

SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

EFEITOS DA CALAGEM EM SEMEDURA DIRETA DE MILHO⁽¹⁾

JOSINEI ANTONIO TISSI⁽²⁾; EDUARDO FÁVERO CAIRES^(3,5); VOLNEI PAULETTI⁽⁴⁾

RESUMO

As conseqüências das alterações químicas do solo, decorrentes da calagem na superfície, sobre o crescimento radicular e a nutrição do milho cultivado em semeadura direta são pouco conhecidas. Com o objetivo de avaliar os efeitos da aplicação superficial de calcário nos atributos químicos do solo, no crescimento de raízes e na nutrição da planta de milho, e seus reflexos sobre o rendimento de grãos, foi realizado um experimento em Latossolo Vermelho distrófico textura muito argilosa, manejado há seis anos em semeadura direta, em Tibagi (PR). Os tratamentos, aplicados em parcelas de 44,8 m², foram dispostos em blocos completos ao acaso com quatro repetições e constaram da aplicação de quatro doses de calcário dolomítico na superfície: 0, 1, 2 e 3 t.ha⁻¹ (PRNT = 100%). As doses de calcário (27% de CaO, 20% de MgO e 85% de PRNT) foram baseadas no requerimento de 1/3, 2/3 e na quantidade total calculada para elevar a saturação por bases do solo, na camada de 0-20 cm, a 70%. A calagem, após 22 meses, aumentou o pH em CaCl₂ 0,01 mol.L⁻¹, os teores de Ca e Mg trocáveis e a saturação por bases, e reduziu os teores de H + Al e de Al trocável, na camada superficial do solo (0-10 cm), e ocasionou aumento de Ca trocável e redução de Al trocável no subsolo (20-40 cm). A aplicação superficial de doses de calcário não alterou o comprimento e a distribuição relativa de raízes de milho até a profundidade de 40 cm, reduziu o raio médio de raízes e aumentou a absorção de P, Ca, Mg e S pelas plantas, sem causar reflexos sobre o rendimento de grãos. Os teores de Cu, Fe, Mn e Zn no solo e no tecido foliar do milho, bem como sua absorção pelas plantas, não foram alterados com a aplicação de calcário na superfície.

Palavras-chave: *Zea mays* L., acidez do solo, calcário dolomítico, sistema radicular, nutrição mineral.

ABSTRACT

EFFECT OF LIME APPLICATION ON NO-TILLAGE CORN

The effects of superficial lime application on chemical soil attributes under no-tillage systems and its influence on root growth and mineral nutrition in maize crops have not been thoroughly investigated yet. To evaluate these effects on maize and its reflexes on grain yield performance, a field

⁽¹⁾ Recebido para publicação em 20 de agosto de 2003 e aceito em 29 de julho de 2004.

⁽²⁾ Mestrado em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná (UFPR), 80035-050 Curitiba (PR).

⁽³⁾ Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), 84030-900 Ponta Grossa (PR). E-mail: efcaires@uepg.br

⁽⁴⁾ Fundação ABC – BR 151, km 155,5, Caixa Postal 1003, 84166-900 Castro (PR).

⁽⁵⁾ Com bolsa de produtividade em pesquisa do CNPq.

trial was carried out on a dystrophic clayey Rhodic Hapludox, previously managed under no-tillage for six years, at Tibagi, State of Paraná, Brazil. The experimental design was a randomized complete block with four replications, using 44.8 m² plots. The treatments consisted of four liming rates (0, 1, 2 and 3 t.ha⁻¹, pure CaCO₃ equivalents) which represented 1/3, 2/3 and the total amount calculated for the soil to reach a base saturation of 70%, in the 0-20 cm layer. Dolomitic limestone (27% of CaO, 20% of MgO and 85% of ECCE) was broadcast-applied to the soil surface without incorporation. After 22 months, lime application increased soil pH in CaCl₂ 0.01 mol.L⁻¹, exchangeable Ca and Mg, and base saturation, and reduced H + Al and exchangeable Al at the superficial layer (0-10 cm). It also increased exchangeable Ca and decreased exchangeable Al at the subsoil (20-40 cm). Liming did not significantly affect length and relative distribution of corn root at the 40 cm depth, reduced average root radius and increased plant uptake of P, Ca, Mg, and S, with no significant effects on grain yields. Surface lime application did not affect Cu, Fe, Mn and Zn concentrations in the soil and leaves or plant uptake of these micronutrients.

Key words: *Zea mays* L., soil acidity, dolomitic limestone, root system, mineral nutrition.

1. INTRODUÇÃO

A correção da acidez do solo é muito importante ao adequado desenvolvimento do milho, embora existam materiais genéticos mais tolerantes às condições de acidez (CANTARELLA, 1993). O aumento do pH do solo altera a disponibilidade de nutrientes, causando aumentos na absorção de N (GOODROAD e JELLUM, 1988), P, K, Ca e Mg (LUTZ JR. et al., 1972) pelo milho. Mesmo os genótipos de milho com tolerância ao Al e que conseguem aprofundar seu sistema radicular em solos ácidos também, normalmente, apresentam respostas positivas à calagem (RAJ et al., 1998).

O sistema de semeadura em solo não revolvido e protegido por resíduos vegetais, com rotação diversificada de culturas (sistema de semeadura direta), tem-se destacado como uma das estratégias mais eficazes para a sustentabilidade da agricultura em regiões tropicais e subtropicais. Esse sistema de cultivo tem apresentado rápido crescimento em área cultivada no Brasil, ocupando cerca de 17 milhões de hectares em 2002 (DERPSCH, 2002).

Na semeadura direta, a correção da acidez do solo é realizada mediante aplicação de calcário na superfície, sem incorporação. A viabilidade de aplicação de calcário na superfície, acompanhada de aumento na produção de grãos de milho em tal sistema de cultivo, foi demonstrada por MOSCHLER et al. (1973). A eficiência da calagem superficial na neutralização da acidez do solo causada pela adubação nitrogenada do milho, cultivado em semeadura direta, com conseqüente aumento na produção de grãos, também foi observada por BLEVINS et al. (1978).

Trabalhos recentes têm mostrado respostas pouco expressivas do milho à aplicação superficial de calcário em solos ácidos manejados em semeadura direta (PÖTTKER e BEN, 1998; CAIRES et al., 1999, 2002;

RHEINHEIMER et al., 2000; ALLEONI et al., 2003). Nesse sistema, o maior teor de matéria orgânica e a maior concentração de nutrientes que ocorrem na superfície do solo são dois fatores que alteram o comportamento do Al em solução. Essas duas características reduzem a atividade do Al e, conseqüentemente, seu potencial químico, pela formação de complexos Al-orgânicos e pela maior força iônica da solução do solo (SALET et al., 1994 citados por ANGHINONI e SALET, 1998). O aumento na capacidade de troca de cátions do solo, devido ao maior teor de matéria orgânica, pode proporcionar concentrações suficientes de cátions trocáveis, mesmo em solo com alta acidez (CAIRES et al., 1998). Além disso, há maior umidade nas camadas superficiais em tal sistema (SALTON e MIELNICZUK, 1995), graças à cobertura do solo, que reduz as perdas por evaporação. Todavia, pouco se conhece a respeito das conseqüências das alterações químicas do solo proporcionadas pela calagem na superfície sobre o crescimento radicular e a nutrição do milho cultivado em semeadura direta.

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar os efeitos da aplicação superficial de calcário nos atributos químicos do Latossolo, no crescimento radicular e na nutrição de plantas de milho cultivado em sistema de semeadura direta.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no município de Tibagi (PR), em Latossolo Vermelho distrófico textura muito argilosa. No inverno de 1993, antes da adoção do sistema de semeadura direta, a acidez do solo foi corrigida mediante a aplicação de calcário dolomítico (CaO = 27%, MgO = 20% e PRNT = 85%) visando elevar a saturação por bases a 70%. O corretivo da acidez foi incorporado ao solo com arado de aiveca na profundidade de 0-20 cm. Foram aplicadas mais 2 t.ha⁻¹ de calcário na superfície em maio de 1995 (SA, 1995).

No momento da instalação do experimento (maio de 1998), a área estava sem receber calcário há três anos. Análises químicas e granulométricas do solo, da profundidade de 0-20 cm, realizadas nessa ocasião, revelaram os seguintes resultados: pH em CaCl_2 0,01 mol.L⁻¹ 4,8; 72 mmol_c.dm⁻³ de H + Al; 2 mmol_c.dm⁻³ de Al³⁺; 47 mmol_c.dm⁻³ de Ca²⁺; 18 mmol_c.dm⁻³ de Mg²⁺, 6,7 mmol_c.dm⁻³ de K⁺ e 50% de saturação por bases e teores de argila, silte e areia, respectivamente, de 690, 190 e 120 g.kg⁻¹.

Na rotação de culturas foram utilizados: aveia preta (inverno/1993), milho (1993/94), aveia preta (inverno/1994), soja (1994/95), trigo (inverno/1995), soja (1995/96), aveia preta (inverno/1996), milho (1996/97), trigo (inverno/1997), soja (1997/98), aveia branca (inverno/1998), soja (1998/99), aveia preta (inverno/1999) e milho (1999/00).

Os tratamentos, aplicados em parcelas de 44,8 m² (6,4 x 7,0 m), foram dispostos em blocos completos ao acaso, com quatro repetições, e constaram da aplicação de quatro doses de calcário dolomítico na superfície: 0, 1, 2 e 3 t.ha⁻¹ (PRNT = 100%). As doses de calcário (CaO = 27%, MgO = 20% e PRNT = 85%) foram aplicadas com base no requerimento de 1/3, 2/3 e na quantidade total calculada para elevar a saturação por bases do solo, na camada de 0-20 cm, a 70%. O calcário foi aplicado em maio de 1998, antes da semeadura de aveia branca, utilizada para produção de cobertura vegetal.

A semeadura do milho, cultivar Z 8392, foi feita em 14 de outubro de 1999, na densidade de cinco sementes por metro e espaçamento de 0,8 m entre as linhas. A adubação básica utilizada na semeadura foi de 300 kg.ha⁻¹ da fórmula 10-20-20 (N-P₂O₅-K₂O) + 1% de Zn, na forma de óxido de zinco. Em cobertura, foram aplicados 90 kg.ha⁻¹ de N, na forma de uréia, 55 dias após a semeadura.

No início do florescimento da cultura do milho foi feita amostragem de folhas, retirando-se o terço médio da folha imediatamente abaixo e oposta à espiga em 30 plantas por parcela, para análise química dos teores de nutrientes. Nessa época, também foram coletadas, somente a parte aérea, de cinco plantas inteiras ao acaso por parcela, para determinar produção de matéria seca e extração de nutrientes. As concentrações de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn foram avaliadas nas folhas e na parte aérea das plantas, de acordo com os métodos descritos em SARRUGE e HAAG (1974).

A amostragem de raízes de milho foi realizada na fase de enchimento de grãos, conforme MENGEL e BARBER (1974). As amostras de raízes foram coletadas por meio de trado cilíndrico com 3,6 cm de diâmetro,

retirando-se quatro subamostras na linha de semeadura e quatro nas entrelinhas por parcela, para compor uma amostra composta. As raízes foram coletadas a uma distância da planta de 10 cm na linha e 30 cm na entrelinha, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm. As raízes foram separadas do solo por dispersão em água, através de peneira de 0,5 mm. O comprimento de raízes foi estimado pelo método de TENNANT (1975) e o raio médio segundo SCHENK e BARBER (1979).

Após a maturação, o milho foi colhido e trilhado, sendo então avaliada a produção de grãos a 13% de umidade. Foram colhidas as quatro linhas centrais por quatro metros de comprimento em cada parcela, compreendendo uma área útil de 12,8 m².

Amostras de solo foram coletadas logo após a colheita, 22 meses após a aplicação do calcário, retirando-se 10 subamostras ao acaso por parcela para constituir uma amostra composta das camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade. Foram determinados o pH em CaCl_2 0,01 mol L⁻¹ e os teores de H + Al, Al, Ca, Mg, K, P (Mehlich-1) e C-orgânico, segundo PAVAN et al. (1992). Os teores de Cu, Fe, Mn e Zn foram determinados de acordo com o método descrito por LINDSAY e NORWEL (1978), mediante extração com DTPA.

Os resultados foram submetidos às análises de regressão polinomial, tendo-se adotado como critério para a escolha do modelo a magnitude dos coeficientes de determinação significativos a 5%.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação de doses de calcário na superfície aumentou linearmente o pH em CaCl_2 0,01 mol.L⁻¹, os teores de Ca e Mg trocáveis e a saturação por bases, e reduziu também de forma linear os teores de H + Al e de Al trocável do solo, na profundidade de 0-10 cm (Tabela 1). Mesmo assim, o calcário reagiu pouco com o solo nessa camada, considerando que praticamente não houve diferenças entre as doses aplicadas (1, 2 e 3 t.ha⁻¹).

As pequenas variações ocorridas nos valores de pH em CaCl_2 0,01 mol.L⁻¹ (4,6 a 4,8) e de saturação por bases (41% a 48%) na profundidade de 0-10 cm, com as doses de calcário, evidenciam que a reação do calcário aplicado na superfície deve ter sido mais acentuada em camadas de solo mais superficiais, conforme observado em outros trabalhos (HARGROVE et al., 1982; PIRES et al., 2003). Mesmo assim, a calagem causou aumento de Ca e redução de Al trocável na profundidade de 20-40 cm.

Tabela 1. Alterações químicas do solo em sistema de semeadura direta, em profundidade, 22 meses após a aplicação superficial de calcário

Calcário t.ha ⁻¹	pH em CaCl ₂	H + Al	Al	Ca	Mg	K	P ⁽¹⁾	C	Cu ⁽²⁾	Fe ⁽²⁾	Mn ⁽²⁾	Zn ⁽²⁾	V ⁽³⁾
0-10 cm													
0	4,6	105	8	35	26	10,8	17,0	24	1,3	11,5	4,5	0,7	41
1	4,7	99	5	38	29	9,5	17,0	25	1,4	9,2	4,6	2,2	43
2	4,8	92	4	40	29	9,8	15,2	24	1,4	8,9	4,8	1,7	47
3	4,8	92	4	42	29	9,8	13,8	24	1,4	9,4	4,3	1,5	48
Efeito	L*	L**	L**	L*	L**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	L**
CV (%)	1,8	6,4	34,6	8,6	5,0	6,8	32,0	6,9	7,5	14,9	16,8	59,0	6,1
10-20 cm													
0	4,5	111	10	31	27	8,2	7,5	23	1,4	10,5	3,5	0,9	37
1	4,6	106	8	31	28	7,8	8,2	23	1,5	9,6	3,5	2,5	37
2	4,6	107	9	29	27	7,1	7,0	23	1,5	10,2	3,7	1,1	38
3	4,6	107	9	31	24	7,3	7,7	23	1,5	10,1	3,3	1,6	37
Efeito	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	2,6	7,9	35,3	12,5	14,1	17,6	14,0	6,1	7,2	11,2	11,8	59,3	11,6
20-40 cm													
0	4,5	107	9	32	23	9,2	9,7	23	1,5	10,1	5,0	0,9	38
1	4,6	101	6	34	27	9,5	9,5	24	1,3	8,7	4,8	1,4	40
2	4,6	103	8	38	28	8,5	8,5	23	1,5	9,5	5,0	1,0	39
3	4,7	102	5	39	27	9,2	9,2	23	1,4	9,1	5,4	0,9	40
Efeito	ns	ns	L*	L*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	2,3	6,1	22,1	12,1	15,2	13,6	13,6	5,0	9,3	9,1	23,1	47,3	7,9

L: Efeito linear por análise de regressão; ns: não significativo; *, **: significativo a 5% e a 1% respectivamente.

(¹) Extração com Mehlich-1. (²) Extração com DTPA. (³) V = saturação por bases.

Resultados semelhantes foram obtidos por CAIRES et al. (1999). Tais efeitos podem estar relacionados com o mecanismo de lixiviação de Ca proposto por MIYAZAWA et al. (1996), por meio da formação de complexos orgânicos hidrossolúveis presentes nos restos das plantas. Na camada superficial do solo, os ligantes orgânicos complexam o Ca trocável do solo, formando complexos CaL⁰ ou CaL⁻. A alteração da carga de Ca²⁺ facilita sua mobilidade no solo. Na camada subsuperficial, o cálcio dos complexos Ca-orgânicos é deslocado pelo Al trocável do solo, porque os íons Al³⁺ formam complexos mais estáveis do que Ca²⁺, diminuindo a acidez trocável e aumentando o Ca trocável. Além disso, os nitratos podem agir como carregadores de cátions pela formação de ligantes ou pares iônicos que facilitam sua distribuição no perfil do solo (GROVE e BLEVINS, 1988; PAVAN e OLIVEIRA, 1997). Os teores de K, P (Mehlich-1) e de C-orgânico não foram

influenciados significativamente pelas doses de calcário.

Os teores de micronutrientes catiônicos no solo (Cu, Fe, Mn e Zn) extraídos com DTPA, nas três profundidades estudadas, não foram alterados pelas doses de calcário aplicadas na superfície (Tabela 1), e se mantiveram em níveis considerados médios/altos (RAU et al., 1997). Nota-se que as concentrações de micronutrientes catiônicos foram muito semelhantes ao longo de todo o perfil do solo (0-40 cm) e que a maior variabilidade ocorreu para o zinco. Mesmo assim, é possível que a camada de solo de 0-10 cm tenha mascarado um provável efeito da calagem superficial na diminuição da disponibilidade de micronutrientes catiônicos em camadas de solo mais superficiais, tendo em vista que a reação do calcário, considerando a profundidade de 0-10 cm, foi relativamente pequena.

O comprimento de raízes de milho por superfície de solo até a profundidade de 40 cm, tanto na linha de semeadura como nas entrelinhas, não foi alterado significativamente com a aplicação superficial de doses de calcário (Tabela 2). Nota-se que o comprimento radicular na linha de semeadura foi, em média, quase o dobro do encontrado nas entrelinhas (30 cm da planta). Esses resultados mostram que a concentração de $8 \text{ mmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$ de Al trocável no solo (Tabela 1) não causou restrição ao crescimento radicular do milho cultivado em semeadura direta, o que está de acordo com os resultados obtidos por CAIRES et al. (2002).

O comprimento relativo de raízes de milho, na linha de semeadura e nas entrelinhas, não foi influenciado pelas doses de calcário na superfície (Tabela 3). Na linha de semeadura foram observados, em média, 62, 24 e 14% do comprimento radicular, respectivamente, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm. Nas entrelinhas foram encontrados, para as mesmas profundidades, 56, 28 e 16% do comprimento de raízes. Para o milho cultivado em semeadura direta, CAIRES et al. (2002) observaram 40% do comprimento radicular na camada de solo de 0-10 cm, considerando o crescimento de raízes até a profundidade de 60 cm. MERTEN e MIELNICZUK (1991) verificaram que mais de 70% da massa seca total de raízes de aveia preta, milho, soja e trigo, independentemente do sistema de preparo, concentrou-se na profundidade de 0-10 cm.

Comparando-se o comprimento relativo de raízes de milho na linha de semeadura e nas entrelinhas, para cada profundidade de solo estudada, observou-se, na camada de 0-10 cm, 67% do comprimento radicular na linha de semeadura e 33% nas entrelinhas; na camada de 10-20 cm, 62% na linha de semeadura e 38% nas entrelinhas; e na camada de 20-40 cm, 60% na linha de semeadura e 40% nas entrelinhas. Esses resultados concordam com os

obtidos por KEPLER (1991), que encontrou 65% de raízes de milho na superfície do solo e também alta densidade radicular próxima ao colmo da planta. A distribuição espacial de raízes com as maiores concentrações próximas à planta e na superfície ocorre devido à morfologia do sistema radicular e às condições, geralmente, mais adequadas quanto à disponibilidade de nutrientes, aeração e atividade biológica para o desenvolvimento radicular nas camadas superficiais do solo (RUSSEL, 1981; BARRETO, 1991).

O raio médio de raízes de milho foi reduzido linearmente na linha de semeadura (0-40 cm) e nas entrelinhas (0-10 cm) com aplicação de doses de calcário na superfície (Tabela 3). Nota-se que o raio médio de raízes de milho foi maior (raízes mais grossas) em condições de maior acidez do solo, onde o Al estava presente em maiores concentrações (Tabela 1). VILELA e ANGHINONI (1984) observaram engrossamento de raízes de soja tratadas com Al. ROSELEM et al. (1994) verificaram que a calagem teve efeito positivo no crescimento radicular do milho, mas o raio médio das raízes não foi alterado com a aplicação de calcário, em solo sem problema de toxicidade de Al. No sistema de semeadura direta é comum a ocorrência de compactação na superfície do solo pela ausência de preparo, aliada ao tráfego de máquinas (TORMENA et al., 1998). A calagem, em condições de solo compactado, pode exercer efeito positivo sobre os parâmetros morfológicos de raízes de milho (ROSELEM et al., 1994). Em Latossolo Vermelho textura média manejado em semeadura direta, CAIRES et al. (2002) verificaram que as raízes de milho apresentaram maior raio médio em razão de maior compactação do solo e que a calagem na superfície favoreceu o crescimento de raízes na camada de solo compactada, em decorrência do aumento de Ca trocável e da redução de Al trocável.

Tabela 2. Comprimento de raízes de milho por superfície de solo em sistema de semeadura direta, até à profundidade de 40 cm, na linha de semeadura e nas entrelinhas, resultante da aplicação superficial de calcário

Calcário	Comprimento de raízes de milho por superfície de solo	
	Linha de semeadura	Entrelinhas
t.ha ⁻¹	cm.cm ⁻²	
0	65,6	31,8
1	72,7	32,7
2	66,0	44,4
3	63,9	38,7
Efeito	ns	ns
CV (%)	10,4	17,7

ns: não significativo.

Tabela 3. Comprimento relativo e raio médio de raízes de milho em sistema de semeadura direta, em profundidade, na linha de semeadura e nas entrelinhas, resultante da aplicação superficial de calcário

Calcário t.ha ⁻¹	Comprimento relativo de raízes		Raio médio de raízes	
	Linha de semeadura	Entrelinhas	Linha de semeadura	Entrelinhas
	%		mm	
0-10 cm				
0	63	58	0,37	0,29
1	68	57	0,29	0,22
2	60	53	0,30	0,23
3	58	56	0,30	0,22
Efeito	ns	ns	L*	L*
CV (%)	8,9	11,9	8,9	11,6
10-20 cm				
0	26	25	0,32	0,23
1	20	26	0,26	0,21
2	23	32	0,26	0,22
3	28	27	0,27	0,23
Efeito	ns	ns	L*	ns
CV (%)	20,0	18,9	11,8	16,4
20-40 cm				
0	11	17	0,31	0,25
1	12	17	0,23	0,23
2	17	15	0,23	0,26
3	14	17	0,23	0,25
Efeito	ns	ns	L**	ns
CV (%)	23,9	24,2	8,1	16,0

L: Efeito linear por análise de regressão; ns: não significativo; *, **: significativo a 5% e a 1% respectivamente.

Os teores de Mg e S nas folhas de milho foram aumentados de forma linear de acordo com as doses de calcário aplicadas (Tabela 4). As concentrações de N, P, K, Ca, Cu, Fe, Mn e Zn no tecido foliar não foram alteradas com a calagem e se mantiveram em níveis considerados normais para a cultura (MALAVOLTA et al., 1997). Em outros trabalhos, também não foram observadas variações nos teores de N nas folhas de milho com a calagem (CENTURION, 1988; CAIRES et al., 1999, 2002). Os teores foliares de K não foram influenciados significativamente pela calagem, certamente porque o calcário aplicado na superfície reagiu pouco com o solo. A aplicação superficial de calcário dolomítico em semeadura direta pode reduzir a concentração de K nas folhas pela substituição de

K por Mg no tecido foliar do milho (CAIRES et al., 2002). Como os teores de Cu, Fe, Mn e Zn no solo (Tabela 1) estavam em níveis considerados médios/altos (RAU et al., 1997) e os teores foliares desses nutrientes foram adequados (MALAVOLTA et al., 1997), pode-se inferir que o extrator utilizado (DTPA) foi eficiente na avaliação da disponibilidade desses nutrientes no solo para o milho.

A calagem na superfície não alterou significativamente a produção de matéria seca pela parte aérea das plantas de milho, tendo-se obtido 6.449, 8.154, 8.185 e 8.038 kg.ha⁻¹ de massa seca da parte aérea no florescimento da cultura, respectivamente, para as doses 0, 1, 2 e 3 t ha⁻¹ de calcário.

A aplicação superficial de doses de calcário aumentou linearmente a quantidade de P, Ca, Mg, e S extraída pelas plantas de milho (Tabela 5). Dessa forma, a ausência de efeito da calagem nos teores foliares de P e Ca (Tabela 4) deve ter ocorrido em vista da diluição desses nutrientes nos tecidos da planta. Deve-se considerar que a utilização de calcário dolomítico exerce grande influência na absorção de Ca e Mg pelo milho (BÜLL, 1993). Nota-se que houve maior absorção de P pelas plantas, apesar de a análise de solo não ter revelado maior disponibilidade de P (Mehlich-1), com a calagem (Tabela 1).

Em solos ácidos, a calagem aumenta a disponibilidade de P adsorvido nos óxidos de Fe e Al, mas o extrator Mehlich-1 não tem detectado esse efeito do calcário (QUAGGIO et al., 1982; CAIRES e FONSECA, 2000). ROSOLEM et al. (1994) também observaram maior absorção de P por plantas de milho com o aumento da saturação por bases do solo através da calagem. A maior absorção de S com a aplicação de calcário pode ser consequência da liberação de sulfato adsorvido, em decorrência da

elevação do pH na camada superficial do solo (CAIRES et al., 1999), ou ainda da maior mineralização de S orgânico, considerando o ambiente mais favorável para a atividade microbiana (WILLIAMS, 1967). A absorção de micronutrientes catiônicos pelo milho não foi influenciada significativamente pelas doses de calcário aplicadas na superfície.

O aumento na quantidade de P, Ca, Mg e S absorvida pelas plantas de milho (Tabela 5), devido à aplicação de doses de calcário na superfície, não proporcionou alterações significativas na produtividade de grãos.

O rendimento de milho foi de 8.383, 8.800, 8.695 e 8.459 kg.ha⁻¹, respectivamente, para as doses 0, 1, 2 e 3 t ha⁻¹ de calcário. Resultados semelhantes foram obtidos em outros trabalhos realizados em solos ácidos sob semeadura direta na Região Sul do Brasil (PÖTTKER e BEN, 1998; CAIRES et al., 1999, 2002; RHEINHEIMER et al., 2000, ALLEONI et al., 2003). Ressalta-se que, no presente trabalho, o solo apresentava 8 mmol_c.dm⁻³ de Al trocável (0-10 cm), mas a saturação por Al era de apenas 10% (Tabela 1).

Tabela 4. Concentração de nutrientes nas folhas de milho em sistema de semeadura direta, resultante da aplicação superficial de calcário

Calcário t.ha ⁻¹	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
	g.kg ⁻¹			mg.kg ⁻¹						
0	29,7	2,9	22,2	2,4	2,0	1,8	12	130	62	22
1	26,7	3,0	21,0	2,4	2,1	2,0	13	112	57	21
2	30,1	3,1	21,4	2,4	2,1	2,2	14	122	59	24
3	29,3	3,0	17,3	2,4	2,2	2,2	14	120	59	21
Efeito	ns	ns	ns	ns	L*	L*	ns	ns	ns	ns
CV (%)	4,4	5,0	28,3	7,5	6,0	11,8	10,9	28,1	9,8	16,0

L: Efeito linear por análise de regressão; ns: não significativo; *: significativo a 5%.

Tabela 5. Extração de nutrientes pela parte aérea de milho em sistema de semeadura direta, resultante da aplicação superficial de calcário

Calcário t.ha ⁻¹	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
	kg.ha ⁻¹			g.ha ⁻¹						
0	114	13	201	10	16	7	46	289	367	125
1	145	17	249	14	21	8	53	320	467	152
2	155	17	252	14	21	8	60	397	490	162
3	145	17	242	15	22	8	56	373	470	150
Efeito	ns	L*	ns	L*	L*	L*	ns	ns	ns	ns
CV (%)	15,8	13,3	11,9	16,2	12,5	9,9	20,3	23,7	23,7	14,6

L: Efeito linear por análise de regressão; ns: não significativo; *: significativo a 5%.

Os altos teores de Ca e Mg trocáveis no solo reduzem a saturação por Al e sua toxicidade ao sistema radicular (ERNANI et al., 1998). Deve-se considerar ainda, a importância da umidade do solo nos processos de transporte e de absorção de nutrientes e que a toxidez de Al para o milho é mais acentuada quando a disponibilidade de água no solo é baixa (FREIRE, 1984). Além da cobertura do solo proporcionar maior umidade disponível nas camadas superficiais em sistema de semeadura direta (SALTON e MIELNICZUK, 1995), não houve deficiência hídrica durante o ciclo da cultura do milho no campo, o que deve ter favorecido a absorção de água e de nutrientes pelas plantas.

4. CONCLUSÕES

1. A aplicação de calcário na superfície em semeadura direta aumentou o pH em CaCl_2 0,01 mol.L⁻¹, os teores de Ca e Mg trocáveis e a saturação por bases, e reduziu os teores de H + Al e de Al trocável, na camada superficial do solo (0-10 cm), e ocasionou aumento de Ca trocável e redução de Al trocável no subsolo (20-40 cm).

2. A calagem na superfície em semeadura direta não alterou o comprimento e a distribuição relativa de raízes de milho até à profundidade de 40 cm, reduziu o raio médio de raízes e aumentou a absorção de P, Ca, Mg e S pelas plantas, sem causar conseqüências no rendimento de grãos.

REFERÊNCIAS

- ALLEONI, L.R.F.; ZAMBROSI, F.C.B.; MOREIRA, S.G.; PROCHNOW, L.I.; PAULETTI, V. Liming and electrochemical attributes of an Oxisol under no tillage. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.60, p.119-123, 2003.
- ANGHINONI, I.; SALET, R.L. Amostragem do solo e as recomendações de adubação e calagem no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. (Ed.) **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, 1998. p.27-52.
- BARRETO, A.C. **Efeito de sistemas de rotação, sucessão e níveis de calagem, sobre características físicas e químicas do solo e no desenvolvimento do sistema radicular e produção de grãos de milho** (*Zea mays L.*). 1991. 154 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- BLEVINS, R.L.; MURDOCK, L.W.; THOMAS, G.W. Effect of lime application on no-tillage and conventionally tilled corn. *Agronomy Journal*, Madison, v.70, p.322-326, 1978.
- BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L.T.; CANTARELLA, H. (Eds.). **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1993. p.63-121.
- CAIRES, E.F.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.22, p.27-34, 1998.
- CAIRES, E.F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.23, p.315-327, 1999.
- CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. *Bragantia*, Campinas, v.2, p.213-220, 2000.
- CAIRES, E.F.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J.; KUSMAN, M.T. Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.26, p.1011-1022, 2002.
- CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BÜLL, L.T.; CANTARELLA, H. (Eds.). **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1993. p.147-196.
- CENTURION, J.F. **Efeito de sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas de um solo argiloso sob cerrado e na cultura do milho implantada**. 1988. 125f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- DERPSCH, R. Evolução do sistema de plantio direto no Brasil e no mundo. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 8., Águas de Lindóia, 2002. **Resumos...** Águas de Lindóia: Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha, 2002. p.75-77.
- 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.
- FREIRE, J.C. Resposta do milho a níveis de água e formas de aplicação de calcário em dois solos originalmente sob cerrado em casa de vegetação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.8, p.305-308, 1984.
- GOODROAD, L.L.; JELLUM, M.D. Effect of N fertilizer rate and soil pH on N efficiency in corn. *Plant Soil*, Dordrecht, v.106, p.85-89, 1988.
- GROVE, J.H.; BLEVINS, R.L. Correcting soil acidification in continuous corn: N rate, tillage e time. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v. 19, p.1331-1342, 1988.

- HARGROVE, W.L.; REID, J.T.; TOUCHTON, J.T.; GALLAHER, R.N. Influence of tillage practices on the fertility status of an acid soil double – cropped to wheat and soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v.74, p.684-687, 1982.
- KEPLER, D. **Nutrientes e raízes no perfil e crescimento de milho e aveia em função do preparo do solo e modos de adubação**. 1991. 117f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- LINDSAY, W.L.; NORVELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and cooper. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.42, p.421-428, 1978.
- LUTZ Jr., J.A.; GENTER, C.F.; HAWKINS, G.W. Effect of soil pH on element concentration and uptake by maize: I. P, K, Ca, Mg and Na. **Agronomy Journal**, Madison, v.64, p.581-583, 1972.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319p.
- MENGEL, D.B.; BARBER, S.A. Development and distribution of the corn root system under field conditions. **Agronomy Journal**, Madison, v.66, p.341-344, 1974.
- MERTEN, G.H.; MIELNICZUK, J. Distribuição do sistema radicular e dos nutrientes em Latossolo Roxo sob dois sistemas de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, p.369-374, 1991.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; SANTOS, J.C.F. Effects of addition of crop residues on the leaching of Ca and Mg in Oxisols. In INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH, 4., Belo Horizonte, 1996. **Resumos...** Belo Horizonte: SBRS/EMBRAPA-CPAC, 1996. p.8.
- MOSCHLER, W.W.; MARTENS, D.C.; RICH, C.I.; SHEAR, G.H. Comparative lime effects on continuous no-tillage and conventionally tilled corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.65, p.781-783, 1973.
- PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKI, H.C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D.C. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. Londrina: Instituto Agronômico do Paraná, 1992. 38p. (Circular, 76)
- PAVAN, M.A.; OLIVEIRA, E.L. **Manejo da acidez do solo**. Londrina: Instituto Agronômico do Paraná, 1997. 87p. (Circular, 95)
- PIRES, F.R.; SOUZA, C.M.; QUEIROZ, D.M.; MIRANDA, G.V.; GALVÃO, J.C.C. Alteração de atributos químicos do solo e estado nutricional e características agronômicas de plantas de milho, considerando as modalidades de calagem em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.121-131, 2003.
- PÖTTKER, D.; BEN, J.R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.4, p.675-684, 1998.
- QUAGGIO, J.A.; MASCARENHAS, H.A.A.; BATAGLIA, O.C. Resposta da soja à aplicação de doses crescentes de calcário em latossolo roxo distrófico de cerrado. II – Efeito residual. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.6, p.113-118, 1982.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico, 1997. 285p. (Boletim, 100)
- RAIJ, B. van; FURLANI, P.R.; QUAGGIO, J.A.; PETTINELLI Jr., A. Gesso na produção de cultivares de milho com tolerância diferencial a alumínio em três níveis de calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.101-108, 1998.
- RHEINHEIMER, D.S.; SANTOS, E.J.S.; KAMINSKI, J.; XAVIER, F.M. Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solo arenoso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, p.263-268, 2000.
- ROSOLEM, C.A.; VALE, L.S.R.; GRASSI FILHO, H.; MORAES, M.H. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, p.491-497, 1994.
- RUSSEL, R.S. Plant root systems – their function and interaction with the soil. In: SYMPOSIUM ON THE SOIL/ROOT SYSTEM IN RELATION TO BRASILIAN AGRICULTURE, Londrina, 1980. **Proceedings...** Londrina: Instituto Agronômico do Paraná, 1981. p.3-19.
- SÁ, J.C.M. Calagem em solos sob plantio direto da região dos Campos Gerais, Centro Sul do Paraná. In: SÁ, J.C.M. (Coord.). **Curso sobre manejo do solo no sistema de plantio direto**. Castro: Fundação ABC, 1995. p.73-107.
- SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um podzólico vermelho-escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.2, p.313-319, 1995.
- SARRUGE, J.R., HAAG, H.P. **Análise química de plantas**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/ USP, 1974. 56p.
- SCHENK, M.K.; BARBER, S.A. Root characteristics of corn genotypes as related to P uptake. **Agronomy Journal**, Madison, v.71, p. 921-924, 1979.
- TENNANT, D. A test of modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Ecology**, London, v.63, p.995-1001, 1975.
- TORMENA, C.A.; ROLOFF, G.; SÁ, J.C.M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.301-309, 1998.
- VILELA, L.; ANGHINONI, I. Morfologia do sistema radicular e cinética da absorção de fósforo em cultivares de soja afetados pela interação alumínio-fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.8, p.91-96, 1984.
- WILLIAMS, C.H. Some factors affecting the mineralization of organic sulfur in soils. **Plant Soil**, Dordrecht, v.26, p.205-223, 1967.