

Granulometria e doses de calcário em diferentes sistemas de manejo

José Ricardo Pupo Gonçalves¹, Adônis Moreira^{2*}, Leonardo Theodoro Bull³, Carlos Alexandre Costa Crusciol³ e Roberto Lyra Villas Boas³

¹Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Meio Ambiente), Jaguariúna, São Paulo, Brasil. ²Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Soja), Cx. Postal 231, 86001-970, Londrina, Paraná, Brasil. ³Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, São Paulo, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: adonis@cnpso.embrapa.br

RESUMO. A utilização de calcário em plantio direto é um dos problemas na adoção desse método de manejo do solo. O trabalho teve por objetivo avaliar as alterações nas propriedades químicas do solo cultivado nos sistemas de plantio convencional (SCC) e plantio direto (SPD), em função da granulometria e de doses de calcário dolomítico aplicado em superfície. Os experimentos foram realizados por três anos agrícolas em Latossolo Vermelho distrófico, em área de pastagem de *Urochloa decumbens*, com cultivo de milho em sucessão com aveia preta e triticale. O delineamento experimental utilizado foi os blocos casualizados em parcelas sub-subdivididas, com quatro repetições. Foram realizadas análises químicas (pH, Ca, Mg, H+Al e saturação por bases) do solo coletado nas camadas de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm aos 12, 24 e 36 meses após a implantação dos experimentos. Os resultados evidenciaram alterações nas propriedades químicas do solo, com aumento significativo do pH, Ca e Mg trocáveis, saturação por bases e redução da acidez potencial até 10 cm de profundidade no SPD, com diferenças significativas em relação ao SCC. Nas profundidades de 10-20 cm e 20-40 cm, houve inversão, e os efeitos na neutralização da acidez do solo foram mais pronunciados no SCC que no SPD. A utilização de calcário com PRNT de 95% proporcionou melhor neutralização da acidez do solo até 10 cm de profundidade. A aplicação em superfície do corretivo da acidez antes da implantação do SPD não foi suficiente para elevar a saturação por bases em nível almejado para a cultura do milho.

Palavras-chave: acidez do solo, pH, calagem, saturação por bases, manejo do solo.

ABSTRACT. Granulometric fractions and lime rates in conventional and no-tillage system. The use of limestone in no-tillage system usually causes great problems in soil management. The objective of this work was to evaluate the changes in the chemical properties of the soil under no-tillage (NTS) and conventional tillage system (CTS) due to granulometric fraction [Effective Calcium Carbonate (ECC) = 95% and 56%] and three rates (95% ECC = 1.2, 2.4 and 3.6 t ha⁻¹ and 56% ECC = 2, 4 and 6 t ha⁻¹) of dolomite lime applied in surface two months prior to system implantation. The experiment was carried out in a split-plot design with four replications in a dystrophic Red Latosol (Oxisol) during three years, in area of pasture of *Urochloa decumbens* using a succession of corn and black oat. The soil chemical characteristics (pH, Ca, Mg, H+Al and base saturation) were analyzed in 12, 24 and 36 months before each sowing in the depths 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm and 20-40 cm. The results evidenced alterations in soil chemical properties with pH increase, exchangeable calcium and magnesium, base saturation, and reduction of potential acidity up to 10 cm of depth in NTS, with significant differences in relation to CTS. In the depths of 10-20 cm and 20-40 cm, there was an inversion, and the effects in the neutralization of soil acidity were more pronounced in the CTS than the NTS. The application of lime with 95% ECC showed better neutralization of soil acidity up to 10 cm of depth. The use of lime with 56% ECC provided better neutralization of the acidity of the soil up to 10 cm of depth. The corrective application in surface before the implantation of SPD was enough to elevate the base saturation for levels adapted for the corn yield.

Keywords: soil acidity, pH, liming, base saturation, soil management.

Introdução

Um dos principais problemas para o cultivo no sistema plantio direto é que grandes áreas do território brasileiro são de solos ácidos que apresentam deficiência generalizada de bases trocáveis

(Ca, Mg, K), níveis tóxicos de Al, baixa capacidade de troca de cátions e baixos teores de matéria orgânica, características pouco favoráveis para o crescimento das plantas (GOEDERT, 1987). Para minimizar esse efeito, é feita, antes da introdução desta técnica de

manejo, a correção da acidez do solo em profundidade, mantendo o pH e os teores de Ca e Mg em níveis considerados adequados (MIRANDA et al., 2005).

Pela reduzida mobilização do solo no sistema de plantio direto, ocorre acúmulo de resíduos vegetais e nutrientes na superfície, que promove modificações na quantidade de matéria orgânica, temperatura, e umidade do solo em relação ao sistema convencional (SÁ, 1996; SILVA; LEMOS, 2008). Essas modificações ocorrem de forma gradual e progressiva, a partir da superfície do solo, e interferem tanto na disponibilidade de nutrientes quanto no processo de acidificação do solo (AMARAL; ANGHINONI, 2001). Além disso, algumas características intrínsecas dos solos, principalmente, aquelas relacionadas ao tamponamento, afetam a profundidade de atuação das reações de produtos da dissolução dos corretivos, que em alguns casos podem atingir camadas de até 60 cm de profundidade (ERNANI et al., 2001).

Após alguns anos de cultivo, no sistema de plantio direto, ocorre diminuição do pH na camada superficial do solo e, concomitantemente, o aparecimento de alumínio trocável em níveis tóxicos para as plantas, o que torna necessária a intervenção mediante à aplicação de corretivos para a viabilidade do sistema (ALLEONI et al., 2005). Por isso, a aplicação de calcário tem mostrado efeito na neutralização da acidez do solo em superfície, tornando a prática da calagem um dos principais questionamentos nesse sistema de produção. De acordo com Miyazawa et al. (2000), a aplicação superficial de calcário tem sido um problema relativo pela liberação de compostos hidrossolúveis capazes de potencializar o efeito da calagem, aumentando o volume de solo corrigido.

Mesmo com essa observação, os materiais utilizados como corretivos da acidez do solo são pouco solúveis e os produtos da reação do calcário com o solo têm mobilidade limitada (CAIRES et al., 2000), contudo diversos autores têm relatado o caminhamento de cátions no perfil do solo. Dependendo do tipo de metodologia empregada na recomendação para a calagem, a quantidade de calcário dependerá da análise de solo, da granulometria do calcário, teor de MgO e CaO, textura do solo, da exigência da cultura e do sistema de produção (TOMÉ JÚNIOR, 1997).

A velocidade de reação do corretivo e seu efeito residual são grandezas inversas, que se contrapõem, e os materiais finamente divididos reagem mais rapidamente no solo, e o efeito é mantido por um período mais curto do que os materiais que contêm razoável quantidade de partículas mais grossas. No

sistema convencional, o corretivo deve ser espalhado de forma mais homogênea possível sobre o terreno e incorporado, devendo ser aplicado de uma só vez, realizando uma pré-mistura com grade, e, a seguir, de preferência com o solo úmido, aração profunda para completar a incorporação (RAIJ et al., 1996), o que não ocorre com o plantio direto, onde o plantio é feito em sulcos sobre a palhada (MIRANDA et al., 2005).

O presente trabalho teve por objetivo avaliar alterações nas propriedades químicas de um solo cultivado com milho em sucessão com cereal de inverno em sistemas plantio convencional e plantio direto, promovidas pelas doses e granulometria do calcário dolomítico aplicado em superfície na fase de implantação do sistema.

Material e métodos

O experimento foi realizado em solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico localizado na Fazenda Experimental da Faculdade de Ciências Agrônomicas - Unesp, Município de Botucatu, Estado de São Paulo, cuja localização geográfica está definida pelas coordenadas 22°58'55"S e 48°23'22"W. A altitude média é de 775 m, com 5% de declividade e clima do tipo Cfa, segundo a classificação de Köppen, subtropical, com verões quentes e úmidos, invernos frios e secos. Por ocasião da instalação do experimento, o solo encontrava-se ocupado há vários anos por pastagem composta por *Urochloa decumbens* Stapf.

A análise granulométrica do solo foi realizada na camada de 0-20 cm, discriminando as seguintes características: argila, 590 g kg⁻¹; silte, 360 g kg⁻¹; areia, 50 g kg⁻¹. Antes da instalação dos experimentos foram realizadas análises químicas do solo (RAIJ et al., 2001) das camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm (Tabela 1).

Tabela 1. Análise química do solo nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm antes da aplicação dos tratamentos.

Atributos	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
pH (CaCl ₂)	4,4	4,5	4,5	4,4
C (g kg ⁻¹)	17,9	19,1	19,7	20,3
P (mg dm ⁻³)	6,0	5,0	3,0	4,0
K (mmol _c dm ⁻³)	2,8	4,0	3,2	2,8
Ca (mmol _c dm ⁻³)	14	14	17	14
Mg (mmol _c dm ⁻³)	9	10	11	8
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	58	61	58	68
CTC (mmol _c dm ⁻³)	84	89	89	92

^cP, K, Ca e Mg – resina trocadora de íons, H+Al – tampão SMP.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados em parcelas sub-subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram definidas por dois sistemas de cultivo: a) sistema de cultivo convencional (SCC), consistindo em preparo do solo com uma aração e duas gradagens, sendo uma após a aração e outra antes da semeadura; b) sistema

de cultivo sem preparo do solo, com semeadura direta (SPD). As subparcelas foram constituídas pela aplicação de calcário dolomítico (20,5% de CaO; 13,6% de MgO) em três doses antes da instalação das culturas: D1 - 1,2; D2 - 2,4 e D3 - 3,6 t ha⁻¹ com PRNT de 95% e D1 - 2, D2 - 4 e D3 - 6 t ha⁻¹ com PRNT de 56%, correspondentes a 1/3, 2/3 e 3/3 da dose recomendada para elevar a saturação por bases a 70% (RAIJ et al., 1996).

O calcário foi aplicado em novembro de 1998, superficialmente nas parcelas em SPD sobre palhada de *Urochloa decumbens*. Nas parcelas em SCC, metade das doses foi aplicada antes da aração e a outra metade antes da gradagem, incorporando-se até 20 cm de profundidade por meio de arado de discos e grade leve.

Em dezembro do mesmo ano foi semeado milho (*Zea mays* L.), o que se repetiu por mais três anos agrícolas: 1999/2000, 2000/2001 e 2001/2002. Foram utilizadas sementes de milho híbrido CO 32 no primeiro ano e AG 9010 no segundo e terceiro anos de cultivo. O manejo da área foi executado de acordo com o sistema de cultivo adotado: aração e gradagem nas parcelas de SCC e dessecação química da cobertura vegetal nas parcelas de SPD, utilizando-se o herbicida glyphosate na dose de 1.440 g de i.a. ha⁻¹. No inverno do primeiro e do terceiro anos foi cultivada aveia preta (*Avena strigosa* Scherb.) e, no inverno do segundo ano, foi cultivado triticale (*Triticosecale rimpaii* Wittm), visando à formação de cobertura vegetal do solo.

Antes do plantio e após a colheita foram retiradas amostras nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, de acordo com métodos descritos por Raij e Quaggio (1983). As amostras de terra após secas ao ar e passadas em peneiras de malhas de 2,0 mm, foram levadas ao laboratório para realização das análises químicas (pH, K, Ca, Mg, H+Al) (RAIJ et al., 2001).

Os dados resultantes dos atributos químicos do solo pH, Ca, Mg, H+Al e V% apresentaram distribuição normal e foram submetidos à análise de variância (ANOVA), teste F e comparação de médias com o teste de Tukey a 5% de probabilidade (PIMENTEL GOMES; GARCIA, 2002). As profundidades foram analisadas e comparadas dentro de cada tratamento pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Foram realizadas análises de regressão ($p \leq 0,05$) com os teores de cálcio e a saturação por base 24 meses após aplicação do calcário.

Resultados e discussão

Os resultados indicaram alterações nas propriedades químicas do solo (pH, Ca, Mg, H+Al e saturação por bases - V%) em profundidade após a calagem, independentemente do manejo adotado e da granulometria do calcário (Tabelas 2, 3, 4, 5, 6 e 7). Para os fatores sistema de cultivo e granulometria, os valores de pH foram diferentes ($p \leq 0,05$) na camada de 0-5 cm até 24 meses após a aplicação do calcário, e, aos 12 meses os valores de pH foram mais elevados em SPD que em SCC na camada 0-5 cm e, aos 24 meses, o índice pH foi mais elevado não só na camada 0-5 cm, mas na camada 5-10 cm. Mesmo apresentando baixa solubilidade, o corretivo aplicado em superfície alterou a acidez e a disponibilidade de Ca, Mg, H+Al e V na camada de 0 a 5 cm de profundidade. Tal resultado corrobora os obtidos por Miranda et al. (2005), e com as reações de neutralização descritas em experimentos realizados com calagem por Oliveira e Pavan (1996), Caires et al. (2003), Fidalski e Tormena (2005) e Kaminsk et al. (2005) em sistemas de plantio direto.

Tabela 2. pH em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ e cálcio trocável nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, aos 12, 24 e 36 meses após a aplicação do calcário.

Prof. (cm)	pH (CaCl ₂)				Cálcio (mmol _e dm ⁻³)			
	Sistema de cultivo		PRNT		Sistema de cultivo		PRNT	
	SCC	SPD	95%	56%	SCC	SPD	95%	56%
12 meses								
0-5	4,9 bA	5,4 aA	5,2 aA	5,1 aA	34 bA	48 aA	41 aA	41 aA
5-10	4,7 aA	4,6 aAB	4,7 aAB	4,6 aAB	31 aA	30 aB	29 aB	31 aB
10-20	4,4 aB	4,1 aB	4,3 aBC	4,2 aBC	26 aB	16 bC	21 aC	20 aC
20-40	3,9 aB	3,9 aB	3,9 aC	3,8 aC	10 aC	8 aD	9 aD	8 aD
24 meses								
0-5	4,6 bA	5,8 aA	5,4 aA	5,1 bA	26 bAB	57 aA	47 aA	36 bA
5-10	4,7 bA	5,0 aB	4,9 aA	4,8 aA	32 aA	27 bB	32 aB	28 bAB
10-20	4,5 aA	4,4 aC	4,4 aB	4,5 aA	21 aB	20 aC	19 aC	22 aB
20-40	4,1 aB	4,1 aC	4,1 aB	4,2 aB	13 aC	12 aD	11 aD	13 aC
36 meses								
0-5	4,4 aA	4,8 aA	4,7 aA	4,6 aA	22 aA	31 aA	27 aA	25 aA
5-10	4,4 aA	4,7 aA	4,6 aA	4,5 aAB	23 aA	27 aA	24 aAB	26 aA
10-20	4,3 aA	4,3 aAB	4,3 aAB	4,3 aAB	19 aAB	19 aB	20 aB	18 aB
20-40	4,1 aA	4,1 aB	4,1 aB	4,1 aB	14 aB	13 aC	13 aC	13 aC

¹Médias seguidas por letra minúscula distinta na mesma linha dentro de cada variável, nos sistemas de cultivo e PRNT e maiúscula na mesma coluna dentro de cada época de avaliação, diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 3. Índice pH verificado nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40cm, 24 meses após a aplicação do calcário¹.

Tratamento	pH (CaCl ₂)											
	0 a 5 cm			5 a 10 cm			10 a 20 cm			20 a 40 cm		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
Sistema de Cultivo												
SCC	4,4 b	4,6 b	4,9 b	4,5 a	4,5 b	5,0 b	4,4 a	4,3 a	4,6 a	4,0 a	4,1 a	4,1 a
SPD	5,1 a	6,0 a	6,3 a	4,5 a	5,0 a	5,3 a	4,1 a	4,3 a	4,6 a	4,0 a	4,0 a	4,3 a
Granulometria												
PRNT = 95%	4,9 a	5,4 a	5,7 a	4,6 a	4,8 a	5,1 a	4,3 a	4,3 a	4,5 a	4,0 a	4,1 a	4,1 a
PRNT = 56%	4,6 a	5,1 a	5,5 a	4,4 a	4,7 a	5,1 a	4,2 a	4,4 a	4,8 a	4,0 a	4,1 a	4,3 a

¹Letras minúsculas distintas indicam diferença entre médias significativa na linha no teste de Tukey a 5% de probabilidade. SCC – sistema de cultivo convencional; SPD – sistema de cultivo em plantio direto. O calcário dolomítico (20,5% de CaO; 13,6% de MgO) foi dividido em três doses antes da instalação das culturas: 1,2; 2,4 e 3,6 t ha⁻¹ com PRNT de 95% e 2, 4 e 6 t ha⁻¹ com PRNT de 56%.

Com relação à granulometria, corroborando Raji (1991), foram constatados na camada superficial do solo valores de pH mais elevados nos tratamentos utilizando calcário com granulometria mais fina (PRNT de 95%) do que com calcário com PRNT de 56% aos 24 meses após a aplicação do calcário, o mesmo foi observado em relação às doses (Tabelas 2 e 3). Os efeitos na acidez potencial foram alterados pelo sistema de cultivo, com reduções mais pronunciadas no SPD (Tabela 4). No primeiro ano, foi significativo apenas na camada superficial, enquanto no segundo ano, os efeitos foram verificados até 20 cm de profundidade e, no terceiro, houve alterações na profundidade de 20-40 cm, indicando efeito da reação em maiores profundidades.

Os valores nas diferentes granulometrias indicaram pequena movimentação do calcário no SPD, com valores não significativos do pH, Ca e Mg até a profundidade de 0-10 cm (Tabela 2). Em relação às condições iniciais do solo, os efeitos benéficos da calagem sobre o pH permaneceram por até 36 meses até 10 cm de profundidade, não alterando, contudo, os índices de pH nas camadas inferiores.

A movimentação do calcário por movimentação física das partículas do calcário e da sua dissolução no solo, via movimentação da solução depende dos fatores tempo e doses e, segundo Rheinheimer et al. (2000), enquanto existirem cátions ácidos (H⁺, Al³⁺, Fe²⁺ e Mn²⁺), a reação de neutralização da acidez fica limitada à camada superficial, retardando o efeito em subsuperfície, visto que os íons OH⁻ e HCO₃⁻ provenientes da dissociação do calcário são rapidamente consumidos pelos cátions ácidos e somente migram para porções inferiores em pH maior que 5,0, situação observada no presente trabalho. No entanto, para Oliveira e Pavan (1996) e Miyasawa et al. (2000), os radicais provenientes da matéria orgânica podem formar compostos estáveis com os cátions da reação do calcário, movimentando-os para a subsuperfície.

A acidez potencial foi alterada pela aplicação do calcário (Tabela 4), em que nos três anos avaliados

com diferenças entre os sistemas de cultivo, em que estas foram mais pronunciadas até 24 meses após a aplicação do calcário. Aos 24 meses após a aplicação do calcário, tanto na camada de 0-5 cm como na camada de 5-10 cm, os valores foram maiores no SPD que no SCC, enquanto, aos 36 meses após a aplicação os sistemas de cultivo apresentaram comportamentos semelhantes. No entanto, na camada 10-20 cm, os valores de acidez potencial verificados para calcário com PRNT de 56% foram mais elevados que para calcário com PRNT de 95%.

Tabela 4. Acidez potencial (H+Al trocável) nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, aos 12, 24 e 36 meses após a aplicação do calcário¹.

Prof. (cm)	Acidez Potencial - H + Al (mmol _c dm ⁻³)			
	Sistema de Cultivo		PRNT	
	SCC	SPD	95%	56%
	12 meses			
0-5	49 aD	36 bD	41 aD	43 aD
5-10	52 aC	55 aC	56 aC	51 aC
10-20	62 bB	82 aB	74 aB	69 aB
20-40	87 aA	93 aA	94 aA	92 aA
	24 meses			
0-5	60 aBC	28 bD	39 aD	48 aD
5-10	58 aC	50 bC	50 aC	59 aC
10-20	65 aB	75 aB	72 aB	68 aB
20-40	100 aA	108 aA	102 aA	106 aA
	36 meses			
0-5	72 aB	79 aC	76 aB	75 aC
5-10	74 aB	73 aC	75 aB	73 aC
10-20	75 aB	98 aB	82 bB	91 aB
20-40	107 aA	126 aA	109 aA	124 aA

¹Médias seguidas por letras distintas, minúscula na mesma linha entre os diferentes sistemas de cultivo e PRNT e maiúscula na mesma coluna dentro de cada avaliação, diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. SCC – sistema de cultivo convencional; SPD – sistema de cultivo em plantio direto.

A redução e a manutenção da acidez potencial por períodos mais longos têm sido observadas em regiões que utilizam manejo com plantio direto. Oliveira e Pavan (1996), em experimentos realizados num Latossolo Vermelho, textura argilosa, cultivado por três décadas no sistema convencional no Estado do Paraná, com aplicação do calcário em superfície, verificaram aumentos no pH, bem como nos teores de cálcio e magnésio, além de redução do Al³⁺, até a profundidade de 40 cm. Tais efeitos da calagem foram observados após oito meses e se mantiveram por um período de 50 meses.

Na camada 0-5 cm, 24 meses após a aplicação, tanto nos tratamentos com calcário com PRNT de 95% como no de 56%, a acidez potencial foi mais em SCC. Na camada 5-10 cm, os tratamentos com calcário de maior granulometria apresentaram valores da acidez potencial maiores em SCC que em SPD. Em geral, houve tendência de elevação da acidez potencial nas camadas superficiais do solo no SCC do que no SPD, ocorrendo inversão nas camadas mais profundas (Tabela 4). Esse resultado pode ser atribuído a não incorporação do calcário nos tratamentos em SPD, uma vez que, não havendo incorporação, a quantidade recomendada para a camada de 0-20 cm de solo fica quase inteiramente depositada na superfície.

A calagem promoveu alterações nas concentrações de cálcio e magnésio com efeitos significativos nos três anos avaliados (Tabelas 2 e 5). Aos 12 e 24 meses após a aplicação, verificou-se maior concentração de cálcio na camada superficial do solo em SPD. Na camada 10-20 cm de profundidade, aos 12 meses da aplicação, os valores foram mais elevados em SCC do que no SPD, o mesmo acontecendo aos 24 meses na camada 5-10 cm.

Tabela 5. Cálcio trocável na interação em sistema de cultivo *versus* granulometria, determinado 24 meses após aplicação do calcário nas camadas 0-5 cm, 5-10, 10-20 e 20-40 cm¹.

Tratamentos	Cálcio (mmol dm ⁻³) – ano 2000/2001							
	PRNT do calcário							
	95%	56%	95%	56%	95%	56%	95%	56%
	0 a 5 cm		5 a 10 cm		10 a 20 cm		20 a 40 cm	
SCC	31 aB	22 bB	32 aA	22 bB	21aA	21aA	14aA	12aA
SPD	64 aA	50 aB	31 aB	33 aA	17aA	23aA	8bB	16aA

¹Médias seguidas por letras distintas, minúscula na linha e maiúscula na coluna, diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. SCC – sistema de cultivo convencional; SPD – sistema de cultivo em plantio direto.

Mesmo aplicando 60% a menos de calcário, houve diferença aos 24 meses após a aplicação nas camadas de 0-5 cm e 5-10 cm de profundidade, com valores de Ca mais elevados nos tratamentos com calcário com PRNT de 95% do que com PRNT de 56%, fatores, como maior superfície específica aumentaram a disponibilidade do nutriente no complexo de troca. Na interação entre sistema de cultivo e granulometria, verificaram-se, nas coletas realizadas 24 meses após a aplicação do calcário no SPD, que o calcário com PRNT de 95% proporcionou valores mais elevados na camada 0-5 cm em relação aos tratamentos utilizando SCC e calcário com PRNT de 56% (Tabela 5). A velocidade de reação afetou diretamente a concentração de Ca trocável no solo, uma vez que o calcário com menor granulometria permitiu que o cálcio ficasse disponível mais rapidamente.

Os sistemas de cultivo e granulometria, exceto na cama de 0-5 cm em que ocorre maior concentração de calcário no SPD não foram encontradas diferenças significativas ($p \leq 0,05$) aos 12 e 24 meses após a aplicação do corretivo. Somente após 36 meses, quando aplicada a maior dose (D3), os valores de Ca trocável em SPD foram maiores que em SCC (Tabela 2).

Os teores de Ca e Mg trocáveis indicam a presença de caminhamento desses íons no perfil do solo. Comportamentos similares foram verificados por Caires et al. (2000), em estudos de calagem em superfície em SPD na região de Ponta Grossa, Estado do Paraná, onde a calagem resultou em aumentos significativos no pH, Ca, Mg, saturação por bases e redução significativa nos teores de H+Al trocável até profundidade de 60 cm. Na mesma região, Oliveira e Pavan (1996) relataram redução da acidez até 40 cm de profundidade, 32 meses após a aplicação do calcário.

Assim como para o Ca trocável, os valores para o Mg trocável foram superiores na camada 0-5 cm no SPD, aos 12 e 24 meses após a aplicação do calcário. Por outro lado, o SCC apresentou valores de Mg trocável mais elevados que o SPD, aos 12 meses, nas camadas 10-20 e 20-40 cm e, aos 24 meses, na camada 20-40 cm (Tabelas 5 e 6). Na interação entre sistema de cultivo “versus” PRNT, o SPD apresentou teores mais elevados camadas 0-5 e 5-10 cm, quando aplicado calcário com PRNT de 56%. No entanto, quando aplicado calcário com PRNT de 95%, esta diferença ocorreu somente na camada 0-5 cm.

A quantidade de calcário aplicado influenciou na movimentação do corretivo no perfil do solo, uma vez que, somente nas maiores doses houve significância na redução da acidez e disponibilidade de Ca e Mg. Rheinheimer et al. (2000), em estudos sobre pastagem nativa na região Sul do Brasil, verificaram que a aplicação de calcário em superfície no Argissolo distrófico criou uma frente alcalinizante que avançou em profundidade, proporcionalmente à dose e ao tempo empregado, porém não ocorreu migração dos efeitos no perfil do solo quando a quantidade aplicada em superfície foi menor do que a necessidade para neutralizar o Al trocável das camadas adjacentes. Esses autores verificaram que os teores de Mg trocável verificados foram semelhantes entre SPD e SCC quando aplicadas doses pequenas de calcário, mas quando aplicadas doses maiores (8,5 e 17 t ha⁻¹), os níveis de Mg trocável foram maiores somente na profundidade de 0-5 cm e menores abaixo de 10 cm, comparativamente à incorporação do calcário.

Tabela 6. Magnésio trocável do solo e saturação por bases verificados nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, aos 12, 24 e 36 meses após a aplicação do calcário¹.

Prof. (cm)	Magnésio (mmol, dm ⁻³)				Saturação por bases (V%)				
	Sistema de cultivo		PRNT		Sistema de cultivo		PRNT		
	SCC	SPD	95%	56%	SCC	SPD	95%	56%	
12 meses									
0-5	23bA	38 aA	30 aA	30 aA	55 bA	67 aA	62 aA	60 aA	60 aA
5-10	19 aAB	21 aB	18 aB	21 aB	50 aA	46 aB	46 aB	50 aB	50 aB
10-20	15 aB	10 bC	12 aB	12 aC	40 aB	24 bC	32 aC	33 aC	33 aC
20-40	6 aC	5 aC	5 aC	5 aD	18 aC	12 bD	15 aD	15 aD	15 aD
24 meses									
0-5	18 bA	36 aA	32 aA	23 bA	43 bA	75 aA	64 aA	54 bA	54 bA
5-10	16 aA	19 aB	19 aB	16 aB	43 bA	51 aB	50 aB	44 bB	44 bB
10-20	13 aA	12 aB	11 aC	13 aB	35 aB	31 aC	31 aC	35 aC	35 aC
20-40	5 aB	4 bC	4 aD	5 aC	13 aC	11 aD	11 aD	13 aD	13 aD
36 meses									
0-5	10 bA	17 aA	15 aA	13 aA	34 aA	42 aA	41 aA	36 aA	36 aA
5-10	11 aA	14 aA	13 aAB	12 aA	34 aA	40 aA	38 aA	35 aA	35 aA
10-20	8 aA	8 aB	9 aB	8 aB	30 aA	25 aB	30 aB	25 aB	25 aB
20-40	4 aB	4 aC	4 aC	4 aB	17 aB	14 aC	16 aC	15 aC	15 aC

¹Médias seguidas por letras distintas, minúscula no mesmo sistema de cultivo e no mesmo PRNT e maiúscula na mesma coluna dentro de cada época de avaliação, diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. SCC – sistema de cultivo convencional; SPD – sistema de cultivo em plantio direto.

Apesar dos efeitos do caminhar do calcário ao longo do perfil do solo, relatos indicam que a correção da acidez do solo em SPD fica restrita à camada superficial do solo. Pöttker e Ben (1998) verificaram que a ação do calcário, 36 meses após a aplicação do corretivo, ficou limitada à camada 0-5 cm. Muzzili (1983), em Latossolo Roxo e Latossolo Vermelho Escuro, observou que a distribuição de Ca e Mg mostrou tendência à diminuição gradativa da disponibilidade em profundidade, enquanto no Latossolo Roxo, a maior concentração de Ca e Mg ficaram restritas aos primeiros 5-10 cm, ao passo que no Latossolo Vermelho-Escuro, a maior concentração em SPD ocorreu até a camada 15 cm de profundidade.

Similar ao ocorrido com os elementos Ca e Mg, a saturação por bases (V%) foi influenciada pela aplicação de calcário (Tabela 6). Na camada superficial do solo, a saturação por bases foi maior em SPD aos 12 meses da aplicação do calcário, com efeitos mais pronunciados aos 24 meses da aplicação (Tabela 6). Aos 12 meses, os valores de V% nos tratamentos com PRNT de 95 e 56% até 10 cm de profundidade foram equivalentes, enquanto, aos 24 meses, pela maior reatividade, houve redução dos valores de V% com a utilização de calcário com PRNT de 56%, e incremento quando utilizado calcário com PRNT de 95%. Os efeitos proporcionados pelas doses foram significativos na camada superficial do solo, assim, como a reatividade diferenciada verificada com aplicação de calcário com menor PRNT na dose D1 (1,2 t ha⁻¹ – PRNT 95% e 2,0 t ha⁻¹ – PRNT 56%). A incorporação do corretivo foi o fator mais efetivo na reatividade do calcário, tornando o sistema de cultivo mais determinante que a granulometria (Tabela 7).

Tabela 7. Cálcio trocável e saturação por bases, verificados na interação de sistema de cultivo dentro de granulometria e dose, na camada 0-5 cm, aos 24 meses após a aplicação do calcário¹.

Sistemas de Cultivo	Ca (mmol, dm ⁻³)			Equação	R ²
	D1	D2	D3		
Calcário com PRNT de 56%					
SCC	15 a	21 b	29 b	$\hat{y} = 7,67 + 3,50*x$	0,99
SPD	28 a	50 a	71 a	$\hat{y} = 6,67 + 10,75*x$	0,99
Calcário com PRNT de 95%					
SCC	24 b	25 b	42 b	$\hat{y} = 12,33 + 4,50*x$	0,79
SPD	47 a	63 a	80 a	$\hat{y} = 30,33 + 8,25*x$	0,99
Saturação por bases (V%)					
Calcário com PRNT de 56%					
SCC	30 b	35 b	48 b	$\hat{y} = 19,67 + 4,50*x$	0,94
SPD	50 a	75 a	85 a	$\hat{y} = 35,00 + 8,75*x$	0,94
Calcário com PRNT de 95%					
SCC	40 b	43 b	61 b	$\hat{y} = 27,00 + 5,25*x$	0,85
SPD	69 a	83 a	87 a	$\hat{y} = 61,67 + 4,50*x$	0,91

¹Letras minúsculas na mesma dose (PRNT 56% - D1 = 2, D2 = 4 e D3 = 6 t ha⁻¹ e PRNT 95% - D1 = 1,2, D2 = 2,4 e D3 = 3,6 t ha⁻¹) distintas indicam diferença significativa no teste de Tukey a 5% de probabilidade. *significativo a 5% pelo teste F. SCC – sistema de cultivo convencional; SPD – sistema de cultivo em plantio direto.

Na camada 5-10 cm, os efeitos sobre a saturação por bases, aos 24 meses após a aplicação do calcário, foram significativos com calcário de PRNT de 56% nas doses D2 e D3. Aos 36 meses após a aplicação do calcário, as diferenças foram diminuindo e, na camada 5-10 cm, a utilização de calcário com PRNT de 95% foi mais eficiente na elevação da saturação por bases (Tabela 6).

Conclusão

Os efeitos da aplicação do calcário em superfície perduram por mais de 24 meses, no entanto a sua ação no perfil do solo não é uniforme. Mesmo com menor efeito residual, o calcário com PRNT 95% apresenta maior reatividade tanto em sistema de plantio direto como em cultivo convencional, quando comparado com o calcário com PRNT 56%. A aplicação em superfície do corretivo da acidez antes da implantação do SPD não foi suficiente para

elevar a saturação por bases em nível almejado para a cultura do milho.

Agradecimentos

À Fapesp, pelo suporte financeiro e pela concessão de bolsa ao primeiro autor.

Referências

ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A.; CAIRES, E. F. Atributos químicos de um Latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 6, p. 923-934, 2005.

AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I. Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 4, p. 695-702, 2001.

CAIRES, E. F.; BANZATO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 1 p. 161-169, 2000.

CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas no solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2 p. 275-286, 2003.

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**, v. 25, n. 4 p. 939-946, 2001.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A. Dinâmica da calagem superficial em um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 2, p. 235-247, 2005.

GOEDERT, W. J. **Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. Brasília: Editora Nobel, Embrapa/CPAC, 1987.

KAMINSK, J.; RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; SAGGIN, A. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um Argissolo sob pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 4, p. 573-580, 2005.

MIRANDA, L. N.; MIRANDA, J. C. C.; REIN, T. A.; GOMES, A. C. Utilização de calcário em plantio direto e convencional de soja e milho em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 6, p. 563-572, 2005.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos

vegetais. **Informações Agronômicas**, n. 92, p. 1-29, 2000.

MUZZILI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 7, n. 1, p. 95-102, 1983.

OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. Control of Soil Acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil Tillage Research**, v. 38, n. 1, p. 47-57, 1996.

PIMENTEL GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais**. Piracicaba: Fealq, 2002.

PÖTTKER, D.; BEN, J. R. Calagem para uma rotação de culturas no plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 4, p. 675-684, 1998.

RAIJ, B. Van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agronômico, 1983.

RAIJ, B. Van.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001.

RAIJ, B. Van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico, 1996.

RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, E. J. S.; KAMINSKI, J.; BORTOLUZZI, E. C.; GATIBONI, L. C. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 4, p. 797-805, 2000.

SÁ, J. C. M. Calagem em solos sob plantio direto na região dos Campos Gerais, Centro - Sul do Paraná. In: SÁ, J. M. C. (Ed.). **Manejo do solo em plantio direto**. Ponta Grossa: Fundação ABC, 1996. p. 73-107.

SILVA, T. R. B.; LEMOS, L. B. Efeito da calagem superficial em plantio direto na concentração de cátions hidrossolúveis na parte aérea de culturas anuais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1199-1207, 2008.

TOMÉ JÚNIOR, J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997.

Received on May 28, 2008.

Accepted on August 30, 2009.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.