

ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO DISTROFÉRRICO DECORRENTES DA GRANULOMETRIA E DOSES DE CALCÁRIO EM SISTEMAS PLANTIO DIRETO E CONVENCIONAL⁽¹⁾

**J. C. A. MELLO⁽²⁾, R. L. VILLAS BÔAS⁽³⁾,
E. V. LIMA⁽⁴⁾, C. A. C. CRUSCIOL⁽⁵⁾ & L. T. BÜLL⁽⁶⁾**

RESUMO

Atualmente, percebe-se o interesse na calagem superficial, sem prévia incorporação, para instalação do sistema plantio direto (SPD). Dessa forma, objetivou-se determinar os efeitos de granulometria e doses de calcários no SPD, em fase de implantação, e no sistema de plantio convencional (SPC) sobre o pH, H + Al, Ca²⁺ e Mg²⁺. O experimento foi realizado no ano agrícola de 1998/99, na FCA/UNESP-Botucatu (SP), em Latossolo Vermelho. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com parcelas subsubdivididas e quatro repetições. As parcelas representaram os sistemas de plantio (SPD e SPC); as subparcelas, a granulometria dos calcários [grosso (PRNT = 56 %) e fino (PRNT = 90 %)], e as subsubparcelas, as doses de 2, 4 e 6 t ha⁻¹ (calcário grosso) e 1,2; 2,4 e 3,6 t ha⁻¹ (fino). O solo foi amostrado, a 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade, 1, 3 e 12 meses após a aplicação dos corretivos. A análise de variância não detectou interação tripla entre os fatores. A aplicação de calcário superficial no SPD, independentemente da granulometria e da dose, alterou positivamente os atributos químicos do solo (0-5 e 5-10 cm), 12 meses após a calagem. O corretivo continuou reagindo, independentemente do sistema de plantio, de forma intensa, mesmo após três meses. A aplicação de doses mais elevadas de calcário, com maior granulometria, sugeriu efeito residual prolongado.

Termos de indexação: plantio direto, calagem, acidez, fertilidade do solo, mobilidade de cátions.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado apresentada pelo primeiro autor à Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista – FCA/UNESP. Recebido para publicação em junho de 2002 e aprovado em março de 2003.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrônomo, MSc, Empresa Brasileira de Calcário Ltda. – EMBRACAL. Rodovia SP-127, Km 56, Caixa Postal 41, CEP 13440-000 Saltinho (SP). E-mail: julioassad@bol.com.br

⁽³⁾ Professor Adjunto do Departamento de Recursos Naturais, Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista – FCA/UNESP. Caixa Postal 237, CEP 18603-970 Botucatu (SP).

⁽⁴⁾ Engenheiro-Agrônomo, MSc, Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA. Av. Pres. Tancredo Neves s/n, Caixa Postal 917, CEP 66077-530 Belém (PA). Bolsista CAPES/PICDT/FCAP. E-mail: valle@fca.unesp.br

⁽⁵⁾ Professor Adjunto do Departamento de Produção Vegetal, FCA/UNESP. Bolsista CNPq. E-mail: crusciol@fca.unesp.br

⁽⁶⁾ Professor Titular do Departamento de Recursos Naturais, FCA/UNESP. E-mail: bull@fca.unesp.br

SUMMARY: *CHANGES OF CHEMICAL SOIL CHARACTERISTICS DUE TO DOSES AND PARTICLE SIZES OF LIMESTONE IN NO-TILLAGE AND CONVENTIONAL SYSTEMS*

The interest of surface liming of soils on no-tillage system is increasing. The objective of this work was to evaluate the effects of different lime particle sizes and doses applied during the implantation phase of no-tillage and in conventional tillage systems on soil pH and H + Al, Ca²⁺, and Mg²⁺ contents. The experiment was carried out in 1998/99, on the experimental farm of São Paulo State University in Botucatu, São Paulo, Brazil, on a Red Distroferric Latossol (Oxisol). A split plot experimental design with four replications was used. The number of plots represented the tillage system, the sub-plots represented particle sizes of limestone (large and small) and sub-sub plots lime doses of 2; 4 and 6 t ha⁻¹ (large limestone particles) and 1.2; 2.4 and 3.6 t ha⁻¹ (small limestone particles). The soil was sampled (at depths of 0-5, 5-10, 10-20 and 20-40 cm) 1, 3 and 12 months after liming. Variance analysis did not detect a three-fold interaction among the factors. 12 months after surface liming, chemical soil characteristics were positively affected (0-5 and 5-10 cm) in the no-tillage system, independent of particle size and doses. Even after more than three months, the fertilizer had a continuous strong effect, independent of the tillage system. Higher lime doses with large particle sizes provided a prolonged residual effect.

Index terms: no-tillage, liming, acidity, soil fertility, cation mobility.

INTRODUÇÃO

A área estimada sob sistema plantio direto (SPD) no planeta representa 0,4 % do total cultivado, o que, em valor numérico, significa 55 milhões de ha, estando 82 % no continente americano (Derpsch & Florentin, 2000). No Brasil, estima-se que a área ocupada com SPD é de aproximadamente 13 milhões de ha, o que representa quase 24 % do total no mundo.

O SPD pode ser dividido em duas fases: a de instalação, correspondente aos primeiros quatro ou cinco anos após o início do sistema, e a de estabilidade, em que claramente são observadas alterações nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (Salet, 1994).

A calagem, em áreas onde o SPD já se encontra estabelecido, é realizada na superfície do solo (Caires et al., 1998; 1999). Isso tem gerado intenso questionamento quanto à eficiência ou não dessa prática (Sá, 1995), pois os corretivos da acidez, à base de carbonatos de cálcio e magnésio, são pouco solúveis em água, tendo os produtos de sua reação com o solo mobilidade limitada no perfil (Caires et al., 1998). No entanto, as evidências quanto à ação benéfica da calagem superficial, atuando nas primeiras camadas abaixo da superfície do solo (0-5 e 5-10 cm), vêm sendo observadas em diferentes condições de solo e clima. Assim, dentre tantos trabalhos realizados, os de Caires et al. (1998) e Pöttker & Ben (1998) confirmaram que o calcário em superfície corrige a acidez, aumentando significativamente o pH e elevando os teores de Ca e Mg trocáveis do solo até à profundidade de 5 cm e, em menor grau, na camada de 5-10 cm.

No sistema de plantio convencional (SPC) ou na fase de instalação do SPD, a correção da acidez pressupõe a incorporação do calcário ao solo com aração e gradagens (Rheinheimer et al., 2000), para proporcionar o máximo contato entre as partículas do corretivo com os colóides do solo (Sá, 1995). Entretanto, percebe-se, atualmente, grande interesse na busca de formas alternativas para estabelecimento do SPD, sem incorporação prévia do calcário, não havendo a necessidade de promover o revolvimento inicial do solo por meio de preparo convencional, realizando-se a calagem superficial desde o início (Caires et al., 2000; Delavale et al., 2000; Lima & Crusciol, 2001). As vantagens desse procedimento, segundo Caires et al. (2000), estariam relacionadas com a manutenção dos atributos químicos e da estrutura do solo, com o maior controle da erosão e com a economia com as operações de incorporação de calcário e preparo do solo.

No SPD, o calcário apresenta reação mais lenta e maior poder residual, o que pode estar associado à não-movimentação do solo e à menor mineralização da matéria orgânica, quando comparado ao SPC (Souza, 2000). Por esse motivo, levanta-se a hipótese de que calcários mais reativos, ou seja, aqueles que se apresentam mais finos ou com um grau de moagem maior, corrigiriam, de forma mais eficiente, a acidez dos solos em SPD. O tamanho das partículas condiciona a taxa de reatividade do calcário, uma vez que a velocidade de neutralização depende da área superficial do corretivo em contato com o solo. Assim, quanto mais fino o corretivo, mais rápida a reação do material, desde que o solo esteja úmido (Alcarde et al., 1989; Tedesco & Gianello, 1989).

No Brasil, a capacidade neutralizante dos corretivos é conhecida como poder relativo de

neutralização total (PRNT), que considera a pureza química da rocha de origem, denominada poder de neutralização (PN), e o grau de moagem, chamado de taxa de reatividade (RE), ambos expressos em percentagem de equivalência ao CaCO_3 puro (Quaggio, 2000). Assim, quanto maior a pureza química da rocha calcária e sua RE, maior será o PRNT e menor deverá ser o efeito residual do calcário aplicado no solo. Ressalta-se que o valor de RE indica a capacidade neutralizante no curto período de três meses, como prevê a legislação brasileira atual, de acordo com trabalho de Alcarde et al. (1989). No médio e longo prazo, a capacidade neutralizante deverá ser maior, condicionada por uma série de fatores ligados ao sistema de produção adotado e ao ambiente.

O tempo de reação do calcário aplicado na superfície do solo em SPD também pode variar de acordo com a dose utilizada. Trabalho como o de Pöttker & Ben (1998) indica que a necessidade de calcário no SPD talvez seja menor do que no SPC. Nesse contexto, merecem atenção especial as altas produtividades obtidas em SPD, na ausência de calcário, em solos com elevada acidez, como as obtidas por Caires et al. (1998). Isso evidencia que há outros mecanismos envolvidos na tolerância de plantas ao Al^{3+} e na absorção de nutrientes. Daí surge o interesse em avaliar, além da dose total de calcário recomendada para o SPC, segundo a análise de solo na profundidade de 0-20 cm, frações dessa dose, com o intuito de verificar se a sua redução em SPD acarretaria alterações significativas nos atributos químicos do solo.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos de granulometria e doses de calcários no plantio direto, em fase de estabelecimento, e convencional sobre alguns atributos químicos do perfil do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado durante o ano agrícola de 1998/99, na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências

Agrônomicas/UNESP, no município de Botucatu (SP), a latitude $22^\circ 58' \text{ S}$, longitude $48^\circ 23' \text{ W}$ e altitude de 775 m. A precipitação pluvial total durante o transcorrer do experimento foi de 1.943 mm. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distroférrico (EMBRAPA, 1999).

A composição granulométrica do solo, avaliada na camada de 0-20 cm de profundidade, revelou 50 g kg^{-1} de areia no solo, 360 g kg^{-1} de silte no solo e 590 g kg^{-1} de argila no solo. Os atributos químicos do solo, antes da instalação do experimento, estão apresentados em quatro profundidades, 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm (Quadro 1) e o método utilizado na análise encontra-se descrito em Raij & Quaggio (1983).

O delineamento experimental adotado foi de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas e quatro repetições. As parcelas representaram os sistemas de plantio (SPD e SPC), cujas dimensões foram de 5,4 m de largura por 36 m de comprimento, com área total de $194,4 \text{ m}^2$. As subparcelas representaram as granulometrias do calcário grosso (PRNT = 56 %) e fino (PRNT = 90 %), tendo, por conseguinte, área de $97,2 \text{ m}^2$. As subsubparcelas de $32,4 \text{ m}^2$ representaram as doses de calcário: 2; 4 e 6 t ha^{-1} , para o material grosso, e de 1,2; 2,4 e $3,6 \text{ t ha}^{-1}$, para o material fino, equivalentes a 1/3, 2/3 e 3/3 da dose para elevar a $\text{V} \% = 70$, conforme recomendação de Raij & Cantarella (1997), para a cultura do milho. As doses foram calculadas levando-se em consideração as médias aritméticas de CTC e $\text{V} \%$ das camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm (Quadro 1).

Os calcários utilizados foram dolomíticos, de origem sedimentar, provenientes do município de Ipeúna (SP). Para o calcário fino, utilizaram-se apenas partículas passantes na peneira nº 50 ($< 0,30 \text{ mm}$), o que conferiu uma RE de 100 %. As análises (química e física) dos calcários empregados no experimento encontram-se no quadro 2, segundo os procedimentos descritos pelo Lanarv (1988).

A área experimental, por vários anos, foi manejada de modo convencional, constando de araões e gradagens. Nos três anos anteriores à instalação do trabalho (1995, 96 e 97), o local encontrava-se sob pousio, sendo a cobertura vegetal

Quadro 1. Atributos químicos do solo antes da instalação do experimento

Profundidade	pH (CaCl_2)	MO ⁽¹⁾	P (resina)	H + Al	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB ⁽²⁾	T ⁽³⁾	V ⁽⁴⁾
cm		g dm^{-3}	mg dm^{-3}	mmolc dm^{-3}						%
0- 5	4,4	31	6	58	2,8	14	9	26	84	31
5-10	4,5	33	5	61	4,0	14	10	28	89	32
10-20	4,5	34	3	58	3,2	17	11	31	89	35
20-40	4,4	23	4	68	2,8	14	8	25	92	27

⁽¹⁾ MO = matéria orgânica. ⁽²⁾SB = soma de bases. ⁽³⁾T = capacidade de troca de cátions a pH 7,0. ⁽⁴⁾V = saturação por bases.

Quadro 2. Análise química e física dos corretivos de acidez do solo

Atributo	Calcário grosso	Calcário fino
Umidade (%)	5,00	0,57
CaO (%)	20,50	27,50
MgO (%)	13,60	18,50
Retido na Peneira n° 10 (> que 2 mm)	0,40	0,0
Retido na Peneira n° 20 (até 0,84 mm)	10,69	0,0
Retido na Peneira n° 50 (> que 0,30 mm)	29,36	0,0
Poder de Neutralização (PN)	70,50	95,00
Reatividade (RE)	78,94	100,00
PRNT	56,00	95,00

composta por gramíneas, predominantemente *Brachiaria decumbens*. A aplicação do material corretivo foi efetuada manualmente no dia 30/11/98, sendo realizada, imediatamente, a incorporação do calcário nas parcelas que tinham como tratamento o SPC. Foi utilizada uma grade aradora, que trabalhou à profundidade média de 20 cm, seguida de uma grade niveladora, que atingiu 15 cm de profundidade em média. Para o SPD, os calcários foram aplicados sobre uma cobertura vegetal morta de aveia preta (*Avena strigosa*), que, também, estava presente nas parcelas do SPC.

O cultivo do milho foi feito no período de 23/12/98 a 28/05/99, com uma população média de 55.000 plantas ha⁻¹. Como adubação de semeadura, empregaram-se 320 kg ha⁻¹ da fórmula 8-28-16, de acordo com a recomendação de Raij & Cantarella (1997), baseando-se na média dos dados fornecidos pelo quadro 1 até à profundidade de 20 cm. A adubação de cobertura foi efetuada aos 30 dias da emergência, utilizando-se 55 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia (Raij & Cantarella, 1997). Após a colheita, rolou-se o resto cultural com rolo-faca, como forma de proteção superficial do solo até o final do experimento.

As amostragens de solo foram realizadas nos dias: 4/01/99 (1ª amostragem), aproximadamente 1 mês após a aplicação dos corretivos; 3/03/99 (2ª amostragem), aproximadamente três meses após a aplicação, e 13/12/99 (3ª amostragem), aproximadamente 12 meses após a aplicação do corretivo.

As profundidades amostradas foram de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, retirando-se cinco amostras simples por camada de solo, em cada subsubparcela, realizando-se caminhamento de amostragem na diagonal, tomando-se por referência as entrelinhas de cultivo para pontos de coleta, com a utilização de trado holandês. Antes da transferência da terra coletada (amostras simples) para o balde, com o auxílio de uma faca, excluiu-se o excedente nas duas laterais e foram eliminados, também, 2 a 3 cm da parte superior e inferior, aproveitando apenas o solo do centro do coletor (Raij et al., 1997; Chitolina et al., 1999). As amostras compostas foram secas ao ar e

peneiradas (malha de 2 mm), para determinação do pH (CaCl₂), acidez potencial (H + Al), Ca e Mg trocáveis, segundo método descrito em Raij & Quaggio (1983).

Os resultados foram submetidos à análise de variância, tendo-se comparado as médias pelo teste de Tukey a 5 %.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância dos resultados para os atributos químicos avaliados não mostrou interações triplas entre sistema de plantio, granulometria e doses de calcário. Assim, os efeitos isolados desses fatores são discutidos separadamente ou mediante o desdobramento de interações duplas. Ressalta-se que, para os atributos químicos, em determinadas profundidades, o teste F indicou efeito significativo de um fator isolado ou da interação entre dois fatores, mas, em contrapartida, o teste de Tukey não detectou diferenças estatísticas na comparação de médias; por essa razão, optou-se por não discutir esses resultados.

Na 1ª amostragem (Quadro 3), não se observou contraste significativo entre médias pelo teste de Tukey, em qualquer profundidade. Isso se deve ao fato de não ter havido tempo suficiente para que ocorresse a hidrólise da maior parte do calcário (Alcarde et al., 1989) e sua conseqüente liberação de Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻ e OH⁻. São esses dois ânions os responsáveis pela elevação do pH do solo. Dessa forma, apenas uma pequena parte das frações granulométricas de menor dimensão dos corretivos reagiu em tempo hábil, não alterando praticamente os atributos apresentados no quadro 1. Nem mesmo o elevado índice de precipitação pluvial (300 mm), no mês subseqüente à aplicação do calcário (dezembro de 1998), contribuiu para uma rápida reação do corretivo no solo, uma vez que este apresenta, por natureza, baixo grau de solubilização, necessitando de mais tempo para expressar seu potencial de neutralização.

Quadro 3. Valores de pH e de acidez potencial (H + Al) e teores de cálcio trocável do solo em diferentes profundidades, após 1, 3 e 12 meses da aplicação do corretivo, considerando o sistema de plantio (SP), granulometria (Gran) e doses de calcário (Doses)

Fator	1ª amostragem (1 mês) - Prof. (cm)				2ª amostragem (3 meses) - Prof. (cm)				3ª amostragem (12 meses) - Prof. (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-40	0-5	5-10	10-20	20-40	0-5	5-10	10-20	20-40
pH CaCl₂												
Sistema de plantio												
Convencional	4,6 a	4,6 a	4,5 a	4,5 a	4,8 a	4,9 a	4,5 a	4,3 a	4,9 b	4,7 a	4,5 a	3,9 a
Direto	4,6 a	4,5 a	4,6 a	4,5 a	4,8 a	4,5 b	4,2 b	4,1 b	5,5 a	4,7 a	4,1 a	3,9 a
Granulometria												
Grosso	4,5 a	4,5 a	4,6 a	4,5 a	4,8 a	4,8 a	4,4 a	4,2 a	5,2 a	4,7 a	4,3 a	3,9 a
Fino	4,6 a	4,6 a	4,6 a	4,5 a	4,8 a	4,6 a	4,4 a	4,1 a	5,2 a	4,7 a	4,3 a	3,9 a
Doses												
1/3	4,6 a	4,5 a	4,5 a	4,5 a	4,9 a	4,8 a	4,4 a	4,2 a	4,9 b	4,6 a	4,3 a	3,9 a
2/3	4,5 a	4,5 a	4,5 a	4,4 a	4,8 a	4,6 a	4,3 a	4,2 a	5,1 ab	4,6 a	4,3 a	3,9 a
3/3	4,6 a	4,6 a	4,7 a	4,6 a	4,7 a	4,6 a	4,3 a	4,2 a	5,6 a	4,9 a	4,3 a	3,9 a
Valor de F												
SP	0,06	6,72	0,06	0,13	0,86	12,66*	20,31*	121,50*	3,12*	0,02	0,48	0,04
Gran	6,02*	0,21	0,30	0,02	0,10	0,36	0,02	1,90	0,14	0,62	0,22	0,59
Dose	0,06	0,84	1,73	1,44	0,71	1,22	0,65	0,26	6,02*	2,35	0,04	0,58
SP x Gran	6,80*	0,36	6,82*	0,84	2,18	0,25	0,58	0,12	12,97*	6,02*	2,81	0,92
SP x Dose	0,54	1,97	0,47	0,84	0,93	0,56	1,29	1,30	2,10	1,76	0,99	0,09
Gran x Dose	2,27	3,72*	0,49	1,49	0,96	1,07	0,65	0,79	0,21	0,44	3,55*	1,35
C.V. (%)												
SP	2	2	5	4	1	3	3	0,5	8	5	5	1
Gran	2	5	3	5	7	10	7	3	2	4	3	2
Dose	10	7	8	8	4	8	7	4	11	9	5	6
H + Al (mmol_c dm⁻³)												
Sistema de plantio												
Convencional	62 a	56 b	57 a	66 a	56 a	58 b	70 b	86 b	49 a	52 a	62 b	87 a
Direto	64 a	68 a	64 a	64 a	58 a	74 a	92 a	98 a	36 b	55 a	82 a	100 a
Granulometria												
Grosso	64 a	62 a	59 a	63 a	57 a	66 a	82 a	92 a	42 a	56 a	74 a	95 a
Fino	61 a	61 a	62 a	67 a	57 a	66 a	80 a	93 a	44 a	51 a	69 a	92 a
Doses												
1/3	63 a	62 a	61 a	63 a	55 a	62 a	78 a	93 a	50 a	56 a	73 a	98 a
2/3	61 a	62 a	62 a	69 a	57 a	67 a	83 a	96 a	44 a	56 a	68 a	88 a
3/3	65 a	62 a	57 a	62 a	60 a	69 a	83 a	88 a	35 a	45 a	74 a	94 a
Valor de F												
SP	0,19	3,30*	0,32	0,03	0,19	62,15*	252,24*	1,04*	2,45*	0,38	3,83*	2,47
Gran	0,45	0,01	0,15	0,13	0,02	0,01	0,06	0,20	1,81	0,98	1,27	0,03
Dose	0,12	0,01	0,54	0,74	0,57	0,75	0,37	1,13	2,82	2,84	0,65	0,53
SP x Gran	1,72	0,12	1,48	0,30	1,45	0,53	0,31	0,60	3,97	0,04	0,26	0,03
SP x Dose	0,37	0,98	1,24	0,67	0,56	0,31	1,20	0,81	0,11	1,45	0,26	0,74
Gran x Dose	0,47	2,25	0,05	1,24	0,10	0,83	2,02	0,93	0,13	1,47	0,35	0,66
C.V. (%)												
SP	11	16	28	21	8	4	2	20	28	13	20	12
Gran	12	23	21	32	22	31	25	15	8	20	12	26
Dose	37	25	25	26	22	25	22	18	41	36	22	29
Ca²⁺ (mmol_c dm⁻³)												
Sistema de plantio												
Convencional	17 a	17 a	18 a	16 a	31 a	32 a	24 a	11 a	35 b	31 a	26 a	10 a
Direto	17 a	14 a	16 a	21 a	30 a	18 b	10 b	8 b	48 a	31 a	16 b	8 a
Granulometria												
Grosso	15 a	15 a	18 a	22 a	33 a	28 a	20 a	10 a	42 a	30 a	22 a	9 a
Fino	19 a	16 a	16 a	15 a	27 a	22 a	14 a	8 a	42 a	32 a	20 a	9 a
Doses												
1/3	19 a	17 a	15 a	23 a	32 a	27 a	17 a	9 a	31 b	29 a	18 a	8 a
2/3	15 a	13 a	17 a	15 a	32 a	23 a	15 a	10 a	40 b	28 a	22 a	9 a
3/3	16 a	18 a	20 a	17 a	28 a	24 a	19 a	8 a	55 a	36 a	22 a	9 a
Valor de F												
SP	0,01	3,34	0,60	0,94	0,07	15,82*	21,54*	2,51*	9,10*	0,01	6,33*	38,62*
Gran	10,61*	0,09	1,77	0,58	1,36	0,85	0,96	0,82	0,00	0,23	0,17	0,11
Dose	0,80	2,39	1,21	0,95	0,44	0,67	0,18	0,57	12,68*	2,77*	1,07	0,11
SP x Gran	10,13*	1,29	9,33*	0,13	2,85	0,30	0,85	0,18	4,94	2,14	1,20	2,59
SP x Dose	0,29	2,65	0,33	0,36	2,34	3,10	0,98	1,63	2,81	0,98	0,41	0,05
Gran x Dose	2,01	3,68*	0,27	1,30	0,25	0,40	0,50	0,35	0,16	1,93	3,72*	0,57
C.V. (%)												
SP	17	13	25	42	21	19	24	33	15	20	27	6
Gran	14	34	20	84	35	54	65	45	9	27	33	37
Dose	65	46	54	94	46	45	89	51	33	36	40	61

Médias seguidas por letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %. * significativo a 5 % pelo teste F.

Observa-se, na 2ª amostragem (Quadro 3), que, de modo geral, houve elevações nos valores de pH, nos sistemas de plantio, a partir da profundidade de 5 cm, decorrentes do maior tempo de solubilização dos materiais calcários. Torna-se evidente a melhor neutralização da acidez nas parcelas nas quais os corretivos foram incorporados (SPC), em relação às parcelas nas quais os corretivos foram aplicados em superfície (SPD). Isso pode ser explicado, na medida em que no SPC houve uma maior camada de solo mobilizada mecanicamente (até 20 cm), proporcionando a mistura do calcário com o solo, o que acelerou a rápida dissolução do corretivo. Já na camada de 0-5 cm, sobre a qual todo calcário foi depositado no SPD, não foi observada diferença de pH em relação ao SPC, isto é, após três meses, o corretivo aplicado em superfície reagiu até 5 cm, em virtude de sua elevada concentração, suprimindo a necessidade de incorporação no solo.

Na 2ª e 3ª amostragens (Quadro 3), não houve diferenças de comportamento entre os calcários, fino e grosso, independentemente do sistema de plantio e de doses. Vale lembrar que o PRNT foi levado em consideração para o cálculo da necessidade de calagem, adicionando-se quantidade maior do calcário grosso em relação ao fino, visando elevar, em ambos os casos, a V para o mesmo valor. O aumento da dose de calcário não refletiu, ao contrário do esperado, elevações de pH na 1ª e 2ª amostragens.

O pH obtido aos 12 meses da aplicação dos corretivos (3ª amostragem), na camada de 0-5 cm, permite constatar maior elevação dessa variável no tratamento em que o calcário não foi incorporado, com valor significativamente superior ao SPC (Quadro 3). Esse fato está de acordo com o resultado obtido por Prochnow et al. (2000), que verificaram maior elevação de pH na camada de 0-5 cm no SPD, 16 meses após a calagem. Portanto, no presente trabalho, o calcário apresentou uma movimentação não só na camada superficial, mas também em profundidade no perfil do solo, pois os valores de pH de 5-10, 10-20 e 20-40 cm não diferiram significativamente dos apresentados no SPC. Isso implica dizer que, apesar de grande parte do calcário aplicado superficialmente, após 12 meses, continuar reagindo em superfície, parte substancial dos compostos da solubilização do corretivo acaba sofrendo uma movimentação vertical, atuando em profundidade.

No quadro 3, na 3ª amostragem e na profundidade de 0-5 cm, verifica-se que a aplicação da maior dose de calcário, independentemente da granulometria e do sistema de plantio, proporcionou elevação do pH em relação à menor dose. No entanto, a dose intermediária, estatisticamente, não diferiu desse resultado. Esse fato não se repetiu nas demais profundidades. Assim, mediante as constatações anteriores, questiona-se a redução da aplicação das doses de calcário em SPD, conforme sugere Wiethölter (2000), baseado nos estudos de Pöttker & Ben (1998).

Analisando, de forma conjunta, as três amostragens para pH (Quadro 3), constata-se que o material corretivo, independentemente do tratamento, continuou reagindo no solo até os 12 meses, sendo justamente na última amostragem que o pH, na camada superficial (0-5 cm), atingiu valores máximos, próximos do ideal para o pleno desenvolvimento da maioria das culturas anuais. Para fins práticos, considera-se a faixa de pH entre 6,0 e 6,5 adequada para a maioria das plantas cultivadas no Brasil (POTAFOS, 1998), visto que, nessa faixa, aumenta a disponibilidade para os macronutrientes e afasta do mínimo ou da toxidez para os micronutrientes.

Semelhantemente ao que ocorreu com a acidez ativa do solo (pH), os valores da acidez potencial ($H + Al$), na 1ª amostragem (Quadro 3), de forma geral, não diferiram entre os tratamentos. Como exceção, tem-se a profundidade de 5-10 cm, no que diz respeito ao sistema de plantio, onde o SPC proporcionou maior decréscimo nos valores de $H + Al$. Como essa situação não se repetiu para nenhuma outra profundidade, torna-se difícil um entendimento para esse fato isolado.

Na 2ª amostragem (Quadro 3), verificou-se o mesmo fato ocorrido com o pH, ou seja, não existiram diferenças significativas com relação à granulometria e doses. Já com relação ao sistema de plantio, observou-se que, nas camadas inferiores a 5 cm, a incorporação do corretivo proporcionou maior eficiência na diminuição do $H + Al$, a exemplo do inverso ocorrido com o pH. Para a camada de 0-5 cm, a aplicação do calcário, independentemente de granulometria e da dose, conferiu ao SPD o mesmo poder de neutralização do $H + Al$ que o SPC. É possível que a quantidade aplicada superficialmente tenha compensado a menor reação no solo, em relação ao SPC, onde o calcário foi incorporado. O comportamento da acidez potencial, até então, foi o esperado, pois seguiu padrão inverso ao pH.

Doze meses após a aplicação do corretivo (Quadro 3), observou-se queda dos valores de $H + Al$, mostrando, mais uma vez, que o calcário continuou a reagir no solo após três meses. Não houve diferenças significativas para granulometria e doses, porém verificou-se efeito com relação ao sistema de plantio. Na camada de 0-5 cm, a concentração de calcário na superfície em SPD gerou uma contínua redução do $H + Al$ que, nesta fase de amostragem, superou os resultados do SPC. Já na camada de 10-20 cm, um melhor controle da acidez potencial foi verificado, em função do SPC, justamente pela mobilização mecânica a que o solo e o corretivo foram submetidos nessa profundidade.

Na 1ª amostragem (Quadro 3), com relação aos níveis de Ca, houve interação entre granulometria x doses, na profundidade de 5-10 cm, sendo significativos para Tukey a 5 %. Considerando o desdobramento da interação, verificou-se que, na

dose 1/3, o calcário fino foi mais eficiente em elevar os teores de Ca no solo, sendo necessária a dose completa (3/3) do calcário grosso para que o mesmo tivesse atuação similar ao corretivo mais fino (Quadro 3).

Três meses após a aplicação do calcário (Quadro 3), não se constatarem diferenças entre tratamentos, a não ser para o sistema de plantio, nas profundidades de 5-10, 10-20 e 20-40 cm. Nas profundidades superiores a 5 cm, os teores de Ca do tratamento SPD foram menores do que no SPC, mostrando que no SPD praticamente não houve movimentação de Ca em profundidade. Esse fato pode ser explicado pelo menor contato do calcário com o solo, acarretando hidrólise mais lenta. Além disso, para o corretivo reagir com os ácidos do solo, que se situam apenas a frações de milímetros afastadas da superfície das partículas, os íons Ca^{2+} e OH^- têm de se movimentar até onde os ácidos se encontram, o que se dá predominantemente por difusão através da solução do solo. Dessa forma, com a saída dos íons Ca^{2+} e OH^- da solução junto à superfície das partículas de calcário, diminui ali sua concentração, permitindo que mais calcário se hidrolise. Já na camada de 0-5 cm, a menor quantidade de calcário em superfície no SPC fez com que houvesse uma equivalência nos teores de Ca com os do SPD. Invariavelmente, no SPD, ocorre maior deposição de Ca na camada de 0-5 cm, isso faz com que os resultados superem ou ao menos não se diferenciem quando comparados ao SPC.

A camada de 0-5 cm, após 12 meses da aplicação do corretivo (Quadro 3), apresentou teor de Ca superior no SPD do que no SPC. Na camada de 5-10 cm, tanto o SPD quanto o SPC apresentaram os mesmos valores de Ca, indicando que os compostos liberados pela hidrólise do calcário movimentaram-se verticalmente no SPD. Esse resultado corrobora os obtidos por Caires et al. (1998) e Pöttker & Bem (1998). Observa-se que, na camada de 10-20 cm, houve inversão da situação, isto é, os teores de Ca no SPC superaram os do SPD. Entretanto, com o passar do tempo, o Ca poderá ser transportado para 15-20 cm de profundidade em SPD (Pavan, 1999).

Os tratamentos envolvendo granulometria, após 12 meses da calagem (Quadro 3), não apresentaram efeito significativo nas diferentes profundidades. Nesse período, a dose total de calcário mostrou-se superior na liberação de Ca, na camada de 0-5 cm. É provável que, até à chegada desse período, o fator doses comece a tornar-se significativo, pela prolongada atividade de reação do calcário. Houve, também, interação entre granulometria x doses, na profundidade de 10-20 cm (Quadro 5). Verificou-se o inverso do quadro 4, só que para a dose de 2/3, quando o calcário grosso proporcionou melhor desempenho no fornecimento de Ca ao solo, (Quadro 5). Esse fato pode ser explicado pelo efeito residual prolongado, ou seja, a maior parte da fração granulométrica mais fina (menor que 0,30 mm)

reage no solo em três meses, enquanto no calcário mais grosso ainda existe um resíduo com maior dimensão (2,0-0,30 mm), que continuará agindo mais lentamente após o período de três meses.

Os resultados da 1ª amostragem não diferiram para os teores de Mg^{2+} (Quadro 6), tendo sido observadas, apenas na última profundidade, diferenças com relação ao sistema de plantio e a granulometria. Entretanto, devem-se atribuir esses resultados mais às condições originais do solo (Quadro 1) do que propriamente aos efeitos de tratamentos. A 2ª amostragem, a exemplo da primeira, também não revelou diferenças entre os tratamentos. Somente aos 12 meses da aplicação dos corretivos, observou-se significância para o sistema de plantio e doses. Nesse período, o comportamento do Mg^{2+} , com relação ao sistema de plantio, foi idêntico ao apresentado pelo Ca^{2+} até à profundidade de 20 cm, cabendo o mesmo raciocínio para explicação. Na primeira camada, os teores de Mg^{2+} do SPD foram superiores aos do SPC e, na profundidade imediatamente inferior, verificou-se equivalência entre os SP, mostrando a movimentação do Mg, mesmo quando o calcário foi aplicado superficialmente. Já a partir da camada de 10-20 cm, o SPC passou a apresentar maiores teores de Mg^{2+} .

Quadro 4. Teores de cálcio do solo, considerando a granulometria e doses de calcários, após a 1ª amostragem, na profundidade de 5-10 cm. (Desdobramento da interação)

Granulometria	Dose de calcário		
	1/3	2/3	3/3
	mmolc dm ⁻³		
Grosso	13 bA	13 aA	21 aA
Fino	21 aA	12 aA	15 aA

Médias seguidas das mesmas letras (minúsculas, na coluna, e maiúsculas, na linha) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

Quadro 5. Teores de cálcio do solo, considerando a granulometria e doses de calcários, após a 3ª amostragem, na profundidade de 10-20 cm. (Desdobramento da interação)

Granulometria	Dose de calcário		
	1/3	2/3	3/3
	mmolc dm ⁻³		
Grosso	17 aA	27 aA	21 aA
Fino	20 aA	16 bA	24 aA

Médias seguidas das mesmas letras (minúsculas, na coluna, e maiúsculas, na linha) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

Quadro 6. Teores de magnésio trocável do solo em diferentes profundidades, após 1, 3 e 12 meses da aplicação do corretivo, considerando o sistema de plantio (SP), a granulometria (Gran) e as doses de calcário (Doses)

Fator	1ª amostragem (1 mês) - Prof. (cm)				2ª amostragem (3 meses) - Prof. (cm)				3ª amostragem (12 meses) - Prof. (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-40	0-5	5-10	10-20	20-40	0-5	5-10	10-20	20-40
Mg²⁺, mmol_c dm⁻³												
Sistema de plantio												
Convencional	11 a	10 a	10 a	7 a	13 a	13 a	15 a	12 a	23 b	19 a	15 a	6 a
Direto	10 a	9 a	7 a	5 b	14 a	12 a	13 a	11 a	38 a	21 a	10 b	5 b
Granulometria												
Grosso	9 a	8 a	8 a	7 a	12 a	12 a	15 a	12 a	30 a	19 a	13 a	5 a
Fino	11 a	10 a	8 a	6 b	15 a	13 a	13 a	12 a	31 a	21 a	13 a	5 a
Doses												
1/3	8 a	7 a	8 a	6 a	17 a	14 a	13 a	12 a	21 b	19 a	12 a	5 a
2/3	13 a	12 a	10 a	7 a	12 a	10 a	14 a	11 a	29 b	18 a	13 a	5 a
3/3	10 a	9 a	8 a	6 a	12 a	13 a	15 a	13 a	42 a	24 a	13 a	6 a
Valor F												
SP	0,06	0,38	2,65	2,14*	0,02	0,63	0,62	0,51	16,13*	0,20	3,49*	2,51*
Gran	1,04	4,01	2,30	1,98*	4,44	0,86	2,39	0,08	0,24	1,49	0,01	0,01
Dose	1,92	4,14	1,08	1,32	0,99	1,21	0,26	1,14	11,98*	2,07	0,80	2,85
SP x Gran	0,04	0,58	0,69	0,08	3,07	0,86	10,07*	2,07	2,75	3,81	2,55	3,78
SP x Dose	0,30	0,06	1,27	2,26	0,54	2,68	0,55	0,38	2,17	0,59	0,37	0,17
Gran x Dose	0,15	0,57	1,55	0,16	1,75	2,94	0,55	1,26	0,18	2,19	4,91*	0,17
C.V. (%)												
SP	25	24	32	27	24	21	21	19	18	21	34	27
Gran	39	25	27	33	24	37	15	22	9	23	27	50
Dose	63	51	44	38	79	55	60	36	42	42	36	39

Médias seguidas por letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %. * significativo a 5 % pelo teste F.

Os resultados referentes à 3ª amostragem (Quadro 6), evidenciam que a maior dose de calcário proporcionou elevação dos teores de Mg²⁺ na camada de 0-5 cm; tal fato não se repetiu nas demais profundidades. Houve a interação granulometria x doses, significativa no teste de comparação de médias, na profundidade de 10-20 cm (Quadro 7). Essa interação revela diferenças de granulometria na primeira dose, com aumento do teor de Mg²⁺ no calcário fino, e, na dose cheia, o Mg²⁺ foi igual tanto para o calcário fino como para o grosso.

Quadro 7. Teores de magnésio trocável do solo, considerando a granulometria e doses de calcário, após a 3ª amostragem, na profundidade de 10-20 cm. (Desdobramento da interação)

Granulometria	Dose de calcário		
	1/3	2/3	3/3
	mmol _c dm ⁻³		
Grosso	9 aB	16 aA	13 aAB
Fino	14 aA	10 bA	14 aA

Médias seguidas das mesmas letras (minúsculas, na coluna, e maiúsculas, na linha) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

Os resultados obtidos neste trabalho, com relação à redução da acidez de superfície e de subsuperfície, mostram ser possível realizar a correção da acidez do solo por meio da calagem superficial na fase de instalação do SPD. Diversos mecanismos, e suas ações conjuntas, podem ser responsáveis em levar os produtos da dissolução do calcário a atuarem em profundidade, como: o deslocamento de finas partículas de calcário através da porosidade contínua no perfil do solo, a presença de canalículos formados por raízes mortas e galerias da mesofauna, a formação de pares de Ca²⁺ e Mg²⁺ com NO₃⁻ e SO₄⁻² de fertilizantes ou liberados pela mineralização da M.O. ou, ainda, por ligantes orgânicos produzidos na decomposição dos resíduos vegetais (Petrere & Anghinoni, 2001).

CONCLUSÕES

1. A aplicação de calcário em superfície na instalação do sistema plantio direto, independentemente da granulometria e da dose do material corretivo, alterou positivamente os atributos químicos do solo (pH, H + Al, Ca²⁺ e Mg²⁺) das camadas superficiais (0-5 e 5-10 cm), 12 meses após a calagem.

2. A aplicação de doses mais elevadas de calcário, com maior granulometria, mostrou efeito residual prolongado para a correção da acidez do solo.

AGRADECIMENTOS

À Empresa Brasileira de Calcário Ltda. (EMBRACAL), por meio de sua associada Calcário Bonança, pelos corretivos especialmente preparados para o experimento.

LITERATURA CITADA

- ALCARDE, J.C.; PAULINO, V.T. & DERNARDIN, J.S. Avaliação da reatividade de corretivos da acidez do solo. R. Bras. Ci. Solo, 13:387-392, 1989.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA PESQUISA DA POTASSA E DO FOSFATO – POTAFOS. Manual internacional de fertilidade do solo. 2.ed. Piracicaba, 1998. 177p.
- 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. R. Bras. Ci. Solo, 22:27-34, 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 na superfície, em sistema de plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 23:315-327, 1999.
- CAIRES, E.F.; BLUM, J. & FELDHAUS, I.C. Resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. In: FERTIBIO, Santa Maria, 2000. Resumos Expandidos. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2000. CD-ROM
- CHITOLINA, J.C.; PRATA, F.; SILVA, F.C.; MURAOKA, T. & VITTI, A.C. Amostragem, acondicionamento e preparo de amostras de solo para análise de fertilidade. In: SILVA, F.C., ed. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília, EMBRAPA Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. p.11-48.
- DELAVALLE, F.G.; LAZARINI, E. & BUZZETTI, S. Efeitos de cobertura e manejo do calcário na implantação do sistema plantio direto em solo característico de cerrado. In: FERTIBIO, Santa Maria, 2000. Resumos Expandidos. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2000. CD-ROM
- DERPSCH, R. & FLORENTIN, M. Direktsaat nachhaltige landwirtschaft ohne bodenbearbeitung, entwicklung + ländlicher raum. DLG-Verlags-GmbH, 34:22-25, 2000.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, 1999. 412p. (EMBRAPA-Solos. Documentos, 15)
- LABORATÓRIO NACIONAL DE REFERÊNCIA VEGETAL - LANARV. Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes: métodos oficiais. Brasília, 1988. 104p.
- LIMA, E.V. & CRUSCIOL, C.A.C. Fertilidade do solo no sistema de semeadura direta recém implantado em função da cobertura vegetal e da calagem superficial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Londrina, 2001. Resumo. Londrina, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2001. p.130.
- PAVAN, M.A. Mobilização orgânica do calcário no solo através de adubo verde. In: PAULETTI, V. & SEGANFREDO, R., eds. Plantio direto: atualização tecnológica. São Paulo, Fundação Cargill/Fundação ABC, 1999. p.45-52.
- PETREIRE, C. & ANGHINONI, I. Alteração de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo. R. Bras. Ci. Solo, 25:885-895, 2001.
- PÖTTKER, D. & BEN, J.R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 22:675-684, 1998.
- PROCHNOW, D.; ELTZ, F.L.F.; WENDLING, A.; STRECK, C.A. & WENDLING, B. Alternativas de calagem em sistema de plantio direto. In: FERTIBIO, Santa Maria, 2000. Anais. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2000. CD-ROM
- QUAGGIO, J.A. Acidez e calagem em solos tropicais. Campinas, Instituto Agrônomo, 2000. 111p.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. Recomendações de calagem e adubação para o estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100)
- RAIJ, B. van & CANTARELLA, H. Cereais: milho para grão e silagem. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C., eds. Recomendações de calagem e adubação para o estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, p.56-59, 1997. (Boletim técnico, 100)
- RAIJ, B. van & QUAGGIO, A.J. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1983. 31p. (Boletim técnico, 81)
- 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. R. Bras. Ci. Solo, 24:797-805, 2000.
- SÁ, J.C.M. Calagem em solos sob plantio direto da região dos campos gerais, centro-sul do Paraná. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, Castro, 1995. Anais. Castro, Fundação ABC, 1995. p.73-107.
- SALET, R.L. Dinâmica de íons na solução de um solo submetido ao sistema plantio direto. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994. 110p. (Tese de Mestrado)
- SOUZA, D.M.G. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto: experiência no cerrado. In: FERTIBIO, Santa Maria, 2000. Anais. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2000. CD-ROM
- TEDESCO, M.J. & GIANELLO, C. Escolha do corretivo da acidez do solo. In: CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO, 2., Santa Maria, 1989. Anais. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1989. p.108-129.
- WIETHÖLTER, S. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto: experiência nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: FERTIBIO, Santa Maria, 2000. Anais. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2000. CD-ROM