

Acúmulo de nutrientes e crescimento da pimenta-de-cheiro em função de doses de calcário

Nutrients accumulation and growth of habanero pepper in function of lime levels

Arnon Afonso de Souza Cardoso^{*1}, José Zilton Lopes Santos², Carlos Alberto Franco Tucci³,
Tainah Manuela Benlolo Barbosa⁴

Resumo - A acidez dos solos tropicais pode afetar o desenvolvimento das espécies agrônômicas, tornando necessária a prática da calagem. Entretanto, as culturas apresentam diferentes respostas à aplicação de calcário. Objetivou-se com o presente estudo avaliar o efeito de diferentes doses de calcário no crescimento e acúmulo de nutrientes na parte aérea de pimenta-de-cheiro, *Capsicum chinense* Jacq. cultivada num Latossolo Amarelo distrófico típico, textura argilosa, em casa de vegetação. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com seis tratamentos (0; 250; 500; 750; 1500 e 2000 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico) e quatro repetições, sendo cada unidade experimental constituída por 3 plantas por vaso. Aos 60 dias após o transplântio, foram avaliadas a altura, diâmetro do coleto, matéria seca da parte aérea, matéria seca das raízes, o conteúdo e a eficiência nutricional de N, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe e Mn das plantas. Verificou-se que a adição de doses crescentes de calcário aumentou linearmente as características biológicas da pimenta-de-cheiro, principalmente a produção de massa seca. As concentrações dos nutrientes no tecido vegetal aumentaram de forma linear, com exceção do Fe.

Palavras-chave - Calagem. *Capsicum chinense* Jacq. Eficiência nutricional.

Abstract - The acidity of tropical soils can affect development of agronomic species, making necessary the liming, however, crops show different responses to lime application. This study aimed to evaluate the effect of lime levels on growth and nutrients content in aerial part of habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.), cultivated on a Yellow Latosol Dystrophic typic, clayey texture, in a greenhouse. The experimental design consisted of randomized design, with six doses of lime (0; 250; 500; 750; 1500; 2000 kg ha⁻¹), four replications and three plants per pot in each plot. Up to sixty days after transplanting, were evaluated height, diameter, shoot dry matter, root dry matter, content and nutritional efficiency of N, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe and Mn. Was observed that the addition of increasing doses of lime led to linear gains in the biological characteristics of habanero pepper, mainly in dry matter production. Furthermore, higher concentrations of nutrients in shoot dry matter were found in treatments that received higher doses of amendment, except the Fe.

Key words - *Capsicum chinense* Jacq. Liming. Nutritional efficiency.

* Autor para correspondência

Enviado para publicação em 04/02/2014 e aprovado em 06/07/2014

¹Mestrando em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas), Depto. de Ciência do Solo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"-ESALQ/ Universidade de São Paulo-USP, Piracicaba-SP, Brasil, arnon@usp.br

²Professor Adjunto, Depto. de Engenharia Agrícola e Solos-DEAS, Universidade Federal do Amazonas-UFAM, Manaus-AM, Brasil, ziltonlopes@ufam.edu.br

³Professor Titular, Depto. de Engenharia Agrícola e Solos-DEAS-UFAM, Manaus-AM, Brasil, ctucci@ufam.edu.br

⁴Doutoranda em Agronomia Tropical, Faculdade de Ciências Agrárias-FCA/Universidade Federal do Amazonas-UFAM, Manaus-AM, Brasil, tainahbenlolo@gmail.com

Introdução

O gênero *Capsicum* compreende um grupo altamente diversificado de pimentas doces e quentes. Dentre as espécies desse gênero, destaca-se a espécie *Capsicum chinense* Jacq., popularmente conhecida como pimenta-de-cheiro, pela elevada importância econômica, devido principalmente à alta demanda local dos frutos *in natura*, secos e moídos ou na forma de molhos, fato que tem contribuído para a implantação de cultivos comerciais com essa hortaliça, os quais constituem importantes fontes de renda para as populações locais da Amazônia (NASCIMENTO FILHO *et al.*, 2007).

A baixa fertilidade dos solos amazônicos constitui num dos principais entraves ao cultivo de hortaliças na região, que aliada à falta de informação sobre as exigências nutricionais das espécies nativas, impede a adoção de um adequado manejo do solo. Os solos dos ecossistemas de terra firme da Amazônia geralmente possuem baixos teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), cálcio (Ca), magnésio (Mg), boro (B), cobre (Cu) e zinco (Zn), apresentando ainda elevada acidez, com pH, geralmente, abaixo de 4,5, baixa saturação por bases e elevados níveis de alumínio trocável (DEMETTÊ; DEMATTÊ, 1993). Essas condições comprometem a produtividade da maioria das espécies vegetais, pois o estado nutricional de uma planta altera sua taxa de desenvolvimento, a intensidade de crescimento e mesmo características morfológicas específicas (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Quanto aos efeitos do caráter ácido desses solos no desenvolvimento das plantas, elevados teores de Al trocável reduzem o crescimento radicular, especialmente o ápice das raízes. Além disso, baixos teores de Ca podem afetar negativamente o crescimento radicular, enquanto que a eficiência fotossintética é reduzida na indisponibilidade de Mg (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Por outro lado, esses problemas podem ser atenuados com a aplicação de corretivos, sendo que, quando aplicados calcários e fertilizantes aos solos amazônicos, a produtividade das culturas aumenta significativamente, passando a ser equivalentes às observadas em solos com características químicas mais favoráveis.

Em relação à pimenta-de-cheiro, apesar de serem escassos os estudos que investigam as exigências nutricionais dessa espécie, bem como sua sensibilidade à acidez do solo, os resultados mostram que o crescimento e produtividade da mesma são influenciados pelo fornecimento de alguns nutrientes, como N (LARA *et al.*, 2008) e P (GÓMEZ *et al.*, 2008). Lara *et al.* (2008) também demonstraram a influência positiva do fornecimento de N no acúmulo de capsaicina, grupo amídico responsável pela pungência dos frutos da pimenta-de-cheiro.

Apesar de ocorrer em solos de baixa fertilidade natural, a resposta positiva da pimenta-de-cheiro ao fornecimento de nutrientes sugere que o desenvolvimento da espécie também possa ser influenciado pela correção da acidez do solo, tendo em vista que esta prática favorece a disponibilidade dos nutrientes presentes no solo e absorção pelas plantas. Dentre os efeitos favoráveis da calagem, citam-se principalmente a redução da saturação por Al^{3+} e a elevação do pH do solo (LOPES *et al.*, 1991). O nível adequado dos nutrientes no solo para o desenvolvimento das plantas geralmente é obtido em valores de pH em torno de 6,0 (FAGERIA; ZIMMERMANN, 1998). Nessa condição há aumento da mineralização da matéria orgânica, da disponibilidade de bases como Ca, Mg e K, além da diminuição da fixação de P e S (LOPES *et al.*, 1991).

Apesar dos efeitos benéficos da aplicação do calcário, a quantidade a ser utilizada depende do tipo de solo, da qualidade do material, dos custos, e das exigências das espécies ou mesmo de cultivares (FAGERIA; BALIGAR, 2008). Diante do exposto, objetivou-se com o presente estudo avaliar o crescimento inicial, o acúmulo de nutrientes e a eficiência nutricional em plantas de pimenta-de-cheiro em resposta a doses de calcário, em condições de casa de vegetação.

Material e métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação tipo capela (3 m de pé direito, 8 m de largura e 20 m de comprimento, coberta com plástico de polietileno transparente de 150 micras de espessura). Utilizou-se como substrato uma amostra subsuperficial (20 a 40 cm) de um Latossolo Amarelo distrófico típico, textura argilosa, proveniente de área de mata secundária localizada no Mini *Campus* da Universidade Federal do Amazonas.

Antes da instalação do experimento, uma amostra do solo foi preparada e submetida a análises químicas e físicas, apresentando as seguintes características: 60,7 g kg^{-1} de caulinita; 12,2 g kg^{-1} de gibbsita; 2,32 g kg^{-1} de goethita (RESENDE *et al.*, 1987); 300 g kg^{-1} de areia; 300 g kg^{-1} de silte; 400 g kg^{-1} de argila; pH em água: 4,0; 29,8 mg L^{-1} de P-rem; 12 g kg^{-1} de matéria orgânica; 1 mg dm^{-3} de P (Mehlich 1); 8 mg dm^{-3} de K^{+} ; 1 mmol dm^{-3} de Ca^{2+} ; 1 mmol dm^{-3} de Mg^{2+} ; 14 mmol dm^{-3} de Al^{3+} ; 79 mmol dm^{-3} de H + Al; 0,1 mg dm^{-3} de Zn^{2+} ; 220,3 mg dm^{-3} de Fe^{2+} ; 0,2 mg dm^{-3} de Mn^{2+} ; 0,2 mg dm^{-3} de Cu^{2+} ; 0,2 mg dm^{-3} de B e 59,4 mg dm^{-3} de S (EMBRAPA, 2009).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com seis tratamentos: 0 (T0); 250 (T1); 500 (T2); 750 (T3); 1500 (T4) e 2000 (T5) kg

ha⁻¹ de calcário (carbonato de cálcio p.a. + carbonato de magnésio p.a., relação Ca:Mg de 4:1 e PRNT de 100%) e quatro repetições, sendo cada unidade experimental constituída por três plantas por vaso, totalizando doze plantas por tratamento. Os tratamentos visaram ajustar o Al³⁺ para 14 (T0); 12 (T1); 10 (T2); 8,0 (T3); 4,0 (T4) e 0,0 (T5) mmol_c dm⁻³, com base em curva de incubação previamente realizada.

Após a aplicação dos tratamentos, o solo foi incubado por um período de 30 dias em vasos de polietileno com capacidade de 12 dm³. A umidade foi mantida em 60% do volume total de poros, por meio de pesagens diárias dos vasos e adição de água deionizada. Após o período de incubação dos tratamentos, foi aplicada uma adubação básica levando-se em consideração as características químicas do solo, com 300 mg de N, 250 mg de P₂O₅, 140 mg de S e 300 mg de K por dm³, utilizando-se como fonte a ureia, o superfosfato simples e o cloreto de potássio, respectivamente. As adubações nitrogenada e potássica foram divididas em três aplicações de 100 mg dm⁻³ cada, sendo a primeira aplicada no momento do transplântio, e as demais após períodos de 20 dias cada. Quanto aos micronutrientes, foi utilizada a fonte comercial FTE BR - 12, adicionando-se uma dose equivalente a 1 g dm⁻³, sendo o solo incubado por um período de 20 dias após a adubação. Após esta incubação, foram coletadas amostras de solo para a determinação de pH, Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ (EMBRAPA, 2009) em todos os vasos.

As plântulas foram obtidas via sementes (Top Seed®), cuja germinação ocorreu em bandejas plásticas (40 cm de largura, 60 cm de comprimento e 10 cm de profundidade) com substrato à base de turfa (organomineral fósfil). Quando as plântulas atingiram a altura de 12 cm e dois pares de folhas definitivas, as mesmas foram selecionadas quanto à uniformidade e transplantadas para os vasos contendo os tratamentos.

Aos 60 dias após o transplântio, período correspondente à metade do ciclo cultural e início da floração, foram avaliadas a altura da parte aérea (cm) e o diâmetro do coleto (mm). Posteriormente as plantas foram colhidas e separadas em parte aérea (folhas + ramos + caule) e raízes. As diferentes partes foram lavadas em água destilada e secas em estufa de circulação forçada de ar, com temperatura variando de 65 a 70 °C, até atingirem massa constante. Após a secagem, foi determinada a massa da matéria seca da parte aérea (MSPA), raiz (MSR), em seguida a MSPA foi moída em moinho tipo Willey para ser analisada quimicamente.

O preparo do extrato e determinação analítica dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe e Mn foram realizados conforme Malavolta *et al.* (1997). Com base nos teores dos nutrientes e na produção de matéria seca da parte aérea,

foi calculado o acúmulo dos nutrientes na parte aérea. Os índices de eficiência de absorção (EA) e utilização (EU) dos nutrientes foram calculados de acordo com Araújo *et al.* (2003). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (5%). Foram ajustadas equações de regressão para o crescimento em altura e diâmetro do coleto, MSPA, MSR, e também para o acúmulo, eficiência de absorção e utilização dos nutrientes como variáveis dependentes das doses de calcário.

Resultados e discussão

O fornecimento de doses crescentes de calcário afetou positivamente e de forma linear as variáveis de crescimento da pimenta-de-cheiro (Figura 1), havendo maior incremento na produção de MSPA. Tal comportamento provavelmente está relacionado à melhoria dos atributos químicos do solo, como elevação do pH, dos teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ e diminuição do teor de Al³⁺ proporcionados pela calagem (dados não apresentados).

Na maior dose de calcário (2000 kg ha⁻¹) o pH do solo atingiu 5,14, os teores de Ca e Mg subiram para 16,4 e 13,1 mmol_c dm⁻³ respectivamente, enquanto o teor de Al³⁺ foi reduzido para 1,9 mmol_c dm⁻³. A recomendação da correção da acidez do solo para o cultivo de espécies do gênero *Capsicum* tem sido amplamente relatada na literatura. Lopes *et al.* (1991) recomendam a elevação da saturação por bases do solo para 70% e o pH em torno de 6,0 no cultivo do pimentão (*C. annuum*), sendo que Casali e Fontes (1999) citam a necessidade do teor de mínimo de Mg no solo em torno de 10 mmol_c dm⁻³ no cultivo dessa espécie, condições que na maioria dos solos tropicais só podem ser alcançadas com a aplicação de corretivos.

No caso do presente estudo, o comportamento das plantas cultivadas nos tratamentos que receberam aplicação de calcário provavelmente está associado também à atenuação dos efeitos diretos da acidez do solo no desenvolvimento das plantas, visto que altas concentrações de H⁺, notadamente em solos com pH abaixo de 4,0, podem desestabilizar as membranas celulares, provocando a perda de íons, como o Ca²⁺, e maior morte de células da raiz (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Nessa faixa de pH, existe ainda uma acentuada redução da disponibilidade da maioria dos nutrientes, exceto Fe, Cu, Mn e Zn (AMARANTE *et al.*, 2012).

Além disso, deve ser considerado que o alto teor de Al³⁺ observado nos solos ácidos, assim como o baixo pH, também altera o funcionamento normal das raízes, inibindo seu crescimento e bloqueando os mecanismos de aquisição e transporte de água e nutrientes (EPSTEIN; BLOOM, 2006), notadamente naqueles que possuem

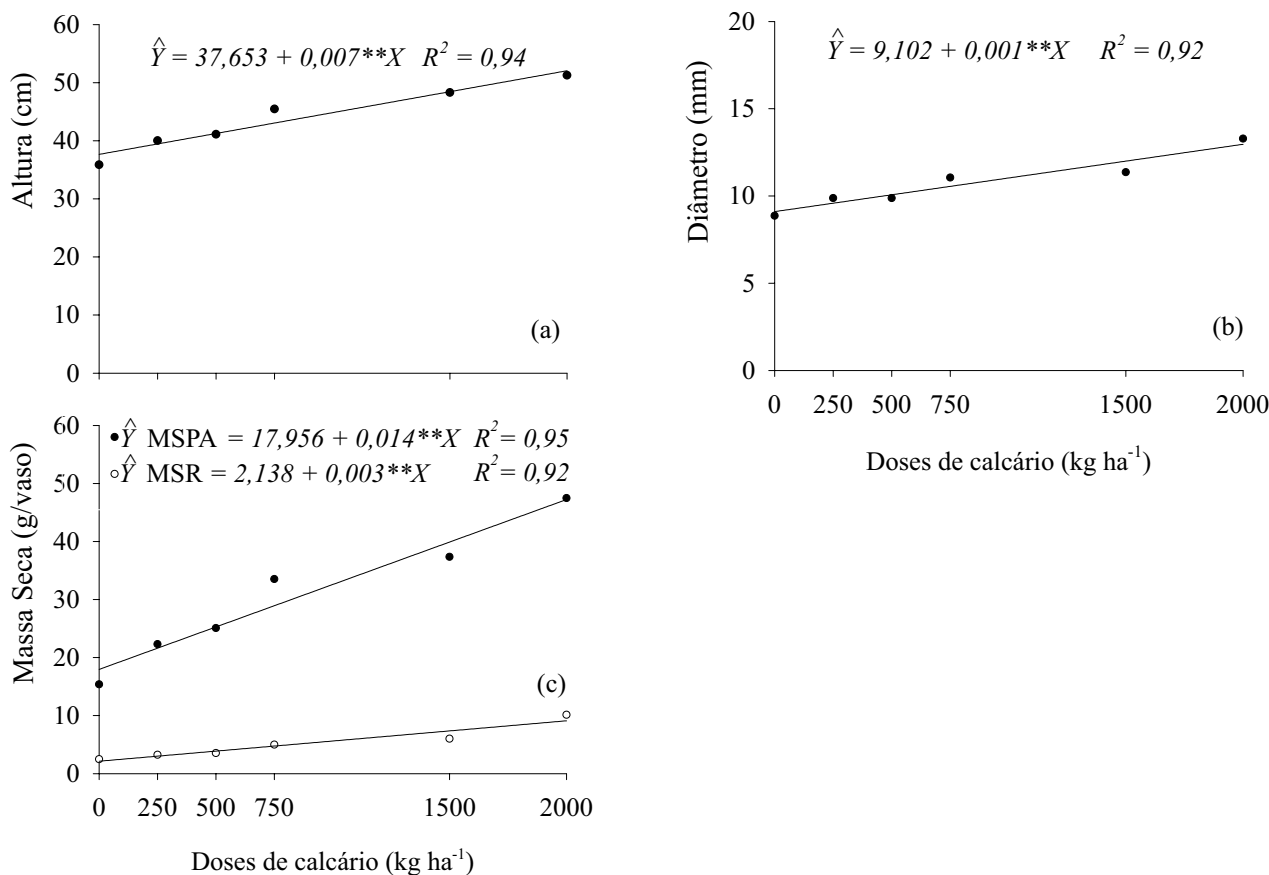


Figura 1 - Altura (a), diâmetro do coleto (b), massa seca da parte aérea (MSPA) e das raízes (MSR) (c) da pimenta-de-cheiro em função da adição de diferentes doses de calcário. **: significativo a 1% de probabilidade (teste de Tukey).

Figure 1 - Height (a), stem diameter (b), shoot dry matter (MSPA) and root dry matter (MSR) (c) of habanero pepper in function of lime levels. **: significant at 1% probability (Tukey test).

acima de $9,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Al^{3+} . Distúrbios estruturais em folhas de pimentão (*C. annuum* "Trapez") causados pela exposição a diferentes concentrações de Al em solução nutritiva foram observados por Konarska (2010), constatando efeitos como redução da área e espessura foliar, redução do tamanho das células e aumento na espessura de suas paredes celulares, além de alterações nos cloroplastos devido ao acúmulo excessivo de amido nas plantas cultivadas em todas as doses testadas.

Em relação ao presente estudo, os resultados sugerem que a pimenta-de-cheiro apresenta sensibilidade ao Al trocável, pois os tratamentos que receberam calagem apresentaram maior crescimento das plantas, de forma que

a aplicação de 2000 kg ha^{-1} de calcário reduziu o Al^{3+} de $14,5$ para $1,9 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$. No entanto, é improvável que o desempenho das plantas esteja relacionado apenas à redução do Al^{3+} , tendo em vista que na condição natural, o sistema radicular pode ser afetado por vários estresses, que atuam interativamente, como pH, composição iônica, e disponibilidade de bases.

Apesar do efeito positivo das doses crescentes de calcário, o comportamento apresentado pelas diferentes variáveis de crescimento sugere que as doses de corretivos testadas não superaram a capacidade metabólica da planta, existindo, portanto, um potencial de resposta da espécie no caso do fornecimento de doses maiores. Resultados

que se assemelham àqueles encontrados por Brandjes e Lauckner (1997) com aplicação de corretivos no cultivo do pimentão, no qual foram observados decréscimos nos incrementos das variáveis de crescimento só a partir da dose correspondente a 5,58 t ha⁻¹ de CaCO₃, quantidade superior à maior dose de corretivo fornecida no presente trabalho. Isto indica que nessa fase de crescimento, o fornecimento de doses maiores de calcário promoveria maiores respostas à planta, principalmente quando cultivado em solo com baixo pH, baixos teores de cálcio e magnésio, alto teor de alumínio trocável e acidez potencial, além de alta saturação por alumínio, como aquele utilizado neste estudo.

Por outro lado, observou-se que os incrementos nas diferentes características ocorreram de maneira variada em função do fornecimento de calcário, como verifica-se na Figura 1c o fornecimento de doses crescentes permite maior incremento na MSPA comparada às demais características biológicas. De maneira que para cada um kg ha⁻¹ de calcário adicionado ao solo, houve aumento médio na MSPA, MSR, altura e diâmetro de 0,014 g, 0,003 g, 0,007 cm e 0,001 mm (Figura 1), respectivamente.

No caso específico da produção de matéria seca, nota-se que, apesar de ambas MSPA e MSR serem influenciadas pela adição de doses crescentes do corretivo, o incremento nessas variáveis ocorreu de maneira diferente, como se observa nas suas respectivas equações de regressão (Figura 1c), onde os incrementos foram maiores para a MSPA. De modo que para cada um kg ha⁻¹ de calcário adicionado ao solo, há um aumento médio de 4,7 vezes na MSPA em relação à MSR. Tal comportamento provavelmente está relacionado com o fato de que em condições de restrição da disponibilidade de nutrientes, as plantas tendem a alocar maior proporção de fitomassa nas raízes (SHIPLEY; MEZIANE, 2002), enquanto que na condição de alta disponibilidade de nutrientes no solo, as plantas alocam maior proporção de fitomassa para as folhas e caules (POORTER; NAGEL, 2000). Portanto, considerando que a calagem altera o status químico do solo é provável que os diferentes níveis do calcário tenham alterado a disponibilidade de nutrientes e consequentemente promoveram mudanças no particionamento da fitomassa entre parte aérea e raízes (RICHTER *et al.*, 2011).

De modo geral, as hortaliças, em especial as pertencentes ao gênero *Capsicum*, são exigentes quanto às características químicas dos solos, havendo a necessidade da aplicação de grandes quantidades de nutrientes e corretivos para maximizar sua produtividade. Assim, a melhoria das características químicas do solo causadas pela aplicação do corretivo proporcionou à pimenta-de-cheiro condições mais adequadas ao seu crescimento, provavelmente por também permitir melhor aproveitamento dos nutrientes presentes no solo.

O padrão de resposta da pimenta-de-cheiro quanto ao acúmulo de nutrientes na parte aérea também foi dependente das doses de calcário, havendo aumento linear nos conteúdos, em resposta ao fornecimento de crescentes níveis do corretivo (Figura 2).

O aumento da absorção de N, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu e Mn mediante a correção da acidez do solo, provavelmente está relacionado aos benefícios que o calcário promove nos atributos químicos solo, notadamente na elevação do pH e diminuição da saturação por Al e alumínio ativo (Al³⁺), além da elevação da disponibilidade de Ca²⁺ e Mg²⁺. No caso do aumento do pH, este efeito provavelmente favoreceu a mineralização da matéria orgânica, processo que ocorre predominantemente em solos com valores de pH entre 5,0 e 6,0, liberando principalmente formas absorvíveis de N, P e S, além dos demais macro e micronutrientes em menores quantidades.

Com relação ao teor de Al³⁺, a diminuição deste provavelmente favoreceu a absorção de nutrientes, tendo em vista que o principal sintoma de toxidez por alumínio é a inibição do crescimento da raiz, a qual resulta num reduzido e deficiente sistema radicular e pode levar as plantas ao estado de deficiência nutricional e estresse hídrico (DEGENHARDT *et al.*, 1998). No presente estudo, observou-se acréscimo na MSR em função da aplicação de crescentes doses de calcário (Figura 1c) acompanhada de considerável redução na saturação por Al (1,9 mmol_c dm⁻³ na maior dose). Além disso, deve-se considerar também que proporcionalmente à diminuição da saturação por Al ocorreu a elevação da saturação por bases, a qual é na maior parte constituída por Ca²⁺, nutriente que favorece o desenvolvimento radicular (EPSTEIN; BLOOM, 2006) o que pode ter contribuído para aumento da absorção dos demais nutrientes.

Esses efeitos combinados resultaram na melhor absorção dos nutrientes e consequentes maiores acúmulos dos mesmos na parte aérea das plantas. Em relação ao acréscimo nos conteúdos de N e K, nutrientes nos quais verificou-se os maiores acúmulos, a maior absorção de um também pode ter contribuído para uma eficiência de absorção do outro. Lara *et al.* (2008) testando níveis de N e K no desenvolvimento de plantas de *C. chinense*, cultivadas num Luvisolo de baixa fertilidade sob condições controladas, constataram que houve sinergismo entre as absorções de N e K. No presente estudo, possivelmente a espécie já apresentaria um maior potencial de absorção de K em relação ao N, uma vez que na condição de dose zero de calcário, já havia um maior acúmulo de K. Todavia, são necessários estudos acerca da exigência da espécie por estes nutrientes para confirmação deste comportamento.

Dessa forma, a correção da acidez do solo ao favorecer a absorção de um nutriente pode ter aumentado a absorção dos demais, fato que pode explicar o aumento

no conteúdo dos micronutrientes catiônicos como Cu, Mn e Zn em função do aumento das doses de calcário, resultando na maior concentração destes nas plantas, pois o esperado seria a diminuição da absorção dos mesmos devido à redução da solubilidade desses micronutrientes catiônicos na solução do solo decorrente da precipitação pela elevação do pH (RHOTON, 2000).

Por outro lado, deve-se considerar também que esta elevação do pH não foi tão acentuada, atingindo

apenas 5,14 na maior dose de corretivo, fato que também pode ter contribuído para a não diminuição na absorção dos micronutrientes. Em relação ao conteúdo de Fe, este não diferiu estatisticamente em função dos tratamentos, provavelmente devido ao seu alto coeficiente de variação (C.V. = 39,7%). Tal comportamento possivelmente seja devido à precipitação deste nas maiores doses de calcário, tendo em vista o efeito fortemente restritivo da elevação do pH na disponibilidade de Fe (NUNES *et al.*, 2004).

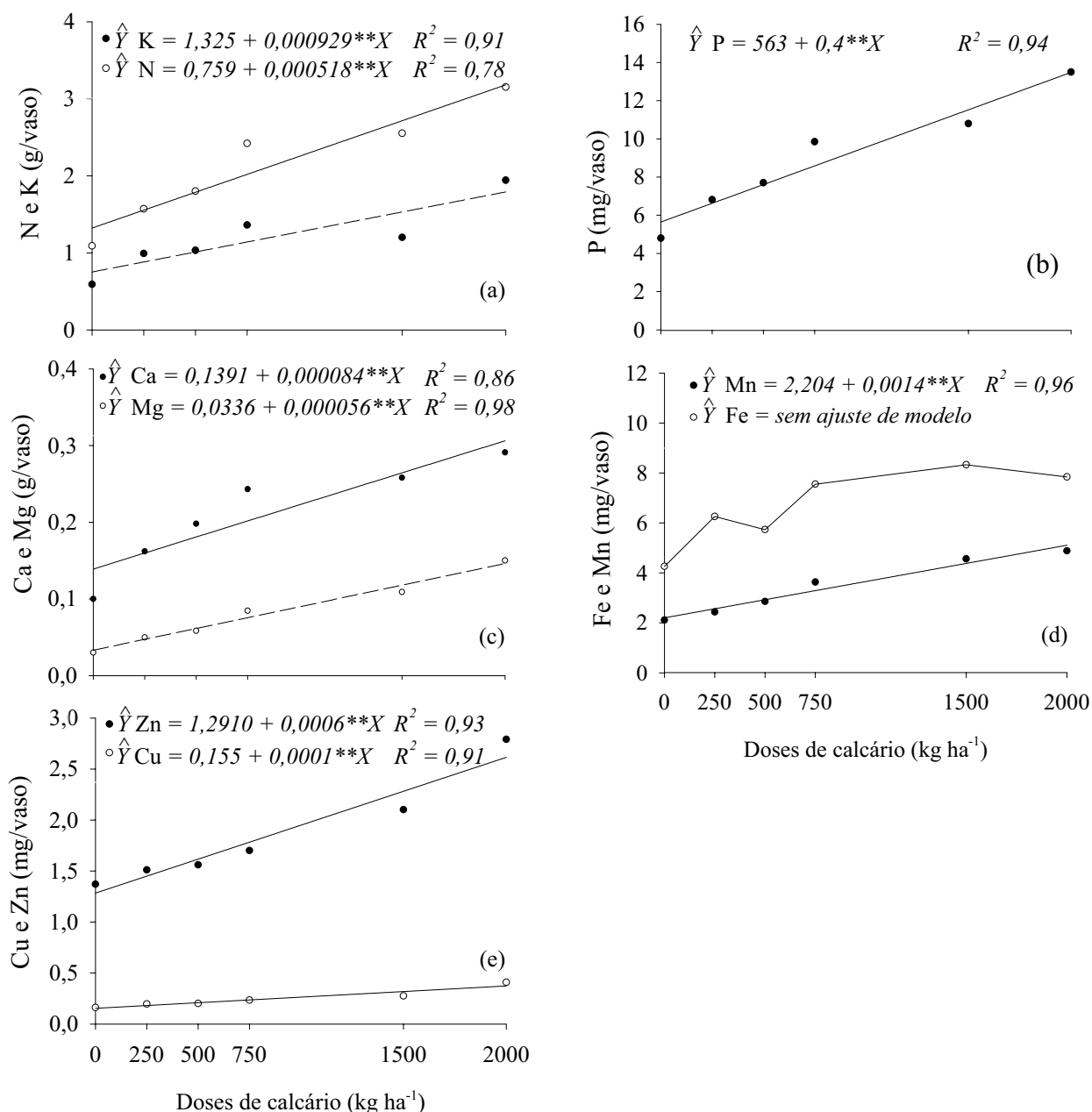


Figura 2 - Conteúdos de N (a), K (a), P (b), Ca (c), Mg (c), Fe (d), Mn (d), Cu (e) e Zn (e) na parte aérea da pimenta-de-cheiro em função da adição de diferentes doses de calcário. **: significativo a 1% de probabilidade (teste de Tukey).

Figure 2 - Contents of N (a), K (a), P (b), Ca (c), Mg (c), Fe (d), Mn (d), Cu (e) and Zn (e) of habanero pepper in function of lime levels. **: significant at 1% probability (Tukey test).

No entanto, apesar da pequena redução no conteúdo de Fe, o teor deste nutriente no tratamento que recebeu a maior dose de corretivo permaneceu alto (165 mg kg⁻¹), demonstrando que a diminuição no incremento do conteúdo do Fe proporcionado pela aplicação do calcário não induziu à deficiência deste micronutriente, tendo em vista que plantas deficientes em Fe geralmente apresentam teores foliares abaixo de 10 mg kg⁻¹ (FURLANI, 2004).

No caso do P, a maior parte do incremento no seu conteúdo deve-se provavelmente à diminuição da adsorção dos íons fosfato, fenômeno que ocorre devido a forte afinidade existente entre este elemento e os minerais predominantes na fração argila do solo utilizado neste trabalho, caulinita e óxidos de Fe e Al (CESSA *et al.*, 2009), notadamente em baixos valores de pH (SOUZA *et al.*, 2006). No entanto, com o aumento do pH proporcionado pela calagem, há uma redução na adsorção do fosfato, aumentando sua disponibilidade para as plantas (LOPES *et al.*, 1991), efeito que possivelmente favoreceu o acúmulo de P na pimenta-de-cheiro.

A exigência de P pela pimenta-de-cheiro foi verificada por Gómez *et al.* (2008), que estudando plantas de *C. chinense* “Habanero” cultivada em seis diferentes solos (Cambissolo crômico, Chernossolo, Cambissolo carbonático, Neossolo lítólico, Luvissole vértico e Vertissolo) sob dois níveis de P (0 e 87 mg dm⁻³) em condição de casa de vegetação, constataram que as mesmas apresentaram resposta positiva à adubação fosfatada.

Ainda naquele estudo, o nível crítico de P no solo para o cultivo da pimenta-de-cheiro foi 11,9 mg dm⁻³ (R² = 0,80), considerando que na adubação básica do presente trabalho foram fornecidos 109 mg dm⁻³, fica evidente o efeito da calagem sobre a disponibilidade e a absorção do P pela pimenta-de-cheiro, pois, sem a aplicação de calcário houve restrição na absorção deste nutriente mesmo que aplicado em quantidade muito superior ao seu nível crítico no solo, reforçando a necessidade da correção da acidez do solo para o aumento da eficiência do uso do P aplicado no cultivo da pimenta-de-cheiro, o que é confirmado pelo acréscimo de 0,400 mg planta⁻¹ deste nutriente a cada quilograma de calcário adicionado (R² = 0,94) (Figura 2b).

Apesar da correção da acidez do solo ter proporcionado respostas lineares no acúmulo dos nutrientes, com exceção do Fe, a taxa de incremento foi bastante específica para cada nutriente, de maneira que o maior incremento foi observado para o P, seguido por Mn, K, Zn, N, Cu, Ca e Mg, respectivamente (Figura 2). No caso do P, estes resultados reforçam a forte correlação existente entre a correção da acidez e a disponibilidade de P (AMARANTE *et al.*, 2012), tendo em vista que o incremento na absorção deste nutriente foi cerca de 10

vezes maior que a de Mn, nutriente com o segundo maior incremento.

Considerando que o pH ideal para o cultivo dos solos tropicais está em torno de 5,5 a 6,2, é provável que os ajustes lineares observados, em parte se devem ao fato das doses adicionadas não terem neutralizado todo o H⁺ presente na solução do solo, em virtude da sua alta capacidade tampão, pois a maior dose do corretivo proporcionou um pH de 5,14, o que pode ter contribuído para tais comportamentos, assim como a saturação por bases, a qual atingiu 43,12%, nível abaixo do adequado para o cultivo de outras pimentas do gênero *Capsicum* (LOPES *et al.*, 1991; CASALI; FONTES, 1999). Dessa forma, há possibilidade desta espécie responder positivamente quanto ao crescimento e absorção de nutrientes com adição de doses ainda maiores de calcário, o que justifica a condução de novos estudos, testando níveis maiores que aqueles utilizados no presente trabalho.

As eficiências de absorção de Ca (EACa) e Mg (EAMg) pela pimenta-de-cheiro, que se referem às relações entre as quantidades desses nutrientes que foram absorvidas e acumuladas na MSPA e as fornecidas, foram alteradas pelas doses crescentes de calcário (Figura 3).

Houve diminuição na EACa e EAMg das plantas mediante o aumento da dose do corretivo, sendo as maiores médias observadas com a aplicação da menor dose, comportamento inverso ao verificado para o acúmulo destes nutrientes, mostrando que a capacidade de absorção não foi proporcional à dose aplicada. Considerando que a interceptação radicular e o fluxo de massa são os principais processos de contato entre esses nutrientes e a superfície radicular, esperava-se uma maior absorção de Ca²⁺ e Mg²⁺ nas plantas com sistema radicular mais desenvolvido.

No entanto, quando o acesso à superfície radicular não é limitante, como nesse caso, alguns fatores internos passam a ser os principais reguladores da absorção de íons. Entre eles está o estado iônico interno, que ocasiona a redução da absorção de um nutriente quando sua concentração interna é alta (MALAVOLTA *et al.*, 1997), o qual pode ter contribuído para as menores médias das eficiências de absorção de Ca e Mg nos tratamentos com maior conteúdo destes nutrientes. Todavia, são necessários mais estudos sobre os mecanismos sinalizadores da absorção de Ca e Mg em plantas de pimenta-de-cheiro.

Foram observados progressivos declínios na eficiência de utilização, índice relacionado à produção de MSPA por unidade de nutriente acumulada de Mg (EUMg) com o incremento das doses de calcário, enquanto que a EUCa não foi afetada (Figura 3). A diminuição da EUMg indica que a produção de MSPA não foi proporcional ao aumento do conteúdo de Mg observado nas plantas que receberam as maiores doses do corretivo, apontando um

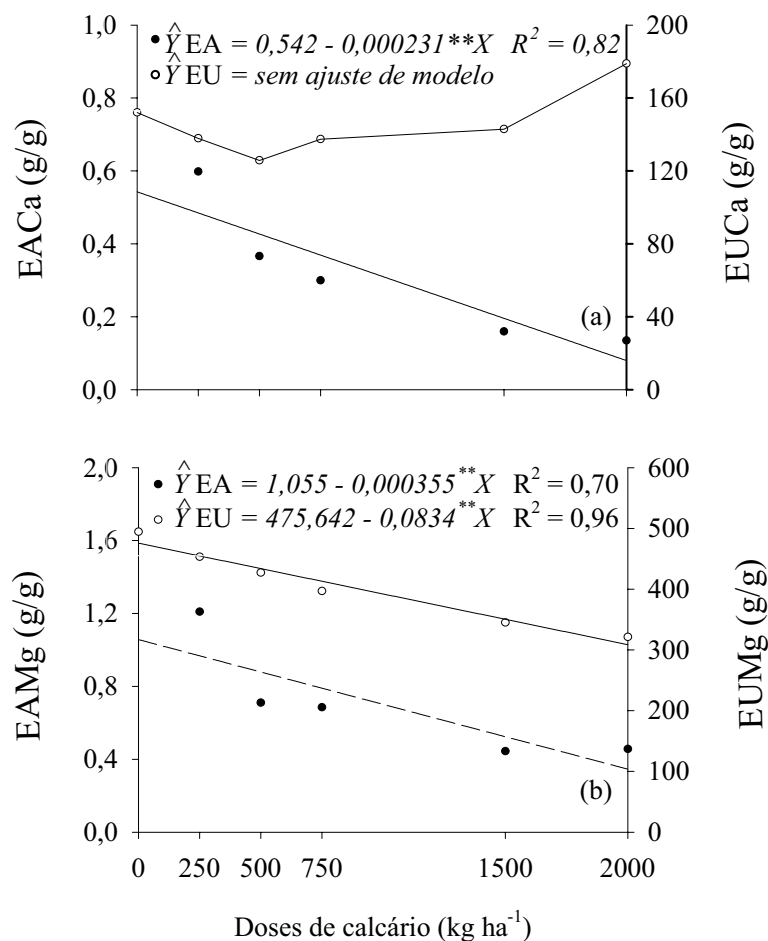


Figura 3 - Eficiências de absorção (EA) e utilização (EU) de Ca (a) e Mg (b) da pimenta-de-cheiro em função da adição de diferentes doses de calcário. **: significativo a 1% de probabilidade (teste de Tukey).

Figure 3 - Absorption efficiency (EA) and use efficiency (EU) of Ca (a) and Mg (b) of habanero pepper in function of lime levels. **: significant at 1% probability (Tukey test)

nivelamento do incremento deste nutriente para a produção de MSPA, apesar de haver aumento do seu conteúdo na planta.

A maior EUMg nas plantas que não receberam a aplicação do corretivo aponta que condições de baixa disponibilidade de Mg induzem as plantas a melhor utilizar o nutriente absorvido. Esses resultados sugerem um baixo potencial de reposta da pimenta-de-cheiro ao fornecimento de doses de Mg²⁺ maiores que 13 mmol_c dm⁻³, teor obtido na maior dose de calcário. São raros os trabalhos que investigam a EUMg nas diferentes culturas, no entanto, tem sido observado a diminuição da eficiência de utilização à medida que se aumenta os conteúdos de alguns nutrientes, como N (KOLCHINSKI; SCHUCH, 2003) e P (RESENDE *et al.*, 2006), entre outros, sendo

as eficiências de utilização desses nutrientes máximas em situação de menor disponibilidade, comportamento observado para a EUMg no presente trabalho. Com relação à EUCa, a não alteração desta sugere que a MSPA aumentou de forma proporcional ao incremento no acúmulo de Ca observado nas plantas que receberam as maiores doses do corretivo.

Tal comportamento indica um potencial de resposta da pimenta-de-cheiro ao fornecimento de Ca²⁺ em quantidades mais elevadas que as proporcionadas pelas maiores doses do corretivo utilizadas neste estudo, justificando em parte o ajuste linear das variáveis de crescimento avaliadas (Figura 1). Esses resultados indicam que o uso de calcários com menor quantidade de Mg, como calcítico e magnésiano, seria mais adequado para o cultivo

da pimenta-de-cheiro, tendo em vista que estes geralmente apresentam menor custo, contrastando com Moreira *et al.* (2010), que recomenda a aplicação de calcário dolomítico para o cultivo dessa espécie.

Quanto à eficiência de absorção e utilização dos nutrientes fornecidos na adubação básica, nota-se que, de forma geral, houve aumentos lineares na eficiência de absorção, enquanto que a eficiência de utilização não foi afetada mediante a aplicação do corretivo (dados não apresentados). Assim, a eficiência de absorção desses nutrientes acompanhou o comportamento dos seus conteúdos, ratificando que a correção da acidez do solo melhora o aproveitamento dos nutrientes fornecidos à pimenta-de-cheiro. Enquanto que a eficiência de utilização indica que a produção de MSPA também foi proporcional ao aumento no conteúdo desses nutrientes, não havendo consumo de luxo destes.

Conforme os resultados da eficiência de absorção e utilização de Ca e Mg, a resposta linear da espécie para as características biológicas está mais relacionada à sua demanda por Ca maior que as quantidades fornecidas, quando comparada à demanda por Mg ou elevação do pH promovida pela calagem. Por outro lado, com o aumento das doses de calcário é provável que as repostas à maioria dos nutrientes sejam ainda melhores, pois não houve superação da capacidade absorptiva destes com as doses de calcário aplicadas.

Conclusão

O crescimento inicial e o acúmulo de nutrientes da pimenta-de-cheiro foram favorecidos pela correção da acidez do solo, sendo que as plantas apresentaram potencial para responder à aplicação de doses maiores que 2.000 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico. Todavia, o uso de calcários com menor quantidade de Mg é o mais adequado, devido à maior exigência das plantas por Ca.

Literatura científica citada

AMARANTE, C. V. T.; ERNANI, P. R.; SOUZA, A. G.; STEFFENS, C. A. Calagem e adubação fosfatada favorecem o crescimento do capim-limão, *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 14, p. 92-96, 2012.

ARAÚJO, A. B.; RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; ALVES, V. M. C.; SANTOS, J. Z. L. Eficiência nutricional do milho em resposta a fontes e modos de aplicação de fósforo. **Revista Ceres**, v. 50, p. 225-235, 2003.

BRANDJES, P. J.; LAUCKNER, F. B. On-farm assessment of two liming materials in cabbage and hot pepper cultivation on acid sulphate soil in Guyana. **Experimental Agriculture**, v. 33, p. 225-235, 1997.

CASALI, V. W.; FONTES, P. C. R. Cultura do pimentão. In: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5º Aproximação. Viçosa, MG: CFSEMG, Cap. 14, 1999, 105p.

CESSA, R. M. A.; CELI, L.; VITORINO, A. C. T.; NOVELINO, J. O.; BARBERIS, E. Área superficial específica, porosidade da fração argila e adsorção de fósforo em dois Latossolos Vermelhos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1153-1162, 2009.

DEGENHARDT, J.; LARSEN, P. B.; HOWELL, S. H. Aluminum resistance in the Arabidopsis mutant alr-104 is caused by an aluminum-induced increase in rhizosphere pH. **Plant Physiology**, v. 117, p. 19-27, 1998.

DEMATTE, J. L. I.; DEMATTE J. A. M. Comparações entre as propriedades químicas de solos das regiões da floresta amazônica e do cerrado do Brasil central. **Scientia Agricola**, v. 50, p. 272-286, 1993.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectivas. Londrina: Editora Planta, 2006. 401 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2. ed. Brasília: Informação Tecnológica, 2009. 628 p.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Ameliorating soil acidity of tropical Oxisols by liming for sustainable crop production. **Advances in Agronomy**, v. 99, p. 345-431. 2008.

FAGERIA, N. K.; ZIMMERMANN, F. J. P. Influence of pH on growth and nutrient uptake by crop species in an Oxisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 29, p. 2675-2682, 1998.

FURLANI, A. M. C. Nutrição mineral. In: KERBAUY, G. B. Fisiologia Vegetal. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. Cap. 10, p. 40-75.

GÓMEZ, L. B.; FREGOSO, M. S.; VILLARREAL, V. C.; COHUO, E. V.; PÉREZ, G. P. Correlación y calibración del análisis de fósforo en suelos de Yucatán, México, para el cultivo de chile habanero. **Agrociência**, v. 42, p. 21-27, 2008.

KOLCHINSKI, E. M.; SCHUCH, L. O. B. Eficiência no uso do nitrogênio por cultivares de aveia branca de acordo com a adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 1033-1038, 2003.

KONARSKA, A. Effects of aluminum on growth and structure of red pepper (*Capsicum annuum* L.) leaves. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 32, p. 145-151, 2010.

LARA, F. M.; MACHADO, I. E.; ARJONA, R. P.; LAU, N. R.; GUZMÁN-ANTONIO, A.; ESTEVEZ, M. M. Influence of nitrogen and potassium fertilization on fruiting and capsaicin content in habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). **Hort Science**, v. 43, p. 1549-1554, 2008.

LOPES, A. S.; SILVA, M. C.; GUILHERME, L. R. G. Acidez do solo e calagem. São Paulo: ANDA, 1991. 22 p.

- MALAVOLTA, E; VITTI, G. C; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.
- MOREIRA, A.; TEIXEIRA, P. C.; ZANINETTI, R. A.; PLÁCIDO JÚNIOR, C. G. Fertilizantes e corretivo da acidez do solo em pimenta-de-cheiro (*Capsicum chinense*) cultivada no estado do Amazonas (1ª aproximação). Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2010. 18 p.
- NASCIMENTO FILHO, H. R.; BARBOSA, R. I.; LUZ, F. J. F. Pimentas do gênero *Capsicum* cultivadas em Roraima. **Acta Amazônica**, v. 37, p. 561-568, 2007.
- NUNES, F. N.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; GEBRIM, F. O.; SÃO JOSÉ, J. F. B. Fluxo difusivo de ferro em solos sob influência de doses de fósforo e de níveis de acidez e umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 423-429, 2004.
- POORTER, H.; NAGEL, O. The role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, CO₂, nutrients and water: a quantitative review. **Journal of Plant Physiology**, v. 27, p. 595-607, 2000.
- RESENDE, A. V.; FURINI NETO, A. E.; ALVES, V. M. C.; MUNIZ, J. A.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KIMPARA, D. I.; SANTOS, J. Z. L.; CARNEIRO, L. F. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 453-466, 2006.
- RESENDE, M.; BAHIA FILHO, A. F. C.; BRAGA, J. M. Mineralogia da argila de Latossolos estimada por alocação a partir do teor total de óxidos do ataque sulfúrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 11, p.17-23, 1987.
- RHOTON, F. E. Influence of time on soil response to no-till practices. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 700-709, 2000.
- RICHTER, A. K.; YASUHIRO, H.; LUSTER, J.; FROSSARD, E.; BRUNNER, I. Soil base saturation affects root growth of European beech seedlings. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 174, p. 408-419, 2011.
- SHIPLEY, B.; MEZIANE, D. The balanced-growth hypothesis and the allometry of leaf and root biomass. **Functional Ecology**, v. 16, p. 326-331, 2002.
- SOUZA, R. F.; FAQUIN, V.; TORRES, P. R. F.; BALIZA, D. P. Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 975-983, 2006.