

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DOSES DE FÓSFORO E ZINCO NA CULTURA
DO FEIJÃO-CAUPI**

Carlota Joaquina de Sousa Rosal
Engenheira Agrônoma

2013

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DOSES DE FÓSFORO E ZINCO NA CULTURA
DO FEIJÃO-CAUPI**

Carlota Joaquina de Sousa Rosal

Orientador: Prof. Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho

Coorientador: Dr. Milton José Cardoso

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título Doutor em Agronomia (Produção Vegetal)

2013

R778d Rosal, Carlota Joaquina de Sousa
Doses de fósforo e zinco na cultura do feijão-caupi / Carlota
Joaquina de Sousa Rosal. - - Jaboticabal, 2013
xiv, 48 p. : il. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013
Orientador: Edson Luiz Mendes Coutinho
Banca examinadora: Carolina Fernandes, José Eduardo Cora,
Takashi Muraoka, Adolfo Valente Marcelo
Bibliografia

1. *Vigna unguiculata* (L.) Walp. 2. Diagnose foliar. 3. Nível crítico
de nutrientes. 4. Biofortificação. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.82:635.654

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: DOSES DE FÓSFORO E ZINCO NA CULTURA DO FEIJÃO-CAUPI

AUTOR: CARLOTA JOAQUINA DE SOUSA ROSAL

ORIENTADOR: Prof. Dr. EDSON LUIZ MENDES COUTINHO

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. MILTON JOSÉ CARDOSO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. EDSON LUIZ MENDES COUTINHO

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Profa. Dra. CAROLINA FERNANDES

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. JOSÉ EDUARDO CÔRA

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. TAKASHI MURAOKA

Universidade de São Paulo / Piracicaba/SP

Prof. Dr. ADOLFO VALENTE MARCELO

Centro Universitário de Rio Preto / São José do Rio Preto/SP

Data da realização: 24 de outubro de 2013.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Carlota Joaquina de Sousa Rosal – nascida em 21 de outubro de 1971 em Bom Jesus-PI, filha de Osvaldo Ribeiro Rosal e Aparecida Alves de Sousa Rosal. Graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal do Piauí em agosto de 1996, ingressou em 1997 no curso de Mestrado em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas) na Universidade Federal de Lavras, MG, concluindo em 1999. No período de junho de 1999 a junho de 2001 desempenhou a função de Professora Substituta na Universidade Federal do Piauí. Em agosto de 2009 iniciou o Curso de Doutorado em Agronomia (Produção Vegetal), pela Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal, defesa de tese em 24 de outubro de 2013. Atualmente é professora da Rede Estadual de Ensino da Secretaria de Educação e Cultura do Estado do Piauí – SEDUC e Engenheira agrônoma da Secretaria de Agricultura do Município de Teresina - SDR.

Deem graças ao SENHOR,

Porque ele é bom

E o seu amor dura para sempre...

Salmos 136:1-14

À Deus

Aos meus queridos pais:

Oswaldo Ribeiro Rosal e Aparecida Alves de Sousa Rosal,

DEDICO

Ao meu amado Esposo Antonio dos Santos Soares;

Aos meus irmãos Euclides de Sousa Rosal, Raimundo Nonato de Sousa Rosal, Ernestina Milena de Sousa Rosal e Ana Carmem de Sousa Rosal;

Aos meus sobrinhos: Gustavo Oliveira Rosal, Letícia Cipriano Feitosa Rosal, Lívia Cipriano Feitosa Rosal, e ao meu filho de coração Leandro Arthur Rosal Lacerda;

Às minhas Tias, em especial a minha querida Tia Ana Vitória e a minha amada Tia Anete Ribeiro Soares (inmemória);

À minha querida avó Ernestina Rodrigues dos Santos (in memoriam), pessoa mais humilde e generosa que conheci;

À Família de Lina Ferreira dos Santos pelo incentivo e carinho a mim dedicado.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal FCAV/UNESP e aos professores do Curso de Pós-graduação do Curso de Doutorado em Agronomia – Produção Vegetal, pelo aperfeiçoamento profissional;

À Universidade Federal do Piauí/Centro de Ciências Agrárias pela oportunidade em participar do Doutorado Interinstitucional (DINTER).

Ao meu orientador Prof. Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho pelas orientações e ensinamentos, imprescindíveis para a realização desse trabalho.

Ao meu Coorientador Prof. Dr. Milton José Cardoso, pelos ensinamentos, compreensão e amizade.

Aos professores Prof. Dr. Luiz Evaldo de Moura Pádua, Prof. Dr. Jairo Osvaldo Cazetta e coordenadores do Doutorado Interinstitucional (DINTER), pelo apoio e compreensão nos momentos mais difíceis dessa caminhada.

Ao Professor Prof. Dr. José Carlos Barbosa e Dr. Valdenir Queiroz Ribeiro pela colaboração durante a realização das análises estatística.

Ao Dr. Francisco Rodrigues Freire Filho, Dr. Maurisrael de Moura Rocha e Dra. Regina Lúcia Gomes, a Sr.^a Anália Soares e Sr. Raimundo Soares (in memoriam) pela colaboração e amizade ao longo da minha vida acadêmica;

Ao Dr. Francisco de Melo Brito, pesquisador da EMBRAPA pela realização na classificação do solo.

Ao proprietário da Fazenda Recanto - Raimundo Reis pela concessão da área para a condução do experimento.

Ao amigo engenheiro agrônomo Dr. Edson Bastos pelas mensagens de otimismo e de confiança em Deus, o meu muito obrigado.

Aos amigos do DINTER-PI Cristiane, Conceição, Galvão, Reinaldo, Laurielson, Benvindo, Jaqueline e Gândara e aos amigos do DINTER do Maranhão: Jussara, e James, Fred e Cristiane, Izumy, Geane e Carlos Magno pelos momentos gratificantes que vivenciamos em Jaboticabal.

Aos amigos Agenor, Luziene, Adão Cabral e Duarte Franco e as estagiárias Jaqueline e Maria Fernanda pelo auxílio realização das análises química de folha.

Ao Sr. Valmir, Elilson e Manoel pelas contribuições durante a condução dos trabalhos em campo.

Ao bibliotecário da EMBRAPA - MEIO NORTE Francisco de Assis, pelo apoio durante realização do levantamento bibliográfico.

Aos colegas da pós-graduação em Solos, em especial ao Rogério, Paulo Sérgio, Marcelino, José Roberto e James pelo apoio durante a realização desse trabalho.

O meu especial obrigada às amigas Cristiane Lopes, Conceição Matias, Mara Moitinho, Gilmara, Cristiane Rêgo e Juçara, pelo incentivo e sugestões durante a realização deste trabalho.

A todos os que, indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, o meu muito obrigada.

SUMÁRIO

	Página
LISTAS DE FIGURAS	xi
LISTAS DE TABELAS	xii
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Feijão-caupi	3
2.2 Fósforo no solo e na planta.....	4
2.3 Adubação fosfatada e a cultura do feijão-caupi	6
2.4 Zinco no solo e na planta	9
2.5 Interação fósforo e zinco.....	11
3 MATERIAL E MÉTODOS	16
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5 CONCLUSÃO	37
6 REFERÊNCIAS	38

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Concentração de fósforo na folha em função das doses de fósforo aplicadas.....	22
Figura 2. Concentração de fósforo no grão em função das doses de fósforo aplicadas	22
Figura 3. Concentração de zinco no grão em função das doses de zinco aplicadas	23
Figura 4. Concentração de zinco na folha em função das doses de fósforo dentro das doses de Zn aplicadas	24
Figura 5. Concentração de zinco no grão em função das doses de fósforo aplicadas.....	26
Figura 6. Produção relativa de grãos de feijão-caupi (%), em função do teor de fósforo no solo	27
Figura 7. Produção relativa de grãos de feijão-caupi (%), em função da concentração de fósforo na folha	28
Figura 8. Isolinhas da produtividade de grãos de feijão-caupi (kg ha^{-1}) em função as doses de fósforo e zinco aplicadas	29
Figura 9. Massa de 100 grãos em função das doses de P em função das doses de zinco aplicadas	32
Figura 10. Comprimento de vagem de feijão-caupi em função das doses de fósforo aplicadas.....	33
Figura 11. Comprimento de vagem de feijão-caupi em função das doses de zinco aplicadas	33
Figura 12. Número de vagem por planta em função das doses de fósforo dentro das doses de zinco aplicadas	34
Figura 13. Número de grãos por vagem em função das doses de fósforo dentro das doses de zinco aplicadas	35

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1. Concentração de P na folha e no grão, concentração de Zn na folha e no grão e produtividade de grãos em função da aplicação de fósforo e zinco na cultura do feijão-caupi	20
Tabela 2. Médias da massa de 100 grãos (M100G), número de vagem por planta (NVP), comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV) e numero de vagem por planta (NVP), em função da aplicação de fósforo e zinco na cultura do feijão-caupi	31

DOSES DE FÓSFORO E ZINCO NA CULTURA DO FEIJÃO-CAUPI

RESUMO - O feijão-caupi é uma leguminosa importante socioeconomicamente para o Norte e Nordeste do Brasil, sendo fonte de proteína para a alimentação dessas populações. No entanto, a cultura apresenta baixa produtividade de grãos, o que se atribui a vários fatores, em especial, o manejo inadequado da adubação. Realizou-se este experimento em condições de campo, objetivando avaliar a influência da adubação com fósforo e zinco no estado nutricional da cultura e na produtividade de grãos do feijão-caupi, em um Plintossolo Háplico distrófico com baixos teores de fósforo ($3,0 \text{ mg dm}^{-3}$) e zinco ($0,1 \text{ mg dm}^{-3}$). O delineamento experimental consistiu em blocos casualizados, utilizando cinco doses de fósforo (0; 40; 80; 120 e 160 kg ha^{-1} de P_2O_5) e três doses de zinco (0; 1 e 3 kg ha^{-1} de Zn), usando como fonte o superfosfato triplo e o sulfato de zinco, respectivamente. As doses de P e Zn foram aplicadas a lanço na área total da parcela. Os resultados evidenciam que a adubação com fósforo e zinco aumentou a produtividade de grãos, sendo a máxima produtividade de grãos (1648 kg ha^{-1}) obtida com a combinação de 125 kg ha^{-1} P_2O_5 e $2,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de Zn. A adição de fósforo e zinco aumentou as concentrações desses nutrientes nos grãos. O nível crítico de fósforo no solo e na folha são $6,3 \text{ mg dm}^{-3}$ (Mehlich-1) e $2,01 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente.

Palavras chaves: *Vigna unguiculata* (L.) Walp, diagnose foliar, nível crítico de nutrientes, biofortificação.

RATES OF PHOSPHORUS AND ZINC IN COWPEA CROP

ABSTRACT - The cowpea is an important socioeconomically legume to the North and Northeast of Brazil, thus becoming an excellent source of protein for feeding of the population. Grain yield is influenced by several factors, in particular the inadequate fertilization. This field experiment was conducted with the objective for evaluating on a in out the effects field conditions, to evaluating the combined effects of phosphorus (P) and zinc (Zn), fertilization on the plant nutritional status and grain yield of cowpea in dystrophic haplic Plinthosol (3.0 mg dm^{-3} of P and $0,1 \text{ mg dm}^{-3}$). The experimental design consisted of randomized blocks, with five rates of P (0, 40, 80, 120, and $160 \text{ kg ha}^{-1} \text{P}_2\text{O}_5$), and three rates of Zn (0, 1, and $3 \text{ kg ha}^{-1} \text{Zn}$), using as sources the triple superphosphate and zinc sulphate, respectively . The fertilizers were broadcasted in the total area of the plot obtaining the The results show that fertilization with P e Zn increased grain yield, obtaining the maximum grain yield (1648 kg ha^{-1}) with the combination of $125 \text{ kg ha}^{-1} \text{P}_2\text{O}_5$ and $2.6 \text{ kg ha}^{-1} \text{Zn}$. The addition of P and Zn increased the concentrations of these nutrients in the grains. The critical level of phosphorus in soil and leaf are 6.3 mg dm^{-3} (Mehlich-1) and 2.01 g kg^{-1} , respectively.

Keywords: *Vigna unguiculata* (L.) Walp, foliar diagnosis, critical level of nutrients, biofortification.

1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) é uma espécie amplamente cultivada no Norte e Nordeste do Brasil, onde se registram baixas produtividades de grãos, especialmente no Piauí, onde a cultura apresenta produtividade média de 368 kg ha⁻¹ (IBGE, 2012). A cultura vem sendo incorporada à agricultura empresarial do Centro-Oeste com produtividade média de 960 kg ha⁻¹ (FREIRE FILHO et al., 2011). Essa diferença é justificada pelo nível tecnológico usado na agricultura nas distintas regiões, incremento pouco expressivo em relação ao potencial genético da cultura, que é de 6000 kg ha⁻¹ (FREIRE FILHO; LIMA; RIBEIRO, 2005).

A baixa produtividade de grãos do feijão-caupi é influenciada por vários fatores, em especial o manejo inadequado da adubação fosfatada. Considerando que os solos tropicais apresentam baixo teor de fósforo (P) e elevada adsorção desse nutriente, o que restringe a produtividade das culturas, o correto manejo da adubação fosfatada é fundamental em cultivos de feijão-caupi, em especial quando o objetivo é o incremento de produtividade de grãos (BLANCO et al., 2011).

Estudos relatam que a adição do P em doses elevadas para corrigir a deficiência deste macronutriente pode induzir a deficiência de zinco (Zn). Deste modo, a ação combinada desses nutrientes pressupõe-se relevante para o manejo da adubação de solos tropicais, onde é comum o uso de elevadas doses de fósforo em solos com baixo suprimento natural desse nutriente (CARNEIRO et al., 2008).

Diferentes respostas têm sido observadas para a interação entre o P e Zn em diversas culturas. No entanto Loneragan e Webb (1993) mencionam que a deficiência de Zn associada a elevadas concentrações de P raramente são observadas nas culturas, sendo este um artifício de procedimentos experimentais em casa de vegetação, e apresenta pouca importância para a produção das culturas. Esses autores mencionam ainda que em condições de elevada disponibilidade de P na solução, pode ocorrer aumento no acúmulo de P nas folhas velhas, em concentrações que causam toxicidade, sintoma erroneamente diagnosticado como deficiência de Zn (WEBB; LONERAGAN, 1988).

Nesse sentido não está elucidado se a elevada disponibilidade de P no solo reduz a absorção de Zn.

Considerando a escassez de estudos referentes ao efeito da adubação com P e Zn na cultura do feijão-caupi, o objetivo desse trabalho foi avaliar os efeitos da ação conjunta desses nutrientes na produtividade de grãos, nos teores de P e Zn no solo, nas concentrações de P e Zn na folha e nos componentes de produção (número de vagem por planta, massa de 100 grãos, número de grãos por vagem e comprimento de vagem) da cultura do feijão-caupi.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Feijão-caupi

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) é uma espécie originária da África, continente onde ocorre a maior produção e consumo dessa leguminosa (PADI; EHLERS, 2008). A cultura foi introduzida no Brasil possivelmente na Bahia, expandindo-se posteriormente para outras regiões do país (FREIRE FILHO, 1988).

Planta dicotiledônea, o feijão-caupi é pertencente à ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae, tribo Phaseoleae, subtribo Phaseolinae, gênero *Vigna*, e espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp (PADULOSI; NG, 1997).

Em relação à composição química, o feijão-caupi apresenta elevados teores de proteínas, fibras, minerais tais como ferro, zinco, potássio, magnésio e fósforo e baixo teor de lipídios (FROTA et al., 2008). Atualmente a cultura vem ampliando sua expressão em função do processo de biofortificação dos seus grãos, objetivando fornecer uma dieta rica em proteínas e minerais como ferro e zinco à população, objetivando combater a anemia e fortalecer o sistema imunológico dessa população (OLIVEIRA, 2011).

A cultura apresentou uma produção mundial oficial de cerca de 5 milhões de toneladas em 2011, sendo os maiores produtores Nigéria (1,8 milhões de toneladas), Níger (1,5 milhões de toneladas) e Burkina Faso (440 mil toneladas) (FAO, 2013). Estatística possivelmente subestimada, considerando que inúmeros países, tais como Índia e Brasil, não quantificam o percentual de feijão-caupi contido no total de feijão produzido em seus territórios pelos órgãos estatísticos oficiais (WANDER, 2013).

No Brasil, segundo dados da EMBRAPA (2012), a produção média de feijão-caupi foi de 800 mil toneladas de grãos em 2011. Cultura anteriormente associada exclusivamente à agricultura familiar, atualmente vem sendo explorada pelo agronegócio brasileiro no Centro-Oeste do país, em sistema de produção que utiliza elevado nível tecnológico, vislumbrando o mercado exportador. O Brasil exportou em 2012 cerca de 30 toneladas de sementes de feijão-caupi para a Bolívia e 5.644

toneladas de grãos, especialmente para países como Índia e Egito, perfazendo um valor médio de US\$ 714 / tonelada (WANDER, 2013).

A cultura apresenta ampla variabilidade genética, com potencial genético para produtividade de grãos superior a 6.000 kg ha⁻¹ (FREIRE FILHO; LIMA; RIBEIRO, 2005). O feijão-caupi apresenta cultivares com características agrônomicas altamente favoráveis à produtividade de grãos, dentre estas se destaca a cultivar BRS Guariba, com ciclo médio de 70 dias, porte semi-ereto, grãos de coloração branca, com teor médio de proteína de 22%, e massa média de 100 grãos de 19,5 g (RAMOS, 2011).

O ciclo fenológico de feijão-caupi se divide em: fase vegetativa (V): V₀ – Semeadura; V₁ – os cotilédones encontram-se emergidos na superfície do solo; V₂ – as folhas unifolioladas estão completamente abertas; V₃ ao V₅ (do surgimento da primeira folha trifoliolada até a terceira folha trifoliolada); V₆ ao V₉ – do surgimento dos primórdios do ramo secundário até o surgimento da terceira folha do ramo secundário; Fase reprodutiva (R): R₁ – surgimento dos primórdios do primeiro botão floral no ramo principal; R₂ – antese da primeira flor; R₃ – início da maturidade da primeira vagem, esse estágio é caracterizado pelo início da mudança de coloração das vagens devido ao início da secagem das mesmas; R₄ – Maturidade de 50% das vagens da planta; e R₅ – maturidade de 90% das vagens da planta (CAMPOS et al., 2000).

2.2 Fósforo no solo e na planta

Nutriente essencial para o metabolismo das plantas, o P desempenha importante função na transferência de energia da célula, na respiração e na fotossíntese, e compõe estruturalmente ácidos nucleicos, coenzimas, fosfoproteínas e fosfolipídios (ZUCARELI et al., 2006).

A importância desse nutriente no crescimento das plantas manifesta-se nos estádios iniciais de desenvolvimento do feijoeiro (PASTORINI et al., 2000). Dessa forma, as limitações na disponibilidade do mesmo no início do desenvolvimento vegetativo, pode restringir o desenvolvimento da cultura (SOUTO et al., 2009). No entanto, é necessário que seu fornecimento continue também nas fases posteriores,

pois a absorção máxima de P ocorre especialmente durante a pré-floração, e seu acúmulo nos grãos ocorre principalmente em função da redistribuição do P contido nas folhas e caules. À medida que a planta se desenvolve, o fósforo é removido das folhas e dos caules e direcionado para os grãos, portanto, é necessário garantir o suprimento contínuo de P até a fase de maturação, a fim de que não haja redução na produtividade de grãos (ZUCARELI, 2005).

O suprimento natural de P na maioria dos solos é insuficiente para o adequado desenvolvimento das plantas, sendo esta deficiência relacionada a problemas tais como: baixo teor desse nutriente no solo; reduzida solubilidade dos compostos de fósforo encontrados no solo, tornando-os pouco disponíveis para a absorção pelas culturas; além das mudanças do fósforo lábil para formas não lábeis, (ROLIM NETO et al., 2004). Como consequência grandes quantidades de fertilizantes são exigidas para elevar o teor de fósforo disponível em todo o volume do solo explorado pela cultura (VOSS; PARRA; CAMPOS, 1998).

O processo de fixação do fósforo será mais intenso nos solos tropicais quanto maior a acidez, o teor de argila e quanto maior a presença de óxidos de Fe e Al na fração argila, devido a capacidade tampão que confere aos solos (CAMARGO et al., 2010). Nesses solos em condições ácidas a moderadamente ácida, os óxidos de ferro e Al, apresentam-se com predominância de cargas positivas e, portanto, capazes de reter vários ânions, principalmente íons fosfatos (VALLADARES; PEREIRA; CUNHA DOS ANJOS, 2003).

Para Ernani et al. (2000), práticas de manejo da fertilidade do solo, como a adubação fosfatada associada ao uso da calagem, são primordiais, pois, elevam a produtividade de grãos, principalmente onde predominam solos extremamente ácidos e deficientes em P. A aplicação de calcário eleva os teores de Ca e Mg, neutraliza o Al trocável, e aumenta as cargas negativas nesses solos, consequentemente aumentando a disponibilidade de nutrientes, entre os quais o P (ALBUQUERQUE et al., 2003).

As quantidades de fertilizantes fosfatados adicionadas ao solo dependerão das necessidades e características das espécies, disponibilidade no solo (adsorção e poder de fixação), forma de reação e eficiência destes fertilizantes, além de fatores econômicos (SCHUMACHER; CECONI; SANTANA, 2004).

As fontes de P solúveis, quando adicionadas ao solo, elevam rapidamente a concentração desse nutriente na solução do solo, tendo sua eficiência diminuída ao longo do tempo devido ao processo de adsorção do P (KORNDÖRFER; LARA-CABEZAS; HOROWITZ, 1999). Essas fontes reagem com maior intensidade no solo, incrementando o P disponível, favorecendo a absorção pelas raízes, porém as reações de fixação do nutriente são também favorecidas, em especial com a adição de quantidades elevadas do fertilizante, em solos oxídicos, ácidos e intemperizados, o que diminui a sua eficiência ao longo do tempo (SILVA et al., 2009).

Para Novais e Smyth (1999) a resistência do solo em modificar a quantidade de fósforo disponível em solução ou a capacidade do solo em repor o fósforo absorvido da solução, denominada de capacidade tampão de fosfato ou fator capacidade de fósforo, depende da relação entre os fatores quantidades (P-lábil) e intensidade (P-solução), e está correlacionada positivamente com a capacidade de fixação de P do solo.

Em estudo efetuado por Carvalho et al. (1993), objetivando avaliar o efeito de diferentes doses de P (0; 25; 50; 100; 200 e 400 de mg kg^{-1}), em solos de diferentes texturas, observaram que as plantas cultivadas em solos com os teores mais baixos de argila apresentaram maiores concentrações de P na parte aérea. A distribuição do P na planta varia de acordo com as doses de P adicionadas e com o solo cultivado. Esses autores atribuíram esse resultado ao menor poder tampão do fosfato nesses solos.

Objetivando determinar a produtividade de grãos em resposta à adubação fosfatada, Silva, Resende e Cintra (2001) conduziram um experimento em Jaíba - MG em Neossolo Quartzarênico, adicionando quatro doses de P (0, 35, 70 e 140 $\text{kg ha}^{-1} \text{P}_2\text{O}_5$) no sulco de semeadura, na forma de superfosfato triplo. Observa-se que houve aumento linear do teor de P na folha com o aumento das doses de P_2O_5 . Os autores atribuíram o maior teor de P na folha da cultura, ao menor poder-tampão do fosfato desse solo, que favoreceu a maior disponibilidade de P no solo, e conseqüentemente maior absorção de P pela planta.

2.3 Adubação fosfatada e a cultura do feijão-caupi

O P é macronutriente extraído em menor quantidade pela cultura do feijão-caupi, porém este é o nutriente que mais limita a produtividade das culturas na maioria dos solos brasileiros (SAMPAIO; BRASIL, 2009). Estudos em Latossolo Vermelho Amarelo revelaram que a faixa crítica de fósforo no solo necessária para alcançar 80-90% da produção máxima de grão está entre 3,9 a 8,2 mg dm⁻³ (OLIVEIRA; DANTAS, 1988).

A absorção do P pela cultura do feijão-caupi foi estudada em Latossolo Amarelo de textura arenosa (pH_(H2O)5,3 e P = 125 mg kg⁻¹) por Sampaio e Brasil (2009) em Belém - Pará. Os resultados indicaram que o P foi o macronutriente menos absorvido durante todo o ciclo da cultura, pouco absorvido no início do ciclo vegetativo, tendo a absorção aumentada 25 dias após a semeadura (DAS). A maior demanda da cultura foi observada aos 47 DAS (0,49 kg ha⁻¹). Elevadas concentrações de P na folha (3,2 mg kg⁻¹) foram observadas do início do ciclo até o período da granação, ocorrendo redução na concentração de P na folha após a granação (1,8 mg kg⁻¹).

Em experimento conduzido por Parry, Kato e Carvalho (2008) em Latossolo Amarelo coeso típico (pH_(H2O) 5,2 e P = 3,0 mg dm⁻³) segundo método descrito em Embrapa (1997), em Igarapé - Açu - PA, foi avaliada a influência de doses de fósforo na nutrição da cultura do feijão-caupi (50 e 100 kg ha⁻¹ P₂O₅). Foi constatado que a adição de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ proporcionou aumento na concentração da maioria dos nutrientes em todas as partes da planta, tendo a concentração de P na matéria seca das plantas variado de 1,3 a 1,6 g kg⁻¹ e no grão de 2,6 a 3,5 g kg⁻¹.

Em estudo conduzido por Silva et al. (2010) em Latossolo Amarelo distrocoeso (pH_(H2O)6,3 e P = 7,09 mg dm⁻³) conforme método descrito em EMBRAPA (1999) em Roraima, tendo como cv. de feijão-caupi a "Pretinho precoce 1", foram avaliadas diferentes doses de P (0; 30; 60; 90 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅) sob diferentes modos de aplicações. A maior produtividade, 943,52 kg ha⁻¹, foi obtida com aplicação a lanço de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅, sendo as concentrações de fósforo na folha de 2,1; 2,2 e 3,1, nos modos de aplicação a lanço, em sulco simples e em sulco duplo, respectivamente.

O desempenho do feijão-caupi foi analisado sob diferentes doses de fósforo (0; 70; 140; 210 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e lâminas de água (273; 257; 241 e 187 mm) em

Boa Vista - Roraima, usando como fonte de fósforo o superfosfato triplo. O experimento foi conduzido em Latossolo Amarelo distrófico de textura média com $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ 4,21 e $\text{P} = 3,89 \text{ mg dm}^{-3}$. Os componentes de produção número de grãos e comprimento de vagem apresentaram efeito significativo para doses de fósforo, variáveis que apresentaram ajuste linear da regressão. A máxima eficiência agrônômica foi observada com a aplicação de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 , com produtividade de grãos de $1343,07 \text{ kg ha}^{-1}$ (OLIVEIRA et al., 2011).

A eficiência da adubação fosfatada foi avaliada na cultura do feijão-caupi em Latossolo Amarelo distrófico de textura média ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 4,1 e $\text{P} = 23,4 \text{ mg dm}^{-3}$), conforme método descrito em EMBRAPA (1997) em Belém- PA por Fonseca et al. (2010), utilizando diferentes doses de P (0; 25; 50 e 100 kg ha^{-1} de P_2O_5) em duas saturações por bases (50 % e 60 %). A avaliação revelou que a massa seca da parte aérea e dos grãos foram influenciadas pelas doses de P_2O_5 , e pela saturação por bases. Segundo os autores o baixo conteúdo de argila do solo, a correção do solo e a adubação fosfatada, favoreceram a disponibilidade do P no solo, permitindo uma maior absorção pela planta.

Linhares et al. (2008) avaliaram o comportamento de cultivares de feijão-caupi em casa de vegetação submetidos à omissão de nutrientes, utilizando Gleissolo de Várzea do Pará ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 4,42 e $\text{P} = 19,31 \text{ mg kg}^{-1}$), conforme metodologia descrita em EMBRAPA (1997). Esses autores constataram que as cultivares apresentaram respostas diferenciadas à omissão de P ao longo do ciclo da cultura, tendo a cultivar BR3-Tracuateua não se mostrado sensível a omissão de P, sendo esta possivelmente mais eficiente na aquisição de fósforo em relação às demais cultivares avaliadas, nessas condições de cultivo.

O efeito da adubação fosfatada em feijão-caupi foi avaliado por Benvindo (2012), utilizando diferentes doses de P (0; 50; 100; 150; 200 e 300 kg ha^{-1}) na forma de superfosfato triplo, em Neossolo Quartzarênico $\text{pH}_{(\text{CaCl}_2)}$ 5 e P (resina) = 15 mg dm^{-3}) em Bom Jesus-PI. O aumento dos teores de P no solo influenciou as concentrações foliares de P e Zn, incrementando com ajuste linear os teores desses nutrientes na folha, refletindo ainda no teor do nutriente na semente da leguminosa. A máxima produtividade de grãos da cultura foi de 1319 kg ha^{-1} , obtida na dose 168 kg ha^{-1} de P_2O_5 .

O manejo da adubação fosfatada no cultivo do feijão-caupi foi estudado em Fortaleza-CE em cultivo hidropônico, com a finalidade de caracterizar os sintomas de deficiências nutricionais em plântulas por Miranda et al. (2010). Foram utilizados os seguintes tratamentos: solução nutritiva completa (N; P; K; Ca, Mg, S e micronutrientes) e omissão individual desses nutrientes. Os resultados evidenciaram que as plantas com deficiência do fósforo apresentaram maiores reduções no desenvolvimento da parte aérea, evidenciando a necessidade do elemento para as atividades dos meristemas apicais.

Em experimento de longa duração efetuado em Latossolo Amarelo argiloso em Manaus (Smyth e Cravo, 1989) determinaram-se níveis críticos de P no solo e na folha de feijão-caupi, em cinco cultivos de feijão-caupi, em sistema de rotação com a cultura do milho, durante cinco anos consecutivos. Os níveis críticos de P no solo e na folha para o feijão-caupi observados foram 8 mg dm^{-3} (extrator Mehlich 1) e $1,6 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente.

2.4 Zinco no solo e na planta

No Brasil, a utilização de micronutrientes é efetuada de forma empírica, sendo estes nutrientes usados pelos produtores sem considerar as necessidades específicas das culturas ou a quantidade de micronutrientes disponíveis para atender a demanda das mesmas (SILVEIRA; DYNIA; ZIMMERMANN, 1996). Fator que promove desequilíbrio nutricional, tendo em vista a baixa disponibilidade de Zn no solo (COUTINHO; SILVA; SILVA, 2007).

O zinco é um micronutriente essencial para as plantas em razão da sua participação como cofator funcional, estrutural ou regulador de grande número de enzimas. Esse elemento é necessário para a síntese do triptofano, que é um precursor do ácido indolacético, uma auxina, hormônio que estimula o desenvolvimento das partes jovens das plantas, e também, está envolvido no metabolismo do nitrogênio (MARSCHNER, 1986). É importante para a síntese de proteínas nas plantas, sendo componente do ribossomo. Na deficiência de zinco, há uma redução dos aminoácidos acumulados nos tecidos vegetais e da síntese de proteínas (MOUSAVI; GALAVI; REZAEI, 2012).

Dentre os fatores que acentuam a deficiência de Zn nos solos, destacam-se a o uso de elevadas doses de P (MOUSAVI; GALAVI; REZAEI, 2012). Problema também observado quando utilizadas doses elevadas de calcário na correção da acidez. A esses fatores pode-se acrescentar ainda, a exigência de cultivares de elevado rendimento, fato que vem aumentando a importância dos micronutrientes na produção agrícola (FAGERIA; BALIGAR; CLARK, 2002).

O Zn é um micronutriente absorvido como cátion bivalente (Zn^{2+}), que apresenta baixa mobilidade no solo (MOUSAVI; GALAVI; REZAEI, 2012). Para Teixeira et al. (2008) a concentração de zinco encontrado nas plantas varia em função principalmente dos fatores do solo, das espécies e das cultivares.

Vários são os atributos do solo que podem influenciar na disponibilidade do Zn para as culturas, dentre estes se destacam: o teor de matéria orgânica do solo, a textura do solo, o conteúdo de óxidos, a mineralogia da fração argila, o pH e ainda a adição de fósforo em doses elevadas (SOUZA et al., 1998).

Para Martinez et al. (2005) mesmo que a deficiência de zinco ocorra nos estádios iniciais de desenvolvimento da planta, pode provocar substancial redução na produtividade da cultura.

Nesse sentido a importância dos micronutrientes na nutrição das plantas não pode ser negligenciada, pois o desempenho da planta depende do fornecimento adequado de todos os elementos, incluindo aqueles que são exigidos em quantidades relativamente pequenas (SALIMPOUR et al., 2010).

Em experimentos conduzidos em casa de vegetação utilizando um Latossolo Vermelho-Escuro, textura franco-argilosa, efetuado em Santo Antônio-GO, foram determinados os teores adequados de Zn no solo, com base em 90% da produção relativa, e o tóxico baseando-se em 10% de redução da produção relativa do feijoeiro, após atingir o nível máximo de produção. Foram avaliadas as doses de Zn (0, 5, 10, 20, 40, 80 e 120 mg kg⁻¹ de Zn). Os resultados evidenciaram que os teores de Zn no solo, adequados e tóxicos, para a cultura de feijão comum foram 1 mg kg⁻¹ de Zn e 57 mg kg⁻¹ de Zn. Também foram determinados os teores de Zn adequados e tóxicos no solo, em relação à produção relativa da parte aérea, utilizando-se os extratores Mehlich 1 e DTPA. Os teores adequados de Zn observados foram de 0,7

mg kg⁻¹ de solo (Mehlich 1) e 0,3 mg kg⁻¹ de solo (DTPA). Enquanto os teores tóxicos foram de 25 mg kg⁻¹, em ambos os extratores (FAGERIA, 2000).

Em estudo efetuado por Teixeira et al. (2005) objetivando avaliar a resposta do feijoeiro à aplicação de micronutrientes em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (pH_{H2O} 6,9 e Zn = 0,5 mg kg⁻¹ de solo) em Minas Gerais, foram utilizadas cinco doses de Zn (0, 50, 100, 200 e 400 g ha⁻¹), aplicadas em duas pulverizações foliares no feijoeiro. Os resultados revelaram que a adubação com zinco proporcionou incremento na concentração de Zn na semente de feijão.

O efeito de doses de Zn (13,6; 27,2; 68,0; 136,0 e 272 mg kg⁻¹) utilizando como fonte ZnCl₂, foi avaliado em casa de vegetação utilizando um Cambissolo com pH(CaCl₂) 5,5 por Marsola, Miyazawa e Pavan (2005). Foi constatado aumento na concentração de Zn na parte aérea e na raiz com o incremento das doses de Zn no solo, até a dose de 130 mg kg⁻¹ de Zn, não afetando, no entanto o crescimento do feijoeiro. Embora a concentração de Zn na parte aérea da planta na dose máxima de Zn tenham variado de 101 a 332 mg kg⁻¹, apresentando-se como o dobro do limite normal de Zn (100 mg kg⁻¹), as folhas apresentaram coloração normal e sem deformações.

A adubação foliar com zinco foi estudada em solo com pH_(H2O) 6,0 e Zn = 2,1 mg dm⁻³ e P = 2,0 mg dm⁻³ (Mehlich⁻¹) em Goiás, utilizando doses que variaram de 0 a 800 g ha⁻¹, na cultura do feijoeiro comum. As fontes de Zn utilizadas foram o sulfato de zinco e cloreto de zinco. Os resultados mostraram que em solo com teor de zinco próximo de 2,1 mg dm⁻³, a aplicação foliar de Zn promoveu acréscimo na concentração desse micronutriente nas folhas, porém não alterou a produtividade, resultado este atribuído ao teor adequado deste micronutriente no solo (2,1 mg dm⁻³), (TEIXEIRA et al., 2008).

2.5 Interação fósforo e zinco

Os solos brasileiros em sua maioria são deficientes em fósforo, e a adição de P para corrigir essa deficiência, associada à elevação do pH em função da calagem, práticas fundamentais para incremento de produtividade das culturas anuais, podem induzir a deficiência de Zn (FAGERIA, 1984; FAGERIA, 2000).

Nesse sentido, no manejo da adubação de solos tropicais é fundamental considerar a interação entre fósforo e zinco, pois é frequente a utilização de quantidades elevadas de fósforo, em função da baixa disponibilidade natural desse macronutriente no solo (CARNEIRO et al., 2008).

Vários estudos relatam as prováveis explicações para a redução de Zn em condições de elevada adição de P ao solo, destacando-se: diminuição da taxa de translocação do zinco da raiz para a parte aérea da planta; o simples "efeito de diluição" sobre a concentração de Zn na parte aérea devido ao crescimento da planta em resposta à adição de fósforo, principalmente quando o solo é pobre em fósforo e zinco; e a desordem metabólica no interior das células da planta, relacionada ao desequilíbrio entre fósforo e zinco, ou à excessiva concentração de fósforo, que interferiria na função metabólica do zinco em certos sítios celulares (OLSEN, 1972).

Em pesquisa realizada objetivando avaliar a relação da deficiência de Zn induzida pela adição de doses elevadas de P e a acumulação e toxicidade na planta de trigo (*Triticum aestivum*, L.), cultivadas em solução nutritiva completa composta de 136 mg dm⁻³ de monofosfato de potássio, com ou sem (0,40 mg dm⁻³) de ZnSO₄, foi observado que uma elevada disponibilidade de P na solução pode aumentar a acumulação de P nas folhas velhas, provocando necrose, em função da toxidez do elemento (WEBB; LONERAGAN, 1988).

A adubação com P e Zn foi avaliada em casa de vegetação, usando como teste cultivares de cevada que diferiam quanto à eficiência de absorção de P e Zn. O experimento foi realizado utilizando solo com pH 8,7(CaCl₂), sendo avaliado cinco doses de P (0; 0,1; 0,2; 0,4 e 0,6 g kg⁻¹), usando como fonte o monofosfato de cálcio e três doses de Zn (0, 10 e 20 mg kg⁻¹ de ZnSO₄ - 7H₂O). Os resultados demonstraram que o aumento do suprimento de P em solos com baixo teor de Zn disponível, reduz significativamente as concentrações de Zn na parte aérea, independente da cultivar, podendo causar efeitos indesejáveis sobre a qualidade nutricional da cevada. Os autores desse estudo atribuem esse resultado ao efeito diluição (LI et al., 2003).

Diferentes doses de P ($2,5 \times 10^{-5}$ a 6×10^{-4} M) e Zn (0 a 10^{-6} M) foram avaliadas na cultura do algodão, cultivada em solução nutritiva por Cakmak;

Marschner, 1987). O aumento das doses de P provocou sintomas visuais de deficiência de Zn, em condições de reduzida concentração desse micronutriente na solução. As concentrações de Zn-solúvel em água, das raízes e da parte aérea, constituíram 60% das concentrações totais de Zn nas plantas cultivadas quando utilizadas doses reduzidas de P, e 30% nas plantas cultivadas com elevadas doses de P. A concentração de Zn-solúvel em água nas folhas, mostrou-se altamente relacionado com sintomas visuais de deficiência de Zn.

O efeito da adubação com diferentes doses de P (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e zinco (0, 5, 10, 15 e 20 kg ha⁻¹ de Zn), isolado e em conjunto, foi analisado na cultura do milho em Latossolo Vermelho-Escuro de textura média (P(resina) = 5mg dm⁻³ e Zn (DTPA) = 0,39 mg dm⁻³) por Souza et al. (1998). A adição de P e Zn aumentou significativamente a produção da cultura, tendo o P respondido isoladamente por uma produtividade de grãos de 6.000 kg ha⁻¹, porém o efeito deste nutriente foi mais acentuado na presença da adubação com zinco, pois produtividades superiores a 6000 kg ha⁻¹ somente foram obtidos com a adição desse nutriente. Não sendo constatado efeito significativo da adubação fosfatada em relação ao teor de zinco foliar.

A Interação entre P e Zinco foi avaliada em duas cultivares de trigo que diferiam na eficiência de absorção de P, em casa de vegetação por Zhu, Smith e Smith (2001), utilizando duas fontes de P (monofosfato de cálcio e um fosfato de rocha (17% de P)), nas doses 0,5 e 1 g kg⁻¹, respectivamente, e duas doses de Zn (0,22 e 2,20 mg kg⁻¹), tendo como fonte o ZnSO₄. Os resultados confirmaram que as cultivares diferiam quanto a absorção de P em condições de baixa disponibilidade de P. O fósforo causou redução significativa na absorção de Zn e na concentração de Zn no tecido foliar das cultivares. Esses autores atribuíram a redução da concentração de Zn no tecido da planta, não somente ao efeito diluição, mas também à elevada eficiência na absorção de fósforo.

A deficiência de Zn induzida por P no feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.) foi estudada por Singh, Karamanos e Stewart (1988) em casa de vegetação utilizando três solos distintos, diferentes doses de P (0; 40 ; 80 e 160 mg kg⁻¹) e duas doses de Zn (0 e 5 mg Kg⁻¹). Foi observado efeito significativo para a aplicação de Zn em combinação com fósforo. A concentração de Zn na parte aérea da planta foi

significativamente reduzida pela aplicação de P, sendo este resultado atribuído ao efeito da diluição de Zn nas plantas, e à redução na translocação de Zn da raiz para a parte aérea.

Em experimentos efetuados em casa de vegetação utilizando solo arenoso, objetivando avaliar a resposta do feijão anão (*Phaseolus vulgaris* L.) sob diferentes doses de Zn (0, 10 e 40 mg dm⁻³) e duas doses de P (0 e 200 mg dm⁻³), foi observado redução nas concentrações de Zn nas folhas e no caule em função da aplicação de fósforo nesses experimentos. Para os autores este efeito não pode ser atribuído a uma redução de absorção de Zn pelas raízes, pelos valores constantes do conteúdo de Zn na planta, mas principalmente pela diluição de Zn na planta, como resultado do crescimento acelerado da parte aérea. Foi constatado que a fração de Zn translocado para folhas e caules não foi modificada pela adição de P (GIANQUINTO et al., 2000).

A influência do P e Zn sobre o crescimento e o estado nutricional da *Cordia goeldiana* Huber, foi avaliada em casa de vegetação com Latossolo Vermelho escuro (P = 1 mg dm⁻³ (Mehlich 1) e Zn = 0,9 mg dm⁻³) em Lavras-MG, utilizando quatro doses de P (0, 150, 300 e 450 mg dm⁻³) e três de Zn (0, 5 e 10 mg dm⁻³). A adubação com fósforo proporcionou aumento na concentração desse nutriente nas folhas, caules e raízes das mudas. A concentração de Zn nas folhas reduziu em função das doses de P, enquanto no caule não houve efeito significativo. As doses de Zn aumentaram a concentração do mesmo nas folhas e raízes. A produção de massa seca da parte aérea e total aumentou linearmente com as doses de P, independentemente da presença do Zn. As maiores produtividades foram obtidas na ausência da adubação com Zn, indicando que o teor desse nutriente no solo (0,9 mg dm⁻³) era adequado para o desenvolvimento da cultura (FERNANDES et al. 2007).

Efeitos da adubação com P e Zn foram estudados em milho em dois cultivos sucessivos em Itumirim – MG em um Argissolo Vermelho típico, de textura argilosa (pH_{H2O} 5,2; P = 2,0 mg dm⁻³ (Mehlich-1) e Zn = 0,5 mg L⁻¹ (DTPA)). Foram avaliados três doses de P (180, 360 e 540 kg ha⁻¹ de P₂O₅) utilizando duas fontes de P (Superfosfato triplo - ST e fosfato natural reativo de Arad - FR), aplicados a lanço e em sulco. As concentrações foliares de Zn foram reduzidas com o uso do ST no sulco, alcançando valores considerados deficientes, em especial no primeiro cultivo,

sem, contudo afetar a produtividade de grãos. As concentrações de P, Zn e a relação P-Zn nos grãos mostraram-se dentro da faixa considerada adequada para a cultura, revelando que uma elevada disponibilidade de P no solo, pode induzir deficiência de Zn, que pode ser corrigida pela adição desse micronutriente. (CARNEIRO et al., 2008).

Em experimento efetuado em casa de vegetação visando estudar a interação entre P e Zn na espécie *Stevia rebaudiana*, usando como fonte de P, o superfosfato simples, e de Zn o sulfato de zinco, foi observado que os teores de P e Zn no solo aumentaram com a elevação das doses desses nutrientes aplicadas isoladamente, porém as concentrações nas plantas diminuíram em função das aplicações combinadas desses nutrientes, sugerindo um efeito antagônico mútuo entre P e o Zn. Segundo os autores a redução do Zn na planta em função da aplicação de fósforo, pode ser explicada em função da restrição da translocação de zinco da raiz para outras partes da planta, resultando na interferência de P nos processos metabólicos da planta, sugerindo que o excesso de P interfere na absorção de Zn (MOUSAVI; GALAVI; REZAEI, 2012).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de setembro a novembro de 2010, no município de José de Freitas- PI (coordenadas 04° 43' 22' de latitude Sul e 42° 33' 44" de longitude oeste) com altitude de 138 m. O clima, segundo a classificação de Köppen é tropical megatérmico, muito quente e subúmido do tipo seco, sendo as médias anuais de temperatura variando entre 22 °C a 37 °C e a precipitação pluviométrica média do município de 1.484,7 mm.

O solo da área experimental é um Plintossolo Háptico distrófico, textura arenosa, conforme critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solo descrito em EMBRAPA (2006), situado em relevo suave ondulado. O solo apresenta na profundidade de 0 - 20 cm os seguintes atributos químicos: pH (CaCl₂) 4,1; P = 3,0 mg dm⁻³ (resina); M.O = 7,0 g kg; H + Al = 28,0 mmol_c dm⁻³ de; K = 0,7 mmol_c dm⁻³; Ca = 6,0 mmol_c dm⁻³; Mg = 2,0 mmol_c dm⁻³; capacidade de troca (CTC) = 36,7 mmol_c dm⁻³; saturação de bases (V%) = 24,0 %; B = 0,14 mg dm⁻³ (extrator água quente); Cu = 0,1 mg dm⁻³; Mn = 0,7 mg dm⁻³ e Zn = 0,1 mg dm⁻³ (extrator DTPA), segundo método descrito por Raij et al. (2001). Este solo também apresenta 38 g kg⁻¹ de argila, 943 g kg⁻¹ de areia total e 19 g kg⁻¹ de silte, sendo a areia composta por 367 g kg⁻¹ de areia grossa e 576 g kg⁻¹ de areia fina, camada 0-20 cm.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições, consistindo-se em um fatorial 5 x 3, combinando cinco doses de P (0, 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e três doses de Zn (0, 1 e 3 kg ha⁻¹ de Zn), na forma de superfosfato triplo e sulfato de zinco, respectivamente. As unidades experimentais foram constituídas de seis fileiras de 6 m de comprimento, espaçadas de 0,5 m, perfazendo uma área total de 18 m², sendo a área útil constituída de quatro fileiras centrais com 5,0 m de comprimento, totalizando 10 m².

Anteriormente à instalação do experimento, foi efetuada a calagem da área experimental, visando elevar a saturação por bases para cerca de 60 % (PRNT = 90%), utilizando-se calcário calcinado, com 32% de CaO e 14% MgO, sendo a incorporação efetuada com uma aração e uma gradagem trinta dias antes da semeadura, neste período a área foi irrigada objetivando proporcionar a reação do calcário.

A irrigação da área experimental foi efetuada com a utilização de um sistema de irrigação fixo por microaspersão, sendo os microaspersores distribuídos no campo de forma quadrada espaçados 8 m x 8 m, com vazão de $0,2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e precipitação $3,12 \text{ mm h}^{-1}$. As laminas de água aplicadas foram determinadas considerando-se a evaporação do tanque Classe A e o coeficiente do tanque (K_p).

A adubação com P e Zn foi adicionada a lanço na área total da parcela, sendo o sulfato de zinco aplicado na forma de solução, utilizando-se pulverizador costal com bico em leque. Ambos foram adicionados na época da semeadura e posteriormente, incorporados manualmente a aproximadamente 10 cm de profundidade.

As unidades experimentais receberam, por ocasião da semeadura, adubação potássica no sulco de plantio, 60 kg ha^{-1} de K_2O (60% de K), na forma de cloreto de potássio. Adicionou-se em cobertura no estágio fenológico V5 (sexto nó do ramo principal com folíolos completamente abertos), 50 kg ha^{-1} de N, utilizando como fonte o sulfato de amônio (21% de N). As parcelas também receberam adubação foliar com 1 g dm^{-3} de bórax e $0,2 \text{ g dm}^{-3}$ de molibdato de amônio, no estágio fenológico V4 (quinto nó do ramo principal com folíolos completamente abertos) e na antese da primeira flor, geralmente oriunda do primeiro botão floral, correspondendo ao estado fenológico R2.

Na primeira quinzena de setembro de 2010, foi efetuada manualmente a semeadura do feijão-caupi (cultivar BRS Guariba), em espaçamento de 0,25 m entre covas e 0,50 m entre fileiras, colocando-se doze (12) sementes por metro. O desbaste foi efetuado no estágio fenológico V3 (quarto nó do ramo principal com folíolos completamente abertos), deixando-se oito plantas por metro, com um estande final de 160.000 plantas por hectare.

A área experimental foi irrigada utilizando um sistema de irrigação fixo por microaspersão, instalado por ocasião da aplicação do calcário. O manejo da irrigação foi realizado com base na evapotranspiração da cultura (ET_c), estimada por meio do coeficiente de cultura (K_c) proposto por Andrade Júnior (2000), da evaporação diária do tanque Classe A (ECA) e do coeficiente do tanque Classe A, instalado ao lado do experimento.

Durante o período do cultivo foi efetuado controle de pragas, efetuando-se duas pulverizações com intervalo de quinze dias entre elas. Para tanto, o inseticida sistêmico aplicado foi o Thiamethoxam na dose de 100 g ha^{-1} para o controle da cigarrinha verde (*Empoasca kraimeri* [Ross & Moore]) e da vaquinha verde-amarela (*Diabrotica speciosa* [German]).

Para a determinação dos teores de P e Zn nas amostras do solo foram coletadas 12 subamostras na área útil da parcela, na profundidade de 0-20 cm, que formaram a amostra composta. Essas amostras foram coletadas quando as plantas apresentavam 50% do florescimento. O teor de P disponível foi determinado pelo extrator de Mehlich-1, segundo método descrito em EMBRAPA (2006), sendo o Zn extraído pelo extrator DTPA, conforme Lindsay & Norvell (1978).

Para a avaliação da concentração de P e Zn na folha, foi coletada a terceira folha trifoliolada a partir do ápice da planta (em vinte plantas por unidade experimental) e determinadas as concentrações de P e Zn, quando a cultura apresentava aproximadamente 50% do florescimento. A folha diagnóstica foi selecionada considerando-se que a mesma é uma folha recém-madura que reflete adequadamente o estado nutricional da cultura. As folhas amostradas foram lavadas, secas em estufa a 65° C , moídas e encaminhadas para análise seguindo metodologia de Bataglia et al. (1983).

A colheita foi realizada manualmente, no estágio fenológico R5 (90% das vagens secas), ocasião em que foi avaliada a produtividade de grãos, obtida da massa de grãos por parcela e transformada para kg ha^{-1} , corrigida para 13% de umidade. Após a colheita, foram avaliadas as concentrações de P e Zn no grão, seguindo a mesma metodologia utilizada para análise foliar, e os componentes de produção (comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagens (NGV), número de vagens por planta (NVP), massa de 100 grãos (M100G)).

Também foi determinado o nível crítico de fósforo na planta por meio da relação entre a produção relativa de grãos e a concentração de P na folha, e o nível crítico de fósforo no solo por meio da relação entre a produção relativa de grãos e o teor de P no solo. Em ambos os casos, o valor do nível crítico foi associado à produção relativa de 90%.

Foram efetuadas as análises de variância por meio do teste F a 5% de probabilidade e os estudos de regressão polinomial empregando-se o software AgroEstat (BARBOSA; MALDONADO, 2011). Para a determinação do nível crítico foi utilizado o programa ORIGIN (v.6.0).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito significativo para as doses de P para todas as variáveis. Constata-se também que o tratamento controle, sem P, apresentou menores concentrações de fósforo no grão e na folha, e menor produtividade de grãos, Tabela 1.

No caso das doses de Zn, constata-se efeito significativo das doses para todos os parâmetros, exceto para a concentração de fósforo nos grãos. Em relação à interação P e Zn, observou-se efeito significativo apenas para a variável concentração de Zn na folha, Tabela 1.

Tabela 1 Concentração de fósforo e zinco na folha e no grão, e produtividade de grãos em função da aplicação de fósforo e zinco na cultura do feijão-caupi.

Doses de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	Fósforo		Zinco		PROD
	Grão	FD ¹	Grão	FD	Grãos
	g kg ⁻¹		mg kg ⁻¹		kg ha ⁻¹
0	2,30	0,88	43,76	29,95	491,40
40	3,24	1,78	35,04	29,22	1215,56
80	3,74	2,36	31,76	28,50	1467,30
120	3,91	2,73	30,71	26,90	1454,34
160	4,14	2,71	29,97	24,40	1580,35
Teste F	33,04**	263,08**	28,32**	8,89**	321,27**
Zinco					
0	3,48	2,19	28,52	21,0	1172,13
1	3,46	2,04	35,90	23,0	1251,34
3	3,45	2,04	38,33	26,9	1301,90
Teste F	0,04 ^{ns}	5,65**	38,37**	38,57**	11,83**
Inter.(P x Zn)	0,52 ^{ns}	2,10 ^{ns}	1,22 ^{ns}	2,74*	0,88 ^{ns}
C.V. (%)	12,77	7,95	10,76	9,15	6,85

^{ns}, não significativo; ** significativo (p<0,01), * significativo (p<0,05) pelo teste F.

¹FD - folha diagnóstica

A adubação fosfatada incrementou as concentrações de P na folha e no grão, sendo a máxima concentração de P estimada na folha, de $2,80 \text{ g kg}^{-1}$, e no grão, de $4,03 \text{ g kg}^{-1}$, obtidos nas doses 145 kg ha^{-1} e 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 , respectivamente (Figuras 1 e 2).

Concentrações inferiores de P na folha para essa cultura, foram observadas por Silva et al. (2010) que obtiveram a concentração máxima de P de $2,1 \text{ g kg}^{-1}$ em aplicação a lanço, utilizando doses que variaram de 0 a 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 . No grão Parry, Kato e Carvalho (2008) observaram concentração máxima de P ($3,50 \text{ g kg}^{-1}$) usando doses que variaram de 0 a 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 , ambos trabalharam em solos de textura média.

As maiores concentrações observadas no presente estudo, se justificam em função das maiores doses de P utilizadas, e do cultivo em solo com menores teores de argila, que em decorrência do menor fator capacidade do solo, apresentam teores mais elevados de P no solo, contribuindo para as maiores concentrações de P na folha e no grão.

A concentração de P no grão máxima estimada nesse estudo obtida em função da adubação fosfatada, apresentou-se 75,20 % maior que a concentração de P observada no tratamento controle, sem P (Figura 2). Esse incremento de fósforo via adubação, é fundamental para a biofortificação dos grãos da cultura, pois possibilita o fornecimento de uma dieta mais rica em fósforo para a alimentação da população, e destaca a importância da adubação como ferramenta de biofortificação.

O aumento de P no grão em resposta à adubação fosfatada era previsto, tendo em vista o baixo teor inicial de P no solo cultivado (3 mg dm^{-3}), pois segundo Raji, Cantarella e Quaggio (1997), teores de P no solo inferiores a 6 mg dm^{-3} (extrator resina), são considerados baixos, apresentando portanto esse solo, alta probabilidade de resposta à aplicação desse macronutriente.

Vários estudos têm sido efetuados visando associar a adubação fosfatada à qualidade fisiológica da semente de várias espécies, aspecto importante, considerando que o incremento de fósforo no grão poderá influenciar na formação do embrião e dos órgãos de reserva da planta, portanto favorecendo o estabelecimento inicial das plântulas no campo (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000).

Para Araújo, Teixeira e Lima (2002) semente de feijoeiro com maior concentração de P poderá resultar em plantas com maior crescimento da parte aérea.

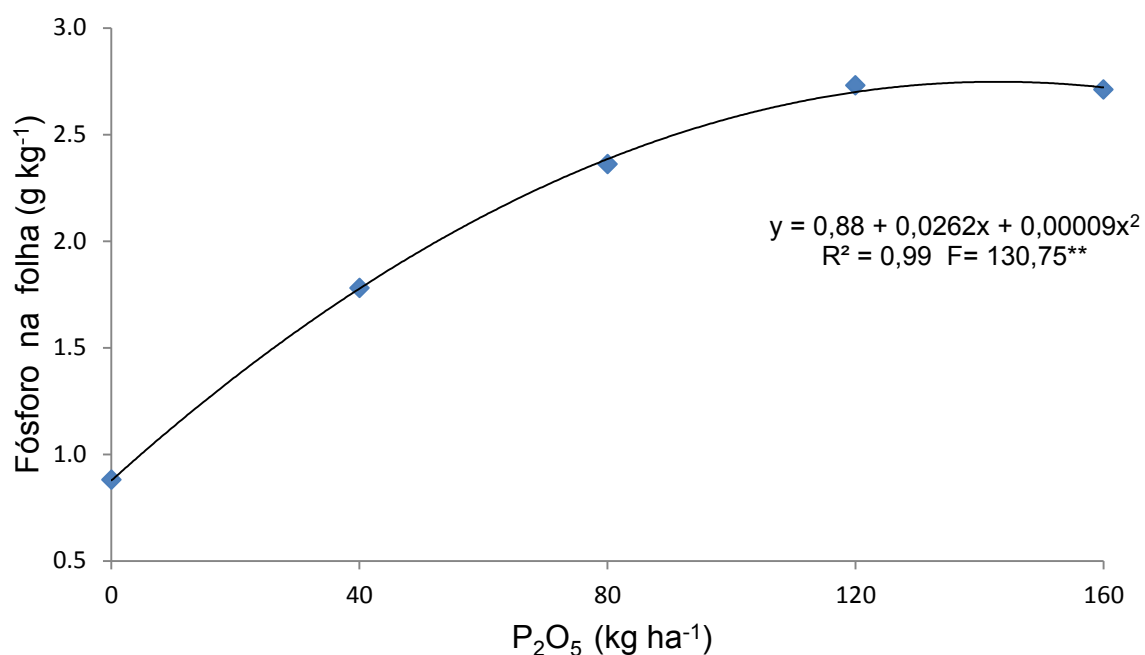


Figura 1. Concentração de fósforo na folha em função das doses de fósforo aplicadas.** significativo pelo teste F a 1% de probabilidade.

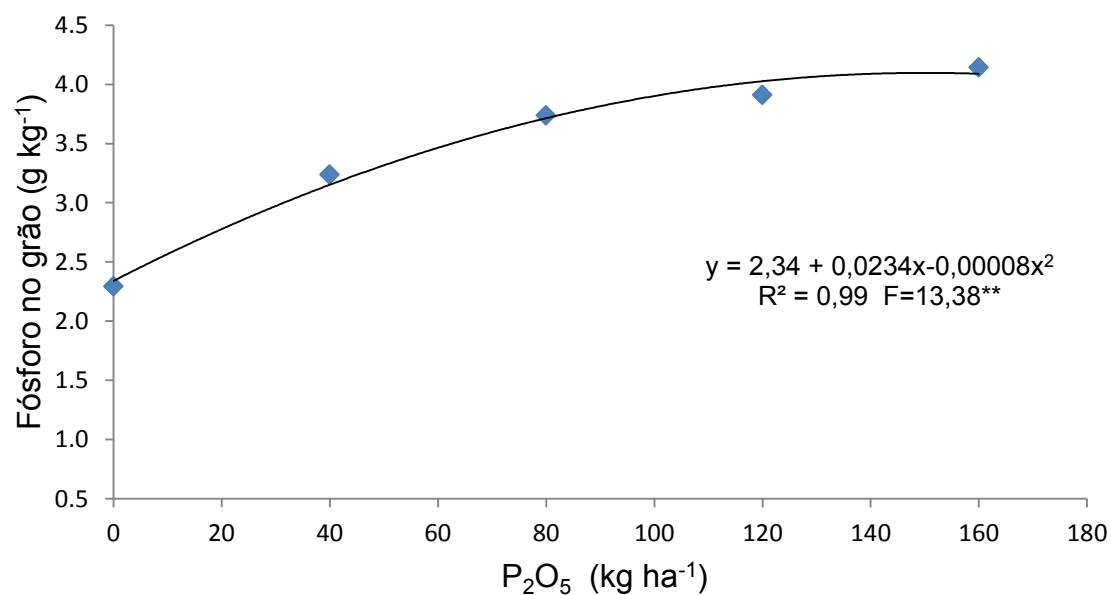


Figura 2. Concentração de fósforo no grão em função das doses de fósforo aplicadas.** significativo pelo teste F a 1% de probabilidade.

Em se tratando da concentração de Zn nos grãos, constatou-se que as doses de Zn incrementaram a concentração de Zn no grão com ajuste linear crescente (Figura 3).

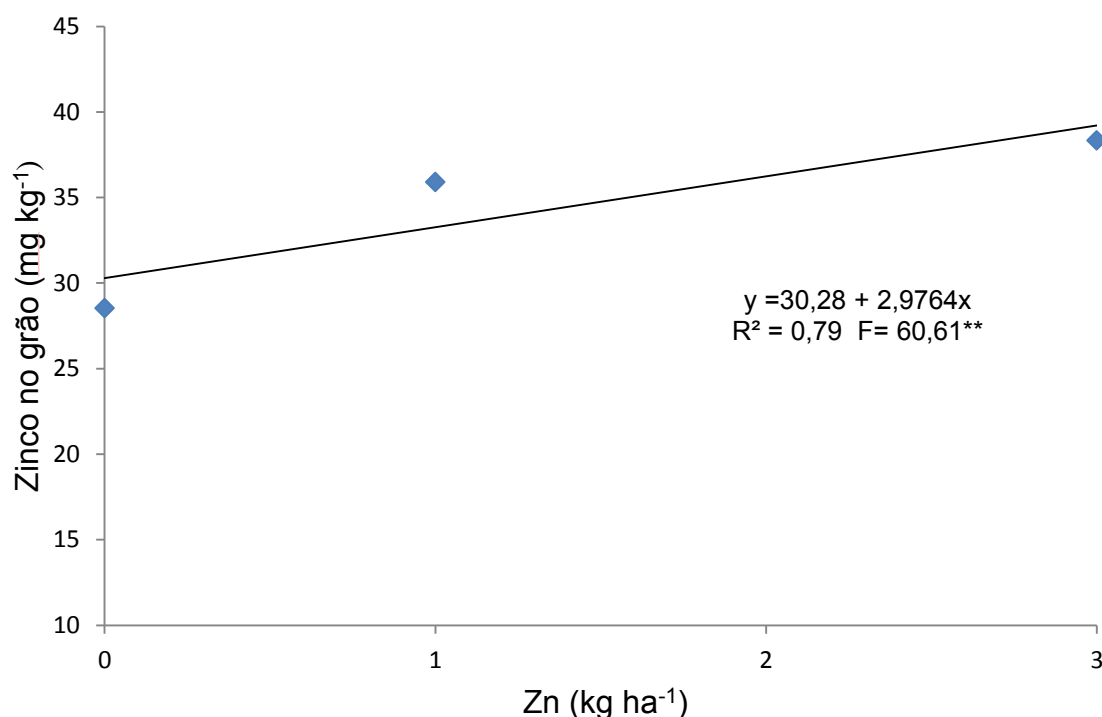


Figura 3. Concentração de zinco no grão em função das doses de zinco aplicadas. ** significativo pelo teste F a 1% de probabilidade.

O incremento de Zn no grão em resposta à adubação com Zn era esperado em função do teor inicial de Zn no solo estudado ($0,1 \text{ mg dm}^{-3}$), pois segundo Raij, Cantarella e Quaggio (1997), teores de Zn no solo inferiores a $0,6 \text{ mg dm}^{-3}$ (extrator DTPA), são considerados baixos, portanto esse solo apresenta elevado potencial de resposta à aplicação desse nutriente.

Atribui-se ainda esse resultado ao fato do teor de Zn no solo, encontrar-se abaixo do nível crítico do Zn determinado para a cultura do feijão-caupi, que é de $1,3 \text{ mg dm}^{-3}$ (Boroomand e Maleki, 2010).

Analisando os dados da Tabela 1, observa-se que com a adição da dose 3 kg ha^{-1} de Zn ocorreu um incremento de 34,40% da concentração de zinco no grão e de 11% na produtividade de grãos em relação ao tratamento controle (sem Zn), indicando que o fornecimento de nutrientes de forma adequada e equilibrada à

cultura do feijão-caupi pode favorecer aumento de produtividade, assim como também aumentar a concentração de Zn nos grãos do feijoeiro. Demonstrando a importância da adubação como ferramenta de biofortificação dos grãos, aspecto fundamental no combate à desnutrição humana.

Em relação à concentração de zinco na folha, verificou-se efeito significativo da interação entre o P e Zn para esta variável, revelando comportamento diferenciado das doses de P dentro das diferentes doses de Zn avaliadas. No desdobramento da interação, constatou-se ajuste linear decrescente da regressão, nas doses 0 e 3 kg ha⁻¹ e inalteração na do 1 kg ha⁻¹ (Figura 4). Havendo, portanto decréscimo da concentração de Zn na folha, concordando com resultados obtidos por Fonseca et al. (2010) e Benvindo (2012) em estudos também efetuados com a cultura do feijão-caupi.

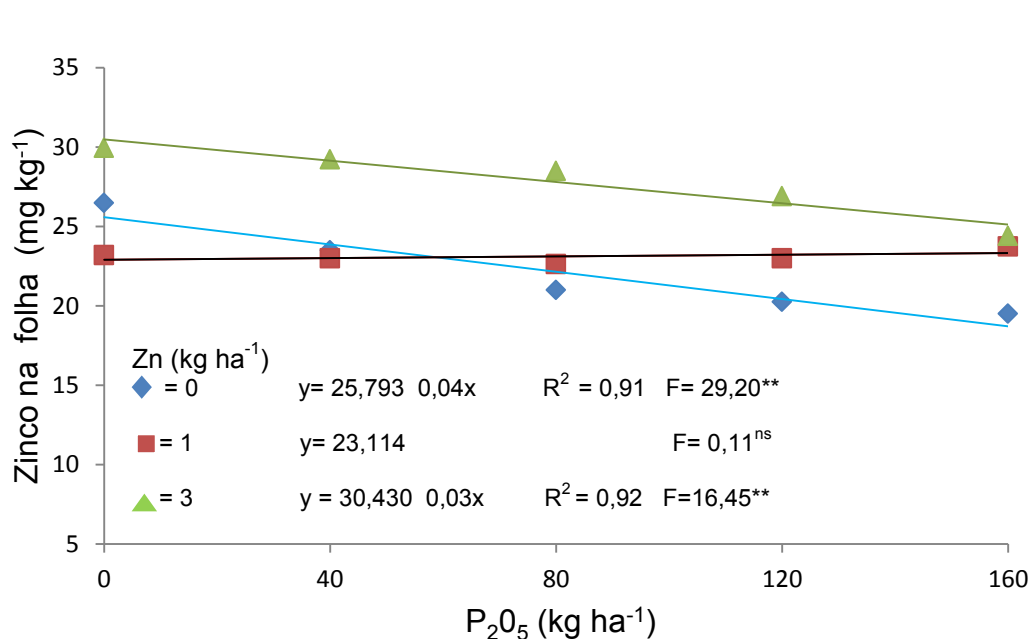


Figura 4. Concentração de zinco na folha em função das doses de fósforo dentro das doses de zinco aplicadas. **significativo pelo teste F a 1% de probabilidade.

Nesse estudo, atribuiu-se a redução na concentração de Zn na folha em resposta à adubação com P ao efeito diluição, onde a adição do P no solo elevou a taxa de absorção de P e também de Zn, promovendo o crescimento da planta em

função da melhoria na nutrição da cultura, resultando na diluição do Zn na folha. Fato constatado pelo crescimento das plantas, observado em todos os tratamentos, exceto no tratamento controle, sem P, que apresentou sintomas visuais de deficiência de P, tais como reduzido crescimento da parte aérea das plantas. Adicionalmente também foram observados no tratamento controle sintomas como: vagens mal formadas, reduzido número de grãos e atraso no ponto de colheita. Os autores Webb e Loneragan (1988); Singh et al. (1988); Gianquinto et al. (2000) e Li et al (2003) também atribuíram a redução de Zn na folha em cultivos sob elevadas doses de P, ao efeito diluição.

Para Miranda et al. (2010) plantas com deficiência do fósforo apresentam maiores reduções no desenvolvimento da parte aérea, indicando a necessidade desse elemento para as atividades dos meristemas apicais.

Também foi observada baixa concentração de fósforo no grão e reduzida produtividade de grãos no tratamento controle, sem P, sendo a produtividade proporcionada pela maior dose de P estudada (160 kg ha^{-1}) 221,60% maior em relação à produtividade de grãos obtida no tratamento controle (Tabela 1).

Com relação ao comportamento das doses de Zn dentro da dose 0 kg de P, verifica-se que a concentração de zinco na folha variou de 23 a 30 mg kg^{-1} , tendo esta apresentado-se maior na dose 3 kg ha^{-1} , como esperado, sendo pouco expressiva a diferença nas concentrações de Zn na folha, em relação as doses 0 e 1 kg ha^{-1} (Figura 4).

Chama atenção o fato de que, embora tendo ocorrido redução da concentração de Zn na folha, em resposta à adubação com P, não foi observado sintomas visuais de deficiência de Zn na cultura do feijão-caupi no presente estudo. Tendo a adição desse micronutriente incrementado em 11% a produtividade de grãos em relação ao tratamento controle, sem Zn, evidenciando que a adubação com P não influenciou na absorção do Zn, e demonstrando a importância desse micronutriente para incremento de produtividade (Tabela 1).

O aumento das doses de P no solo também esteve associado à redução na concentração de Zn nos grãos (Figura 5). Efeito também constatado por Fonseca et al. (2010) na cultura do feijão-caupi.

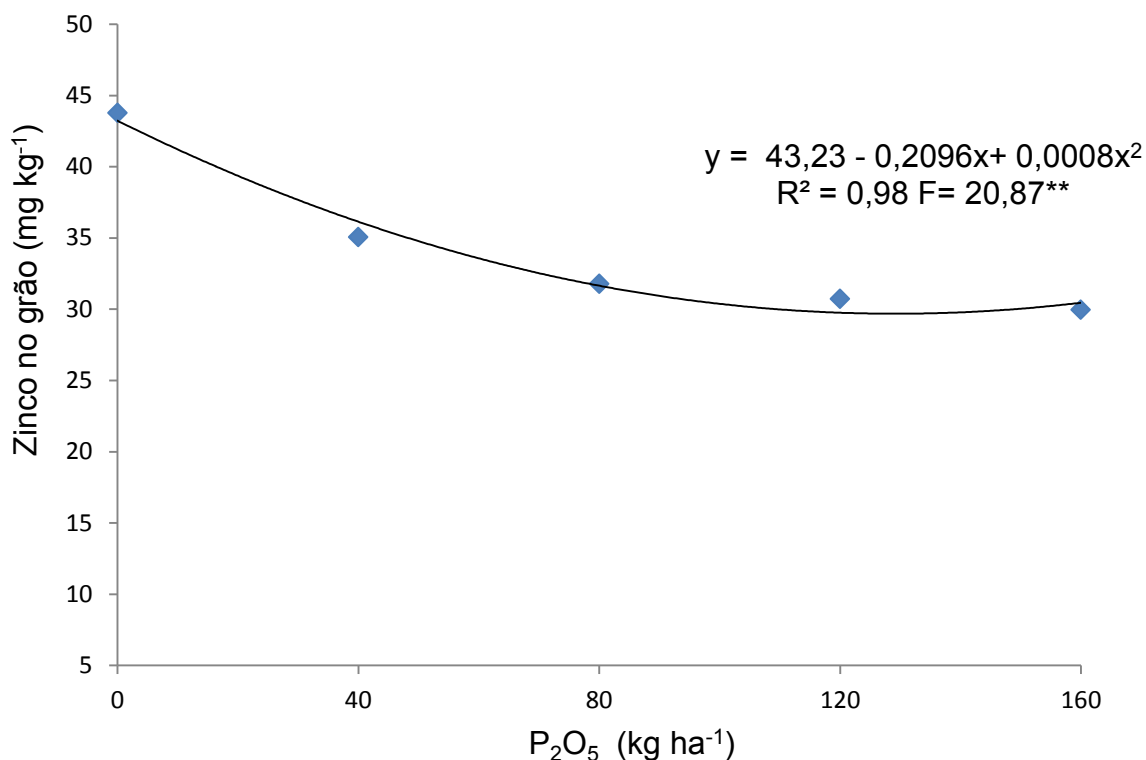


Figura 5. Concentração de zinco no grão em função das doses de fósforo aplicadas. **significativo pelo teste F a 1% de probabilidade.

Quanto ao nível crítico de P no solo, determinado por meio da equação que relacionou a dose de P necessária para a obtenção de 90% da produção relativa de grãos, verificou-se que este foi de 6,3 mg dm⁻³ pelo extrator Mehlich-1 (Figura 6). O baixo nível crítico de P no solo determinado é atribuído à baixa extração do P pelo feijão-caupi, embora este seja o nutriente que mais limita a produção desta cultura.

O nível crítico determinado nesse estudo encontra-se na faixa mencionada por Oliveira e Dantas (1988) que em estudos efetuados em Latossolo Vermelho Amarelo revelaram que a faixa crítica de fósforo no solo necessária para alcançar 80-90% da produção máxima de grão de feijão-caupi está entre 3,9 a 8,2 mg dm⁻³. No entanto foi inferior ao obtido por Smyth e Cravo (1989), que obteve nível crítico de fósforo no solo de 8 mg kg⁻¹ (Mehlich-1), em solo de textura argilosa, utilizando diferente cultivar. Segundo Bates et al. (1971) variações nos valores obtidos para níveis críticos são esperadas e, devem-se a fatores como espécie ou variedade, condições ambientais, tipo de solo, forma disponível do nutriente em estudo e, disponibilidade dos demais nutrientes.

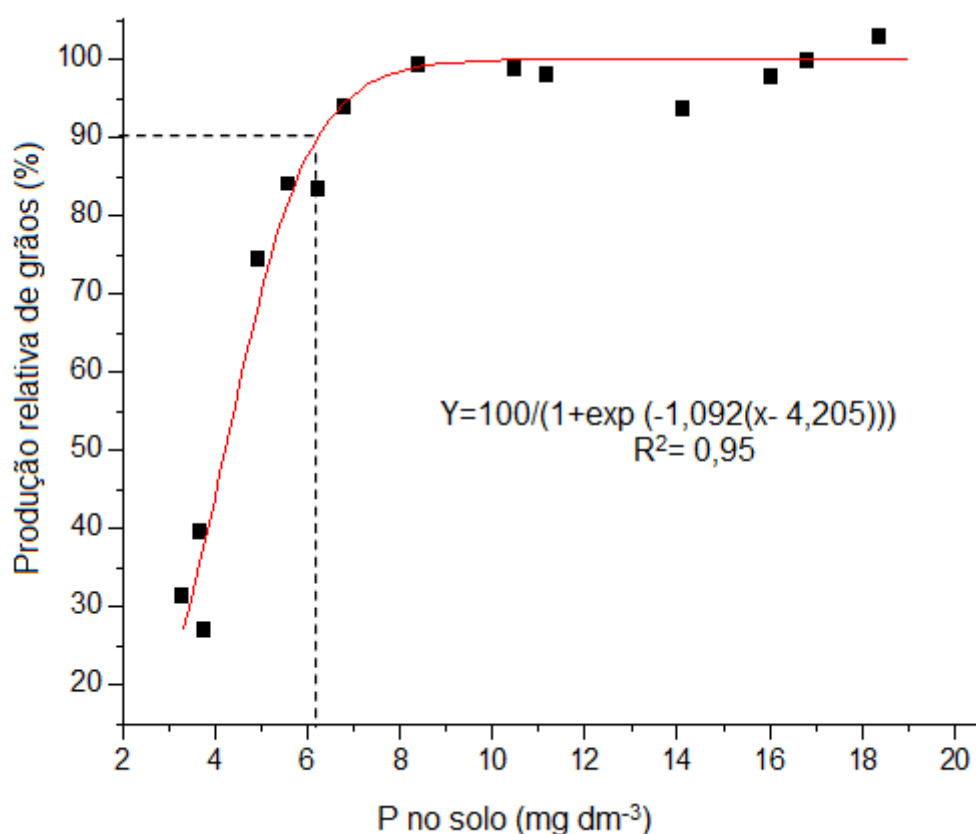


Figura 6. Produção relativa de grãos de feijão-caupi (%), em função do teor de fósforo no solo.

Em relação ao nível crítico de fósforo na folha, associado a 90% da produção relativa de grãos de feijão-caupi, nota-se que este foi obtido com a concentração de $2,01 \text{ g kg}^{-1}$ de P (Figura 7).

O nível crítico de fósforo na folha determinado nesse estudo mostrou-se superior ao observado por Smyth e Cravo (1989) para essa cultura, que foi de $1,6 \text{ g kg}^{-1}$ de P, associado a uma produção relativa de 80%. O maior valor de nível crítico obtido nesse estudo é atribuído à associação a uma maior produção relativa (90%), e possivelmente ao menor fator capacidade do solo cultivado, decorrente da menor quantidade de argila, o que favorece a absorção do P e contribui para aumentar a concentração do macronutriente na folha. Para Corrêa et al. (2008) o valor do nível crítico na planta é inversamente correlacionado com o fator capacidade de fósforo dos solos.

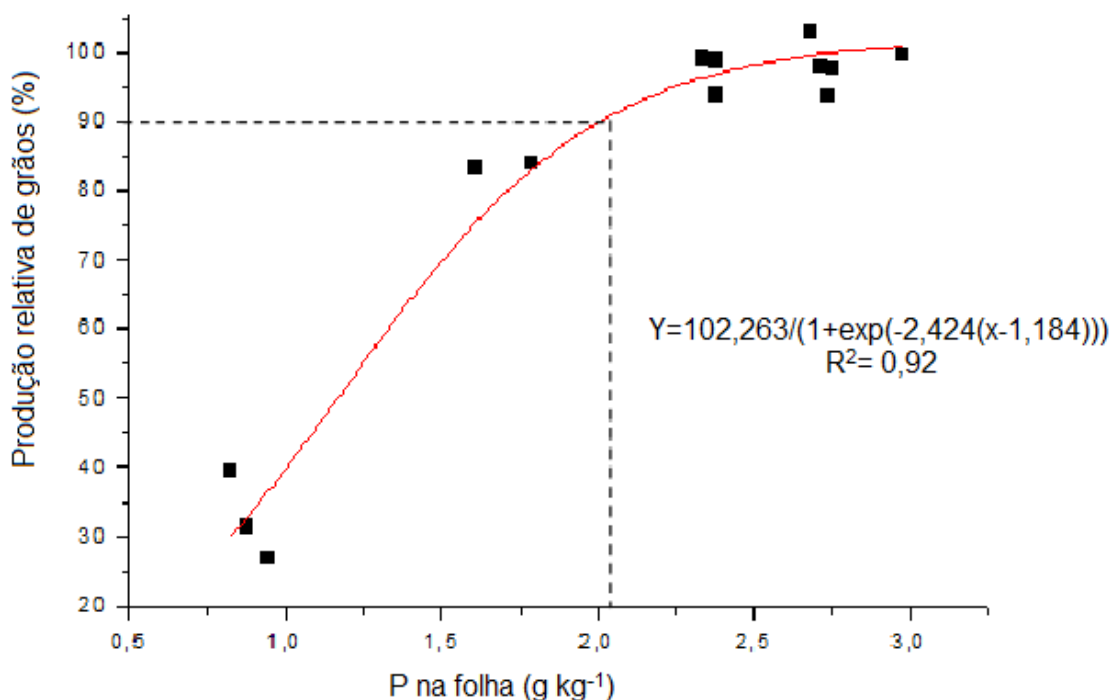


Figura 7. Produção relativa de grãos de feijão-caupi (%), em função da concentração de fósforo na folha.

A Figura 8 apresenta as isolinhas obtidas a partir da função da produtividade de grãos, e evidenciam as combinações entre as doses de P e Zn que resultam em uma mesma produtividade. Nota-se uma redução gradativa no número de isolinhas à medida que aumenta a produtividade de grãos. Isso se explica em função dos menores acréscimos de produtividade de grãos à medida que se incrementa os fatores de produção, até a obtenção de uma combinação única, que resulta na máxima produtividade de grãos.

A análise das isolinhas revela que o aumento da produtividade de grãos de 595 kg ha⁻¹ para 1450 kg ha⁻¹ ocorreu principalmente devido ao aumento da dose de P de 0 kg ha⁻¹ para 92,6 kg ha⁻¹, indicando que a cultura é responsiva à adubação fosfatada, tendo as doses de P aumentado a disponibilidade desse nutriente no solo, e contribuído para o incremento de produtividade de grãos. Esta resposta está de acordo com resultado obtido por Novais e Smyth (1999), autores que recomendam em média 90 a 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para adubação de culturas anuais, em solos com baixos teores de “P-disponível”.

Resultado semelhante a esse estudo, também foi observado por Oliveira et al. (2011) que obtiveram incremento significativo na produtividade de grãos em função

da adição da adubação fosfatada na cultura do feijão-caupi. Respostas à adubação fosfatada são comuns em solos com baixos teores de fósforo disponível, tendo em vista que a resposta da cultura ao uso de fertilizantes depende da fertilidade do solo.

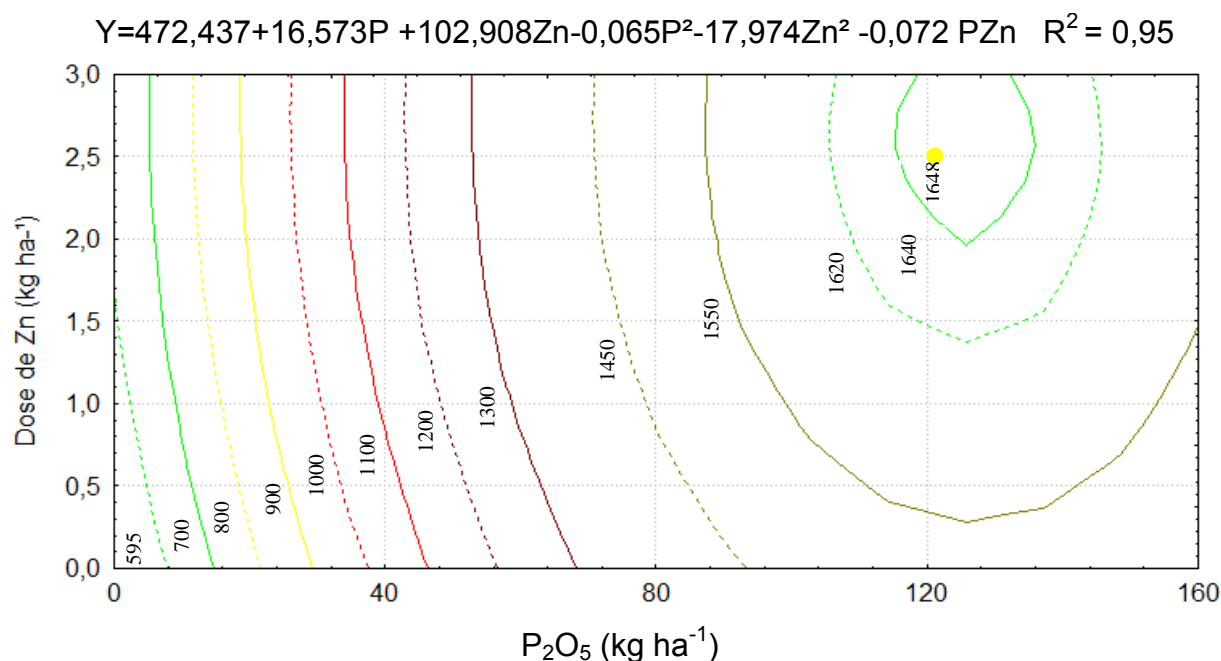


Figura 8 - Isolinhas da produtividade de grãos de feijão-caupi (kg ha^{-1}) em função das doses de fósforo e zinco aplicadas.

A variação na produtividade de grãos de feijão-caupi em função da adubação fosfatada e com Zn foi estimada por meio de uma equação de segunda ordem, sendo este o modelo que melhor se ajustou aos dados. Na equação ajustada, o Y corresponde à produtividade, variável dependente, e as doses de P e Zn as variáveis independentes. A partir da derivada da função estimou-se a produtividade de grãos máxima da cultura (Y).

Constatou-se a produtividade de grãos máxima estimada (1648 kg ha^{-1}) foi obtida com uso de 125 kg ha^{-1} de P_2O_5 , e $2,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de Zn, proporcionando um incremento de 1156 kg ha^{-1} grãos em relação ao tratamento controle. A ação combinada do P e Zn possibilitou a obtenção da produtividade de grãos de feijão-caupi máxima estimada, o que revela a ação conjunta desses nutrientes para incremento de produtividade (Figura 8).

Comparando-se a produtividade de grãos obtida exclusivamente com o uso da adubação fosfatada (1450 kg ha^{-1}) com aquela obtida com a utilização de P e Zn (1648 kg ha^{-1}), pode-se inferir um incremento de produtividade de grãos de aproximadamente 13,6% com aplicação da adubação fósforo associada ao zinco. Silva et al. (2010) obtiveram produtividade de 943 kg ha^{-1} (90 kg ha^{-1} de P_2O_5) usando a cultivar “Pretinho precoce” e Oliveira et al. (2011) obtiveram produtividade de 1343 kg ha^{-1} (120 kg ha^{-1} de P_2O_5), cv. “Nova Era”, ambos trabalhando em Latossolo Amarelo distrocoeso. Os resultados inferiores ao do presente estudo podem ser explicados pelo uso da adubação com P em doses menores e ausência da adubação com Zn.

A dose de 125 kg ha^{-1} de P_2O_5 e $2,01 \text{ kg}$ de Zn, que proporcionou a máxima produtividade esteve associada às concentrações foliares iguais a $4,01 \text{ g kg}^{-1}$ e $2,75 \text{ g kg}^{-1}$ de P, no grão e na folha, respectivamente (Figuras 1 e Figura 2).

A Tabela 2 apresenta as médias referentes aos componentes de produção número de vagem por planta, massa de 100 grãos, o número de grãos por vagem e o comprimento de vagem e os coeficientes de variação.

Constatou-se efeito significativo para todas as variáveis em relação à adubação fosfatada. Em se tratando da adubação com zinco, apenas as variáveis comprimento de vagem e número de vagem por planta apresentaram diferença significativa.

Quanto à interação P e Zn, verificou-se efeito significativo da interação para todos dos parâmetros avaliados, exceto para o comprimento de vagem ($F= 1,66^{\text{ns}}$). A massa de 100 grãos apresentou significância a 5% de probabilidade e as demais variáveis foram significativas a ($P<0,01$). Nota-se que a maioria das variáveis apresentou comportamento diferenciado das doses de P nas diferentes doses de zinco.

Ressalta-se que na cultura do feijoeiro a produtividade de grãos é altamente associada aos componentes da produção, em especial ao número de vagens por planta, número de grãos por vagem e massa de grãos (COSTA; ZIMMERMANN, 1988; ZILIO et al., 2011).

Tabela 2. Médias da massa de 100 grãos (M100G), comprimento de vagem (COMPV), número de grãos por vagem (NGV), número de vagens por planta (NVP) em função da aplicação de fósforo e zinco na cultura do feijão-caupi.

Doses P ₂ O ₅	M100G	COMPV	NGV	NVP
kg ha ⁻¹	g	cm		
0	18,50	18,77	10,80	2,50
40	20,00	19,24	12,00	6,42
80	20,30	20,06	12,75	7,97
120	19,90	19,67	13,15	8,88
160	20,06	20,60	12,85	10,03
Teste F	22,07**	9,65**	18,38**	858,83**
Zinco				
0	19,50	19,48	12,54	6,76
1	19,90	19,48	12,06	6,85
2	19,90	20,04	12,32	7,85
Teste F	2,86 ^{ns}	3,31*	1,91 ^{ns}	61,19*
Inter. (P x Zn)	2,17*	1,66ns	3,23**	7,32**
C.V.(%)	2,67	4,00	6,20**	4,84

^{ns}, não significativo; ** significativo ($p < 0,01$), * significativo ($p < 0,05$) pelo teste F.

Analisando a Tabela 2 constata-se a influência da adubação com fósforo e zinco no incremento da maioria dos componentes de produção avaliados.

Em relação à massa de 100 grãos, verifica-se que a interação entre o P e o Zn apresentou ajuste quadrático da regressão para as doses de 0 e 3 kg ha⁻¹ de Zn e não significativo na dose 1 kg ha⁻¹ de Zn (Figura 9).

Analisando o desdobramento das doses de fósforo dentro das doses de Zn, observa-se que a máxima massa de 100 grãos estimada (20,5g) na dose 3,0 kg ha⁻¹ de Zn foi obtida com a utilização de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Na ausência de Zn na adubação a massa de 100 grãos estimada foi de 20,4, portanto semelhante à obtida com 3,0 kg ha⁻¹ de Zn, porém esta foi obtida com a utilização de 110 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Esse resultado indica que com a adição do Zn é possível um incremento da massa de 100 grãos com a utilização de uma menor quantidade de P.

Verifica-se em todos os tratamentos, com exceção do tratamento controle (0 de P e 0 de Zn) situou-se acima de 20 g, portanto, superior ao valor médio da massa de grão da cultivar BRS - guariba, 19,5 g (RAMOS, 2011) (Tabela 2).

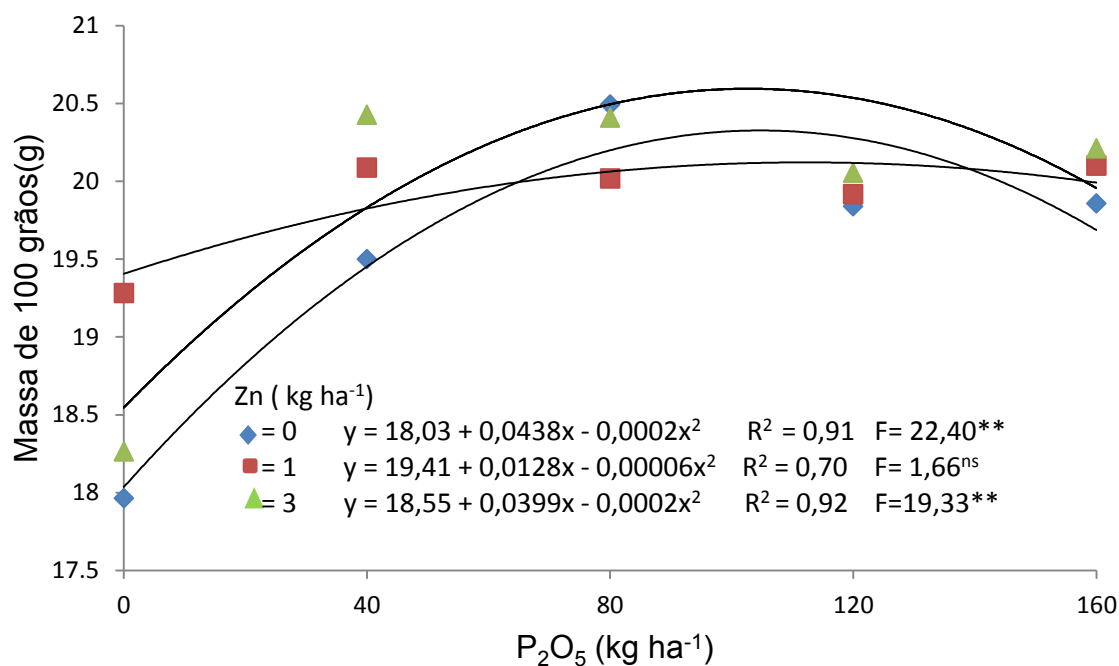


Figura 9. Massa de 100 grãos em função das doses de fósforo dentro das doses de zinco aplicadas. ^{ns} não significativo, ** significativo pelo teste F a 1% de probabilidade.

Em se tratando do comprimento de vagem, constata-se que o mesmo foi influenciado pelas doses de fósforo e zinco isoladamente, apresentando um ajuste linear para ambos os fatores (Tabela 2, Figuras 10 e 11)

O efeito significativo das doses de P para o comprimento de vagem também foi observado por Oliveira et al. (2011), que avaliando doses até. 210 kg ha⁻¹ P₂O₅ em solo de textura média (P= 3,89 mg dm⁻³), também constataram aumento linear do comprimento de vagem em função da adubação fosfatada, obtendo na dose 210 kg ha⁻¹ P₂O₅ o comprimento de vagem de 14,99 cm.

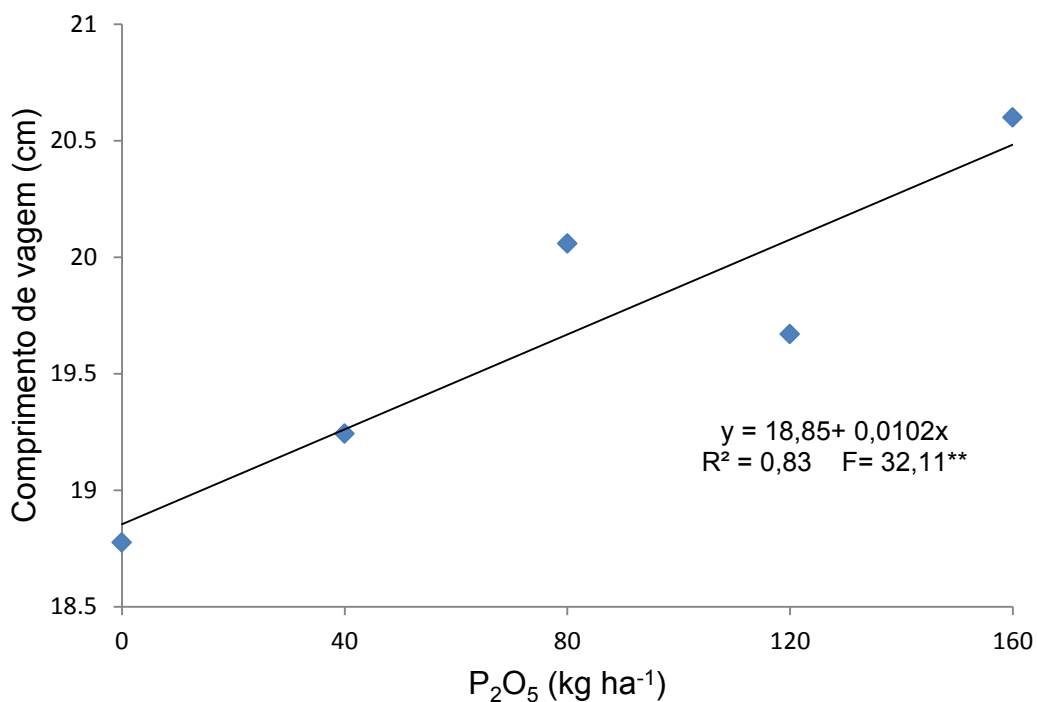


Figura 10. Comprimento de vagem de feijão-caupi em função das doses de fósforo aplicadas.** significativo pelo teste F a 1% de probabilidade.

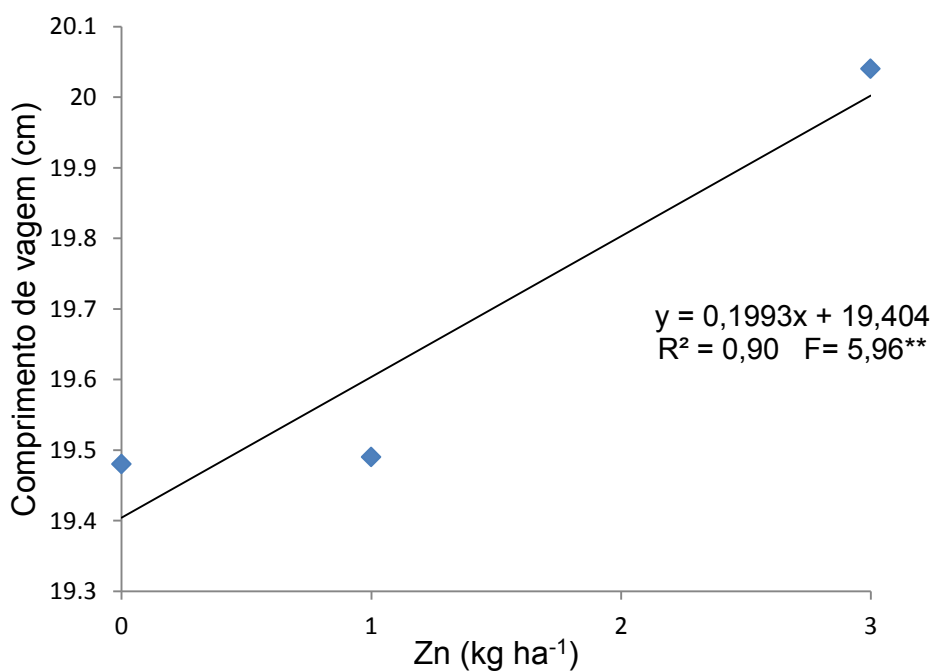


Figura 11. Comprimento de vagem de feijão-caupi em função das doses de zinco aplicadas.** significativo pelo teste F a 1% de probabilidade.

Em relação ao desdobramento da interação para componente de produção número de vagens por planta, constatou-se ajuste linear nas doses 0 e 1 kg ha⁻¹ de Zn (Figura 12).

Analisando a resposta dessa variável em relação ao comportamento do P nas doses 0 e 1 kg ha⁻¹ de Zn, verifica-se que a combinação dessas doses de Zn com a máxima dose de P estudada (160 kg ha⁻¹) proporcionaram a obtenção de 10 e 11 vagens por planta, respectivamente.

Em relação a dose 3 kg ha⁻¹ de Zn, observa-se ajuste quadrático da regressão, sendo o máximo número de vagens por planta estimado (10), obtido com a utilização de 128 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 3,0 kg ha⁻¹ de Zn (Figura 12).

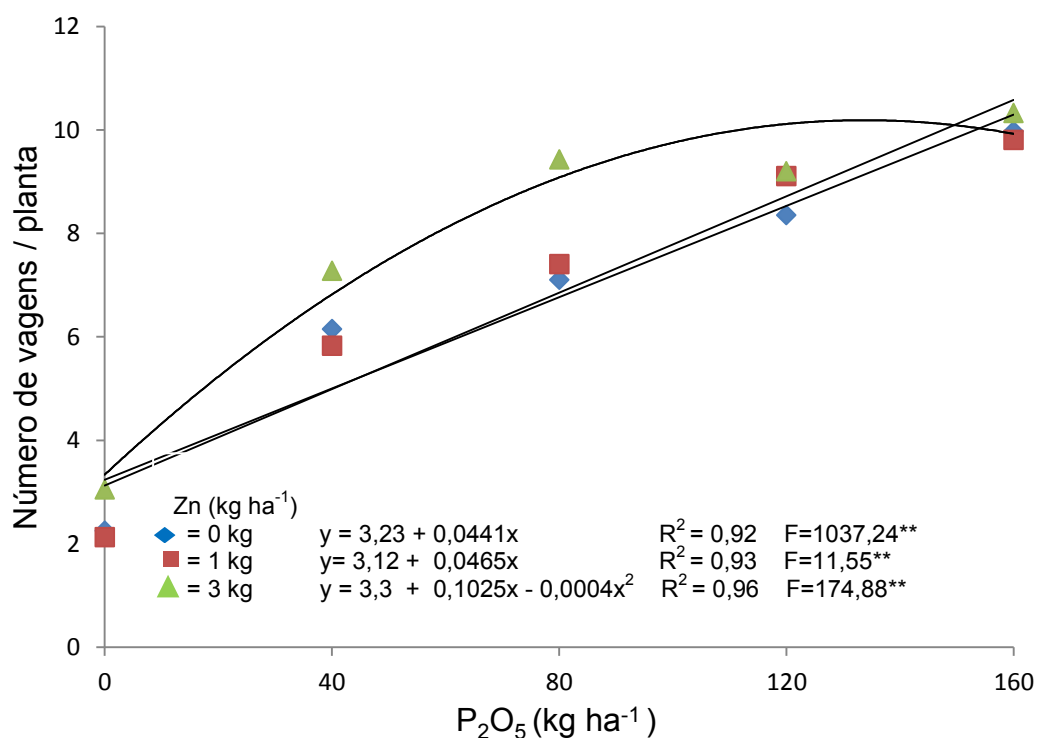


Figura 12. Número de vagens por planta em função das doses de fósforo dentro das doses de zinco aplicadas.** significativo pelo teste F a 1% de probabilidade.

Nota-se que o número de vagens por planta obtido com a utilização de P, é semelhante, dentro das diferentes doses de Zn estudadas, porém na dose 3 kg ha⁻¹ de Zn, há necessidade de apenas 128 kg ha⁻¹ de P₂O₅, tendo esta combinação se mostrado economicamente mais viável. SILVA et al. (2010), obtiveram resultados

semelhantes (10 vagens por planta), trabalhando com a mesma densidade de plantas (160.000 por hectare), utilizando exclusivamente a adubação fosfatada, porém tendo como fonte o superfosfato simples.

Segundo Teixeira et al. (2008), o componente de produção mais estreitamente relacionado com a produtividade de grãos é o número de vagens por plantas .

Quanto ao número de grãos por vagem verifica-se efeito significativo da interação P e Zn, tendo que o comportamento da adubação fosfatada dentro das doses de Zn, apresentado ajuste quadrático da regressão nas doses 1 e 3 kg ha⁻¹ de Zn e não significativo na dose 0 kg ha⁻¹ de Zn (Figura 13).

O máximo número de grãos por vagem estimado na dose 3 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (13 grãos) foi obtido com a adição de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

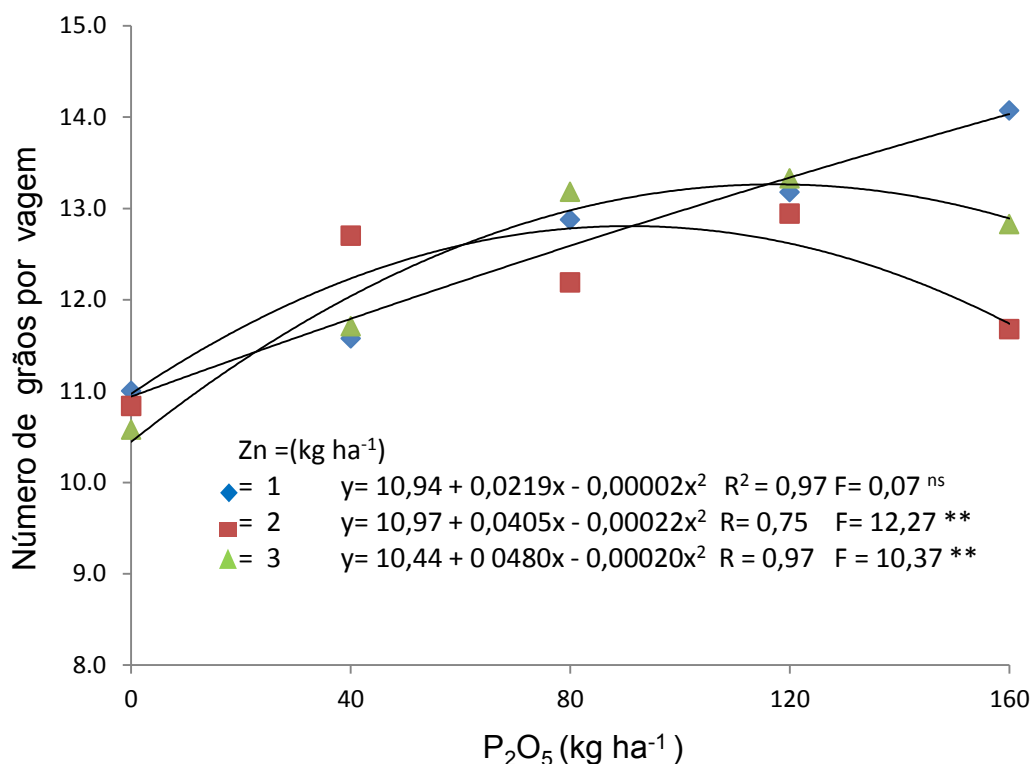


Figura 13. Número de grãos por vagem em função das doses de fósforo dentro das doses de zinco aplicadas. ** significativo pelo teste F a 1% de probabilidade.

Observando o comportamento dessa variável na dose 1 kg ha⁻¹ de Zn, constata-se que houve necessidade de apenas 92,5 de P₂O₅ kg ha⁻¹ de P₂O₅ para a

obtenção do número máximo estimado de grãos por vagem (13 grãos), sendo, portanto esta combinação P e Zn, mais viável economicamente para o incremento dessa variável. O resultado desse estudo é superior ao obtido por Oliveira et al., (2011), que obteve 9 grãos por vagem com o uso de 210 kg ha⁻¹ de P₂O₅, avaliando somente o fósforo. O resultado superior obtido no presente estudo revela a importância do Zn no incremento da variável número de grãos por vagem, aspecto importante, tendo em vista que esta variável é um importante componente de produção de grãos.

Observando a Tabela 2, verifica-se que em relação à adubação fosfatada, o tratamento controle apresentou reduzido número de grãos por vagem (10,8), reduzido número de vagens por planta (2,5), menor comprimento de vagem (18,77) e menor número de vagens por planta (10,80), indicando que plantas de feijoeiro deficientes em P perdem o vigor, reduzem o número de vagens por planta e apresentam menor produtividade de grãos (OLIVEIRA; ARAÚJO; DUTRA, 1996).

Ao compararmos as doses de fósforo que possibilitaram a obtenção do número máximo de vagens por plantas, do número de grãos por vagem e da produtividade de grãos, chama atenção o fato de que essas doses estiveram próximas da dose de P que resultou na maior produtividade da cultura (125 kg ha⁻¹ P₂O₅), indicando que a influência do P no número de vagens por plantas e número de grãos por vagem foram importantes para proporcionar incremento de produtividade de grãos na cultura do feijão-caupi.

5 CONCLUSÃO

1. A adição de fósforo e zinco no solo aumentou a produtividade de grãos (1648 kg ha^{-1}) sendo a máxima produtividade obtida com a combinação de $125 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ e $2,6 \text{ kg ha}^{-1}$.

2. A adição de fósforo e zinco aumentou as concentrações de fósforo e zinco nos grãos, e proporcionou incremento nos componentes de produção: comprimento de vagem, número de grãos por vagem e número de vagens por planta.

3. O nível crítico de fósforo no solo e na folha associado à produção relativa de 90% foram $6,3 \text{ mg dm}^{-3}$ e $2,01 \text{ g kg}^{-1}$ respectivamente.

6 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; MAFRA, A. L.; FONTANA, E. C. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 799 - 806, 2003.

ANDRADE JUNIOR, A. S. **Viabilidade de irrigação, sob risco climático e econômico, nas regiões de Teresina e Litoral Piauiense**. 2000. 566 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JUNIOR, W. **AgroEstat: Sistema para Análises Estatísticas de Ensaio Agronômicos**. Versão 1.1.0.626. [Jaboticabal: s. n.], 2011.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48 p. (Boletim técnico, 78).

BATES, T. E. Factors affecting critical nutrient concentrations in plants and their evaluation: a review. **Soil Science**, Baltimore, v. 112, p. 116-130, 1971.

BENVINDO, R. N. **Adubação fosfatada e potássica na nutrição e na produtividade de feijão-caupi, cultivado no município de Bom Jesus-PI**. 2012. 61 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2012.

BLANCO, F. F.; CARDOSO, M. J.; FREIRE FILHO, F. R.; VELOSO, M. E. da C.; NOGUEIRA, C. C. P.; DIAS, N da S. Milho verde e feijão-caupi cultivados em consórcio sob diferentes lâminas de irrigação e doses de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 5, p. 524-530, 2011.

BOROOMAND, N.; MALEKI, M. R. A study on zinc distribution in calcareous soil for cowpea (*Vigna unguiculata* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.). **Geophysical Research Abstracts**, Goettingen, v. 12, p. 14639, 2010. Abstract. Disponível em: <<http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2010/EGU2010-14639.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2013.

CAKMAK, I.; MARSCHNER, H. Mechanism of phosphorus-induced zinc deficiency in cotton. III. Changes in physiological availability of zinc in plants. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 70, n. 1, p. 13-20, 1987.

CAMARGO, M. S. de.; BARBOSA, D. S.; RESENDE, R. H.; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S. Fósforo em solos de Cerrado submetidos à calagem. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 2, p. 187-194, 2010.

CAMPOS, F. L.; LOPES, A. C. A.; FREIRE FILHO, F. R.; QUEIROZ, V. R. Ciclo fenológico em caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp): uma proposta de escala dedesenvolvimento. **Revista Científica Rural**, Santa Maria, v. 5, p.110-116, 2000.

CARNEIRO, L. F.; FURTINE NETO, A. E.; RESENDE, A. V. de; CURI, N.; SANTOS, J. Z. L.; LAGO, F. J do. Fontes, doses e modos de aplicação de fósforo na interação fósforo-zinco em milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1133-1144, 2008.

CARVALHO, A. M. de.; FAGERIA, N. K.; KINJO, K.; OLIVEIRA, I. P. Distribuição e nível crítico de fósforo na parte aérea do feijoeiro cultivado em diferentes solos sob vegetação de cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, n. 6, p. 719-724, 1993.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 429 p.

COUTINHO, E. L. M.; SILVA, E. J.; SILVA, A. R. Crescimento diferencial e eficiência de uso em zinco de cultivares de milho submetidos a doses de zinco em um Latossolo Vermelho. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 2, p. 227-234, 2007.

COSTA, J. C. G.; ZIMMERMANN, M. J. O. Melhoramento genético. In: ZIMMERMANN, M. J. O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **A cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafós . 1988. p. 229-245.

EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. **Socioeconomia**. Goiânia, 2012. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm>>. Acesso em: 22 mar. 2013.

EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa, 1999. 370 p.

EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA). **Manual técnico para avaliação nutricional de alimentos e orientações para atividades em laboratório de nutrição animal**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1997. 60 p.

ERNANI, P. R.; NASCIMENTO, J. A. L.; CAMPOS, M. L.; CAMILLO, R. J. Influência da combinação de fósforo e calcário no rendimento do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 3, p. 537-544, 2000.

FAGERIA, N. K. **Adubação e nutrição mineral da cultura de arroz**. Rio de Janeiro: Campus; Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1984. 341 p.

FAGERIA, N. K. Níveis adequados e tóxicos de zinco na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 390-395, 2000.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; CLARK, R.B. Micronutrients in crop production. **Advances in Agronomy**, v.77, p.185-268, 2002.

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). **Faostat**. Rome, 2012. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnpatia.embrapa.br/FontesHTML/Feijão/FeijãoCaupi/index.htm>>. Acesso em: 22 mar. 2013.

FERNANDES, A. R.; PAIVA, H. N. de; CARVALHO, J. G. de; MIRANDA, J. R. P. de R. Crescimento e absorção de nutrientes por mudas de freijó (*Cordia goeldiana* huber) em função de doses de fósforo e de zinco. **Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 599-608, 2007.

FONSECA, M. R.; FERNANDES, A. R.; SILVA, G. R. da; BRASIL, E. C. 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, 2010.

FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. **Feijão-caupi**: avanços tecnológicos. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2005. p.29.(cap 1=melhoramento genético- 29-75.

FREIRE FILHO, F. R. Origem, evolução e domesticação do caupi (*Vigna unguiculata* (L) Walp.). In: ARAUJO, J. P. P. de; WATT, E. E. (Org.). **O caupi no Brasil**. Goiânia: Embrapa-CNPAP: Ibadan: IITA, 1988. p. 25-46.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. de M.; SILVA, K. J. D.; NOGUEIRA, M. do S. da R.; RODRIGUES, E. V. **Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. p. 18-27.

FROTA, K. M. G.; MENDONÇA, S.; SALDIVA, P. H. N.; CRUZ, R. J.; ARÊAS, J. A. G. Cholesterol-lowering properties of whole cowpea seed and its protein isolate in hamsters. **Journal of Food Science**, Hoboken, v. 73, n. 9, p. 235-240, 2008.

GIANQUINTO, G.; RAYYAN, A. A.; TOLA, L. D.; PICCOTINO, D.; PEZZAROSSA, B. Interaction effects of phosphorus and zinc on photosynthesis, growth and Yield of dwarf bean grown in two environments. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 220, n. 1-2, p. 219-228, 2000.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Levantamento sistemático da produção agrícola (LSPA)**. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/>. Acesso em: 01 mar. 2013.

KORNDÖRFER, G. H.; LARA-CABEZAS, W. A.; HOROWITZ, N. Eficiência agronômica de fosfatos naturais reativos na cultura do milho. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 2, p. 391-396, 1999.

LI, H. Y.; ZHU, Y. G.; SMITH, S. E.; SMITH, F. A. Phosphorus- zinc interactions in two barley cultivars differing in phosphorus and zinc efficiencies. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 26, n. 5, p. 1085-1099, 2003.

LINDSAY, W. L.; NORVELL, W. A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 42, n. 3, p. 421-428, 1978.

LINHARES, L. C. F.; FERNANDES, A. R.; GUEDES, E. M. S.; NORONHA, N. C.; VIEIRA, A. M. F. Limitações nutricionais de três cultivares de caupi, submetidas a omissão de nutrientes, cultivadas em Gleissolo de várzea do Rio Pará. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 49, p. 101-113, 2008.

LONERAGAN, J. F.; WEBB, M. J. Interactions between zinc and other nutrients affecting the growth of plants. In: ROBSON, A. D. (Ed.). **Zinc in soil and plants**. Madison: Kluwer Academic, 1993. p. 119-134.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1986. 671 p.

MARSOLA, T.; MIYAWA, M., PAVAN, M. A. Acumulação de cobre e zinco em tecidos do feijoeiro em relação com o extraído do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 1, p. 92-98, 2005.

MARTINEZ, H. E. P.; ZABINI, A. V.; FRANCO, I. A. L.; NOVAIS, R. F. Translocação e compartimentalização de Zn em função de doses aplicadas em feijoeiro e cafeeiro via radicular. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 491-497, 2005.

MIRANDA, R. S.; SUDÉRIO, F. B.; SOUSA, A. F.; GOMES FILHO, E. Deficiência nutricional em plântulas de feijão-de-corda decorrente da omissão de macro e micronutrientes. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 326-333, 2010.

MOUSAVI, S. R.; GALAVI, M.; REZAEI, M. The interaction of zinc with other elements in plants: a review. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, [S.l.], v. 4, n. 24, p. 1881-1884, 2012. Disponível em: <<http://ijagcs.com/wp-content/uploads/2013/01/1881-18841.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2013.

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

OLIVEIRA, I. P.; ARAÚJO, R. S.; DUTRA, L. G. Nutrição mineral e fixação biológica do nitrogênio. In: ARAUJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Potafós, 1996. 786p.

OLIVEIRA, C. R. R. de. **Reação de genótipos de feijão-caupi às coinfeções pelo *Cucumber mosaic virus*, *Cowpea aphid-borne mosaic virus* e *Cowpea severemosaic vírus***. 2011, 89 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2011.

OLIVEIRA, G. A.; ARAÚJO, W. F.; CRUZ, P. L. S.; SILVA, W. L. M. da; FERREIRA, G. B. Resposta do feijão-caupi as lâminas de irrigação e as doses de fósforo no cerrado de Roraima. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 4, p. 872-882, 2011.

OLIVEIRA, I. P.; DANTAS, J. P. Nutrição mineral do caupi. In: ARAUJO, P. P. A.; WATT, E. E. (Org). **O caupi no Brasil**. Brasília, DF: IITA; Embrapa, 1988.p.405-430.

OLSEN, S. R. Micronutrients interactions. In: MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P. M.; LINDSAY, W. L. (Ed.). **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1972. p. 243-264.

PADI, F. K.; EHLERS, J. D. Effectiveness of early generation selection in cowpea for grain yield and agronomic characteristics in semiarid west Africa. **Crop Science**, Madison, v. 48, n. 2, p. 533-540, 2008.

PADULOSI, S.; NG, N. Q. Origin, taxonomy, and morphology of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. In: SING, B. B.; MOHAN RAJ, D. R.; DASHIEL, K. E.; JACKAI, L. E. N. (Ed.). **Advances in cowpea research**. Ibadan: IITA-JIRCAS, 1997. p. 1-11.

PARRY, M. M.; KATO, M. do S. A.; CARVALHO, J. G. de. Macronutrientes em caupi cultivado sobe duas doses de fósforo em diferentes épocas de plantio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 3, p. 236-242, 2008.

PASTORINI, L. H.; BACARIN, M. A.; LOPES, N. F.; LIMA, M. da G. de. S. Crescimento inicial de feijoeiro submetido a diferentes doses de fósforo em solução nutritiva. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 47, n. 270, p. 219-228, 2000.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. In: RAIJ, B. Van.; QUAGGIO, J. A. Determinação de fósforo, cálcio, magnésio e potássio extraídos com resina trocadora de íons. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. Cap. 11, p. 188-199.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico/Fundação IAC, 1997. (Boletim Técnico, 100).

RAMOS, H. M. **Características produtivas, fisiológicas e econômicas do feijão-caupi para grãos verdes sob diferentes regimes hídricos**. 2011. 109 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2011.

ROLIM NETO, F. C.; SCHAEFER, C. E. G. R.; COSTA, L. M.; CORRÊA, M. M.; FERNANDES FILHO, E. I.; IBRAIMO, M. M. Adsorção de fósforo, superfície específica e atributos mineralógicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do alto Paranaíba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 6, p. 953-964, 2004.

SALIMPOUR, S.; KHAVAZI, K.; NADIAN, H.; BESHARATI, H.; MIRANSARI, M. Enhancing phosphorous availability to canola (*Brassica napus* L.) using P solubilizing

and sulfur oxidizing bacteria. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 4, n.5, p. 330-334, 2010.

SAMPAIO, L. S.; BRASIL, E. C. Exigência nutricional do feijão-caupi. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO CAUPI, 2., 2009, Manaus. **Anais...** Manaus: Embrapa Amazônia Oriental, 2009. 1 CD-ROM.

SCHUMACHER, M. V.; CECONI, D. E.; SANTANA, C. A. Influência de diferentes doses de fósforo no crescimento de mudas de angico vermelho (*Parapiptadeniarigida* (Bentham) Brenan). **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 149-155, 2004.

SILVA, A. J. da; UCHÔA, S. C. P.; ALVES, J. M. A.; LIMA, A. C. S.; SANTOS, C. S. V. dos; OLIVEIRA, J. M. F. de.; MELO, V. F. Respostas do feijão-Caupi à doses e formas de aplicação de fósforo em Latossolo Amarelo. **Revista Acta Amazônia**, Manaus, v. 40, n.1, p. 31-36, 2010.

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

SILVA, F. N. da; FURTINI NETO, A. E.; CARNEIRO, L. F.; MAGALHÃES, C. A. de S.; CARNEIRO, D. N. M. Crescimento e produção de grãos da soja sob diferentes doses e fontes de fósforo em solos distintos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 5, p. 1220-1227, 2009.

SILVEIRA, P. M.; DYNIA, J. F.; ZIMMERMANN, F. J. P. Resposta do feijoeiro irrigado a boro, zinco e molibdênio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 20, n. 2, p. 198-204, 1996.

SMYTH, T. J.; CRAVO, M. S. Critical phosphorus levels for corn and cowpea in a Brazilian Amazon. *Oxisol*. **Agronomy Journal**. 82: 309-312. 1989.

SINGH, J. P.; KARAMANOS, R. E.; STEWART, J. W. B. The mechanism of phosphorus-induced zinc deficiency in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 68, n. 2, p. 345-358, 1988.

SOUTO, J. S.; OLIVEIRA, F. T.; GOMES, M. M. S.; NASCIMENTO, J. P.; SOUTO, P. C. Efeito da aplicação de fósforo no desenvolvimento de plantas de feijão guandu (*cajanuscajan (l) millsp*). **Revista Verde**, Mossoró, v. 4, n. 1, p. 135-140, 2009.

SOUZA, E. C. A. de.; COUTINHO, E. L. M.; NATALE, W.; BARBOSA, J. C. Respostas do milho à adubação com fósforo e zinco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 33, n. 7, p. 1031-1036, 1998.

TEIXEIRA, I. R.; BORÉM, A.; ARAÚJO, G. A. A.; ANDRADE, M. J. B. de. Teores de nutrientes e qualidade fisiológica de sementes de feijão em resposta à adubação foliar com manganês e zinco. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 1, p. 83-88, 2005.

TEIXEIRA, I. R.; BORÉM, A.; SILVA, A. G.; KIKUTI, H. Fontes e doses de zinco no feijoeiro cultivado em diferentes épocas de semeadura. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 2, p. 255-259, 2008.

VALLADARES, G.; PEREIRA, M. G.; CUNHA DOS ANJOS, L. H. Adsorção de fósforo em solos de argila de atividade baixa. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 1, p. 111-118, 2003.

VOSS, M.; PARRA, M. S.; CAMPOS, A. D. Rendimento de feijão e de grão-de-bico em função de fosfato solúvel aplicado em covas ou na linha de semeadura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 163-168, 1998.

WANDER, A. E. Produção e participação brasileira no mercado internacional de feijão-caupi. In: III CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO CAUPI, 3., 2013, Recife. **Anais...** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2013. 1 CD-ROM.

WEBB, M. J.; LONERAGAN, J. F. Effect of zinc deficiency on growth, phosphorus concentration, and phosphorus toxicity of wheat plants. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, v. 52, n. 6, p. 1676-1680, 1988.

ZILIO, M.; COELHO, C. M. M.; SOUZA, C. A.; SANTOS, J. C. P.; MIQUELLUTI, D. J. Contribuição dos componentes de rendimento na produtividade de genótipos crioulos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.2, Fortaleza, 2011.

ZHU, Y. G.; SMITH, S. E.; SMITH, F. A. Zinc (Zn)-phosphorus (P) interactions in two cultivars of spring wheat. **Annals of Botany**, Oxford, v. 88, n. 5, p. 941-945, 2001.

ZUCARELI, C. **Adubação fosfatada, produção e desempenho em campo de sementes de feijoeiro CV. Carioca Precoce e IAC Carioca Tybatã**.2005. 183 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2005.

ZUCARELI, C.; RAMOS JÚNIOR, E. U.; BARREIRO, A. P.; NAKAGAWA, J.; CAVARIANI, C. Adubação fosfatada, componentes de produção, produtividade e qualidade fisiológica em sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 28, n. 1, p. 5-15, 2006.