trabalho, tanto para o Mg como para o P, a maior absorção ocorreu quando da aplicação da dose de 25 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

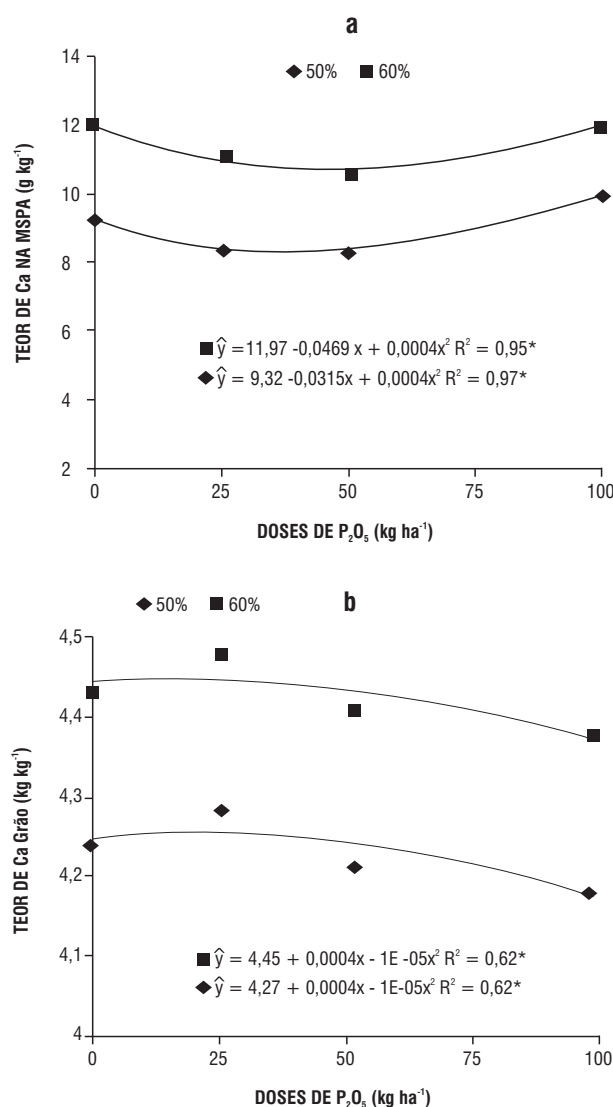


Figura 4. Teor de Ca na parte aérea (a) e nos grãos de feijão caupi, em função da interação fósforo e saturação por bases. * e ** significativos a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

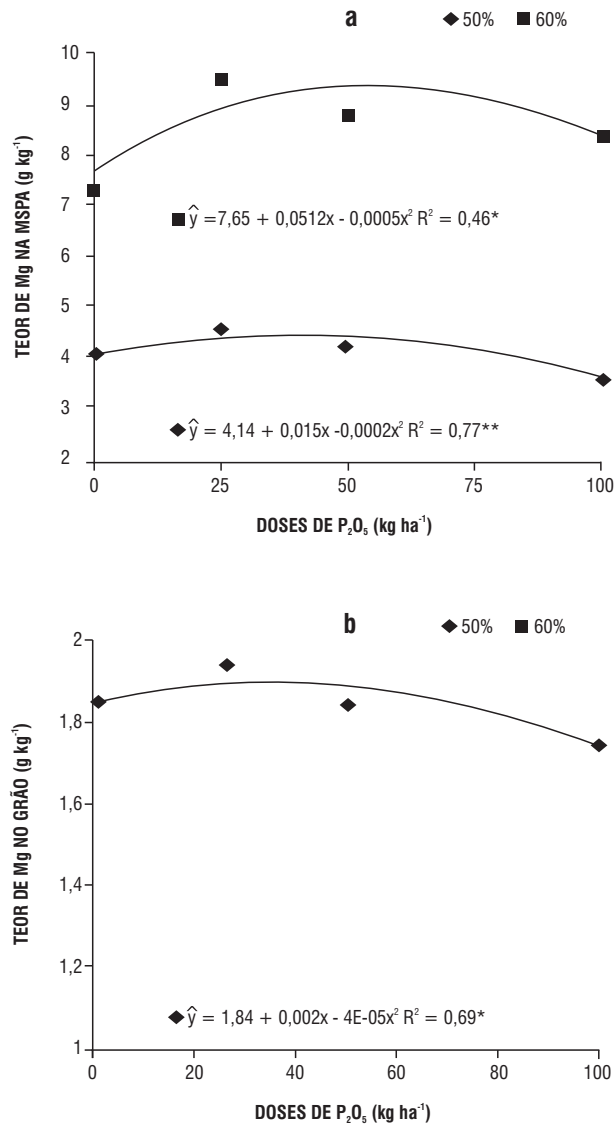


Figura 5. Teor de Mg na massa seca, da parte aérea (a), e nos grãos de feijão caupi, em função da interação fósforo e saturação por bases (b). * e ** significativos a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

O nível crítico de Mg na parte aérea foi de 7,4 g kg⁻¹, portanto, dentro da faixa considerada adequada por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) e acima do valor proposto por Oliveira e Dantas (1984), de 6,6 g kg⁻¹.

Não houve efeito significativo da interação entre as doses de P e da saturação por bases para o acúmulo de N na MSPA, porém o efeito ocorreu para as doses de P, ajustando-se ao modelo quadrático de regressão (Tabela 2). Os valores de acúmulo de N variaram de 26,2 a 33,9 kg ha⁻¹, na MSPA, em função das doses de P. Nos grãos, houve efeito significativo da interação entre as doses de P e a satura-

ção por bases para o acúmulo de N, sendo que as quantidades acumuladas variaram de 19,3 a 25,8 kg ha⁻¹, na V50, e de 34,4 a 36,1 kg ha⁻¹ (Tabela 2). Segundo Arf (1999), o N é o nutriente exportado em maiores quantidades; além disso, juntamente com o P, tem proporcionado as maiores respostas em produção. Os valores acumulados de N foram inferiores aos encontrados por Fageria e Santos (1998), em feijão comum, e por Padovan et al. (2002), em soja, que variaram de 58 a 228 kg ha⁻¹, respectivamente. Verifica-se, portanto, que o feijão caupi, quando utilizado como adubo verde, fornece menor quantidade de N, quando comparado a outras leguminosas utilizadas como adubo verde (feijão comum, soja), o que pode estar relacionado à menor produção de massa seca.

Tabela 2 - Equações de regressão dos acúmulos de macronutrientes na massa seca da parte aérea (MSPA) e nos grãos, em função de doses de fósforo e da saturação por bases.

Nutrientes	Parte da planta	Equações de Regressão V60	R ²	Equações de Regressão V50	R ²
N	PA.	$\hat{y}^1 = 25,70 + 0,292x - 0,003x^2$	R ² = 0,94**	-	-
	Grãos	$\hat{y} = 34,778 + 0,0573x - 0,0006x^2$	R ² = 0,92**	$\hat{y} = 24,882 - 0,0112x + 0,0005x^2$	R ² = 0,84**
P	PA.	$\hat{y}^1 = -0,000x^2 + 0,022x + 2,346$	R ² = 0,77**	-	-
	Grãos	$\hat{y} = 3,933 + 0,0127x - 0,0003x^2$	R ² = 0,99**	$\hat{y} = 2,7412 - 0,0005x - 6E-05x^2$	R ² = 0,68*
K	PA.	$\hat{y} = 9,2135 + 0,0677x - 0,0007x^2$	R ² = 0,95**	$\hat{y} = 10,005 + 0,2077x - 0,00018x^2$	R ² = 0,98**
	Grãos	$\hat{y} = 0,5685 - 0,0152x - 6E-05x^2$	R ² = 0,99**	$\hat{y} = 5,7927 - 0,0053x - 0,0001x^2$	R ² = 0,99**
Ca	PA.	$\hat{y} = 10,683 - 0,0127x + 5E-05x^2$	R ² = 0,99**	$\hat{y} = 8,295 + 0,0759x - 0,0009x^2$	R ² = 0,93**
	Grãos	$\hat{y} = 4,2115 + 1E-05x - 7E-05x^2$	R ² = 0,93**	$\hat{y} = 2,8978 - 0,0077x + 1E-06x^2$	R ² = 0,76**
Mg	PA.	$\hat{y} = 6,8514 + 0,0548x - 0,0005x^2$	R ² = 0,61*	$\hat{y} = 3,717 + 0,0631x - 0,0007x^2$	R ² = 1*
	Grãos	$\hat{y} = 1,7656 + 0,0027x - 6E-05x^2$	R ² = 0,58*	$\hat{y} = 1,24 - 0,0024x - 2E-05x^2$	R ² = 0,89**

¹Equação do efeito das doses de P em função da média da saturação por bases.

O acúmulo de P na MSPA foi influenciado significativamente apenas pelas doses de P, enquanto que, para os grãos, houve influência significativa da interação saturação por bases e doses de P (Tabela 2). Nos grãos, ocorreu redução do acúmulo de P na maior dose de fósforo, independente da saturação por bases, proporcionando um ajuste a funções quadráticas. Os maiores valores de acúmulo de P nos grãos de caupi ocorreram na dose de 50 kg de P₂O₅ kg ha⁻¹, com V60 (Tabela 2). A acumulação de P nos grãos foi de 2,3 a 4,1 kg ha⁻¹, valores esses muito baixos, quando comparados com outras leguminosas. Em feijão comum o valor de P acumulado foi de 10 kg ha⁻¹ em solos de várzea (FAGERIA; SANTOS, 1998), enquanto Padovan et al. (2002) verificaram valores correspondentes a 20 kg ha⁻¹, na cultura da soja.

O acúmulo de K na MSPA e dos grãos do feijão caupi foi influenciado significativamente pelas doses de calcário e de P (Tabela 2). Na V50 observou-se maior acúmulo de K na MSPA, sendo que o ajuste foi para a função quadrática, nas duas saturações por bases. Nos grãos, o maior acúmulo de K foi na V60, porém, nas duas saturações por bases, os maiores valores acumulados ocorreram na ausência da adubação fosfatada, ou seja, houve decréscimo com o aumento das doses de P. O acúmulo de K na MSPA ficou abaixo dos valores encontrados por Fageria e Santos (1998), de 69 kg ha⁻¹ para feijão comum, em solos de várzea. A redução no acúmulo de K nos grãos pode ser creditada à menor produção de massa seca dos grãos com o aumento das doses de P.

Em ambas as saturações por bases, os níveis crescentes de P provocaram aumentos nos acúmulos de Mg com a menor dose de P, na MSPA e nos grãos, seguida de reduções a partir da elevação das doses, ou seja, houve um ajuste quadrático para as equações. Tanto na MSPA quanto nos grãos, o maior acúmulo de Mg ocorreu na V60. O Mg exerce um papel fundamental no transporte do P nos processos bioquímicos na planta, principalmente, nas reações de fosforilação. Os valores do acúmulo de Mg na parte aérea foram próximos ao obtido por Fageria e Santos (1998), em plantas de feijão comum, de 10 kg ha⁻¹.

Os teores e acúmulos de macronutrientes, de uma maneira geral, foram influenciados pela saturação por bases e adubação fosfatada. Na MSPA e nos grãos, os macronutrientes se acumularam na seguinte ordem: N > K > Ca > Mg > P e N > K > Ca > P > Mg, respectivamente, ou seja, o P foi o nutriente de menor acumulação na MSPA, enquanto nos grãos foi o Mg.

O teor de Cu na parte aérea, o teor e o acúmulo nos grãos de feijão caupi foram influenciados pelas doses de P e pelo aumento na saturação por base (Figura 6 e Tabela 3). No tratamento V60 o teor de Cu na MSPA aumentou com as doses de P, ajustando-se os dados a uma equação quadrática (Figura 6a), enquanto nos grãos o aumento foi linear (Figura 6b). Na V50, houve uma redução linear do teor de Cu na MSPA, enquanto nos grãos não houve influência das doses de P. Segundo Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) os teores considerados adequados para o caupi estão na faixa entre 5 e 7 mg kg⁻¹, porém, neste trabalho, os teores foram maiores, na parte aérea e nos grãos. De acordo com Fageria, Barbosa Filho e Stone (2003),

o teor de Cu no solo começa a diminuir quando o pH do solo aumenta acima de 5,9; no presente trabalho, os valores de pH ficaram abaixo do citado por estes autores, o que pode ter favorecido a absorção do micronutriente. Além disso, o uso da calagem, que aumenta a decomposição da matéria orgânica, pode ter favorecido a liberação de Cu e aumentado a absorção pelas plantas.

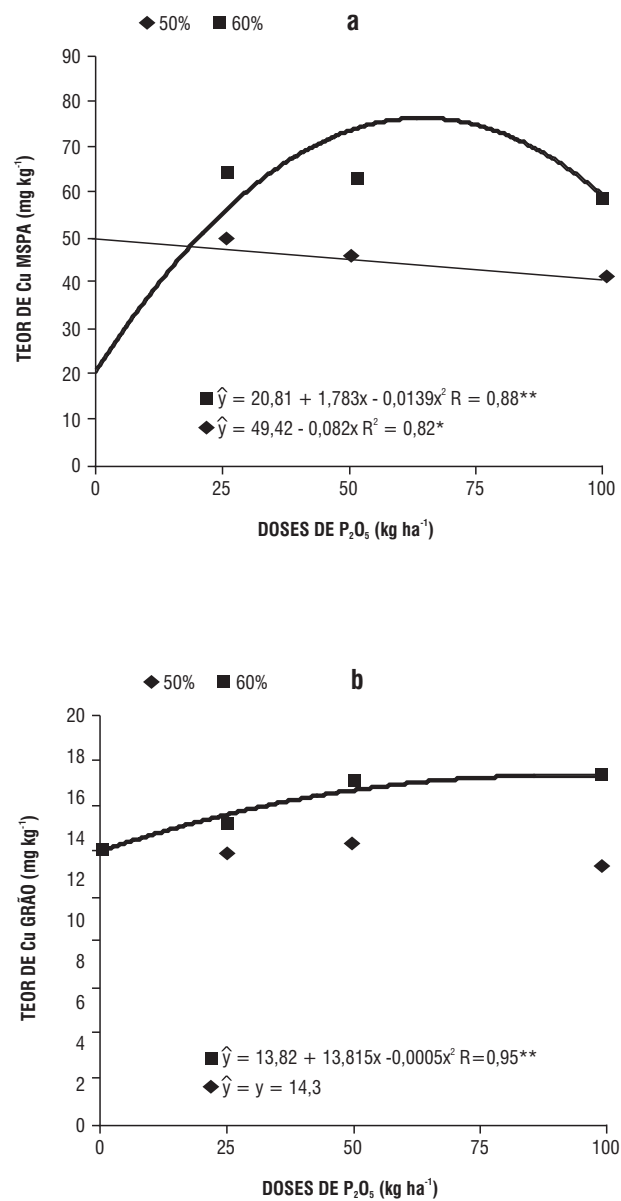


Figura 6. Teor de Cu na massa seca da parte aérea (a) e nos grãos de feijão caupi (b), em função da interação fósforo e saturação por bases. * e ** significativos a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Para o Mn, o teor e o acúmulo na MSPA e nos grãos foram maiores na V50, se enquadrando no modelo de regressão quadrático, exceto para o acúmulo nos grãos, que não se ajustou a nenhuma função (Figura 7 e Tabela 3). Na V60, os teores de Mn, tanto na MSPA quanto nos grãos, não se ajustaram a nenhuma função. Maiores teores de Mn foram observados na MSPA, quando comparados aos teores nos grãos. Isto pode ser justificado porque o Mn fica concentrado na parte aérea, pois nas plantas ele se encontra em maior parte nos cloroplastos das folhas e, juntamente com o Fe e o Cu, exerce papel importante no sistema de transporte de elétrons (MARSCHNER, 1995).

Tabela 3 - Equações de regressão dos acúmulos de micronutrientes na massa seca da parte aérea (P.A.) e nos grãos, em função de doses de fósforo e da saturação por bases.

Nutrientes	Parte da planta	Equações de Regressão V60	R ²	Equações de Regressão V50	R ²
Cu	PA.	$\hat{y} = 17,483 + 1,9815x - 0,0164x^2$	R ² = 0,96**	$\hat{y} = 44,106 + 0,4608x - 0,006x^2$	R ² = 0,99**
	Grãos	$\hat{y} = 13,032 + 0,0864x - 0,0007x^2$	R ² = 0,97**	$\hat{y} = 9,3785 - 0,0198x - 5E-05x^2$	R ² = 0,87**
Mn	PA.	$\hat{y} = 60,138 + 0,2508x - 0,0036x^2$	R ² = 0,93**	$\hat{y} = 42,225 + 1,6772x - 0,0144x^2$	R ² = 0,93**
	Grãos	$\hat{y} = 6,864$		$\hat{y} = 5,566$	
Fe	PA.	$\hat{y} = 171,24$		$\hat{y} = 126,37 + 1,6374x - 0,0189x^2$	R ² = 0,99**
	Grãos	$\hat{y} = 78,5020,6985x + 0,0044x^2$	R ² = 0,96**	$\hat{y} = 37,34$	
Zn	PA.	$\hat{y} = 45,222 - 0,0099x - 0,0004x^2$	R ² = 0,53*	$\hat{y} = 40,581 + 0,4216x - 0,005x^2$	R ² = 0,86**
	Grãos	$\hat{y} = 30,273 - 0,1897x + 0,0008x^2$	R ² = 0,83*	$\hat{y} = 15,95 + 0,0172x - 0,0005x^2$	R ² = 0,46
B	P.A.	$\hat{y} = 65,353 + 0,4127x - 0,004x^2$	R ² = 0,46*	$\hat{y} = 65,277 + 1,2422x - 0,0131x^2$	R ² = 0,85**
	Grãos	$\hat{y} = 14,107 + 0,0667x - 0,0009x^2$	R ² = 0,95*	$\hat{y} = -0,0163x + 10,452$	R ² = 0,95*

Os teores de Fe na MSPA e nos grãos das plantas de feijão caupi foram influenciados (P<0,01) pela interação entre as doses de P e saturação por bases, no entanto, as doses de P na V50 não tiveram influência (Figura 8). Na V60, o teor e acúmulo de Fe nos grãos se reduziram com as doses de P. Os teores de Fe variaram de 140 a 190 mg kg⁻¹, na parte aérea, e de 50 a 88,6 mg kg⁻¹, nos grãos. Os teores foliares ficaram abaixo do proposto como adequados por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), de 700 mg kg⁻¹, para as folhas. Vários autores sugerem que a calagem diminui a concentração de ferro disponível para as plantas.

Para o Fe, os acúmulos na MSPA e nos grãos das plantas de feijão caupi foram influenciados (P<0,01) pela interação entre as doses de P e saturação por bases (Tabela 3). O acúmulo de Fe variou de 100 a 170 g ha⁻¹ na parte aérea do feijão caupi, com os maiores valores obtidos com V60, com diferenças significativas entre as doses de P. Na V60 ocorreu redução do acúmulo de Fe nos grãos com a maior dose de P (Tabela 3).

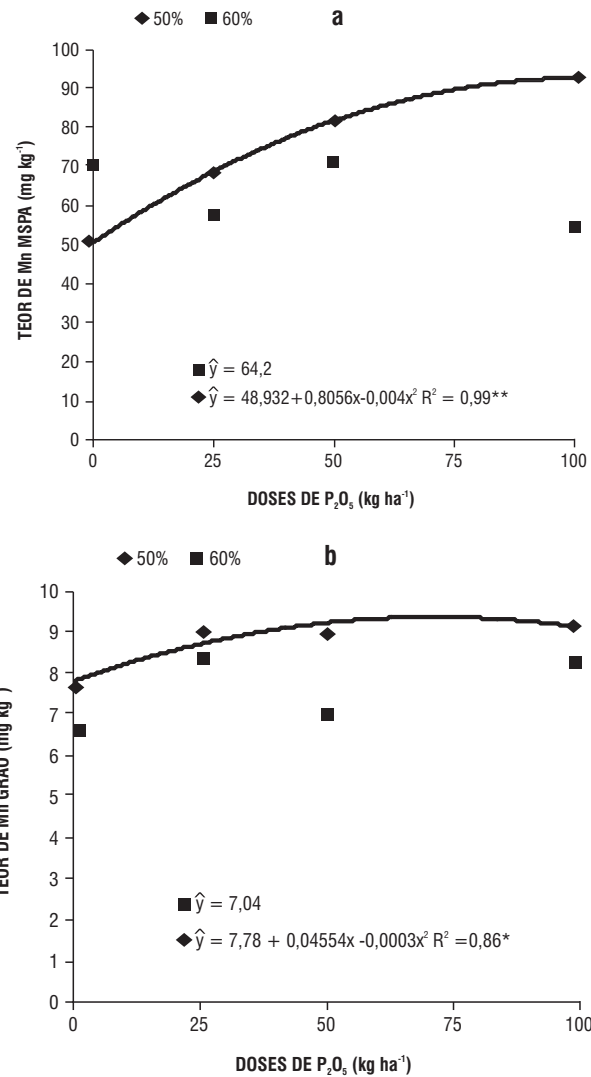
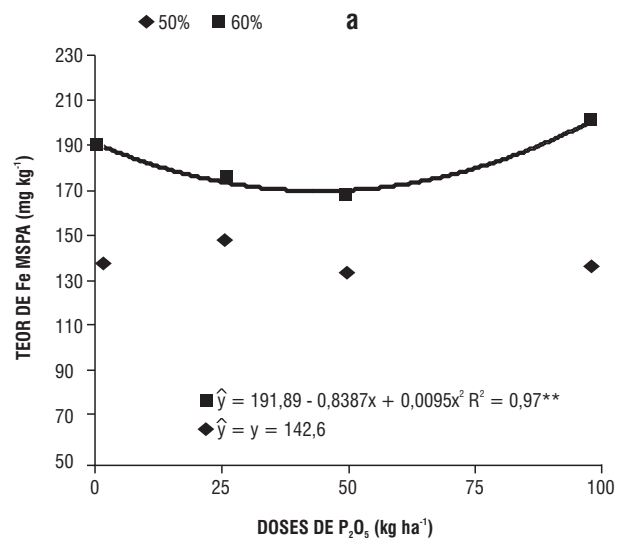


Figura 7. Teor de Mn na massa seca da parte aérea (a) e nos grãos de feijão caupi (b), em função da interação fósforo e saturação por bases. * e ** significativos a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.



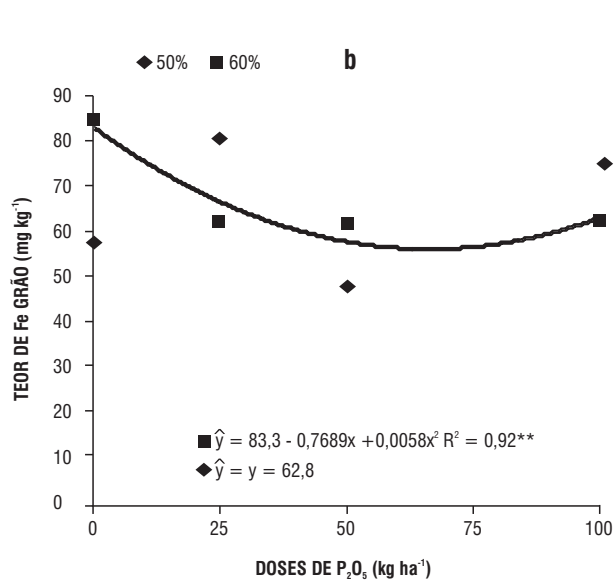


Figura 8. Teor de Fe na massa seca da parte aérea (a) e nos grãos de feijão caupi (b), em função da interação fósforo e saturação por bases. * e** significativos a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Houve efeito significativo para o teor e acúmulo de Zn na parte aérea das plantas e nos grãos de feijão caupi, em função das doses de P e da saturação por bases, exceto para o teor na MSPA, em que não houve influência da saturação por bases (Figura 9a e b e Tabela 3). Com o aumento das doses de P, os teores de Zn sofreram redução na MSPA e nos grãos, exceto o acúmulo de Zn na V50, que se ajustou a uma função quadrática. A redução no teor de Zn com o aumento das doses de P pode ter sido ocasionada pela alta concentração de P no solo, que causa a diminuição da absorção do Zn (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Olsen (1972) aponta três mecanismos distintos que podem explicar a interação entre estes nutrientes: diluição do Zn no tecido vegetal, em virtude do crescimento das plantas, decorrente da maior disponibilidade de fósforo no solo, que aumenta o crescimento; uma interação fisiológica antagônica entre os elementos, em que o P inibe a absorção do Zn, e efeito negativo no transporte do Zn das raízes para a parte aérea das plantas.

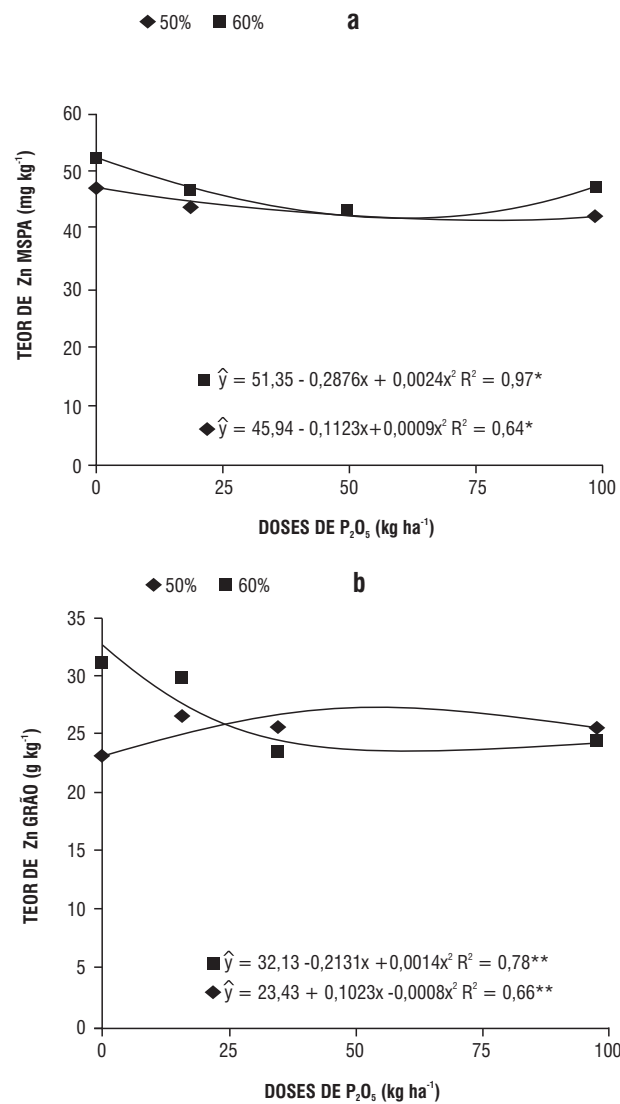
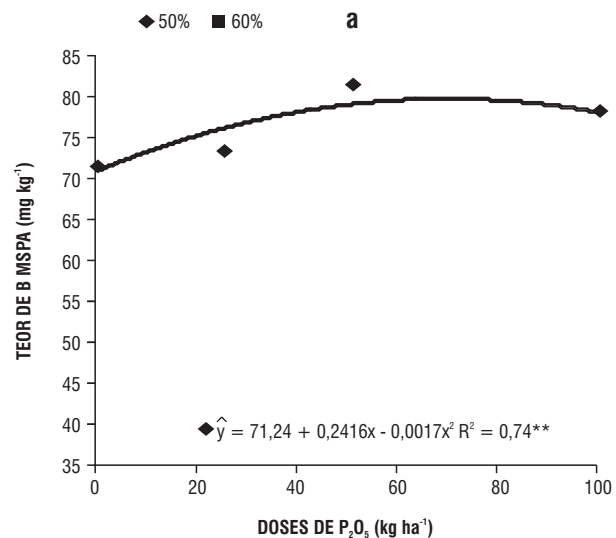


Figura 9. Teor de Zn na massa seca da parte aérea (a) e nos grãos de feijão caupi (b), em função da interação fósforo e saturação por bases. * e** significativos a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.



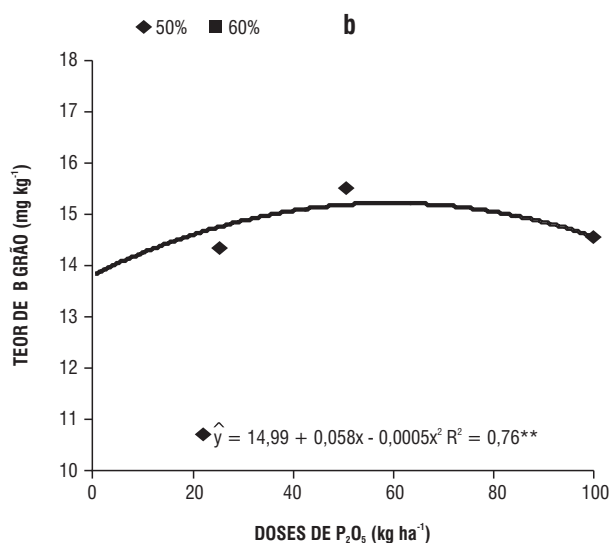


Figura 10. Teor de B na massa seca da parte aérea (a) e nos grãos de feijão caupi (b), em função da interação fósforo e saturação por bases. * e ** significativos a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Os teores de B na MSPA e nos grãos sofreram influência significativa das doses de P, exceto na MSPA com a V60 (Figura 10). Os teores na MSPA variaram de 75 a 86 mg kg⁻¹ (Figura 10a), valores menores que os propostos por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), como adequados, de 150 a 200 mg kg⁻¹ e por Oliveira e Dantas (1984), de 200 mg kg⁻¹. Os baixos teores de B na MSPA podem ser devidos à calagem e ao baixo teor de matéria orgânica do solo (Tabela 1). Segundo Fageria, Barbosa Filho e Stone (2003), o aumento do pH pela prática da calagem pode diminuir a disponibilidade de B nos solos ácidos. De acordo com Faquin (2001), a matéria orgânica é a principal fonte de B existente no solo para as plantas. Solos com alto teor de matéria orgânica geralmente apresentam adequada concentração de B.

O acúmulo de B na MSPA foi maior na V50, aumentando até a dose de 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Tabela 3). Nos grãos, a V60 apresentou maior acúmulo, ajustando-se a uma equação quadrática, enquanto na V50 os dados se ajustaram de forma linear, decrescente.

Considerando os teores médios de micronutrientes na massa seca da parte aérea em função das doses de P e da saturação por bases e as faixas propostas por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) para o *Vigna*, e por Oliveira e Dantas para o feijão caupi (1984), verifica-se que os teores de Mn, Fe e B ficaram abaixo da faixa considerada adequada, enquanto para o Cu obteve-se valores acima da faixa adequada. Para o Zn, os teores permaneceram dentro da faixa considerada adequada pelos autores citados.

De maneira geral, o acúmulo dos micronutrientes na MSPA foi influenciado significativamente ($P < 0,01$) pela interação entre as doses de P e pelos níveis de saturação por base. Entre os micronutrientes na MSPA de plantas de feijão caupi, a ordem de acumulação foi a seguinte: Fe > B > Mn > Zn > Cu.

4 Conclusões

Os teores e acúmulos de macronutrientes do feijão caupi foram influenciados pelas doses de P e pela saturação por bases.

A interação entre as doses de P e a saturação por bases influenciou os teores e os acúmulos de micronutrientes em plantas de feijão caupi. Houve aumento do Cu, Mn e B e diminuição do Fe e do Zn com as doses de P.

Os macronutrientes mais extraídos pelo caupi foram o N, K e Ca, enquanto para os micronutrientes foram o Fe, B e Mn.

O N e o P são os nutrientes exportados em maior quantidade pelos grãos, em relação à quantidade acumulada na matéria seca da parte aérea.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão de bolsa ao primeiro autor.

Referências

- ANDRADE, C.A.B. *Limitações de fertilidade e efeito do calcário para o feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) em solos de várzea do sul de Minas Gerais*, 1997. 107f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Ufla, Lavras, 1997.
- ANDRADE, JÚNIOR, A.S. *Viabilidade da irrigação, sob risco climático e econômico, nas microrregiões de Teresina e Litoral Piauiense*, 2000. 56f. Tese (Doutorado) - ESALQ, Piracicaba, 2000.
- ARF, O. Efeitos na cultura do trigo da rotação com milho e adubos verdes, na presença e na ausência de adubação nitrogenada. *Bragantia*, Campinas, v. 58, n.2, p. 323-334, 1999.
- BASTOS, T.X.; PACHECO, N. A. *Informativo Agrometeorológico 1998*. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001. 57p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 54).
- CRAVO, M.S.; SMYTH, T.J. Manejo sustentado da fertilidade de um Latossolo da Amazônia Central sob cultivos sucessivos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 2, p. 607- 616, 1997.

- EMBRAPA-CNPS. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p. (Embrapa-CNPS. Documentos, 1).
- FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P.; STONE, L.F. Resposta do feijoeiro a adubação fosfatada. In: POTAFÓS. Simpósio destaca a essencialidade do fósforo na agricultura brasileira. *Informações Agrônomicas*, Piracicaba, n.102, p.1-9, 2003.
- FAGERIA, N.K.; OLIVEIRA, I.P.; DUTRA, L.G. *Deficiências nutricionais na cultura do feijoeiro e suas correções*. Goiânia: Embrapa-CNPAF-APA, 1996. 40p, (Documentos, 65).
- FAGERIA, N.K.; SANTOS, A.B. dos. Adubação fosfatada para o feijoeiro em solo de várzea. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, v.2, p.124-127, 1998.
- FAQUIN, V. *Nutrição mineral de plantas*. Lavras. Ufla/Faep, 2001. 182 p
- FERNANDES, L.A.; FURTINI NETO, A.E.; CURI, N.; GUEDES, G.A.A.; LIMA, J.M. Fósforo e atividade da fosfatase ácida em plantas de feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.33, n.5, p.769-778, maio 1998.
- INADA, F.H.: *Efeito da aplicação de calcário sobre produção de massa seca e grãos, teor e acúmulo de macronutrientes em plantas de caupi cultivadas em solos de várzea do rio Pará*. 2005. 46f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2005.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A.; *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2 ed. Piracicaba: Potafós, 1997. 319 p.
- MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. San Diego: Academic Press, 1995. 889p.
- OLIVEIRA, I.P.; DANTAS, J.P. *Sintomas de deficiência nutricional e recomendações de adubação para caupi*. Goiânia: Embrapa-CNPAF, 1984.
- PADOVAN, M.R. et al. Avaliação de cultivares de soja, sob o manejo orgânico, para fins de adubação verde e produção de grãos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.37, p.1705- 1710, 2002.
- PARRY, M. M.; KATO, M. do S.A.; CARVALHO, J. G. de. Macronutrientes em caupi cultivado sob duas doses de fósforo em diferentes épocas de plantio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, n.3, p.236-242, 2008.
- SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. *Análises químicas em plantas*. Piracicaba: ESALQ, 1974. 56p.
- SILVA, A.J. da S.; UCHÔA, C.P.J.; ALVES, J.M.A.; LIMA, A.C.S.; SANTOS, C.S.V. dos; OLIVEIRA, J.M. F. de; MELO, V.F. Resposta do feijão-caupi a doses e formas de aplicação de fósforo em Latossolo Amarelo do Estado de Roraima. *Acta Amazônica*, Manaus, v.40, n.1, p.31-36, 2010.
- SILVA, C.A.; VALE, F.R.; GUILHERME, I.R.G. Efeito da calagem na mineralização do nitrogênio em solos de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, Campinas, n. 18, p.471-476, 1994.
- SOARES, E.; LIMA, L.A.; MISCHAN, M.M.; MELLO, F.A.F.; BOARETTO, A.E. Efeito da relação entre teores trocáveis de Ca e Mg do solo na absorção de K por plantas de centeio. *Revista de Agricultura*, v.58, p.315-330, 1983.
- VIEIRA, L.S. *Manual da ciência do solo*. 2ª ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1981. 464 p.
- WILKINSON, S.R.; MAOLCON, E.S.; SUMNER, M.E. Nutrient interactions in soil and plant nutrition. In: SUMNER, M. E (Ed.) *Handbook of soil science*. Boca Raton: C R C Press, 1995. p. 89-112.
- ZONTA, E.P.; MACHADO, A.A. *Sistema de análise estatística para microcomputadores (Sanest)*. Pelotas: UFPel. Departamento de Matemática e Estatística, 1991. 101p.