

Alterações na composição química do solo e no desenvolvimento inicial de plântulas de milho ocasionadas pela aplicação superficial de calcário e fertilizantes fosfatados

Modifications of soil chemical composition and maize plant early growth caused by addition of lime and phosphate fertilizers on the soil surface

Paulo Roberto Ernani¹, Cleiton Steckling², Cimélio Bayer³

Recebido em 10/04/2006; aprovado em 02/03/2007.

RESUMO

Apesar da baixa mobilidade dos fosfatos e do calcário, a aplicação desses insumos na superfície do solo, sem incorporação, tem freqüentemente aumentado o rendimento vegetal. Desconhece-se, entretanto, o comportamento das raízes em relação à existência de apenas uma camada superficial de solo melhorada quimicamente, assim como da combinação de grandes quantidades de calcário e fosfatos na disponibilidade de P. O presente trabalho objetivou avaliar o rendimento de matéria seca de milho e alterações em atributos de solo e de raízes ocasionados pela combinação de doses de calcário e de fertilizantes fosfatados, ambos aplicados sobre a superfície de um Latossolo Bruno ácido, em casa-de-vegetação. As quantidades de calcário aplicadas na superfície equivaleram a 0, 1/8, 1/4 e 1/2 da dose necessária para elevar o pH-H₂O de uma camada de 17 cm para 6,0 (5,0 g kg⁻¹), a qual foi também utilizada, porém incorporada ao solo. O P foi aplicado na dose de 100 mg kg⁻¹, na forma de fosfato diamônio (DAP) e de superfosfato triplo (SFT). Foram cultivadas cinco plantas de milho por vaso (5,0 kg de solo, base seca) durante 26 dias após a germinação. A adição de calcário sobre a superfície do solo ocasionou melhorias significativas na composição química da camada mais superficial do solo (0 a 2,5 cm). O benefício da calagem superficial no rendimento de matéria seca da parte aérea do milho somente ocorreu

com a menor dose aplicada (1/8 de SMP), cujo efeito foi semelhante ao proporcionado pela dose integral (1,0 SMP) incorporada. A calagem aumentou a absorção de P, independente da dose ou da forma de aplicação, porém não influenciou nenhum atributo radicular provavelmente devido ao alto teor de P no solo. Os menores valores de P no solo ocasionados pela adição de DAP relativamente ao SFT não se refletiram negativamente nos parâmetros radiculares, na absorção de P, nem tampouco no rendimento de matéria seca, nos primeiros 26 dias de desenvolvimento do milho. Não havendo déficit hídrico, portanto, a adição de calcário e de P sobre a superfície do solo melhora o desenvolvimento inicial das plântulas de milho.

PALAVRAS-CHAVE: calagem superficial, fertilizantes fosfatados, parâmetros radiculares, milho.

SUMMARY

Despite the small mobility of phosphates and liming, addition of these materials on the soil surface, without incorporation, has often increased crop yield. However, it is unknown the behavior of plant roots developed in a soil with only a thin layer chemically ameliorated, as well as the result of combining large amounts of lime and phosphates on P availability. This study was carried out to evaluate the effect of surface addition of lime and phosphates on maize dry matter

¹ Professor do Curso de Agronomia da UDESC, Av. Luis de Camões, 2090, C.P. 281, CEP 88520-000, Lages, SC. E-mail:ernani@cav.udesc.br. Pesquisador do CNPq. * Autor para correspondência.

² Engenheiro Agrônomo, M.Sc., Pesquisador da FUNDACEP. Cruz Alta, RS. E-mail: cleiton.fundacep@comnet.com.br.

³ Professor do Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).91501-970, Caixa Postal 15100, 776, Porto Alegre, RS. E-mail:cimelio.bayer@ufrgs.br. Pesquisador do CNPq.

yield as well as on some soil and root parameters. Lime rates applied on the soil surface were equivalents to 0, 1/8, 1/4 e 1/2 of the quantity required to raise the pH-H₂O of a 17 cm soil layer depth to 6.0 (5.0 g kg⁻¹), which was also added but incorporated into the soil. Phosphorus was applied at rate of 100 mg P kg⁻¹, as diammonium phosphate (DAP) or triple superphosphate (TSF). The experiment was set in a greenhouse using pots containing 5.0 kg (dry base) of an acid Oxisol where five maize plants were grown for 26 days after emergence. Addition of lime on the soil surface improved the chemical characteristics of the most superficial soil layer (0 to 2.5 cm). Increases on maize dry matter yield due to surface liming occurred only with the smallest lime rate, which had the same efficiency of the integral rate incorporated into the soil. Liming increased P uptake regardless of rates applied or forms of addition, but had no effect on root parameters probably due to the high P values in the soil. The smaller values for soil P caused by diammonium phosphate, relatively to triple superphosphate, had no negative effect on root parameters, P uptake, or dry matter yield of 26-days old maize plants. Therefore, in absence of water deficit, addition of lime and P fertilizers over the soil surface improves the initial growth of maize plants.

KEY WORDS: surface liming, phosphate fertilizers, root parameters, maize.

INTRODUÇÃO

Até alguns anos atrás as recomendações técnicas eram enfáticas no tocante à necessidade de incorporação do calcário e dos fertilizantes fosfatados à camada superficial do solo. Após o advento do sistema de semeadura direta, esses insumos passaram a ser adicionados sobre a superfície do solo, com pouca ou nenhuma mistura com o solo nesse sistema de cultivo, mesmo em áreas até então nunca cultivadas. Apesar da pequena capacidade do calcário corrigir a acidez abaixo da camadas onde é aplicado (ERNANI et al., 2004; AMARAL et al., 2004), assim como da baixa mobilidade do P no solo (CIOTTA et al., 2002), essa técnica alternativa de correção e fertilização do solo tem freqüentemente aumentado o rendimento vegetal (PÖTTKER; BEN, 1998),

principalmente após alguns anos. A combinação de altas concentrações desses insumos num pequeno volume de solo promove grandes alterações no pH e na concentração de vários elementos minerais nos centímetros superficiais (PÖTTKER; BEN, 1998), podendo resultar em decréscimos na eficiência de utilização pelas plantas do P aplicado.

A eficiência agrônômica dos fertilizantes fosfatados varia em função da solubilidade em água (SHARPLEY; SISAK, 1997), do método de aplicação (MUZILLI, 1983; ANGHINONI, 1992; CASTILHOS; ANGHINONI, 1998; KLEPKER; ANGHINONI, 1996; WIETHÖLTER et al., 1998), da dose aplicada (ANGHINONI, 1992; ERNANI et al., 2000), do pH do solo (ERNANI et al., 2000), e da composição química dos mesmos (ERNANI; BARBER, 1990; ERNANI; BARBER, 1991). O diamônio fosfato (DAP) tem proporcionado maior crescimento inicial das plantas de milho do que o superfosfato triplo (SFT) (ERNANI; BARBER, 1990; ERNANI; BARBER, 1991), provavelmente porque o DAP eleva o pH do solo nas proximidades dos grânulos (AKINREMI; CHO, 1991; ERNANI; BARBER, 1991; ERNANI et al., 2001), e com isso diminuiu a atividade do Al nessas microrregiões (ERNANI; BARBER, 1991). O SFT, por outro lado, diminui o pH ao redor do grânulo (ERNANI et al., 2001), e assim aumenta a solubilidade dos compostos de Fe e Al, que podem precipitar P (FIGUEIREDO, 1985). Essas alterações de pH nas adjacências dos grânulos, assim como os cátions adicionados pelos fosfatos, podem afetar a disponibilidade de P aos vegetais.

A calagem normalmente aumenta a disponibilidade de P em solos ácidos (ERNANI et al., 1996; ERNANI et al., 2000). A elevação do pH aumenta as cargas negativas do solo (ALBUQUERQUE et al., 2000), as cargas negativas dos fosfatos, e a concentração de ânions orgânicos e inorgânicos que competem com o P pelos sítios (ERNANI et al., 1998), diminuindo, com isso, sua adsorção (ERNANI et al., 1996). O efeito da calagem na formação e dissolução de precipitados de P varia com o pH e composição do solo (AKINREMI; CHO, 1991; HE LU et al., 1996; HERNÁNDEZ; MEURER, 1998). A calagem diminui a solubilidade de compostos de Fe, Mn e Al (ERNANI; BARBER,

1991), favorecendo a dissolução dos precipitados desses elementos com P. Por outro lado, a calagem aumenta a concentração de Ca, podendo proporcionar a formação de fosfato de Ca (AKINREMI; CHO, 1991; HE LU et al., 1996), principalmente na região ao redor dos grânulos dos fertilizantes fosfatados, assim como na superfície do solo, quando o calcário e os fosfatos não são incorporados, em função da combinação de altas concentrações de P e Ca.

Além da intensificação na magnitude das reações químicas, a concentração de corretivos da acidez e de fósforo num pequeno volume de solo pode afetar a morfologia e o desenvolvimento das raízes (TISSI et al., 2004), com reflexos na absorção de nutrientes e no desenvolvimento das plantas.

O presente trabalho objetivou avaliar o efeito da aplicação conjunta de calcário e de fertilizantes fosfatados sobre a superfície do solo no rendimento de matéria seca de milho, em casa-de-vegetação, e na alteração de algumas características de solo e de planta relacionadas com a disponibilidade de fósforo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação, em 1998, na Faculdade de Agronomia da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), em Lages, SC. Utilizaram-se amostras com estrutura deformada, coletadas no horizonte A de um Latossolo Bruno Alumínico típico nunca fertilizado ou cultivado. No local de coleta, predominava vegetação campestre nativa e o solo possuía pH água = 4,5; pH-SMP = 5,0; matéria orgânica = 40 g kg⁻¹; P e K (Mehlich-1) = 3,4 e 69 mg kg⁻¹, respectivamente; e Ca, Mg e Al trocáveis = 2, 7, 1,6 e 1,2 cmol_c kg⁻¹, respectivamente.

Os tratamentos consistiram da combinação fatorial de dois fertilizantes fosfatados com cinco doses de calcário. Foram usados o superfosfato triplo (SFT) e o diamônio fosfato (DAP), que além de diferirem quanto ao cátion acompanhante, têm a habilidade, respectivamente, de diminuir e elevar o pH próximo aos grânulos. As doses de calcário corresponderam a 0, 1/8, 1/4, 1/2 e 1,0 vez a quantidade recomendada pelo método SMP para elevar para 6,0 o pH-H₂O da camada superficial do solo com aproximadamente 17 cm de profundidade (2 x 10⁶ kg ha⁻¹).

Quantitativamente, essas doses equivaleram, respectivamente, a 125, 250, 500 e 1000 g de calcário por metro quadrado de superfície de solo. A dose integral (1,0 SMP) foi de 10 t ha⁻¹, ou seja, o equivalente a 1,0 kg m⁻². As quantidades referentes às doses de 1/8, 1/4, e 1/2 SMP foram aplicadas somente sobre a superfície, sem incorporação com o solo, no dia da semeadura do milho, junto com os fosfatos, enquanto que a recomendação integral (1,0 SMP) foi somente misturada (incorporada) com todo o solo do vaso, um mês antes. O corretivo da acidez foi constituído pela mistura de carbonato de cálcio e carbonato de magnésio comerciais (relação 3:1 em peso) e tinha poder relativo de neutralização total (PRNT) de 100%. Durante o mês de incubação, todas unidades experimentais permaneceram com umidade aproximada de 80% da capacidade de retenção de água do solo. Os fosfatos foram aplicados sobre a superfície do solo, na forma de grânulos, na dose de 100 mg P kg⁻¹. A quantidade de N adicionada pelo DAP (90 mg kg⁻¹) foi aplicada nos demais tratamentos, na forma líquida, a partir da uréia, no dia da semeadura.

As unidades experimentais foram constituídas por 5,0 kg de solo (base seca), acondicionadas em baldes plásticos com 20 cm de diâmetro e capacidade para 8 litros. Os tratamentos foram arranjados no delineamento experimental completamente casualizado, com três repetições. Cultivaram-se cinco plantas de milho (Cargil 805) por vaso, por um período de 26 dias após a germinação. Para diminuir a perda de água do solo por evaporação, adicionou-se palha de aveia preta picada sobre a superfície dos vasos na quantia equivalente a 0,5 kg m⁻². A umidade do solo foi ajustada diariamente para 80% da água retida na capacidade de campo, por meio da pesagem individual dos vasos.

Ao término do experimento, as plantas foram cortadas rente à superfície do solo e a parte aérea foi separada do sistema radicular. Na parte aérea, determinou-se a matéria seca e a concentração de P, e calculou-se a quantidade de P absorvida. O tecido vegetal foi digerido a 350°C, com uma solução de ácido nítrico e ácido perclórico (TEDESCO et al., 1995), sendo que o P foi determinado por meio de espectrofotometria de emissão induzida por plasma (ICP). Nas raízes, determinaram-se matéria seca e o

comprimento. O comprimento (CR) foi quantificado pelo método da interseção (TENNANT, 1975), enquanto que a massa seca foi obtida pela pesagem de todo o sistema radicular, após secagem em estufa com circulação forçada de ar até atingir peso constante.

Amostras de solo foram coletadas após a retirada da parte aérea das plantas, somente na camada superficial de 0 a 2,5 cm de profundidade. Nelas, determinou-se pH, P, Ca, Mg e Al. O pH foi determinado usando-se uma solução de CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, na relação solo/solvente de 1:1. O P foi extraído com solução de Mehlich-1 e também com resina trocadora de ânions, e as duas formas foram determinadas por colorimetria, conforme metodologias descritas em Tedesco et al. (1995). Cálcio, Mg e Al trocáveis foram extraídos com solução de KCl 1 mol L^{-1} , tendo sido determinados por meio de ICP. Todos os cátions foram extraídos usando-se uma relação solo/solução de 1:10.

Os valores dos atributos químicos avaliados foram submetidos à análise da variância. Testou-se a significância estatística dos fatores (doses de calcário e fontes de P) e da interação entre eles. Quando foi alcançada a significância, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. Para as doses de calcário aplicadas sobre a superfície do solo, o comportamento

dos dados foi também avaliado por análises de regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efeitos sobre os parâmetros de solo

A aplicação de calcário sobre a superfície do solo provocou uma grande elevação no pH dos centímetros superficiais. A adição de uma dose equivalente a $5,0 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário ($0,5 \text{ kg m}^{-2}$) sobre a superfície aumentou o pH- CaCl_2 da camada de 0 a 2,5 cm de 4,25 para 5,70, na média dos dois fósforos, e esse efeito foi muito semelhante ao ocasionado pela incorporação do dobro dessa quantidade, ou seja, de $10,0 \text{ t ha}^{-1}$ ($1,0 \text{ kg m}^{-2}$), na qual o pH aumentou para 5,8 (Figura 1). O maior efeito da calagem superficial sobre o pH relativamente à calagem incorporada foi devido à concentração de calcário, que, ao ser aplicado sobre a superfície, entra em contato com um menor volume de solo quando comparado ao sistema com incorporação. Os valores de pH resultantes da calagem superficial, entretanto, não necessariamente refletem a média de toda a camada amostrada porque a amostragem também incluiu a superfície do solo. Nesse caso, muitas partículas de calcário que não haviam dissolvido podem reagir durante o processo de homogeneização e secagem das amostras, previamente à determinação do pH.

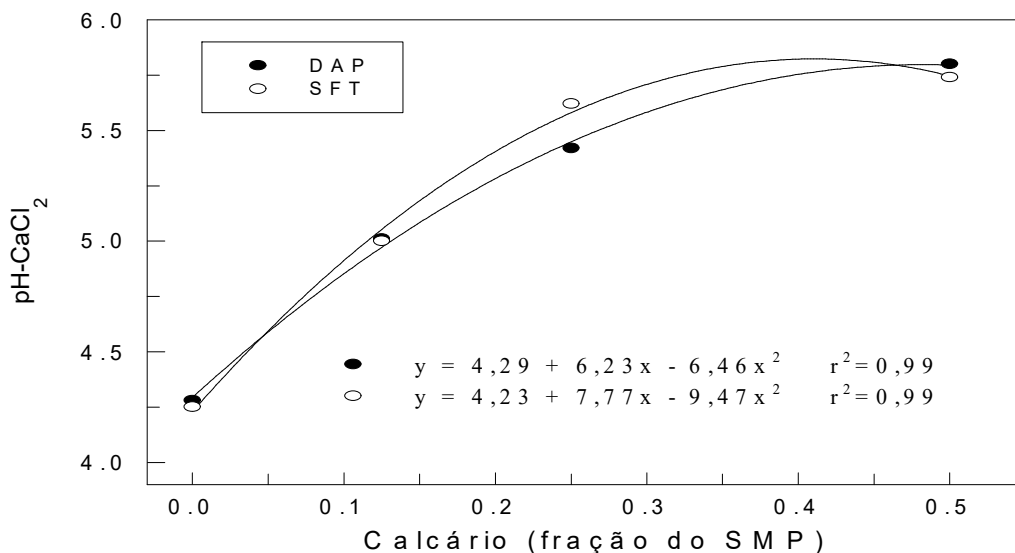


Figura 1- Valores de pH em CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ da camada de 0 a 2,5 cm de profundidade em função da aplicação de doses de calcário e fertilizantes fosfatados (DAP e SFT) sobre a superfície de um Latossolo Bruno. Média de três repetições.

O pH da camada superficial do solo (0 a 2,5 cm) aumentou quadraticamente com a elevação da dose de calcário adicionada sobre a superfície (Figura 1). Na média dos tratamentos com DAP e com SFT, a elevação do pH-CaCl₂ decorrente da adição de calcário foi descrita pela equação: $\text{pH} = 4,26 + 7,02x - 7,98x^2$ ($r^2 = 0,99$), onde 'x' representa a fração da dose de calcário recomendada pelo método SMP para elevar o pH-CaCl₂ da camada de 17 cm para 5,5 (pH-H₂O = 6,0). O comportamento quadrático mostra que houve limitação na dissolução do corretivo da acidez, nas maiores doses aplicadas. De acordo com essa equação, o máximo valor de pH na camada de 0 a 2,5 cm nos tratamentos com DAP e com SFT seria atingido respectivamente pela adição sobre a superfície do solo de uma dose equivalente a 48% e 41% daquela recomendada pelo método SMP para elevar o pH da camada arável (0 a 17 cm) para 6,0 (Figura 1). No presente estudo, não foi avaliado até que profundidade o calcário afetou o pH, porém vários trabalhos mostram que o efeito da calagem normalmente se restringe a poucos centímetros abaixo da camada onde o calcário é aplicado, principalmente em solos com alto tamponamento (PÖTTKER; BEN, 1998; RHEINHEIMER et al., 2000; ERNANI et al., 2004; AMARAL et al., 2004). Em consequência da elevação do pH, a calagem eliminou o Al trocável na camada de 0 a 2,5 cm em todos os tratamentos, independente da dose e do método de aplicação de calcário (dados não mostrados).

O pH do solo não variou com a fonte de fósforo utilizada (Figura 1). Considerando somente as reações dos fosfatos no solo, o DAP deveria ter proporcionado maior pH do que o SFT (ERNANI et al., 2001) porque a dissolução do DAP consome H⁺ inicialmente, pois parte do HPO₄⁻² se transforma em H₂PO₄⁻ (ERNANI; BARBER, 1991), elevando o pH ao redor dos grânulos, diferentemente do SFT que acidifica essas microrregiões em decorrência da transformação de parte das moléculas de H₂PO₄⁻ em HPO₄⁻² (FIGUEIREDO, 1985; ERNANI et al., 2001). Sendo assim, outras reações, envolvendo os ânions acompanhantes dos fosfatos ou resultantes da adição de uréia, devem ter influenciado o pH. A uréia foi adicionada em todos os tratamentos que receberam SFT, com o objetivo de igualar a quantia de N aplicada pelo DAP. Nos períodos iniciais subsequentes à

aplicação, a uréia aumenta o pH do solo ao redor dos grânulos para próximo de 8,0 (ERNANI et al., 2001), porque sua hidrólise produz hidroxilas e bicarbonatos que reagem com os átomos de H⁺ existente nas adjacências. O cátion acompanhante dos fosfatos também deve ter influenciado a mobilidade vertical dos produtos resultantes da reação do calcário (MANTOVANI et al., 2004), favorecendo o aumento do pH em profundidade relativamente ao da camada superficial.

A adição de calcário sobre a superfície do solo aumentou de forma quadrática os teores de Ca e Mg trocáveis na camada de 0 a 2,5 cm, sendo que nas doses mais altas os valores de Mg foram muito semelhantes aos de Ca (Figura 2). Novamente, verifica-se que a concentração de calcário sobre a superfície do solo limita sua dissolução nas maiores doses. Os teores de Ca foram maiores onde foi aplicado SFT relativamente ao DAP, porém os de Mg não foram influenciados pelo fonte de fósforo, independente da dose de calcário (Figura 2). No tratamento sem calcário, a adição de SFT elevou o Ca trocável de 2,7 para 4,1 cmol_c kg⁻¹, o que pode ser importante no suprimento desse nutriente em solos ácidos não calcariados.

Os valores de P na camada superficial do solo foram afetados diferentemente pelos fertilizantes fosfatados e pelo método de determinação de P, porém não foram influenciados pela adição de calcário (Tabela 1). Na média dos dois métodos de determinação (Mehlich e resina trocadora de ânions), o P foi 27% maior no solo tratado com SFT do que naquele que recebeu DAP. O P extraído da camada de 0 a 2,5 cm do solo pela resina trocadora de íons aumentou de 6,1 mg kg⁻¹ para 104 mg kg⁻¹ pela adição de SFT, e para 90 mg kg⁻¹ pela adição de DAP. Os menores valores de P onde se aplicou DAP podem ter sido causados pela maior mobilidade vertical desse fertilizante no solo relativamente ao SFT, que assim se tornaria mais diluído na camada amostrada, ou pelo tipo de precipitado formado. Ernani e Barber (1991) mostraram que o DAP forma mais precipitados com alumínio do que o SFT. Na média dos dois fosfatos, a resina trocadora de ânions extraiu aproximadamente 44% mais P que o método de Mehlich, porém os valores extraídos pelos dois métodos foram altamente correlacionados ($r = 0,98$) (Tabela 1). A calagem,

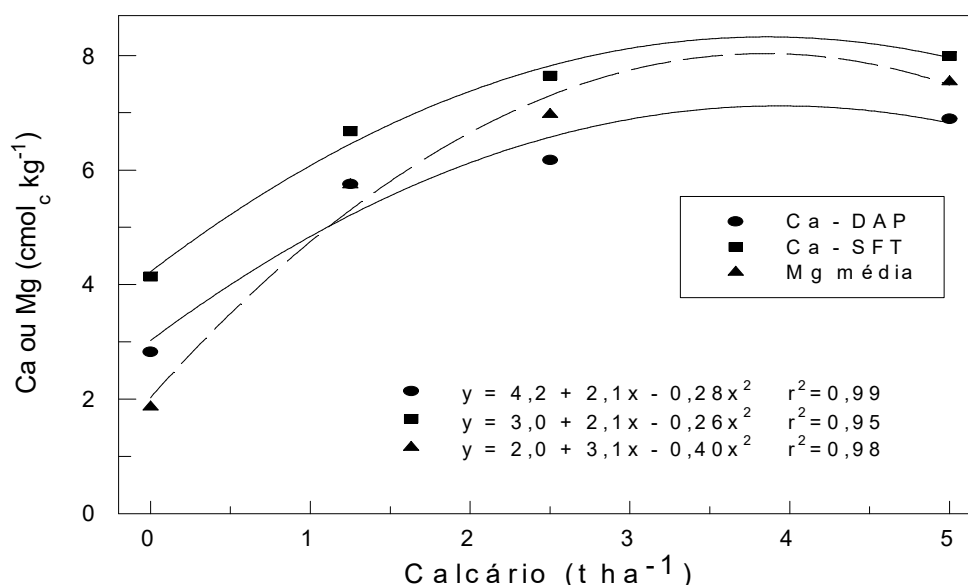


Figura 2 – Valores de Ca e Mg trocáveis da camada de 0 a 2,5 cm de profundidade em função da aplicação de doses de calcário e fertilizantes fosfatados (DAP e SFT) sobre a superfície de um Latossolo Bruno.

Tabela 1 - Valores de P extraídos da camada de 0 a 2,5 cm pelo método de Mehlich e da resina trocadora de íons em função da fonte de P aplicada sobre a superfície de um Latossolo Bruno. Média de 15 avaliações (5 doses de calcário e 3 repetições).

Fontes de P	Mehlich	Resina	Média
	----- mg kg ⁻¹ -----		
SFT	79,8 a*	104,1 a	91,9 b
DAP	54,6 b	89,5 b	72,1 a
Média	67,2	96,8	82,0
C.V.(%)	60,5	60,3	-

* Médias seguidas por letras diferentes nas colunas indicam diferença estatística pelo teste de Tukey a 5% entre os fosfatos para cada método de extração.

por outro lado, não teve influência nos valores de P extraídos, independente do fertilizante fosfatado aplicado. O efeito da calagem na disponibilidade de P verifica-se principalmente na concentração da solução do solo (ERNANI; BARBER, 1991), a qual não foi quantificada no presente experimento.

Efeito sobre os parâmetros de planta

Os parâmetros radiculares não foram afetados pela adição de calcário, independente da forma de aplicação (Tabela 2). A falta de incremento tanto na matéria seca das raízes quanto no comprimento do

sistema radicular decorrente da calagem pode ter sido ocasionada pela adição de uma quantidade moderada de P (100 mg kg⁻¹), pois há uma relação de substituição entre fósforo e calcário (VIDOR; FREIRE, 1972; ERNANI et al., 2000). Tissi et al. (2004), aplicaram calcário sobre a superfície de um Latossolo Vermelho e verificaram que a calagem diminuiu o raio das raízes de milho mas não afetou o comprimento.

A eficiência dos fosfatos sobre as plantas somente diferiu na produção de matéria seca de raízes, onde o DAP foi superior ao SFT (Tabela 2). Vários

trabalhos têm mostrado que a aplicação de P ao solo aumenta o crescimento radicular e a taxa de absorção de P pelas raízes (CASTILHOS; ANGHINONI, 1998; SHEN LU; MILLER, 1994). Como a absorção de nutrientes é diretamente relacionada com a área e com o comprimento das raízes, a melhoria desses parâmetros tende a melhorar as condições de absorção. Contudo, como o incremento no crescimento radicular normalmente se restringe à camada de solo melhorada quimicamente (ANGHINONI, 1992), poderá haver prejuízo para o desenvolvimento das plantas em condições de estiagem se essa camada for pouca espessa em relação à condição onde o calcário é incorporado com o solo.

A absorção de P pelo milho aumentou com a calagem, independente da dose e da forma de aplicação, mas não foi influenciada pelos fertilizantes

fosfatados (Tabela 3). A calagem aumenta a disponibilidade de P (ERNANI; BARBER, 1991; ERNANI et al., 2000; TISSI et al., 2004) principalmente porque diminui a adsorção de fosfato pelo solo (ERNANI et al., 1996). A ausência de diferenças na absorção de P pelas plantas com o incremento nas doses de calcário aplicadas sobre a superfície do solo pode ter sido uma consequência da formação de vários precipitados de P. Por isso, em condições onde há uma concentração muito grande de produtos químicos no solo, a exemplo do que ocorre quando calcário e fertilizantes são aplicados sobre a superfície, sem incorporação, o tipo de precipitado de P e a magnitude de formação dos mesmos deverá ser considerada, em adição às reações de adsorção.

Tabela 2 - Matéria seca da parte aérea (MSPA) e das raízes (MSRA) e comprimento radicular de plantas de milho com 26 dias de idade em função da aplicação de doses de calcário dolomítico sobre a superfície ou incorporado ao solo e de fertilizantes fosfatados sobre a superfície de um Latossolo Bruno. Média de três repetições e de duas fontes de fósforo.

Calcário na superfície t ha ⁻¹	MSPA	MSRA		Comprimento m vaso ⁻¹
		DAP	SFT	
0	2,05 b*	1,28	1,04	152
1,25	2,65 a	1,36	1,19	163
2,5	2,02 b	1,10	1,04	134
5,0	2,08 b	1,22	1,10	138
10,0 incorporado	2,41 ab	1,15	1,06	136
Média	2,24	1,22 A	1,09 B	145

* Médias seguidas por letras minúsculas diferentes, na coluna, indicam diferença estatística entre os tratamentos de calagem, e por letras maiúsculas, na linha, indicam diferenças entre os fosfatos pelo teste de Tukey a 5%. Ausência de letras significa inexistência de diferenças.

Tabela 3 - Valores de P no tecido e P absorvido por plantas de milho com 26 dias de idade em função da aplicação de doses crescentes de calcário dolomítico sobre a superfície ou incorporado ao solo e de fertilizantes fosfatados sobre a superfície de um Latossolo Bruno. Média de três repetições.

Calcário na superfície t ha ⁻¹	P no tecido %	P absorvido mg vaso ⁻¹
0	0,20	4,13 b*
1,25	0,23	6,10 a
2,5	0,23	4,56 ab
5,0	0,21	4,35 ab
10,0 incorporado	0,20	4,84 ab
Média	0,21	4,80

* Médias seguidas por letras diferentes, na coluna, indicam diferença estatística pelo teste de Tukey a 5% entre os tratamentos. Ausência de letras significa inexistência de diferenças.

O rendimento de matéria seca da parte aérea do milho aumentou com a calagem, porém não foi afetado pelo tipo de fosfato. Os maiores rendimentos foram obtidos com a menor dose de calcário aplicada sobre a superfície do solo (125 g m^{-2}), cujo efeito não diferiu do proporcionado pela dose incorporada ao solo recomendada pelo método SMP para elevar o pH-H₂O para 6,0 ($1,0 \text{ kg m}^{-2}$) (Tabela 2). Pöttker e Ben (1998) verificaram que a adição superficial de 1/8 da dose de calcário recomendada pelo método SMP para elevar o pH para 6,0 foi tão eficiente quanto a calagem incorporada no aumento do rendimento de várias espécies anuais (trigo, soja, aveia, milho). Para a cevada, a resposta à calagem na superfície ocorreu até doses mais elevadas. Esses autores também constataram que o aumento da dose de calcário sobre a superfície do solo não proporcionou nenhum efeito negativo sobre o rendimento das espécies. O menor efeito do DAP sobre a concentração de P no solo, relativamente ao SFT, não se refletiu em aumentos na absorção de P ou no rendimento de matéria seca da parte aérea do milho na fase inicial de desenvolvimento. Os menores valores de P nos tratamentos com DAP podem estar relacionados com a precipitação de fosfatos de alumínio. Ernani e Barber (1991) verificaram que o DAP foi mais eficiente que o SFT em aumentar o rendimento de matéria seca de plantas jovens de milho, na ausência de calagem, em função da diminuição do alumínio na solução do solo pela precipitação com o fósforo.

CONCLUSÕES

A aplicação de calcário sobre a superfície do solo proporcionou melhorias expressivas nos atributos químicos da camada mais superficial (0 a 2,5 cm) do solo. A calagem aumentou o rendimento de matéria seca da parte aérea (MSPA) e a absorção de P, mas não afetou nenhum atributo radicular, independente da dose ou da forma de aplicação. Na ausência de déficit hídrico, portanto, pequenas quantidades de calcário aplicadas sobre a superfície do solo são suficientes para incrementar a absorção de P e o desenvolvimento de plântulas de milho no período inicial do crescimento.

O superfosfato triplo e o fosfato diamônio

afetaram diferentemente a concentração de P na camada superficial do solo e a matéria seca das raízes, mas essas diferenças não se refletiram na absorção de P, no comprimento das raízes, e no rendimento de MSPA no estágio inicial de desenvolvimento das plântulas de milho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKINREMI, O.O.; CHO, C.M. Phosphate transport in calcium-saturated systems: II. Experimental results in a model system. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.55, p.1282-1287, 1991.
- ALBUQUERQUE, J.A. et al. Propriedades físicas e eletroquímicas de um Latossolo Bruno afetadas pela calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.295-300, 2000.
- ALMEIDA, J.A.; ERNANI, P.R.; MAÇANEIRO, K.C. Recomendação alternativa de calcário para solos altamente tamponados do extremo sul do Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.29, p.651-656, 1999.
- AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F.C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.115-123, 2004.
- ANGHINONI, I. Uso de fósforo pelo milho afetado pela fração de solo fertilizada com fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.16, p.349-353, 1992.
- AZEVEDO, A.C.; KAMPF, N.; BOHNEN, H. Alterações na dinâmica evolutiva de Latossolo bruno pela calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.20, p.191-198, 1996.
- CASTILHOS, D.D.; ANGHINONI, I. Influência do suprimento de fósforo a diferentes frações do sistema radicular sobre o comportamento do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.12, p.263-267, 1998.
- ERNANI, P.R.; BARBER, S.A. Comparison of P-availability from monocalcium and diammonium phosphates using a mechanistic nutrient uptake model. **Fertilizer Research**, v.22, p.15-20, 1990.
- ERNANI, P.R.; BARBER, S.A. Corn growth and changes of soil and root parameters as affected by phosphate fertilizers and liming. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.26, p. 1309-

1314, 1991.

ERNANI, P.R. et al. Decréscimo da retenção de fósforo no solo pelo aumento do pH. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.20, p.159-162, 1996.

ERNANI, P.R.; NASCIMENTO, J.A.L.; OLIVEIRA, L.C. Increase of grain and green matter of corn by liming. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.275-280, 1998.

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

ERNANI, P.R.; STECKLING, C.; BAYER, C. Características químicas de solo e rendimento de massa seca de milho em função do método de aplicação de fosfatos, em dois níveis de acidez. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.939-946, 2001.

FIGUEIREDO, O.A.R. **Reações de superfosfato triplo e de cama de galinha poedeira com um solo Latossolo Bruno**. 1985. Dissertação (Mestrado em Solos) – Curso de Pós-Graduação em Solos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

GONÇALVES, J.L.M. et al. Cinética de adsorção de fósforo em solos do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.9, p.107-111, 1985.

HE LU, Z. et al. Factors affecting phosphate rock dissolution in acid soil amended with liming materials and cellulose. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.60, p.1596-1601, 1996.

HERNANDEZ, J.; MEURER, E. Adsorção de fósforo e sua relação com formas de ferro em dez solos do Uruguai. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.223-230, 1998.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Modos de adubação, absorção de nutrientes e rendimento de milho em diferentes preparos do solo. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.2, p.79-86, 1996.

MANTOVANI, A. et al. Mobilidade de nitrogênio num solo ácido decorrente da aplicação de fertilizantes nitrogenados e superfosfato triplo. In: FERTBIO 2004, 2004, Lages. **Anais eletrônicos** Lages : CAV/UDESC, 2004.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto,

comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.7, p.95-102, 1983.

PÖTTKER, D.; BEN, J.R. Calagem para uma rotação de culturas em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.675-684, 1998.

RHEINHEIMER, D.S. et al. Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solo arenoso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, p.263-268, 2000.

SANTOS, J.C.P. et al. Rendimento de massa seca e absorção de fósforo pelo milho afetado pela aplicação de fósforo, calcário e incubação com fungos micorrízicos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 26, p. 63-67, 1996.

SHARPLEY, A.N.; SISAK, I. Differential availability of manure and inorganic sources of phosphorus in soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.61, p.1503-1508, 1997.

SHEN LU; MILLER, H. Prediction of phosphorus uptake by field-grown maize with the Barber-Cushman model. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, p.852-857, 1994.

SPOSITO, G. **The chemistry of soil**. New York: University Press, 1989. 277 p.

TEDESCO, M.J. et al. **Análise do solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Departamento de Solos/UFRGS, 1995. 174 p. Boletim Técnico de Solos, 5.

TENNANT, D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Ecology**, Londres, v.63, p.995-1001, 1975.

TISSI, J.A.; CAIRES, E.F.; PAULETTI, V. Efeitos da calagem em semeadura direta de milho. **Bragantia**, Campinas, v. 63, p. 405-413, 2004.

VIDOR, C.; FREIRE, J.R.J. Efeito da calagem e da adubação fosfatada sobre a fixação simbiótica do nitrogênio pela soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v.7, p.181-190, 1972.

WIETHÖLTER, S.; BEN, J.R.; KOCHHANN, R.A., et al. Fósforo e potássio no solo no sistema de plantio direto. In: NEURBERG, N.J., ed. **Conceitos e fundamentos do sistema de plantio direto**. Lages : [S.n.], 1998. p. 121-143.