

PRODUTIVIDADE DE FEIJÃO CAUPI EM FUNÇÃO DA CALAGEM E FÓSFORO¹

ANTONIO RODRIGUES FERNANDES^{2*}, MILENA RODRIGUES FONSECA³, ANDERSON MARTINS DE SOUZA BRAZ⁴

RESUMO - O fornecimento adequado de calcário e da adubação fosfatada para o feijão caupi pode contribuir para o aumento da produtividade e do valor nutricional dos grãos. Foi avaliado o efeito da adubação fosfatada e da saturação por bases sobre o crescimento e a produtividade do feijão caupi, em Latossolo Amarelo distrófico. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com oito repetições, em esquema fatorial 4 x 2, correspondendo à combinação de quatro doses de fósforo - P (0, 25, 50 e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e duas saturações por bases (50 e 60%). Foi utilizada a cultivar BR3-Tracuateua, semeada para proporcionar 80.000 plantas/ha. Por ocasião da floração foram coletadas plantas representativas, em cada parcela útil, para a determinação da massa seca da parte aérea. Para a produção de massa seca da parte aérea houve interação entre a saturação por bases e doses de P, cuja produção máxima foi alcançada na saturação de 50%, correspondente a dose de 45 kg ha⁻¹. Para produção de massa seca de vagens e de grãos também ocorreu interação doses de P e saturação por bases, sendo a maior produção ocorreu na saturação por bases de 60% com a dose inicial de fósforo (25 kg ha⁻¹ of P₂O₅). A produção máxima estimada de grãos e aquela correspondente a 90% foram atingidas com as doses de 11,3 e 10,2 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente, com saturação por bases de 60%.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*. Adubação fosfatada. Saturação por bases. Fertilidade. Produtividade.

PRODUCTIVITY OF COWPEA BEAN IN FUNCTION OF LIMESTONE AND PHOSPHORUS

ABSTRACT - The supply adequate of lime and phosphorus fertilizer for cowpea beans can contribute for the increased of the productivity and the nutritional value of the grains. Therefore the effect of the phosphate fertilization and the base saturation was evaluated on the growth and the productivity of the cowpea beans of a Typic Hapludox. The experimental delineation was block randomized, with eight replicates in factorial project 4 x 2, corresponding to the combination of four of phosphorus (P) levels (0, 25, 50 and 100 kg ha⁻¹ of P₂O₅) and two base saturations (50 and 60%). It was used to cultivate BR3-Tracuateua, sown to provide 80,000 plants/ha. In period of flowering were collected two samples representative in each plot for the determination of the dry mass aerial part. The dry mass aerial part production had a significant effect for interaction between the base saturation and phosphorus rate, the maximum production was reached in saturation of 50%, corresponding to the dose of 45 kg ha⁻¹. The components of output and weight of dry mass of pods and grains also had significant effects on the interaction P x base saturation, and the highest production occurred in the base saturation of 60% with the initial dose (25 kg ha⁻¹ of P₂O₅) of phosphorus. The maximum production estimated of grains that corresponding to 90% was hit with the doses of 11.3 and 10.2 kg ha⁻¹ P₂O₅, with base saturation of 60%.

Keywords: *Vigna unguiculata*. phosphate fertilization. Base saturation. Fertility. productivity.

*Autor para correspondência.

¹Recebido para publicação em 25/26/2012; aceito em 05/09/2013

²Universidade Federal Rural da Amazônia, Instituto de Ciências Agrárias, Avenida Presidente Tancredo Neves, Nº 2501 Bairro: Montese, Cep: 66.077-830 Cidade: Belém-Pará-Brasil

³Secretaria de Estado de Agricultura, SAGRI, Pará, Brasil; Travessa Chaco, 2232 - Marco, Belém - PA, 66093-410. miagro2000@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

O feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), se destaca como uma cultura de importância sócio-econômica, para as famílias de baixa renda que vivem nas regiões Norte e Nordeste do Brasil. É um alimento de alto valor nutritivo, por apresentar elevado conteúdo protéico, superando o feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) além de participar da geração de emprego e renda.

Pelo valor nutritivo, o feijão caupi é cultivado, principalmente, para a produção de grãos secos ou verdes, visando o consumo humano. Quando cultivado para produção de vagens verdes a produtividade pode atingir 3.677 kg ha⁻¹, com a BRS-Tumucumaque (SILVA et al., 2013). Suas sementes são fontes de proteínas, aminoácidos, tiamina, niacina, além de fibras dietéticas, representando uma opção para compor os programas de políticas públicas focados na melhoria e qualidade de vida, tanto no meio rural quanto no meio urbano (SOUZA, 2005).

O Latossolo Amarelo Distrófico é solo de maior ocorrência na Amazônia, apresentando como características químicas a acidez elevada, alta saturação por alumínio (Al) e baixa fertilidade, sendo necessário, portanto, a correção e a fertilização de modo adequado para viabilizar a produção das culturas. A baixa produtividade média de grãos está relacionada a vários fatores do processo produtivo, dentre eles o manejo inadequado das práticas de adubação e calagem, assim como outras práticas necessárias para o aumento da produtividade (CARDOSO et al., 1997).

O aumento da produtividade em solos ácidos, geralmente, é obtido com a prática da calagem, elevando o pH e fornecendo os nutrientes Ca e Mg às plantas e a adubação, principalmente a fosfatada, devido aos baixos teores disponíveis de P nos solos tropicais. Além disso, a calagem possui a finalidade de proporcionar um ambiente adequado ao crescimento radicular, por meio da elevação do pH e neutralização do alumínio trocável, favorecendo o aumento na disponibilidade de elementos essenciais, como o P, aumentando a produtividade das culturas, principalmente do feijão caupi (FONSECA et al., 2010).

O P promove o aumento da produção de matéria seca da parte aérea, incremento do número de vagens e massa de grãos (FAGERIA et al., 2003). No feijão caupi, o P, é um dos elementos que mais limita a produção, considerando as condições do solo e as propriedades do elemento no meio (EMBRAPA MEIO-NORTE, 2003).

Embora seja o P um dos nutrientes que mais limita a produção, pouco se conhece a respeito das quantidades a utilizar, que permitam a obtenção de rendimentos satisfatórios no feijão caupi, principalmente nas condições amazônicas. Em solos da Amazônia Oriental a adubação com P e potássio aumentou de forma significativa à produção de feijão-caupi

(SILVA et al., 2011). A adubação fosfatada também aumenta o teor e acúmulo de P na matéria seca da parte aérea e nos grãos (FONSECA al., 2010).

O objetivo foi avaliar o efeito de doses de fósforo e da calagem, sobre a produtividade de feijão-caupi em Latossolo Amarelo distrófico.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no campus da Universidade Federal Rural da Amazônia/UFRA (48° 23' W e 22° 51' S) em Latossolo Amarelo distrófico (EMBRAPA, 2006).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Af_i, que se caracteriza por apresentar pluviosidade anual superior a 2000 mm, com um regime de chuvas durante praticamente todo o ano e 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% (SUDAM, 1984; BASTOS; PACHECO, 2001).

Antes da instalação do experimento e após o cultivo do caupi, amostras de solos foram coletadas da camada superficial (0-0,2 m), e depois de secas ao ar e passadas em peneiras de 2,0 mm de abertura de malha para determinação dos atributos químicos do solo conforme metodologias descritas em Embrapa (1997). Antes da instalação do experimento o solo apresentava a seguinte caracterização química: pH em água=4,1; Ca=1,0 mmol_c dm³; Mg=3,6 mmol_c dm³; Al= 11 mmol_c dm³; P=23,4 mg dm⁻³ (Mehlich 1); K=0,3 mmol_c dm³; acidez potencial=51 mmol_c dm³ (H+Al) e matéria orgânica (MO)=17,2 g kg⁻¹. Foram calculadas a saturação por bases (V)=88 mmol_c dm³, saturação por alumínio (m)=68% e a CTC pH 7=56 mmol_c dm³. Foi realizada análise granulométrica pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997) na camada de 0-0,2 m, obtendo-se a fração areia grossa (475 g kg⁻¹), areia fina (337 g kg⁻¹), argila (96 g kg⁻¹) e o silte (92 g kg⁻¹).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 4 x 2, com oito repetições, correspondendo à quatro doses de fósforo (0, 25, 50 e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e duas saturações por bases (50 e 60%). As doses de fósforo tiveram como fonte o superfosfato simples, aplicado em sulco por ocasião da semeadura do feijão caupi.

A calagem foi efetuada com calcário dolomítico (PRNT = 70%) aplicado a lanço, após o preparo, ou seja, não incorporado ao solo, 30 dias antes do plantio. As quantidades de calcário para a saturação por bases de 50% (V50) e 60% (V60), corresponderam a 3300 e 4100 kg ha⁻¹, respectivamente. Para o cálculo da necessidade de calcário (NC) foi utilizada a fórmula $NC = (V_2 - V_1) T/100$, sendo V₂ corresponde à saturação por bases desejada (50 ou 60%), V₁ é a saturação inicial do solo e T corresponde a

CTC a pH 7.

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 com a cultivar BR3-Tracueteua, no espaçamento de 0,5 m entre linhas e 0,25 m entre plantas (80.000 plantas ha⁻¹). A área total do experimento foi de 500 m², cada parcela foi constituída por quatro fileiras de 5,0 m de comprimento, tendo como área útil às duas fileiras centrais.

Efetuuou-se uma adubação básica 10 dias após a semeadura, que consistiu de 50 kg ha⁻¹ de N, com sulfato de amônio (20% de N) e 100 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio (60% de K₂O). Foi realizada ainda, a aplicação de 20 kg ha⁻¹ de FTE (Fritted Trace Elements) BR 12, por ocasião do plantio do caupi.

Por ocasião da floração (28/09/2006) foram coletadas quatro plantas representativas, na área útil em cada parcela, para a determinação da matéria seca da parte aérea (MSPA). O material foi lavado, cortado e seco em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até peso constante, para posterior pesagem.

Na colheita foi avaliado o estande final das plantas para determinação dos componentes de produtividade peso de grãos (PG) e matéria seca de vagem (MSV). A produtividade de grãos foi determinada com base na produção de cada parcela útil, com umidade corrigida para 13%.

As variáveis estudadas foram analisadas por modelos de regressão múltipla (superfícies de resposta) em função das doses de P₂O₅ aplicadas e do teor de P no solo (ALVAREZ, 1994; KHURI; CORNELL, 1996). Estudo de correlação foi realizado entre as doses de P aplicadas e o teor de P no solo, determinado após o cultivo do caupi. O efeito da calagem na matéria seca foi representado por blox plot e a saturação por bases comparada pelo teste de Tukey (p < 0,05) e o do P na matéria seca de vagem e de grãos por ScatterPlot.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise do solo após o cultivo do caupi demonstra uma melhoria nos atributos químicos do solo, quando comparado àqueles observados antes da aplicação dos tratamentos, mesmo depois da exportação de parte dos nutrientes pela colheita das plantas (Tabela 1). Na área que recebeu calagem para elevar a saturação por base a 50%, a saturação por Al atingiu valores que ficaram dentro do preconizado por Cravo e Souza (2010), que recomendam a calagem para a cultura do feijão caupi quando a porcentagem de saturação por Al for menor ou igual a 20%. Verificou-se que aplicação de calcário para elevar a saturação por base a 60% (V = 60) houve um maior aumento nos valores de pH, P, saturação por bases e, conseqüentemente diminuição da saturação por Al. Embora tenha havido aumento do pH, o valor ficou abaixo do recomendado para a maioria das leguminosas (pH ≥ 5,5). Por outro lado, o feijão caupi é uma cultura que possui boa tolerância a solos ácidos, sendo considerados aptos para a cultura solos que apresentem saturação por Al de até 20% (CRAVO; SOUZA, 2010).

As saturações por bases do solo ficaram abaixo dos valores pretendidos (50 e 60%) com a calagem, o que pode ser justificado pela absorção e perda de bases durante o cultivo e a não incorporação do calcário ao solo, além disso, o calcário apresentava PRNT baixo, o que retarda a reação no solo. A não incorporação do calcário ao solo provavelmente não corrigiu pH até 0,2 m de profundidade, conforme foi coletada as amostras para esta análise, devido o período de três meses ser considerado curto para efeito em profundidade. Em Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico, cultivado com milho que recebeu aplicação superficial de calcário, somente houve aumento do pH do solo até 0,1 m de profundidade, após três meses da aplicação (WEIRICH NETO et al., 2000).

Tabela 1. Atributos químicos do Latossolo após o cultivo do feijão-caupi.

V	pH	MO	P	K	Ca	Mg	Al	(H+Al)	T	V	m
%	H ₂ O	g kg ⁻¹	mg dm ³	-----mmol _c dm ³ -----						%	
50	4,5	13,84	37,23	0,3	15,4	13,6	11,9	54,9	8,42	34,80	28,90
60	4,9	13,70	41,20	0,4	21,0	16,0	8,0	49,0	8,44	41,90	18,40

V=Saturação por base; T= capacidade de troca de cátions a pH 7,0; m=saturação por alumínio.

As doses de P aplicadas proporcionaram um aumento linear crescente no teor disponível do nutriente no solo, com elevado índice de correlação nas duas saturações por bases (r=0,90 para V = 50 e r=0,93 para V = 60), sendo que na maior saturação (60%) ocorreu maior disponibilidade de P (Figura 1). Aumentos da disponibilidade de P, proporcionado pelo uso do calcário foi observado, também, por Ne-

ves (1991), que variou de 28,7 mg dm³ na ausência da calagem, para 33,5 mg dm³ com a aplicação de 1,6 t ha⁻¹ de calcário dolomítico. A correção do solo e a adubação fosfatada proporcionaram valores de P disponíveis muito elevados (CRAVO; SOUZA, 2010). Tal resultado pode ser justificado pela elevada disponibilidade de P no solo antes da aplicação dos tratamentos (Tabela 1).

Os dados para produção de matéria seca de vagens (MSV), grãos (MSG) e parte aérea (MSPA) do feijão caupi cultivado nas duas saturações por bases (V = 50 e V = 60) não apresentaram valores discrepantes para o intervalo de confiança de 95% (Figura 2). A produção média de vagens e de grãos

foi maior na V = 60, porém houve maior dispersão dos dados em torno da média na V = 60 para vagens, enquanto para grãos foi na V = 50. A produção de MSPA não foi influenciada pela saturação por bases, mas maior dispersão entre os dados ocorreu na V = 50 (Figura 2).

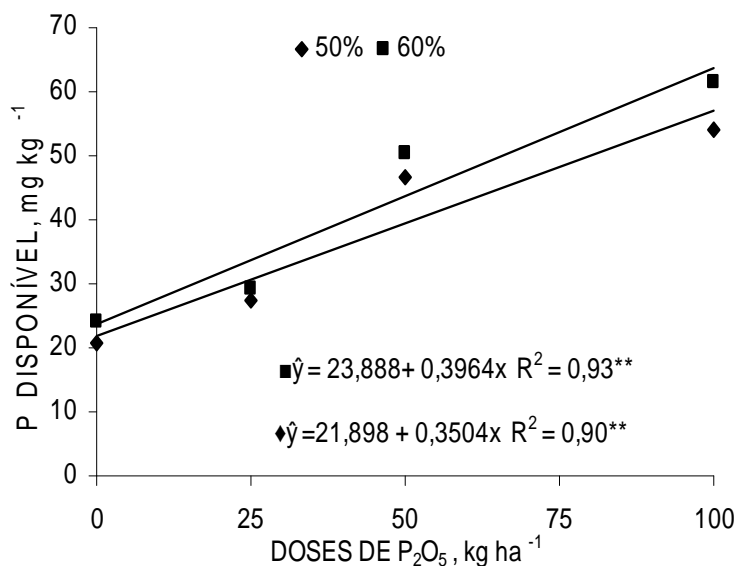


Figura 1. Teor de P disponível (Mehlich-1) no solo, em função de doses de P₂O₅. **significativo p < 0,001.

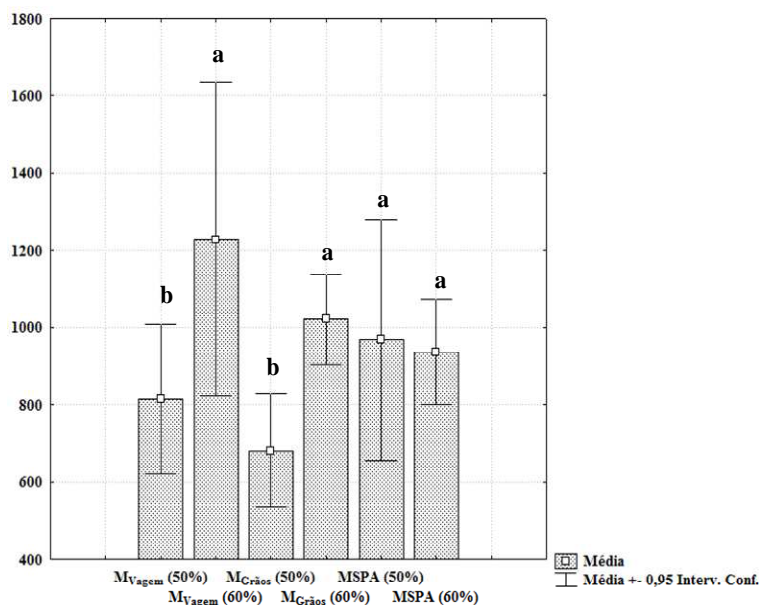


Figura 2. Box plot das variáveis massa seca de vagens (M_{Vagem}), grãos (M_{Grãos}) e parte aérea (MSPA) do feijão caupi cultivado em duas saturações por bases (50 e 60%). As letras comparam as saturações por bases pelo teste de Tukey (p < 0,05).

A adição e o aumento no teor de P no solo nos níveis de saturação por bases aumentou a produção de MSPA do caupi, para doses mais baixas e teores intermediários (Figura 3a, b). As doses estimadas de 45 e 48 kg ha⁻¹ de P₂O₅ foram as que proporcionaram maior produção (agronômica) de MSPA, atingindo 1.152 kg ha⁻¹ com V50 e 1.023 kg ha⁻¹ com V60, respectivamente. O P promoveu aumentos significativos na MSPA do feijão caupi cultivado em Latossolo Amarelo do Cerrado de Roraima, com doses que variaram de 70 a 210 kg ha⁻¹ (OLIVEIRA et al., 2011). O modelo de resposta diferente obtido por Oliveira et al. (2011) se deve a baixa disponibilidade de P no solo antes da adubação (3,8 mg dm⁻³), quando comparado ao teor inicial de P no solo (Tabela 1). Aumentos quadráticos na massa seca da parte aérea, utilizando níveis de saturação por base no feijão caupi, cultivado em Latossolo Amarelo foram observados por De Paula et al. (1999).

A partir da determinação da produção agrônômica de MSPA, MSV e de PG, cujas equações se ajustaram a uma função quadrática, foi estimada a dose para a obtenção de 90% da produtividade máxima (produção econômica). A produção econômica de MSPA foi de 1.036 kg ha⁻¹, para V50, com a dose de 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e de 920 kg ha⁻¹ para V60, com a dose de 44,1 kg ha⁻¹ P₂O₅.

O nível crítico de fósforo no solo foi obtido

substituindo as doses de fósforo estimadas para produção econômica, nas equações de regressão obtidas a partir das doses de fósforo aplicadas, em ambas as saturações estudadas e o fósforo disponível. O nível crítico (NC) de P no solo para a MSPA foi de 41,3 mg dm⁻³ correspondente ao tratamento V60, enquanto que para V50 foi de 35,9 mg dm⁻³ (Figura 3a, b).

Os teores de P disponível no solo de 15 mg dm⁻³ podem ser considerados altos para a cultura do feijão caupi, ao serem comparados aos valores sugeridos por Cravo e Souza (2010), de 15 mg dm⁻³. Por outro lado, decréscimo no rendimento de grãos de feijão em solo com teor de 24 mg dm⁻³, valor próximo ao obtido neste trabalho, foi constatado por Novais e Braga Filho (1971). Entretanto, os valores críticos elevados obtidos para produção de MSPA podem estar relacionados ao elevado teor inicial de P no solo, ajustados na curva. Tal fato superestima a quantidade de P disponível, possibilitando um nível crítico mais elevado. Além disso, solos com baixos teores de argila (96 g kg⁻¹) e matéria orgânica (Tabela 1) apresentam menor capacidade de adsorção, devido ocorrer menores sítios de adsorção favorecendo uma maior disponibilidade de P, após adubação fosfatada. Vários atributos do solo influenciam a adsorção de fósforo, entre eles destaca-se o teor de argila e a matéria orgânica (NOVAIS; SMYTH, 1999).

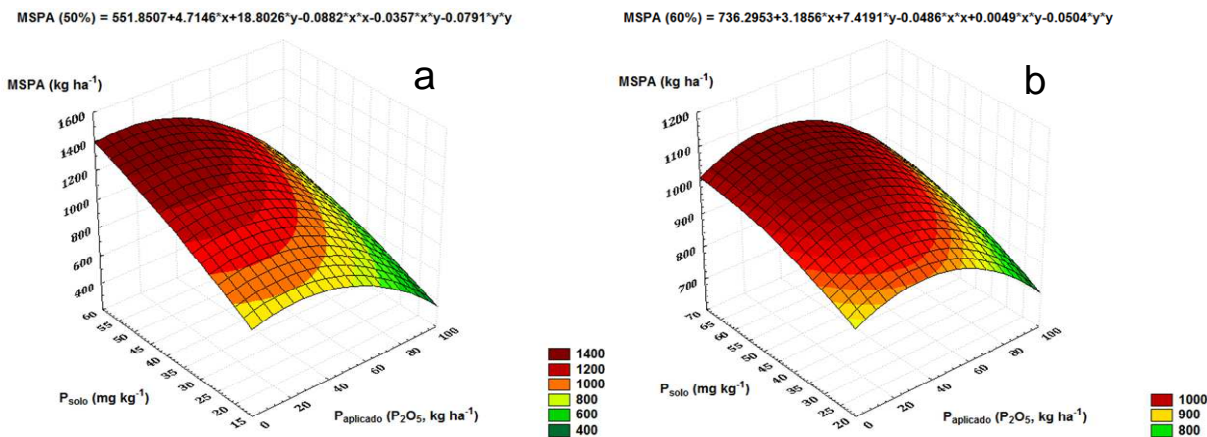


Figura 3. Matéria seca da parte aérea (MSPA) de feijão caupi, considerando as combinações de P_{aplicado} e P_{solo}, para saturação por bases de 50% (a) e 60% (b).

A não variação da produção de MSPA entre V50 e V60 pode estar relacionada à boa tolerância do caupi a solos ácidos (ARAÚJO; WATT, 1988). Muitas culturas tropicais estão bem adaptadas às condições de solos ácidos e, muitas vezes, não respondem positivamente à calagem ou tem baixa resposta (SANCHEZ, 1981), principalmente para saturações por base mais elevadas, como ocorreu neste trabalho. Por outro lado, aumentos da produção de matéria seca do feijão *Phaseolus* cultivado em solos com diferentes texturas e baixas saturações por bases foi observado por Souza et al. (2006). Por outro lado, a elevada disponibilidade de P no solo pode diminuir

a resposta das culturas à calagem (MENDES; KAMPATH, 1978), devido ao aumento da taxa de chegada de P às superfícies das raízes, diminuindo a amplitude das zonas de depleção, o que vai permitir uma melhor performance das plantas em solos ácidos (ERNANI et al., 2000). Por outro lado, é conhecido que os solos tropicais respondem a elevadas doses de fertilizantes fosfatados, com respectivos aumentos da produção vegetal (NOVAIS; SMYTH, 1999), fato não observado neste trabalho, devido à elevada concentração inicial de P no solo.

A elevada disponibilidade do P no solo, proporcionando maior produção de MSPA nas doses

iniciais de P, com diminuição na maior dose aplicada pode ser explicada pelo modo de aplicação do fósforo, que foi em sulco. A aplicação localizada deste nutriente coloca a disposição do sistema radicular das plantas maior quantidades de P, contribuindo para o aumento da produção de MSPA, mesmo quando utilizadas doses baixas do fertilizante (OLIVEIRA et al., 2001).

Resultados diferentes dos obtidos neste trabalho foram observados por Neves (1991) em que a maior produção de MSPA foi atingida com a dose de 100 kg de P₂O₅ ha⁻¹ e por Cravo e Smyth (1990) que também concluíram ser a dose de 100 kg de P₂O₅ ha⁻¹ a que proporcionou a melhor produção no feijão caupi, em Latossolo Amarelo.

O rendimento de MSV e de PG do feijão caupi foi maior na dose de P₂O₅ de 25 mg kg⁻¹, em ambas as saturações por bases, se ajustando a funções quadráticas (Figura 4a, b). As produções dessas variáveis atingidas com V60, independente das doses de P, superaram em mais de 30% àquelas obtidas com V50. Tal resultado pode ser explicado pela elevada quantidade de P disponível existente na área e do maior nível de Ca e Mg no solo (Tabela 1). Houve resposta do caupi a calagem, sugerindo que alguns elementos que poderiam estar limitando a produtividade da planta (não o P) tornaram-se disponíveis, com a aplicação do calcário aumentando a produção de grãos.

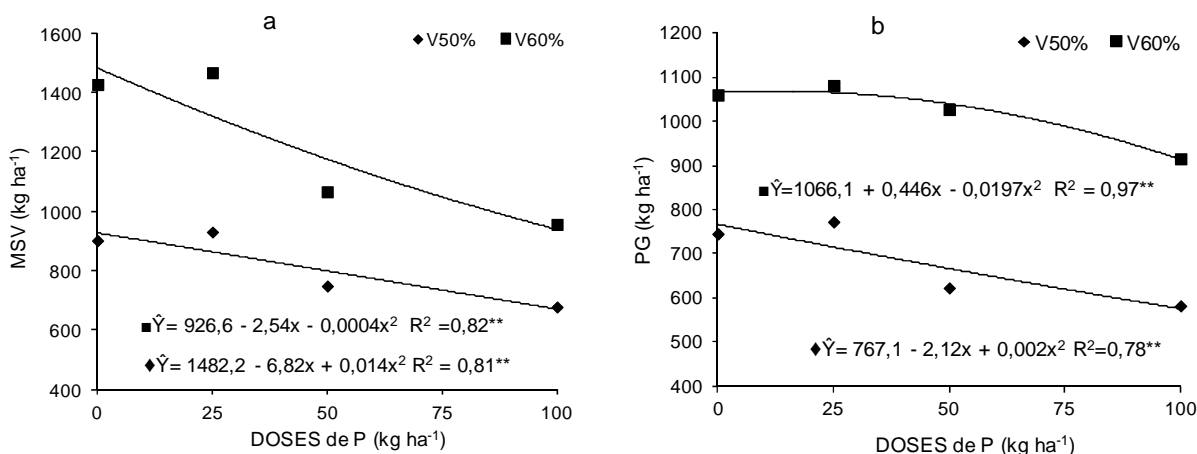


Figura 4. Matéria seca de vagem (MSV) e peso de grãos (PG) do feijão caupi, cultivar BR3 Tracuateua, em função das doses de fósforo e da saturação por bases. ** significativo p < 0,001.

Em cultivares de feijão comum, Vidal e Junqueira Netto (1992) constataram o aumento do número de vagens em função das doses de fósforo. Produtividade de 6,2 t ha⁻¹ de vagens, em cultivo de feijão caupi, com o uso da adubação fosfatada foi obtida por Oliveira et al. (2001). Por outro lado, plantas de feijoeiro deficientes em P, perdem o vigor, reduzem o número de vagens e de grãos, reduzindo a produção (OLIVEIRA; ARAÚJO; DUTRA, 1996). Assim sendo, a influência do P na cultura reside no aumento dos principais componentes determinantes da produtividade (FAGERIA et al., 2003), ou na diminuição, quando as doses provocarem excesso de P disponível no solo, como ocorreu neste trabalho (valores maiores que 46 mg kg⁻¹), independente da saturação por bases.

Aumento significativo da produção de grãos de feijão comum, em solos de cerrado, com aplicação de calcário acima de 3 t ha⁻¹ foram obtidos por Barbosa Filho e Silva (2000). Maiores produções de leguminosas em resposta ao P foram obtidas com elevada saturação por bases, que correspondeu ao uso de 4000 kg ha⁻¹ de calcário (CARVALHO et al., 1988), fato observado neste trabalho com a dose de 4100 kg ha⁻¹.

Para o efeito do fósforo, independente da saturação por base, foi observado que a produção de MSV e MSG de feijão caupi diminuiu com as doses maiores que 25 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 4a, b). Estudos comprovam a diminuição da produção com o aumento das doses de P, em solos que apresentam alto teor do nutriente disponível. Ausência de respostas da adubação fosfatada para o feijão comum em solos com 15 mg dm⁻³ de P foi observada por Barrios et al. (1970), ao passo que Novais e Braga Filho (1971) encontraram decréscimo na produção de feijão com o aumento da adubação fosfatada em um solo com 24 mg dm⁻³.

Diferente dos resultados encontrados neste trabalho, Cardoso et al. (2006) observaram aumento na produção de feijão caupi em Latossolo Amarelo do Estado do Piauí, com aplicação de doses de P (0; 45; 90 e 135 kg P₂O₅ ha⁻¹). Em estudos realizados por Neves (1991) e Cravo e Smith (1990) foram observadas respostas positivas e significativas para a produção de grãos de feijão caupi, sendo que a dose de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ foi a que proporcionou maior produção, porém nesses solos o teor disponível de P era baixo (3 mg dm³), diferentemente do teor de P no solo deste estudo (23,4 mg dm⁻³)

A produção de MSV, nas duas saturações por bases está agrupada em duas faixas de teores de P solo (Figura 5). Na V50, a produção mais alta concentrou-se na faixa de 18,9 a 29,9 mg kg⁻¹, enquanto que a menor produção ocorreu na faixa de 44,8 a 56,9 mg kg⁻¹, sendo que apenas um dado de produção está disperso da curva (outliers). A redução sugere que níveis de P no solo acima de 29,9 mg kg⁻¹ é depressivo a produção de vagem para uma saturação por bases calculada para 50%, mas que após o culti-

vo foi de 38,9%. Maior produção de MSV foi observada na V60% do que na V50%, concentrada na faixa de teor de P no solo de 21,9 a 34,2 mg kg⁻¹, enquanto que na faixa de 47,6 a 65,7 mg kg⁻¹ concentrou-se a menor produção (Figura 5b). A melhor relação entre a MSV e o teor disponível de P no solo, independente da saturação por bases, foi linear decrescente, cujas correlações (r) foram altamente significativas (Figura 5).

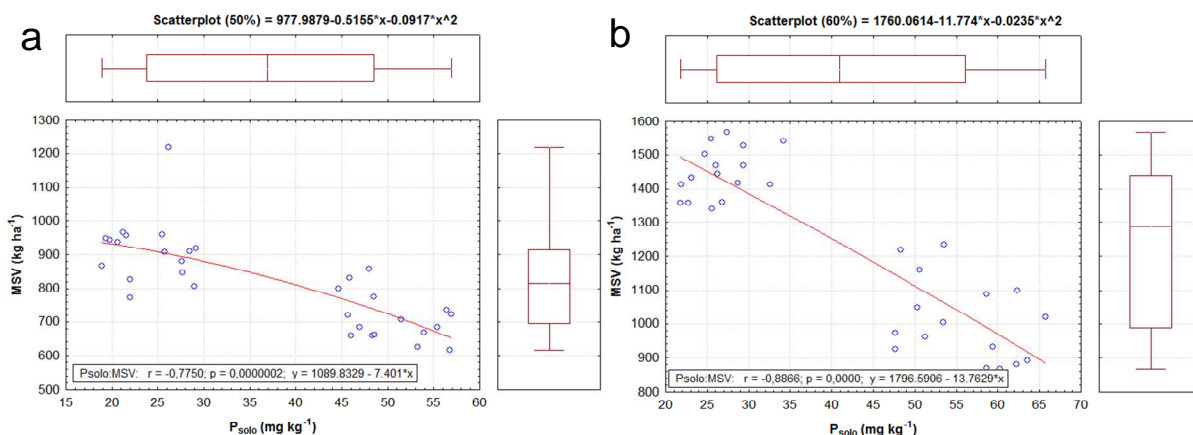


Figura 5. Matéria seca de vagem (MSV) do feijão caupi, em função do teor de fósforo no solo nas saturações por bases.

A MSG nas duas saturações por bases se concentrou em faixas distintas de teor de P disponível no solo, sendo que maiores produções foram em faixas mais baixas (Figura 6). As faixas de teor de P no solo de maiores e menores produções de MSG foram às mesmas para a MSV, sendo que na V50 dois dados estão dispersos da curva (Figura 6a), enquanto que na V60 a dispersão foi de três dados de produção (outliers). A maior relação entre os dados de produção e o teor disponível de P no solo, independente da saturação por bases, foi quadrática decrescente ($R^2 > 0,95^{**}$), embora a relação linear decrescente tenha sido também, altamente significativa.

maica (90% da produção máxima) foi de 961 kg ha⁻¹ para a dose 10,2 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Neste caso, a produção mais econômica, provavelmente não seria aquela que levaria ao maior retorno ao produtor, tendo em vista que o aumento em um kg de P proporcionaria 107 kg de grãos a mais. O NC de P para a produção de grãos nas saturações por bases de 60 e 50% foram de 27,8 e 26,7 mg dm⁻³.

A produção agrônômica de grãos na saturação por bases de 60% foi de 1.068 kg ha⁻¹, para uma dose de 11,3 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 6b), enquanto que a produção estimada para a máxima eficiência econô-

A média nacional para a produção de grãos do feijão caupi é de 760 kg ha⁻¹ (IBGE, 2005), no entanto essa média foi superada em ambas as saturações por bases, independente da dose de P utilizada. No pólo produtivo do Estado do Pará a produtividade média, em alguns cultivos, já chega a 1000 kg ha⁻¹ (CRAVO; SMYTH, 2005), também superada pela maior produtividade obtida neste trabalho.

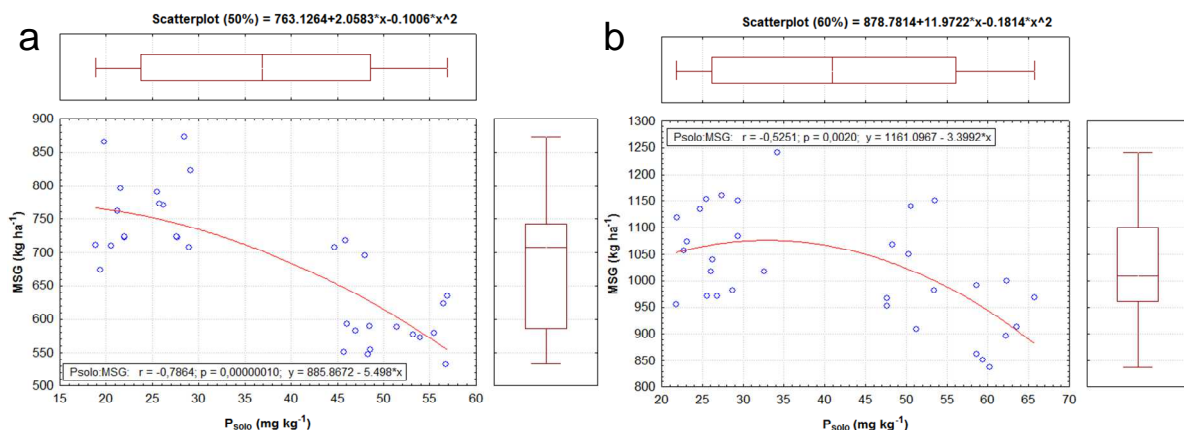


Figura 6. Massa seca de grãos (MSG) do feijão caupi, em função do teor de fósforo no solo e da saturação por bases.

CONCLUSÃO

A saturação por bases de 60% proporcionou maior produção de grãos e de vagem do feijão caupi, independente da dose de P aplicada, enquanto que a produção de matéria seca da parte aérea não variou com as saturações por bases.

A produção agrônômica de grãos de feijão caupi e a econômica, na saturação por bases de 60%, foram atingidas com teor de P no solo correspondente a 27,8 e 26,7 mg dm⁻³, respectivamente.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ pela bolsa de produtividade (307401/2008-1) e a Capes pela bolsa de demanda social ao segundo autor.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ, V.H. **Avaliação da fertilidade do solo: Superfícies de resposta, modelos aproximativos para expressar a relação fator-resposta.** Viçosa: UFV, 1994. 75p.

ARAÚJO, J. P. P.; WATT, E. E. (Org.). **O Caupi no Brasil.** Brasília: IITA/EMBRAPA, 1988. 722p.

BARBOSA FILHO, M. P.; SILVA, O. F. da. Aducação e calagem para o feijoeiro irrigado em solos de cerrado. **Pesq. Agropec. Bras.** v. 35, n.7, p. 1317-1324, 2000.

BARRIOS, A. et al. Resultados de ensayos de fertilización em caraota (*Phaseolus vulgaris* L.). **Agronomia Tropical**, Maracay, v.20, n.5, p.355-369, 1970.

BASTOS, T. X.; PACHECO, N. A. **Informativo Agrometeorológico 1998.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001. 57p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 54).

CARDOSO, M. J. et al. Aducação fosfatada e densidade de planta em feijão-caupi em solos do tabuleiro costeiro. **In: CONGRESSO NACIONAL DO FEIJÃO CAUPI e REUNIÃO NACIONAL DO FEIJÃO CAUPI**, 6., 2006, Teresina. **Anais...** Teresina, 2006.

CARDOSO, M. J.; MELO, F. de B.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de. Densidade de plantas de caupi em regime irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 4, p. 399-405, 1997.

CARVALHO, M.M. et al. Resposta de leguminosas forrageiras tropicais à calagem e ao fósforo, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do**

Solo, v.12, p.153-159, 1988.

CRAVO, M. S.; SOUZA, B. D. L. Feijão caupi. **In: CRAVO, M. S.; VIÉGAS, I. J. M.; BRASIL, E. C. (Eds.) Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Pará.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2007. p.147-149.

CRAVO, M. S.; SMYTH, T. J. Atributos físico-químicos e limitações dos solos de áreas produtores de feijão-caupi no nordeste do Estado do Pará. **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO**, 30, 2005 Recife. **Anais...Recife:** SBCS, 2005.CD-ROM.

CRAVO, M. S.; SMYTH, T. J. Sistema de cultivo com altos insumos na Amazônia Brasileira. **In: SMYTH, T. J.; RAUN, W. R.; BERTSCH, F. (Eds.) Manejo de suelos tropicales en Latinoamerica.** Talles Latinoamericano de Manejo de Suelos Tropicales 2. San José, 1990. North Carolina State University, p. 145-156, 1990.

DE PAULA, P. W. R. et al. Efeito da calagem na produção de matéria seca em feijão-caupi BR-2 no Estado do Pará. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 27, 1999, Brasília, **Anais...** Brasília, SBCS, 1999.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo.** Rio de Janeiro: Embrapa Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 212p. 1997.

EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1. Embrapa Meio-Norte. Sistemas de Produção, 2. Cultivo de Feijão-Caupi. (Versão Eletrônica. Jan/2003).

ERNANI, P.R. et al. Influência da combinação de fósforo e calcário no rendimento de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.3, p. 537-544, 2000.

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.

FONSECA, M. R. et al. Teor e acúmulo de nutrientes por plantas de feijão caupi em função do fósforo e da saturação por bases. **Revista de Ciências Agrárias (Belém)**, v.53, n.2, p.195-205, Jul/Dez 2010.

IBGE. **Sistema IBGE de recuperação Automática - SIDRA**, 2005. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: setembro de 2007.

- KHURI, A. I.; CORNELL, J. A. **Response surface: design and analyses**. 2 ed. New York: Marcel Dekker Inc., 1996.
- MENDEZ, J.; KAMPRATH, E. J. Liming of Latosols and the effect on phosphorus response. **Soil Sci. Soc. Am. J.** v. 42; 86-88, 1978.
- NEVES, E. J. M. **Calagem e adubação fosfatada na produção de matéria seca de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) WALP.), e nas características químicas de um Podzólico Vermelho-Amarelo do Estado do Amazonas**. 1991, 59p. Dissertação (Mestrado)-Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, 1991.
- NOVAIS, F. R.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa; UFV, 1999. 399p.
- NOVAIS, F. R.; BRAGA FILHO, L. J. Aplicação de "tufito" e NPK na adubação do feijão, em um solo de Patos de Minas. **Revista Ceres**, Viçosa, v.18, n.98, p. 308-314, 1971.
- OLIVEIRA, A. P. et al. Rendimento de feijão-caupi cultivado com esterco bovino e adubo mineral. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.19, n.1, p.81-84, 2001.
- OLIVEIRA, I. P.; ARAÚJO, R. S.; DUTRA, L. G. Nutrição mineral e fixação biológica do nitrogênio. In: ARAÚJO, R.S. (Eds.) **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Potafós, Piracicaba: 1996. 786p.
- SANCHES, P. A. **Suelos tropicales: características y manejo**. Costa Rica. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1981. 660p.
- SILVA, E. F. da. et al. Avaliação de cultivares de feijão-caupi irrigado para produção de grãos verdes em serra talhada – PE. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 26, n. 1, p. 21-26, jan.-mar., 2013.
- SILVA, R.T.L. da. et al. Inoculação e adubação mineral na cultura do feijão-caupi em Latossolos da Amazônia Oriental. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 4, p. 152-156, out.-dez., 2011.
- SOUZA, R. F. de. **Dinâmica de fósforo em solos sob influência da calagem e adubação orgânica, cultivados com feijoeiro**. 2005. 141 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.
- SOUZA, R. F. de. et al. Nutrição fosfatada e rendimento do feijoeiro sob influência da calagem e adubação orgânica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.30, n.4, p.656-664, 2006.
- SUDAM. **Projeto de hidrologia e climatologia da Amazônia**. Atlas Climatológico da Amazônia Brasileira. Belém, 1984. 155p.
- VIDAL, L. S.; JUNQUEIRA NETTO, A. Efeitos da densidade de plantas e de doses de fósforo sobre algumas características de duas cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência & Prática**, Lavras, v.6, n.2, p.195-207, 1982.
- WEIRICH NETO, P. H. et al. Correção da acidez do solo em função de modos de incorporação de cálcio. **Ciência Rural**, v.30, n.2, p.257-261, 2000.