

Teores de fósforo no solo e produção de alface crespa em função de adubação fosfatada

Phosphorus levels in soil and lettuce production due to phosphorus fertilization

José Ricardo Mantovani^{1*}; Igor Arthur da Costa Oliveira²; Douglas José Marques¹; Adriano Bortolotti da Silva¹; Paulo Roberto Corrêa Landgraf¹

Resumo

As hortaliças folhosas são consideradas exigentes em nutrientes, mas são escassos na literatura trabalhos sobre adubação fosfatada. O presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da adubação fosfatada na produção de alface crespa, nos teores e quantidades acumuladas de P na parte aérea das plantas e relacionar teores de P em solo de textura argilosa com a produção das plantas. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em vasos, em delineamento em blocos ao acaso, com dez tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos constituíram-se de doses de P, correspondentes a 0; 50; 100; 150; 200; 300; 400; 500; 600 e 700 mg dm⁻³, como superfosfato triplo, em pó. Porções de 6 dm³ de solo de textura argilosa (420 g kg⁻¹ de argila) receberam calcário dolomítico, visando elevar o V % do solo a 70 % ; o equivalente a 20 t ha⁻¹ de esterco de bovino e o adubo fosfatado de acordo com os tratamentos, permaneceram incubando por aproximadamente 30 dias. Ao final da incubação, cada vaso recebeu uma muda de alface crespa cultivar Verônica. A colheita das plantas foi realizada 39 dias após o transplântio das mudas. O P proporcionou grande aumento no crescimento e na produção de alface crespa, e a cultura respondeu positivamente à aplicação de altas doses do nutriente. A dose de 350 mg dm⁻³, equivalente, a 800 kg ha⁻¹ de P₂O₅, foi a mais adequada para o cultivo de alface crespa em solo de textura argilosa. Nas condições estudadas, a adubação fosfatada em alface crespa foi necessária quando os teores de P-Mehlich em solo de textura argilosa forem menores do que 75 mg dm⁻³.

Palavras-chave: *Lactuca sativa*, macronutriente, crescimento, nível crítico

Abstract

The leafy vegetables are considered nutrient-demanding, but are scarce in the literature works about phosphorus fertilization. This study aimed to evaluate the effect of phosphate on the production of lettuce, content and amount of P accumulated in leaf plants, and to relate levels of P in the clayey soil with plant production. The experiment was conducted in a greenhouse in pots in a randomized block design with ten treatments and four replications. The treatments were made up of P, corresponding to 0, 50, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600 and 700 mg dm⁻³, as triple superphosphate powder. Portions of 6 dm³ of the clay soil (420 g kg⁻¹ clay) received lime, aimed at raising the V % soil to 70 %, equivalent to 20 t ha⁻¹ of cattle manure, and the phosphate fertilizer according to the treatments, remaining incubated for about 30 days. At the end of incubation, each pot received a change of lettuce cultivar Verônica. The plant harvesting was performed 39 days after transplanting the seedlings. O P gave large increases in growth and production of lettuce, and culture responded positively to the application of high doses of

¹ Profs., Faculdade de Agronomia, Universidade José do Rosário Vellano, UNIFENAS, Alfenas, MG. E-mail: jose.mantovani@unifenas.br; douglas.marques@unifenas.br; adriano.silva@unifenas.br; paulo.landgraf@unifenas.br

² Discente do Curso de Agronomia, UNIFENAS, Alfenas, MG. E-mail: igor_tec_agri@hotmail.com

* Autor para correspondência

the nutrient. A dose of 350 mg dm⁻³, equivalent to 800 kg ha⁻¹ P₂O₅, was the most suitable for growing lettuce in the clay soil. In this work conditions, the phosphorus fertilizations it was necessary when the P-Mehlich contents in the clay soil were less than 75 mg dm⁻³.

Key words: *Lactuca sativa*, macronutrient, growth, critical level

Introdução

A alface é a hortaliça folhosa mais cultivada no Brasil (35 mil hectares), de maior aceitação pelos consumidores e mais importante na alimentação do brasileiro, o que assegura à cultura expressiva importância econômica (GRANGEIRO et al., 2006; BUFALO et al., 2012; BATISTA et al., 2012). Apresenta características nutricionais importantes, pois é fonte de vitaminas e de sais minerais, e devido ao baixo teor de calorias e a fácil digestão é recomendada para dietas alimentares ricas em fibras (MOTA et al., 2012). Dentre os grupos de alfaces, a alface crespa ainda é a mais plantada e com maior preferência dos consumidores no Brasil (SALA; COSTA, 2012).

As hortaliças folhosas são consideradas exigentes em nutrientes (OLIVEIRA et al., 2004). Como a maioria das plantas, as quantidades de P acumuladas na alface são baixas comparadas às de K e de N (GRANGEIRO et al., 2006; KANO; CARDOSO; VILLAS BÔAS, 2011), mas a cultura apresenta grande resposta à sua aplicação ao solo (LANA et al., 2004). Isso é devido à baixa disponibilidade de P nos solos de regiões tropicais, em função da elevada capacidade de adsorção do nutriente pelo solo e a formação de precipitados com Fe e Al na solução do solo, em valores de pH baixo (CORRÊA et al., 2003; ZAMBROSI et al., 2012), especialmente em solos argilosos.

A adubação fosfatada para o cultivo de alface não considera o grupo (crespa, lisa ou americana), sendo recomendadas doses de 200 a 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no Estado de São Paulo (TRANI; PASSOS; AZEVEDO FILHO, 1997), e de 50 a 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em Minas Gerais (FONTES, 1999), dependendo do teor do nutriente no solo. Entretanto, é comum por parte dos produtores de hortaliças o

uso de altas doses de adubos orgânicos e minerais, e o emprego de fórmulas contendo altos teores de P independente dos teores do nutriente no solo, sem seguir recomendações técnicas e sem realizar análise química para monitorar a fertilidade do solo. Associado a isso, como as hortaliças folhosas possuem ciclo curto e são feitos múltiplos cultivos ao longo do ano na mesma área, é frequente a presença de teores muito elevados de nutrientes de maneira geral e, particularmente de P no solo dessas áreas.

Trani (2012) recomenda manter os teores de nutrientes no solo na faixa de médio a alto para o cultivo de hortaliças. Segundo o autor, quando um nutriente atinge no solo um valor classificado como muito alto poderá ocorrer toxidez na planta; ou, interação entre nutrientes como inibição ou antagonismo. No caso do P, há uma inibição não competitiva do nutriente em relação ao Zn, sendo que altos teores de P no solo podem dificultar a absorção de Zn pelas plantas (MALAVOLTA, 2004). Moreira, Fontes e Camargos (2001) em cultivo de alface em solução nutritiva, constataram que os teores de Zn nas folhas, no nível alto de Zn na solução, diminuíram com a adição de P na solução. Os autores também verificaram que a produção de matéria seca das folhas de alface aumentou com a adição de Zn na solução, quando o nível de P presente na solução era normal ou alto.

Do ponto de vista ambiental, o P é considerado poluente quando em excesso na água, devido a eutroficação de rios e lagos, e a consequente diminuição no teor de oxigênio dissolvido nas águas superficiais, que acarreta a morte de peixes e de outros organismos aquáticos (RAIJ, 2011). De acordo com o autor, o nutriente chega às águas superficiais pela erosão do solo e, principalmente,

pelos esgotos urbanos.

São poucos os estudos recentes envolvendo a adubação fosfatada na cultura da alface (BONELA, 2010; KANO; CARDOSO; VILLAS BÔAS, 2012). Além disso, as informações encontradas na literatura indicam uma grande variação nas doses adequadas de P para o cultivo dessa hortaliça (NICOLAUD; MEURER; ANGHINONI, 1990; MOTA et al., 2003; BONELA, 2010). Também são escassos na literatura brasileira trabalhos de adubação com hortaliças folhosas visando correlacionar à produção dessas plantas com teores de nutrientes no solo, particularmente o P para a definição de níveis críticos. O nível crítico de um nutriente no solo é o teor abaixo do qual há grande possibilidade de resposta a sua aplicação, por meio da adubação, e acima do qual, essa possibilidade diminui (SIMÕES NETO et al., 2011).

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da adubação fosfatada na produção de alface crespa, nos teores e quantidades acumuladas de P na parte aérea das plantas, e relacionar teores de P em solo de textura argilosa com a produção dessa hortaliça.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em vasos com capacidade para 6,5 L, no período de março a junho de 2010. Utilizou-se amostra da camada arável (0 a 20 cm) de um Latossolo Vermelho distrófico, coletado em uma área de pastagem, com a seguinte caracterização química (SILVA, 1999) e granulométrica (CAMARGO et al., 2009): pH em H₂O = 5,5; M.O. = 29 g dm⁻³; P-Mehlich = 6 mg dm⁻³; K = 0,7 mmol_c dm⁻³; Ca²⁺ = 9 mmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 4 mmol_c dm⁻³; Al³⁺ = 2 mmol_c dm⁻³; H+Al = 40 mmol_c dm⁻³; SB = 14 mmol_c dm⁻³; CTC potencial (T) = 54 mmol_c dm⁻³; CTC efetiva (t) = 16 mmol_c dm⁻³; V = 26 %; m = 12 %; P-remanescente = 10 mg L⁻¹; argila = 420 g kg⁻¹; areia = 430 g kg⁻¹; silte = 150 g kg⁻¹.

Foi empregado delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições, sendo os tratamentos constituídos por 10 doses de fósforo (0; 50; 100; 150; 200; 300; 400; 500; 600; 700 mg dm⁻³ de P) aplicadas na forma de superfosfato triplo (41 % de P₂O₅) em pó. As doses foram definidas para que os teores de P disponível no solo variassem de muito baixo a muito alto para o cultivo de hortaliças, de acordo com as classes de interpretação apresentadas por Fontes (1999).

Porções de 6 dm³ de solo receberam calcário dolomítico (CaO = 39 %; MgO = 13 %; PN = 102 %; PRNT = 91 %), visando elevar a saturação por bases do solo a 70 %; 55 g de esterco de bovino equivalente, com base no volume de solo empregado, a 20 t ha⁻¹ (base seca) e o adubo fosfatado, de acordo com os tratamentos. Esses insumos foram misturados a seco com as porções de solo, que a seguir, foram transferidas para os vasos, umedecidas com água destilada a 70 % da capacidade de retenção de água, permanecendo em incubação por aproximadamente 30 dias. Durante a incubação, o controle da umidade do solo foi feito de dois em dois dias, por meio de pesagem dos vasos e reposição da água, para manter a umidade do solo a 70 % da capacidade de retenção.

Ao final da incubação, o solo foi retirado dos vasos, seco ao ar e posteriormente coletada amostra de 0,3 dm³ de cada vaso para análise de P disponível, empregando o extrator Mehlich 1, conforme descrito em Silva (1999). Após a amostragem, 5,7 dm³ de solo foram devolvidos para os vasos, reumedecidos a 70 % da capacidade de retenção de água, e foi realizada a adubação mineral de plantio na superfície do solo, em todos os vasos, por meio de solução, contendo: 20 mg dm⁻³ de S; 100 mg dm⁻³ de K; 20 mg dm⁻³ de N; 1 mg dm⁻³ de Zn e 0,5 mg dm⁻³ de B. A solução foi preparada empregando-se os reagentes p.a. K₂SO₄; KCl; NH₄NO₃; ZnSO₄ 7H₂O e H₃BO₃. No dia seguinte, em 22/04/2010, cada vaso recebeu uma muda de alface crespa, cultivar Verônica, previamente preparadas em bandejas de isopor de 200 alvéolos.

Durante o período de condução do experimento com plantas manteve-se a umidade do solo a cerca de 70 % da capacidade de retenção de água. Foram realizadas adubações de cobertura na superfície do solo, por meio de solução, aos 10, 20 e 30 dias após o transplantio das mudas, sendo que na primeira foram aplicados 20 mg dm⁻³ de N e 30 mg dm⁻³ de K; na segunda e na terceira foram adicionados 30 mg dm⁻³ de N. Para tanto, empregou-se as fontes p.a. NH₄NO₃ e KCl.

A colheita das plantas foi realizada em 30/05/2010, aos 38 dias após o transplantio. As plantas foram colhidas rente ao solo, sendo avaliados o diâmetro, altura, produção de matéria fresca e seca, e teor de P (CARMO et al., 2000). O P acumulado na parte aérea da alface foi obtido a partir do produto entre o teor de P na parte aérea e a produção de matéria seca das plantas.

Os resultados foram submetidos à análise de variância, teste F e regressão polinomial,

utilizando-se o programa estatístico AgroEstat - Versão 1.0 (BARBOSA; MALDONADO JÚNIOR, 2011). A determinação do nível crítico de P no solo pelo método gráfico de Cate Júnior e Nelson (1965), em que foram relacionados os teores de P disponível no solo, extraídos por Mehlich (eixo x) com a produção relativa (PR) de matéria seca (eixo y). A produção relativa foi obtida por meio da fórmula: PR (%) = (produção de matéria seca em cada tratamento/maior produção de matéria seca obtida no experimento) x 100.

Resultados e Discussão

A adubação fosfatada afetou significativamente a altura de plantas, o diâmetro transversal da parte aérea, a produção de matéria fresca, a produção de matéria seca, os teores e as quantidades acumuladas de P na parte aérea de alface (Tabela 1) e os teores de P no solo.

Tabela 1. Valores de F, coeficiente de variação (CV) e significância de parâmetros avaliados em plantas de alface crespa em função de adubação fosfatada

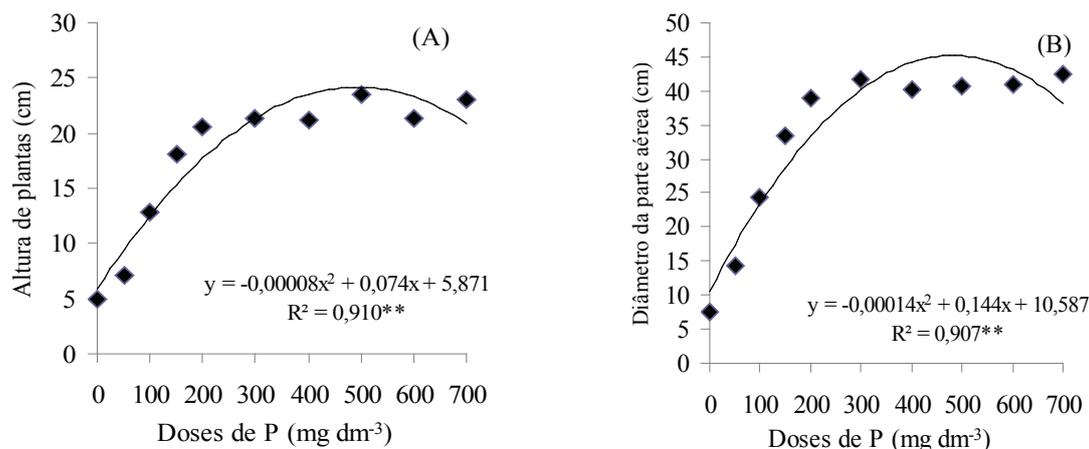
Causa de Variação	AP	DP	MF	MS	TP	P acum.
Doses de P	165,02**	274,22**	200,38**	203,17**	18,75**	86,05**
CV (%)	6,02	4,72	9,01	8,88	11,48	15,83

AP – Altura de plantas; DP – Diâmetro da parte aérea; MF – Matéria fresca da parte aérea; MS – Matéria seca da parte aérea; TP – Teores de P na parte aérea; P acum. – Quantidades acumuladas de P na parte aérea; ** significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Fonte: Elaboração dos autores.

A altura de plantas e o diâmetro transversal da parte aérea de alface apresentaram resposta quadrática à adubação fosfatada, sendo constatado aumento nessas características até as doses estimadas de 463 e 514 mg dm⁻³ de P, respectivamente (Figuras 1A e 1B). De acordo com a equação de regressão, a altura máxima de plantas (23 cm) seria 3,9; 2,5 e 1,8 vezes maior do que a dos tratamentos que receberam as menores

doses de P, 0; 50 e 100 mg dm⁻³, respectivamente. Em relação ao diâmetro da parte aérea, o maior valor estimado (43,8 cm) seria 4,5; 2,7 e 2 vezes maior do que o dos tratamentos que receberam as três menores doses de P (0; 50 e 100 mg dm⁻³). Verificou-se também, que 96 % da altura máxima e 92 % do diâmetro máximo de plantas seriam obtidos com a dose estimada de 350 mg dm⁻³ de P.

Figura 1. Altura (A) e diâmetro da parte aérea de alface crespa (B) em função de adubação fosfatada.

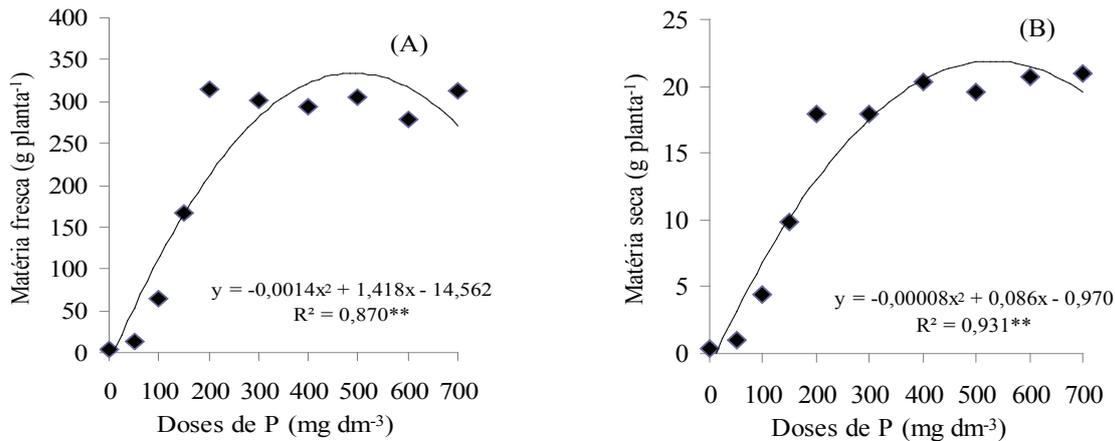
Fonte: Elaboração dos autores.

Resultados semelhantes foram obtidos por Lana et al. (2004) e por Kano, Cardoso e Villas Bôas (2012), que também detectaram aumento acentuado no crescimento de plantas de alface com a adubação fosfatada. Lana et al. (2004), em experimento em condições de campo, em solo com textura muito argilosa e com baixo teor de P disponível, observaram que a aplicação de 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅, como superfostato triplo, aumentou o diâmetro da parte aérea de plantas de alface crespa em 1,6 vezes em relação ao tratamento testemunha, sendo que o diâmetro das plantas nos tratamentos testemunha e no que recebeu superfostato triplo foram, respectivamente, 13,68 cm e 21,37 cm. Os maiores valores de diâmetro da parte aérea de alface obtidos no presente experimento em relação aos encontrados por Lana et al. (2004), possivelmente deve-se ao fato de que em experimento em vasos as raízes das plantas ficam mais confinadas, e assim tem maior contato e acesso ao P, em relação as plantas em condições de campo. Por outro lado, Kano, Cardoso e Villas Bôas (2012), em experimento em vasos, constataram aumento linear no crescimento, na produção de sementes e no número de sementes por plantas de alface crespa com a adição de doses de até 800 kg ha⁻¹ de P₂O₅, em solo arenoso com teor baixo do nutriente.

O menor crescimento da parte aérea das plantas de alface nos tratamentos testemunha e com 50 mg dm⁻³ de P foi o único sintoma de deficiência de P observado no experimento. De acordo com Faquin (2001), a deficiência de P acarreta menor crescimento das plantas, pelo fato do nutriente participar da síntese de ATP, que armazena e transfere energia utilizada em vários processos do metabolismo das plantas, como absorção iônica ativa, síntese e degradação de compostos orgânicos como amido, gorduras e proteínas. Em alface americana a deficiência de P provoca atraso no crescimento, má formação de cabeças comerciais e folhas externas com tonalidade que pode variar de verde-opaca a vermelho-bronze (KATAYAMA, 1993).

Houve efeito quadrático da adubação fosfatada na produção de matéria fresca da parte aérea de alface, sendo que a produção máxima estimada (344 g planta⁻¹) seria obtida com a dose estimada de P de 506 mg dm⁻³ (Figura 2A). Além disso, a produção máxima estimada de matéria fresca de alface seria, respectivamente, 76; 6,5 e 3 vezes maior do que as obtidas com doses menores (0; 50 e 100 mg dm⁻³ de P). Os resultados obtidos nesse experimento evidenciaram que o P proporciona grande incremento no crescimento e na produção de alface, e que a cultura responde a aplicação de doses elevadas do nutriente.

Figura 2. Produção de matéria fresca (A) e de matéria seca (B) da parte aérea de alface crespa em função de adubação fosfatada.



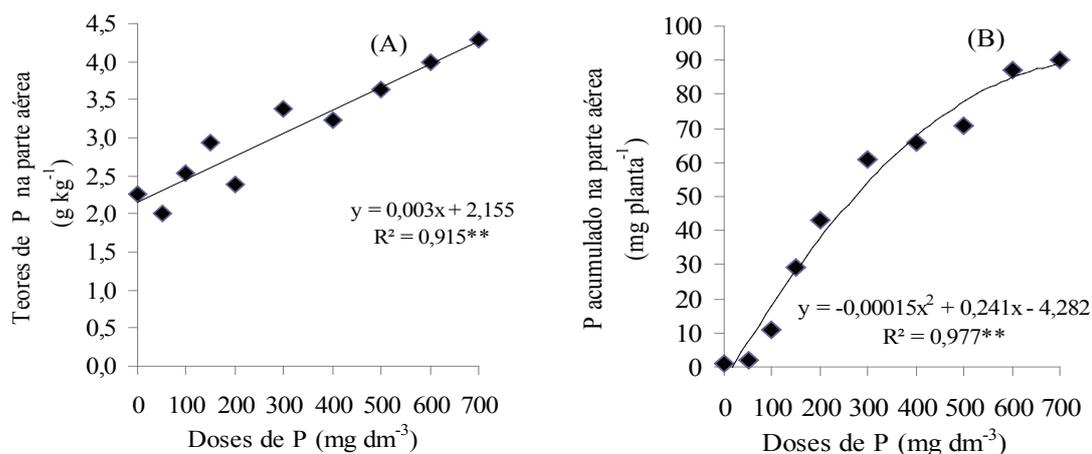
Fonte: Elaboração dos autores.

Constatou-se também, que a dose estimada de 350 mg dm⁻³ de P proporcionaria 90 % da produção máxima, o que indica que essa dose seria a mais adequada para o cultivo de alface crespa, em solo de textura argilosa nas condições desse experimento. A dose de 350 mg dm⁻³ de P em condições de campo, corresponde a uma aplicação de 350 kg ha⁻¹ de P (800 kg ha⁻¹ de P₂O₅) a lançar, na área total dos canteiros, seguida de incorporação do adubo fosfatado na camada de 0 a 10 cm de profundidade dos canteiros. Essa dose é o dobro da proposta nas recomendações oficiais de adubação fosfatada para o cultivo de alface, em solos com baixos teores de P disponível, nos Estados de São Paulo e de Minas Gerais, que é 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (TRANI; PASSOS; AZEVEDO FILHO, 1997; FONTES, 1999). Entretanto, como o experimento foi em vasos, esses maiores resultados são devidos ao maior acesso do P pelas raízes que estão confinadas no vaso, ao contrário das condições de campo.

A produção de matéria seca da parte aérea de alface apresentou comportamento semelhante à matéria fresca em relação à adubação fosfatada, obtendo-se aumento até a dose estimada de 538 mg dm⁻³ de P (Figura 2B). A produção máxima de matéria seca (22,14 g planta⁻¹) seria 57; 7 e 3 vezes maior que das doses 0; 50 e 100 mg dm⁻³ de P. Ainda, 87 % da produção máxima de matéria seca seria obtida com a dose estimada de 350 mg dm⁻³

de P. Alguns autores também observaram resposta positiva da alface com adição de doses elevadas de P. Nagata, Sanchez e Coale (1992) constataram aumento linear na produção de cultivares de alface americana com a aplicação de até 917 kg ha⁻¹ de P₂O₅, em solo com teor inicial baixo de P de 7,5 mg dm⁻³. Mota et al. (2003), em experimento em condições de campo, avaliando doses (0; 300; 600 e 900 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e fontes de P para alface americana em solo de textura argilosa, verificaram aumento na produção total das plantas com aplicação de até 672 kg ha⁻¹ de P₂O₅, em solo com teor inicial de P-Mehlich de 12 mg dm⁻³. Bonela (2010) obteve aumento linear nas produções de matéria fresca e de matéria seca de alface dos grupos americana, crespa e lisa com a aplicação de até 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅, mesmo em solo com alto teor de nutriente (136 mg dm⁻³ de P-resina) e textura muito argilosa.

Os teores de P na matéria seca da parte aérea das plantas aumentaram linearmente com as doses de adubo fosfatado (Figura 3A), variando de 2,2 a 4,6 g kg⁻¹. As diferenças nos teores de P na parte aérea de alface não foram mais acentuadas entre os tratamentos que receberam às menores e as maiores doses do nutriente, pois ocorreu efeito de diluição do P nos tecidos da alface, devido ao maior desenvolvimento das plantas que receberam as doses mais elevadas de adubo fosfatado (Figuras 1B e 2B).

Figura 3. Teores (A) e quantidades acumuladas de P (B) na parte aérea de alface crespa em função de adubação fosfatada.

Fonte: Elaboração dos autores.

As quantidades acumuladas de P na parte aérea de alface aumentaram com a adubação fosfatada, e os aumentos foram mais acentuados com a adição de até 400 mg dm⁻³ de P (Figura 3B). O acúmulo de P na parte aérea de alface foi 7 e 91 mg planta⁻¹ com a adição de 50 e 700 mg dm⁻³ de P, respectivamente. Para as doses estimadas de produção máxima de matéria fresca e 90 % da produção máxima de matéria fresca, 506 e 350 mg dm⁻³ de P, respectivamente, as quantidades do nutriente acumuladas na parte aérea das plantas seriam 79 e 62 mg planta⁻¹. Com isso, observou-se que em média, 15% do total de P fornecido ao solo dos tratamentos, por meio da adubação fosfatada, foi absorvido pela alface e acumulou na parte aérea. De acordo com Raij (2004), nas adubações o P é considerado um nutriente de baixo aproveitamento pelas plantas, pois elas absorvem em torno de 10 % do P aplicado como fertilizante. Plantas de crescimento muito rápido e sistema radicular pouco desenvolvido, como a alface e as demais hortaliças, aproveitam mal o P do solo e necessitam de teores disponíveis elevados para seu bom desenvolvimento (RAIJ, 2011).

Comparando os resultados de produção de matéria fresca (Figura 2A) com os do acúmulo de P na parte aérea das plantas (Figura 3B), verifica-se

que, em média, a quantidade do nutriente removida do solo pela colheita de alface crespa foi de 0,2 kg de P por tonelada de matéria fresca colhida. Esse valor é igual ao citado para o P por Trani e Raij (1997), que comentam que o conteúdo de nutrientes na parte colhida de hortaliças, fornece informações aproximadas sobre a necessidade dessas plantas em relação à adubação. Segundo Raij (2004), as quantidades aplicadas de P superam muito as extrações pelas culturas, diferindo do N e do K que apresentam relações mais estreitas entre aplicações nas adubações e extração pelas culturas. Ainda segundo o autor, essa diferença de comportamento deve-se a fixação de P pelos solos de regiões tropicais, que possuem elevados teores de sesquióxidos de Fe e de Al.

Grangeiro et al. (2006), em condições do Semi-Árido, constataram que o P foi o terceiro nutriente mais exigido pela alface, e que as quantidades acumuladas do nutriente pela cultivar Verônica foram de 110 mg planta⁻¹, o que correspondeu a uma remoção de P do solo de 27,5 kg ha⁻¹. Segundo os autores, o conhecimento da quantidade de nutrientes acumuladas na planta fornece informações importantes que podem auxiliar em programas de adubação. Ainda, de acordo com Grangeiro et al. (2006) as quantidades acumuladas de nutrientes

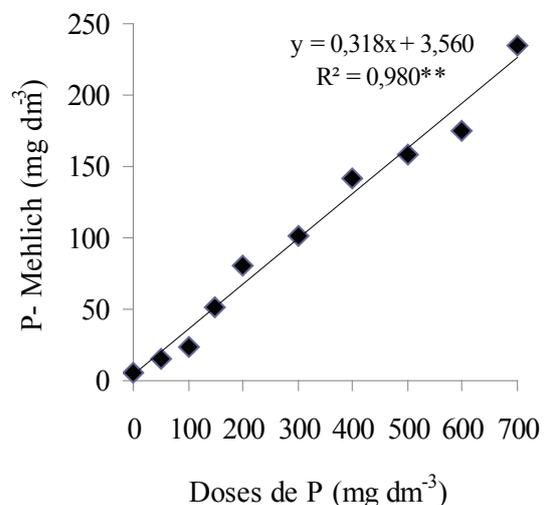
refletem o que a planta necessita, e não o que deveria ser aplicado, uma vez que a eficiência da adubação varia em função de alguns fatores, como tipo de solo, dinâmica do nutriente no solo, condição climática da região. Kano, Cardoso e Villas Bôas (2011) verificaram que o P foi o quinto nutriente mais exigido pela alface crespa, cultivar Verônica, em cultivo destinado à produção de sementes, e as quantidades do nutriente acumuladas pelas plantas no final do ciclo foram $115 \text{ mg planta}^{-1}$.

Verificou-se aumento linear nos teores de P do solo, extraídos por Mehlich, com a adubação fosfatada (Figura 4). Os teores do nutriente no solo variaram, de acordo com a equação de regressão, de 4 (muito baixo) a 226 mg dm^{-3} (muito alto). O extrator Mehlich 1 teve, em média, uma eficiência de recuperação de cerca de 30 % em relação ao P aplicado no solo, ou seja, das quantidades do nutriente fornecidas ao solo de textura argilosa por meio da adubação, cerca de 30 % foram detectadas pela análise de solo, sendo consideradas como disponíveis para as plantas de alface. A baixa eficiência da adubação fosfatada em solos de regiões tropicais deve-se a forte interação do P com a fase sólida do solo, em função da alta adsorção específica do nutriente as partículas do solo, especialmente aos sesquióxidos de Fe e de Al, e a baixa solubilidade de compostos de P existentes no solo (RAIJ, 2011). O uso de fertilizantes fosfatados solúveis na forma de pó ao invés de grânulos, e a mistura do fertilizante com o solo, ao invés da aplicação localizada, como ocorreu no presente experimento, aumentam a fixação do P no solo, por aumentar a superfície de contato entre as partículas do fertilizante e do solo, e com isso a eficiência da adubação fosfatada diminui (BÜLL et al., 2004; SOUSA et al., 2010). No cultivo de alface é comum a aplicação do adubo fosfatado, na adubação de plantio, em área total e posterior incorporação com o solo dos canteiros. Contudo, de acordo com Trani e Raij (1997) no cultivo de hortaliças em solos argilosos, a aplicação localizada dos adubos fosfatados solúveis nas linhas de plantio ou em covas melhora o efeito do P, pela

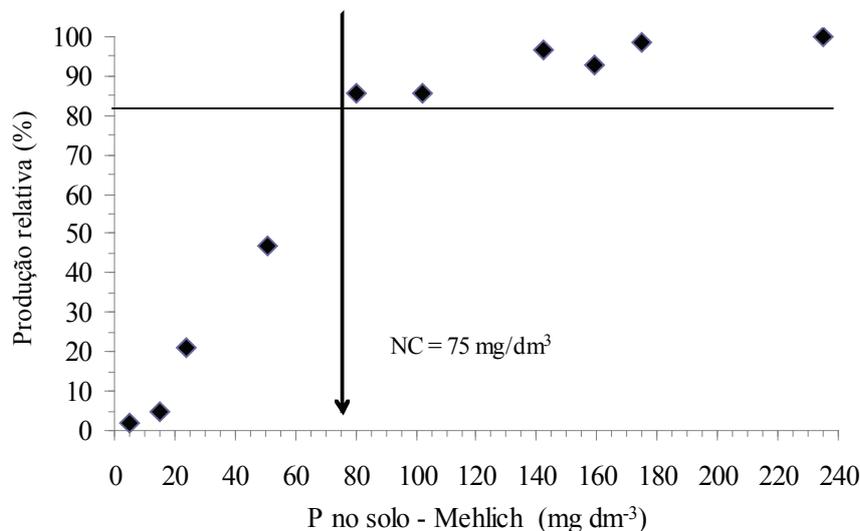
menor fixação do nutriente pelo solo.

O nível crítico de P-Mehlich no solo de textura argilosa (420 g kg^{-1} de argila) para alface crespa, segundo o método gráfico de Cate Júnior e Nelson (1965), foi de 75 mg dm^{-3} (Figura 5). Com isso, constatou-se, nas condições do experimento, que não é necessário aplicação de P em solo de textura argilosa para o cultivo de alface crespa quando o teor do nutriente no solo, extraído por Mehlich, for maior do que 75 mg dm^{-3} , pois não haverá aumento significativo de produção com a adubação fosfatada. Também se pode afirmar, com os resultados obtidos no presente experimento, que a alface crespa responde positivamente a adubação fosfatada quando os teores do nutriente em solo de textura argilosa, extraídos por Mehlich, estiverem abaixo de 75 mg dm^{-3} . Esse valor é maior do que o nível crítico de P apresentado por Fontes (1999) para hortaliças de maneira geral, em solo de textura argilosa (com 350 a 600 g kg^{-1} de argila), que é de 48 mg dm^{-3} de P-Mehlich. Segundo o autor, o valor de 48 mg dm^{-3} de P corresponde ao limite superior da classe de teores do nutriente classificadas como médio, para o cultivo de hortaliças em solos de textura argilosa.

Figura 4. Teores de P em solo argiloso, extraídos por Mehlich, em função de adubação fosfatada.



Fonte: Elaboração dos autores.

Figura 5. Nível crítico de P em solo argiloso (420 g kg⁻¹ de argila) para alface crespa.

Fonte: Elaboração dos autores.

Conclusões

O P proporcionou grande aumento no crescimento e na produção de alface crespa, e a cultura respondeu positivamente à aplicação de altas doses do nutriente;

A dose de 350 mg dm⁻³, equivalente, a 800 kg ha⁻¹ de P₂O₅, foi a mais adequada para o cultivo de alface crespa em solo de textura argilosa (420 g kg⁻¹ de argila);

Nas condições estudadas, a adubação fosfatada em alface crespa foi necessária quando os teores de P-Mehlich em solo de textura argilosa forem menores do que 75 mg dm⁻³.

Referências

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. *AgroEstat*: sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos. Versão 1.0. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 2011.

BATISTA, M. A. V.; VIEIRA, L. A.; SOUZA, J. P.; FREITAS, J. D. B.; BEZERRA NETO, F. Efeito de diferentes fontes de adubação sobre a produção de alface no município de Iguatu-CE. *Revista Caatinga*, Mosororó, v. 25, n. 3, p. 8-11, 2012.

BONELA, G. D. *Adubação fosfatada e potássica para alface em latossolo com teores altos de P e K disponíveis*. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

BUFALO, J.; AMARO, A. C. E.; ARAÚJO, H. S.; CORSATO, J. M.; ONO, E. O.; FERREIRA, G.; RODRIGUES, J. D. Períodos de estratificação na germinação de sementes de alface (*Lactuca sativa* L.) sob diferentes condições de luz e temperatura. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 33, n. 3, p. 931-940, 2012.

BÜLL, L. T.; COSTA, M. C. G.; NOVELLO, A.; FERNANDES, D. M.; VILLAS BÔAS, R. L. Doses and forms of application of phosphorus in vernalized garlic. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v. 61, n. 5, p. 516-521, 2004.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. *Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas*. Campinas: Instituto Agrônomo, 2009. 77 p. (Boletim técnico, 106).

CARMO, C. A. F. S.; ARAUJO, W. S.; BERNARDI, A. C. C.; SALDANHA, M. F. C. *Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. 41 p. (Circular técnica, 6).

CATE JÚNIOR, R. B.; NELSON, L. A. *A rapid method for correlation of soil test analysis with plant response data*. Raleigh: International Soil Testing, 1965. 24 p. (Technical bulletin, 1).

- CORRÊA, M. C. M.; PRADO, R. M.; NATALE, W.; PEREIRA, L.; BARBOSA, J. C. Resposta de mudas de goiabeira a doses e modos de aplicação de fertilizante fosfatado. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 164-169, 2003.
- FAQUIN, V. *Nutrição mineral de plantas*. Lavras: Universidade Federal de Lavras/Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão, 2001. 182 p.
- FONTES, P. C. R. Alface. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação*. Viçosa: UFV, 1999. 359 p.
- GRANGEIRO, L. C.; COSTA, K. R.; MEDEIROS, M. A.; SALVIANO, A. M.; NEGREIROS, M. Z.; BEZERRA NETO, F.; OLIVEIRA, S. L. Acúmulo de nutrientes por três cultivares de alface cultivados em condições do Semi-Árido. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 24, n. 2, p. 190-194, 2006.
- KANO, C.; CARDOSO, A. I. I.; VILLAS BÔAS, R. L. Acúmulo de nutrientes pela alface destinada à produção de sementes. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 29, n. 1, p. 70-77, 2011.
- _____. Phosphorus rates on yield and quality of lettuce seeds. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 30, n. 4, p. 695-698, 2012.
- KATAYAMA, M. Nutrição e adubação de alface, chicória e almeirão. In: FERREIRA, M. E.; CASTELLANE, P. D.; CRUZ, M. C. P. *Nutrição e adubação de hortaliças*. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p. 141-148.
- LANA, R. M. Q.; ZANÃO JUNIOR, L. A.; LUZ, J. M. Q.; SILVA, J. C. Produção de alface em função do uso de diferentes fontes de fósforo em solo de Cerrado. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 22, n. 3, p. 525-528, 2004.
- MALAVOLTA, E. O fósforo na planta e interações com outros elementos. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. *Fósforo na agricultura brasileira*. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 35-105.
- MOREIRA, M. A.; FONTES, P. C. R.; CAMARGOS, M. I. Interação zinco e fósforo em solução nutritiva influenciando o crescimento e a produtividade da alface. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 36, n. 6, p. 903-909, 2001.
- MOTA, J. H.; YURI, J. E.; RESENDE, G. M.; OLIVEIRA, C. M.; SOUZA, R. J.; FREITAS, S. A. C.; RODRIGUES JÚNIOR, J. C. Produção de alface americana em função da aplicação de doses e fontes de fósforo. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 21, n. 4, p. 620-622, 2003.
- MOTA, W. F.; PEREIRA, R. D.; SANTOS, G. S.; VIEIRA, J. C. B. Agronomic and economic viability of intercropping onion and lettuce. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 30, n. 2, p. 349-354, 2012.
- NAGATA, R. T.; SANCHES, C. A.; COALE, F. J. Crisphead lettuce cultivar response to fertilizer phosphorus. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, Alexandria, v. 117, n. 5, p. 717-720, 1992.
- NICOULAUD, B. A. L.; MEURER, E. J.; ANGHINONI, I. Rendimento e absorção de nutrientes por alface em função de calagem e adubação mineral e orgânica em solo "Areia Quartzosa Hidromórfica". *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 8, n. 2, p. 6-9, 1990.
- OLIVEIRA, A. P.; ARAÚJO, L. R.; MENDES, J. E. M. F.; DANTAS JÚNIOR, O. R.; SILVA, M. S. Resposta do coentro à adubação fosfatada em solo com baixo nível de fósforo. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 22, n. 1, p. 87-89, 2004.
- RAIJ, B. van. *Fertilidade do solo e manejo de nutrientes*. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.
- _____. Fósforo no solo e interação com outros elementos. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. *Fósforo na agricultura brasileira*. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 107-115.
- SALA, F. C.; COSTA, C. P. Retrospectiva e tendência da alfacultura brasileira. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 30, n. 2, p. 187-194, 2012.
- SILVA, F. C. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Brasília: Embrapa Solos/Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 270 p.
- SIMÕES NETO, D. E.; OLIVEIRA, A. C.; ROCHA, A. T.; FREIRE, F. J.; FREIRE, M. B. G. S.; NASCIMENTO, W. A. Níveis críticos de fósforo em solos cultivados com cana de açúcar em Pernambuco. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 58, n. 6, p. 802-810, 2011.
- SOUZA, D. M. G.; REIN, T. A.; GOEDERT, W. J.; LOBATO, E.; NUNES, R. S. Fósforo. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. *Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes*. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2010. v. 2, p. 67-132.
- TRANI, P. E. *Calagem e adubação para hortaliças sob cultivo protegido*. Campinas: Instituto Agrônomo, 2012. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/imagem_informacoestecnologicas179.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2013.

TRANI, P. E.; PASSOS, F. A.; AZEVEDO FILHO, J. A. Alface, almeirão, chicória, escarola, rúcula e agrião d'água. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. *Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo*. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1997. p. 168-169. (Boletim técnico, 100).

TRANI, P. E.; RAIJ, B. van. Hortaliças. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. *Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo*. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1997. p. 157-164. (Boletim técnico, 100).

ZAMBROSI, F. C. B.; MATTOS JÚNIOR, D.; FURLANI, P. R.; QUAGGIO, J. A.; BOARETTO, R. M. Eficiência de absorção e utilização de fósforo em porta-enxertos cítricos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 435-496, 2012.

