

CALAGEM NA SUPERFÍCIE EM SISTEMA PLANTIO DIRETO⁽¹⁾

E. F. CAIRES⁽²⁾, D. A. BANZATTO⁽³⁾ & A. F. FONSECA⁽⁴⁾

RESUMO

Existem informações conflitantes a respeito da eficiência da aplicação superficial de calcário em sistema plantio direto, particularmente na correção da acidez do subsolo, e de critérios de recomendação de calagem para tal sistema de cultivo. Com o objetivo de avaliar a correção da acidez do solo e a produção de grãos de culturas em rotação no sistema plantio direto, considerando a aplicação de calcário na superfície, foi realizado um experimento em um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico textura média, em Ponta Grossa (PR), no período de 1993 a 1998. Os tratamentos, dispostos em blocos completos ao acaso com três repetições, constaram de quatro doses de calcário dolomítico: 0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹, calculadas para elevar a saturação por bases do solo a 50, 70 e 90%. O calcário foi aplicado em julho de 1993, a lanço, na superfície do solo. Foram cultivados, na seqüência, soja (1993/94), milho (1994/95), soja (1995/96), trigo (1996), soja (1996/97), triticale (1997) e soja (1997/98). A aplicação de calcário na superfície aumentou significativamente o pH, os teores de Ca + Mg trocáveis e a saturação por bases e reduziu significativamente os teores de H + Al do solo, até a profundidade de 60 cm. Estimou-se que a máxima eficiência técnica (MET) e a econômica (MEE) ocorreriam, respectivamente, com as doses de 3,8 e 3,3 t ha⁻¹ de calcário. A dose de calcário para MEE foi a indicada pelo método da elevação da saturação por bases do solo a 65%, para amostra coletada na profundidade de 0-20 cm, mostrando ser este critério adequado para recomendação de calagem na superfície em sistema plantio direto. Todavia, a calagem na superfície deve ser recomendada somente para solo com pH (CaCl₂) inferior a 5,6 ou saturação por bases inferior a 65%, na camada de 0-5 cm.

Termos de indexação: Acidez do solo, calcário dolomítico, necessidade de calagem, saturação por bases, produção de grãos.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em maio de 1999 e aprovado em dezembro de 1999.

⁽²⁾ Professor do Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Ponta Grossa. Caixa Postal 992/3, CEP 84010-790 Ponta Grossa (PR). E-mail:efcaires@uepg.br Bolsista do CNPq.

⁽³⁾ Professor Visitante, Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Ponta Grossa.

⁽⁴⁾ Bolsista do PIBIC-CNPq/UEPG.

SUMMARY: SURFACE APPLICATION OF LIME UNDER A NO-TILLAGE SYSTEM

The efficiency of surface application of lime under a no-tillage system is doubtful, particularly with regard to subsoil acidity and to methods of lime requirement determination. A field experiment was carried out on a dystrophic Dark Red Latosol (Haplortox) from Ponta Grossa, Paraná, Brazil, from 1993 to 1998, to evaluate the extent of downward movement of lime applied on the surface under a no-tillage system, and the effect on crop rotation grain yields. A randomized complete block design was used, with three replications. The treatments consisted of dolomitic limestone, at the rates of 0, 2, 4 and 6 t ha⁻¹, calculated to raise the soil base saturation in the 0-20 cm layer, to 50, 70 and 90%. The lime was applied in July 1993. Soybean (1993/94), corn (1994/95), soybean (1995/96), wheat (1996), soybean (1996/97), triticale (1997) and soybean (1997/98) were cultivated, in this sequence. Liming decreased H + Al concentration and increased pH, exchangeable Ca + Mg and soil base saturation up to 60 cm depth. The maximum yield (MTY) and the maximum economic yield (MEY) were obtained, at the 3.8 and 3.3 t ha⁻¹ of limestone. The lime rate to attain MEY was that estimated by the soil base saturation method at 65%, in the 0-20 cm layer, showing this to be an appropriate method for liming recommendation on the surface under a no-tillage system. However, surface application of lime should only be recommended for soil with pH (CaCl₂) lower than 5.6 or base saturation inferior to 65%, in the 0-5 cm layer.

Index terms: Soil acidity, dolomitic lime, lime requirement, base saturation, no-tillage system.

INTRODUÇÃO

A produção agrícola no Brasil tem sido freqüentemente afetada pela acidez e erosão do solo. No estado do Paraná, os sistemas de produção mudaram a partir da década de 1970, com a introdução do sistema plantio direto, visando minimizar perdas de solo e de nutrientes por erosão (Muzilli, 1981). O sistema plantio direto tem apresentado rápido crescimento em área cultivada nesta última década e tem sido bastante utilizado no Paraná, ocupando 1.000.000 ha, na safra 1995/96 (Wiethölter, 1997), e 2.500.000 ha, atualmente (Franchini et al., 1999).

Para correção da acidez do solo no sistema plantio direto, o calcário é distribuído na superfície sem incorporação. A eficiência da aplicação superficial de calcário em solo sob plantio direto, particularmente na correção da acidez do subsolo, é controversa. Resultados de pesquisas realizadas com solos brasileiros indicaram pequeno ou nenhum movimento do calcário além do local de sua aplicação (Gonzales-Erico et al., 1979; Ritchey et al., 1980; Pavan et al., 1984). Entretanto, em outros trabalhos realizados no Brasil (Chaves et al., 1984; Oliveira & Pavan, 1996; Caires et al., 1998) e em regiões subtropicais úmidas (Moschler et al., 1973; Blevins et al., 1978), foram observados aumentos de pH e Ca trocável e redução de Al trocável em camadas do subsolo com a aplicação de calcário na superfície.

Trabalhos recentes têm indicado que a necessidade de calcário no sistema plantio direto talvez seja menor do que no sistema convencional de preparo

(Caires et al., 1998; Pottker & Ben, 1998). Faltam informações, porém, a respeito da reação do calcário aplicado na superfície do solo e de critérios de recomendação de calagem, com base na análise química do solo, em sistema plantio direto.

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a correção da acidez do solo e a produção de culturas em rotação no sistema plantio direto, considerando a aplicação de calcário na superfície, procurando auxiliar no desenvolvimento de critérios de determinação da necessidade de calagem para esse sistema de cultivo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no município de Ponta Grossa (PR), Fazenda Estância dos Pinheiros, em um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico textura média, há quinze anos sob plantio direto. Análises químicas (Pavan et al., 1992) e granulométricas (EMBRAPA, 1997) do solo, da camada de 0-20 cm, realizadas antes da instalação do experimento, revelaram os seguintes resultados: pH (CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹) 4,5; 58 mmol_c dm⁻³ de H⁺ + Al³⁺; 6 mmol_c dm⁻³ de Al³⁺; 16 mmol_c dm⁻³ de Ca²⁺; 10 mmol_c dm⁻³ de Mg²⁺; 1,4 mmol_c dm⁻³ de K⁺; 9 mg dm⁻³ de P (Mehlich-1); 19 g dm⁻³ de C-orgânico e 32% de saturação por bases e teores de argila, silte e areia, respectivamente, de 220, 195 e 585 g kg⁻¹.

Os tratamentos, aplicados em parcelas de 50,4 m² (6,3 x 8,0 m), foram dispostos em blocos completos

ao acaso com três repetições e constaram da aplicação de quatro doses de calcário dolomítico, com 84% de poder relativo de neutralização total (PRNT): 0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹, calculadas visando elevar a saturação por bases da camada de 0-20 cm de solo a aproximadamente 50, 70 e 90%. O calcário foi aplicado em julho de 1993, a lanco, na superfície do solo.

Realizaram-se quatro cultivos de soja, na densidade de vinte sementes por metro linear e espaçamento de 0,45 m entre as linhas. Foram utilizados os cultivares BR 16 (1993/94), FT Abyara (1995/96), FT 5 (1996/97) e FT 2000 (1997/98). Como adubação básica, empregaram-se 200 kg ha⁻¹ da fórmula 0-25-25 nos dois primeiros cultivos e 48 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de cloreto de potássio, nos dois últimos. Realizou-se, também, a inoculação das sementes com estirpes selecionadas de *Bradyrhizobium japonicum*. No ano agrícola de 1996/97, amostras de dez plantas por parcela foram coletadas 96 dias após a semeadura. Essas amostras foram lavadas em água desionizada, separadas em folhas, hastes e vagens, colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 60°C, até atingir massa constante, e moídas. Foram avaliadas a produção de matéria seca e as concentrações de zinco e manganês, nas diferentes partes da planta, por meio de digestão nítrico-perclórica e leitura em espectrofotômetro de absorção atômica, conforme o método descrito por Malavolta et al. (1997). Para avaliar a produção de grãos de soja, foram colhidas as quatro linhas centrais por seis metros de comprimento em cada parcela, tendo sido desprezado um metro de cada extremidade.

A semeadura do milho híbrido Cargill 901, na safra 1994/95, foi realizada na densidade de cinco sementes por metro linear e espaçamento de 0,9 m entre as linhas. A adubação básica utilizada na semeadura foi de 250 kg ha⁻¹ da fórmula 8-28-16 e, em cobertura, foram aplicados 45 kg ha⁻¹ de nitrogênio, na forma de uréia. Para avaliar a produção de grãos de milho, foram colhidas as três linhas centrais por seis metros de comprimento em cada parcela, tendo sido desprezado um metro de cada extremidade.

No inverno de 1994, a área experimental foi cultivada com consórcio de ervilhaca/aveia-preta e, no inverno de 1995, a área foi mantida em pousio. O trigo, cultivar Embrapa 16, foi semeado no inverno de 1996 e o triticale, cultivar Iapar 23, no inverno de 1997, na densidade de trinta e cinco sementes por metro linear e espaçamento de 0,15 m entre as linhas. A adubação de semeadura para as culturas de trigo e triticale foi realizada, respectivamente, nas doses de 250 e 300 kg ha⁻¹ da fórmula 5-25-25 e 45 kg ha⁻¹ de nitrogênio, na forma de uréia, em cobertura. Para avaliar a produção de grãos de trigo e triticale, foram colhidas as vinte linhas centrais por quatro metros de comprimento em cada parcela, tendo sido desprezados dois metros de cada extremidade.

Foram coletadas amostras de solo aos 12, 18, 28, 40 e 58 meses da calagem. Retiraram-se 12 subamostras por parcela, para constituir uma amostra composta das camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, e 5 subamostras para as camadas de 20-40 e 40-60 cm de profundidade. As amostras até à profundidade de 20 cm foram coletadas com trado calador e de 20-60 cm com trado holandês, tendo sido determinados o pH, H⁺ + Al³⁺, Al³⁺ e cátions básicos pelos métodos descritos em Pavan et al. (1992).

A precipitação pluvial ocorrida durante os meses de julho a junho, nos anos de 1993/94, 1994/95, 1995/96, 1996/97 e 1997/98 foi, respectivamente, de 2.300, 1.530, 1.950, 1.770 e 2.060 mm.

Os resultados foram submetidos às análises de variância e de regressão. Para obter os resultados de análise de solo, foi realizada análise de variância conjunta, admitindo-se as diferentes épocas de amostragem de solo como variáveis. Adotou-se, como critério para o agrupamento, a variação individual entre os resíduos inferior a sete unidades. As equações foram ajustadas pelas médias das observações, adotando-se, como critério para escolha do modelo, a magnitude dos coeficientes de determinação significativos a 5%. A máxima eficiência técnica (MET) e a econômica (MEE) da calagem foram calculadas de acordo com os procedimentos descritos por Alvarez V. (1985).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise conjunta dos resultados de análise química do solo não mostrou interação significativa entre doses de calcário e época de amostragem para pH, acidez potencial (H + Al), Ca + Mg trocáveis e saturação por bases, nas cinco profundidades estudadas. A ausência de interação sugere que as modificações nas características químicas do solo dependendo das doses de calcário, foram semelhantes, nas diferentes épocas de amostragem.

As alterações no pH, na acidez potencial (H + Al), nos teores de Ca + Mg trocáveis e na saturação por bases do solo, em função de doses de calcário, encontram-se na figura 1. Nota-se que a calagem proporcionou não só aumentos significativos no pH, Ca + Mg trocáveis e saturação por bases, mas também redução significativa nos teores de H + Al, nas cinco profundidades estudadas. Os efeitos da calagem sobre tais variáveis tiveram comportamento quadrático até 10 cm e linear de 10-60 cm. Os aumentos do pH, Ca + Mg trocáveis e saturação por bases e a redução dos teores de H + Al nas camadas de 20-40 e 40-60 cm mostram claramente os efeitos positivos do calcário aplicado na superfície sobre a correção da acidez do subsolo. Os resultados quanto à eficiência da calagem na neutralização da acidez de subsolos são discordantes e, em alguns casos, o movimento de cálcio tem sido usado como um índice

de movimentação de calcário, o que não é necessariamente verdadeiro (Sumner, 1995). Farina, citado por Sumner (1995), observou apreciável movimento de cálcio e magnésio pela aplicação de calcário na superfície, sem redução significativa na acidez potencial do subsolo. Existem trabalhos mostrando que o calcário não se movimenta para camadas mais profundas do solo (Gonzales-Érico et al., 1979; Ritchey et al., 1980; Pavan et al., 1984), enquanto outros revelaram consideráveis aumentos no pH e nos teores de Ca e Mg trocáveis abaixo da região de aplicação do calcário, em áreas de cultivos anuais preparadas convencionalmente (Quaggio et al., 1993; Oliveira et al., 1997; Caires & Rosolem, 1998) e de cultivos perenes estabelecidos (Chaves et al., 1984; Pavan, 1994). A eficiência da aplicação superficial de calcário na redução da acidez do subsolo, no sistema plantio direto, foi demonstrada por Oliveira & Pavan (1996), em condições de solo e clima muito semelhantes às do presente trabalho.

Diversos mecanismos podem estar envolvidos na correção da acidez de subsolos, em sistema plantio direto, pela calagem na superfície. A formação e a

migração de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ e $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ para camadas mais profundas de solo constituem uma possível explicação (Oliveira & Pavan, 1996), tendo em vista que, no sistema plantio direto, a acidez superficial é diminuída por diferentes mecanismos, dentre os quais os resíduos orgânicos desempenham importante papel (Sidiras & Pavan, 1985). Além disso, também é possível que ocorra deslocamento mecânico de partículas de calcário através de canais formados por raízes mortas mantidos intactos em razão da ausência de preparo do solo (Pavan, 1994). A movimentação de Ca + Mg trocáveis do solo e a redução do Al trocável no subsolo também podem estar relacionadas com o mecanismo de lixiviação 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 CaL^0 ou CaL . A alteração da carga de Ca^{2+} facilita a sua mobilidade no solo. Na camada subsuperficial, o cálcio dos complexos Ca-orgânicos é deslocado pelo Al trocável do solo, porque os íons Al^{3+} formam

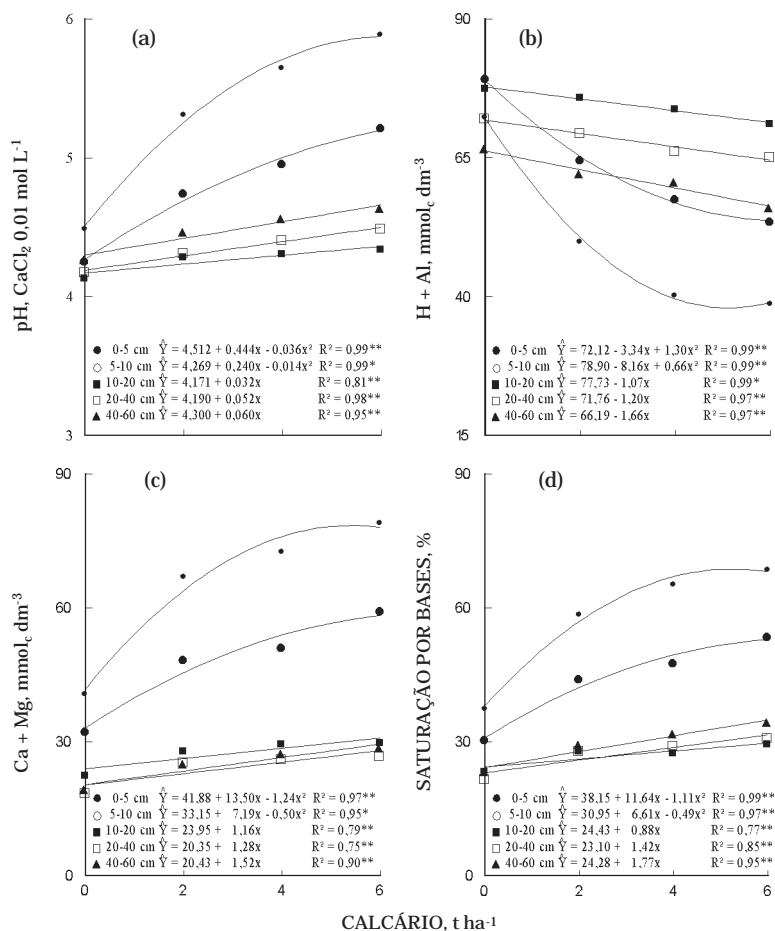


Figura 1. Alterações do pH em CaCl_2 0,01 mol L⁻¹ (a), $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ (b), Ca + Mg trocáveis (c) e saturação por bases (d), em diferentes profundidades do solo, considerando a aplicação de doses de calcário na superfície. Pontos são médias de cinco amostragens de solo e três repetições. ** Significativo P < 0,01 e *significativo P < 0,05.

complexos mais estáveis do que Ca^{2+} , diminuindo a acidez trocável e aumentando o Ca trocável. Reações semelhantes também ocorrem para magnésio. Independentemente do mecanismo envolvido, os resultados mostram ser possível evitar a interrupção do plantio direto, por causa da acidez do subsolo, mediante aplicação de calcário na superfície.

Percebeu-se grande ação da calagem nos aumentos de pH, Ca + Mg trocáveis e saturação por bases e na redução da acidez potencial (H + Al), até 10 cm de profundidade, na amostragem efetuada aos 12 meses (Figura 2). A partir dessa amostragem, os acréscimos no pH, Ca + Mg e saturação por bases e a redução na acidez potencial, na camada de 0-5 cm, ocorreram com menor intensidade, com a máxima reação do calcário, tendo sido observada entre 28 e 30 meses de sua aplicação. Após esse período, iniciou-se a redução do efeito residual da calagem. Na camada de 5-10 cm, houve redução da acidez potencial até cerca de 28 meses após a aplicação do calcário, mas o pH, os teores de Ca + Mg trocáveis e a saturação por bases começaram a apresentar decréscimos a partir dos 12 meses. Esse

comportamento revela que a máxima reação do calcário na profundidade de 5-10 cm ocorreu entre 12 e 28 meses após sua aplicação. Os aumentos mais pronunciados no pH, Ca + Mg e saturação por bases e maior redução na acidez potencial da camada de 10-20 cm somente ocorreram 28 meses após a aplicação do calcário. O tempo de reação do calcário observado na camada de solo de 0-5 cm, mediante calagem na superfície, foi relativamente semelhante ao tempo de reação obtido por Camargo et al. (1982) e Oliveira et al. (1997) com calcário incorporado na camada arável em sistema de cultivo convencional. Nas profundidades de 20-40 e 40-60 cm, tais variáveis não foram influenciadas significativamente pela época de amostragem.

Na figura 3, são mostradas as relações obtidas entre os valores de pH em CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ e a saturação por bases do solo, nas cinco profundidades estudadas. Os resultados indicam que as relações foram significativas em todas as profundidades, porém as mais estreitas relações foram obtidas nas camadas superficiais do solo (0-5 e 5-10 cm). É importante ressaltar que as conhecidas relações

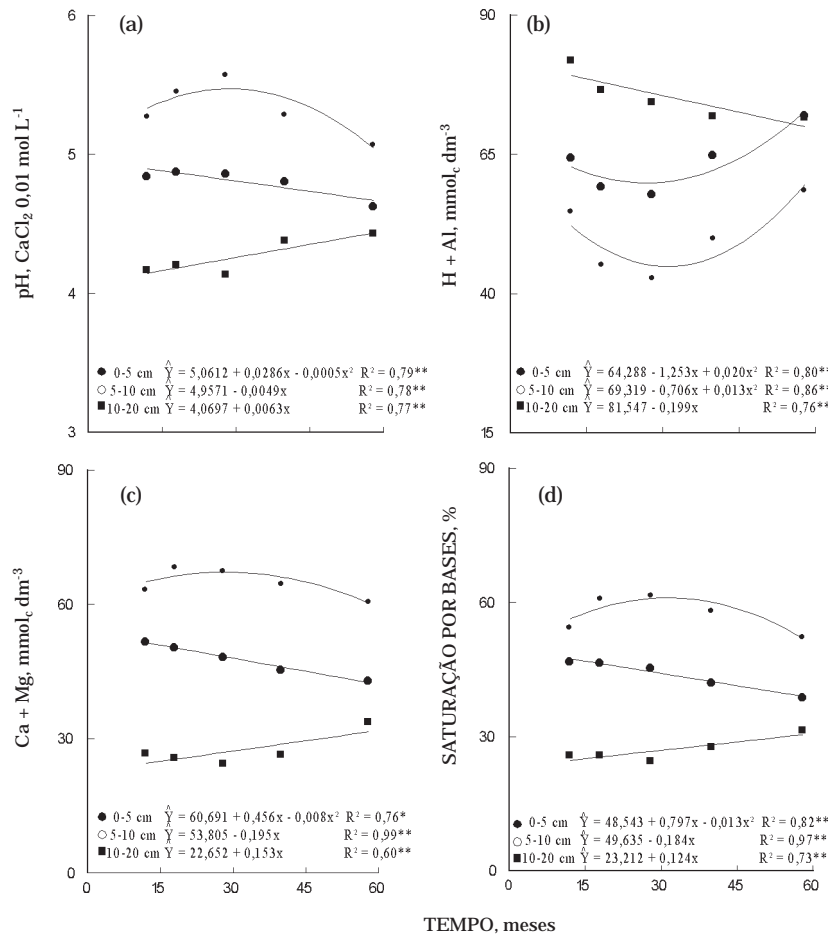


Figura 2. Efeito do tempo de aplicação do calcário na superfície sobre o pH em CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ (a), $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ (b), Ca + Mg trocáveis (c) e saturação por bases (d), em diferentes profundidades do solo. Pontos são médias de quatro doses de calcário e três repetições. ** Significativo $P < 0,01$ e *significativo $P < 0,05$.

entre pH e saturação por bases, estabelecidas para amostras da camada arável, não se aplicam em subsolos (Rajj et al., 1968). No entanto, é possível que tais relações em áreas com cultivos já estabelecidos durante muito tempo, não preparadas convencionalmente, sejam mais estreitas em maiores profundidades. De qualquer forma, os resultados mostram que o aumento do pH no subsolo, pela aplicação de calcário na superfície, foi acompanhado da elevação da saturação por bases. É interessante notar que os valores de pH no subsolo foram mais elevados do que nas camadas superficiais para valores correspondentes de saturação por bases, dentro da amplitude de variação das camadas mais profundas. De acordo com as curvas ajustadas, para uma saturação por bases de 30%, os valores de pH em CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ encontrados nas diferentes

profundidades foram: 4,1 (0-5 cm), 4,2 (5-10 cm), 4,4 (10-20 e 20-40 cm) e 4,5 (40-60 cm). Isso certamente se deve à maior influência da matéria orgânica nas camadas superficiais do solo e dos óxidos hidratados de ferro e alumínio no subsolo.

A produção de grãos de uma sucessão de culturas em rotação no sistema plantio direto, no período de 1993 a 1998, dependendo da aplicação de calcário, é mostrada no quadro 1. Nota-se que a produção de grãos nas diferentes safras de soja (1993/94, 1995/96, 1996/97 e 1997/98), milho (1994/95), trigo (1996) e triticale (1997) não foi influenciada significativamente pela calagem. Resultados deste tipo, com altas produtividades na ausência de calcário, têm sido observados com certa frequência (Caires et al., 1998; Pottker & Ben, 1998) em solos ácidos sob plantio direto. Entretanto, houve efeito significativo da

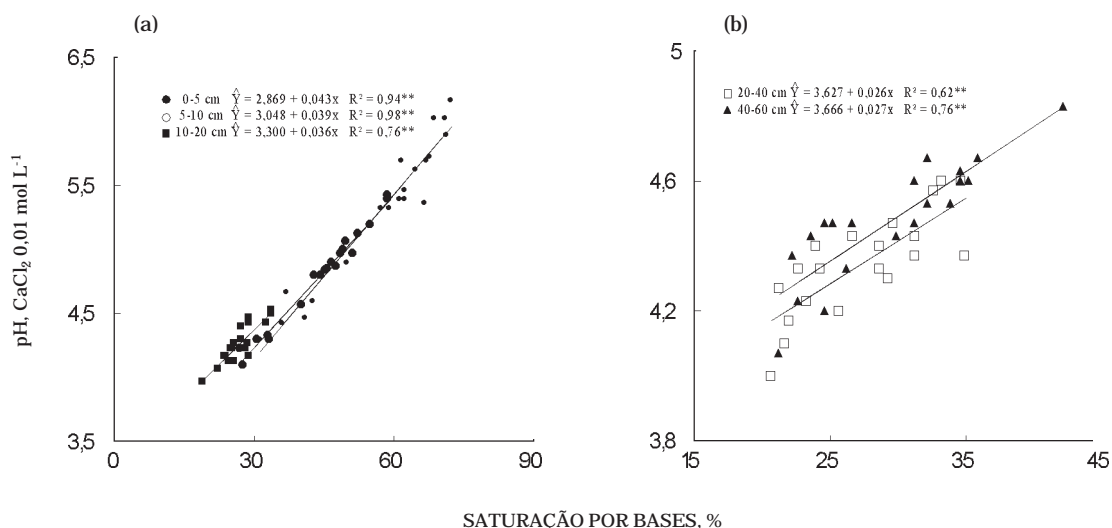


Figura 3. Relações entre o pH em CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ e a saturação por bases do solo, em diferentes profundidades: 0-5, 5-10 e 10-20 cm (a) e 20-40 e 40-60 cm (b). Pontos são médias de três repetições. ** Significativo $P < 0,01$.

Quadro 1. Produção de grãos de uma sucessão de culturas em rotação no sistema plantio direto, considerando a aplicação de doses de calcário na superfície

Calcário	Soja	Milho	Soja	Trigo	Soja	Triticale	Soja	Produção acumulada
	(1993/94)	(1994/95)	(1995/96)	(1996)	(1996/97)	(1997)	(1997/98)	
t ha ⁻¹	kg ha ⁻¹							
0	2.620	9.517	3.467	1.365	2.966	1.220	2.049	23.204
2	2.855	9.987	3.378	1.438	2.756	1.620	2.257	24.291
4	3.059	9.873	3.478	1.825	2.897	1.407	2.687	25.226
6	2.960	9.998	3.328	1.572	2.674	1.436	2.312	24.280
Valor F	2,13	0,52	1,21	0,99	2,40	2,26	2,32	9,22*
C.V. (%)	7,8	5,5	3,3	22,7	5,2	13,2	13,0	1,9

* Significativo $P < 0,05$.

calagem sobre a produção acumulada de grãos (Figura 4). Baseando na equação de regressão obtida, estimou-se que a máxima eficiência técnica (MET) e a econômica (MEE) ocorreriam, respectivamente, com as doses de 3,8 e 3,3 t ha⁻¹ de calcário. A MEE foi calculada, adotando o critério do capital ilimitado, amortização no período compreendido pelo experimento e preços de R\$ 20,00 e R\$ 150,00 por tonelada, respectivamente, para calcário e grãos. Calculou-se o preço dos grãos pela média ponderada dos produtos das sete safras, considerando os seguintes preços por tonelada: R\$ 180,00 para soja, R\$ 130,00 para trigo e R\$ 100,00 para milho e triticale.

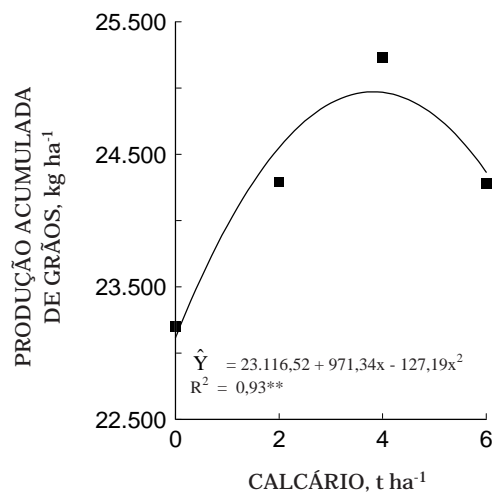


Figura 4. Efeito da aplicação de doses de calcário na superfície sobre a produção acumulada de grãos de culturas em rotação no sistema plantio direto, no período de 1993 a 1998. Rotação: soja/milho/soja/trigo/soja/triticale e soja. Pontos são médias de três repetições. ** Significativo $P < 0,01$.

A dose calculada para obtenção da MEE seria a recomendada pelo método da saturação por bases para 65%, em amostra de solo coletada na profundidade de 0-20 cm, indicando ser este critério adequado para recomendação de calagem na superfície em sistema plantio direto. Esses resultados concordam com os obtidos por Oliveira & Pavan (1996), que observaram maior produção de grãos de soja mediante aplicação da dose de calcário na superfície (5,5 t ha⁻¹), calculada para elevar a saturação por bases do solo a 60%. Baseando nos efeitos das doses de calcário aplicadas sobre os valores de pH (CaCl₂) e saturação por bases (Figura 1), o emprego de 3,3 t ha⁻¹ elevaria o pH (CaCl₂) do solo a 5,6, 4,9 e 4,3 e a saturação por bases a 65, 47 e 27%, respectivamente, nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. É interessante notar que a saturação por bases estimada para a dose de MEE na camada de 0-20 cm (65%) foi a obtida na camada de 0-5 cm com a aplicação do calcário na superfície. É possível que os efeitos esperados da calagem, na camada arável (0-20 cm), quando o calcário é incorporado no solo, sejam semelhantes aos obtidos na camada de 0-5 cm, quando a aplicação do calcário é feita na superfície sem incorporação.

A análise de correlação entre a produção acumulada de grãos e os atributos da fertilidade do solo, considerando a profundidade (Quadro 2), mostra a importância do aumento do pH, Ca trocável e saturação por bases e da redução do Al trocável, na profundidade de 0-5 cm, para a produção acumulada de grãos das culturas em rotação no plantio direto. Com base nesses resultados (Quadro 2) e nos efeitos das doses de calcário aplicadas sobre os valores de pH (CaCl₂) e saturação por bases do solo (Figura 1), pode-se inferir que, de acordo com a dose de MEE, a calagem na superfície em sistema plantio direto somente deve ser recomendada para solo com pH (CaCl₂) inferior a 5,6 ou saturação por bases inferior a 65%, na camada de 0-5 cm.

Quadro 2. Coeficientes de correlação entre a produção acumulada de grãos (kg ha⁻¹) de uma sucessão de culturas em rotação no sistema plantio direto e atributos da fertilidade do solo, considerando a profundidade (média de cinco amostragens de solo)

Profundidade	pH em CaCl ₂	Al trocável	Ca trocável	Mg trocável	Saturação por bases
cm					
0-5	0,60*	-0,66*	0,62*	0,56	0,68*
5-10	0,46	-0,58	0,55	0,27	0,51
10-20	0,28	-0,23	0,23	0,28	0,23
20-40	0,40	-0,44	0,38	0,43	0,48
40-60	0,55	-0,53	0,56	0,53	0,58

* Significativo $P < 0,05$.

A redução da produção de grãos mediante o emprego de doses mais elevadas de calcário deve ter sido ocasionada pela diminuição da absorção de Zn e Mn, conforme mostram os dados obtidos com a cultura da soja, no ano agrícola de 1996/97 (Figura 5). A menor absorção de Zn (Machado & Pavan, 1987) e Mn (Tanaka et al., 1992) é decorrente da diminuição da concentração destes na solução do solo com o aumento do pH pela calagem superficial.

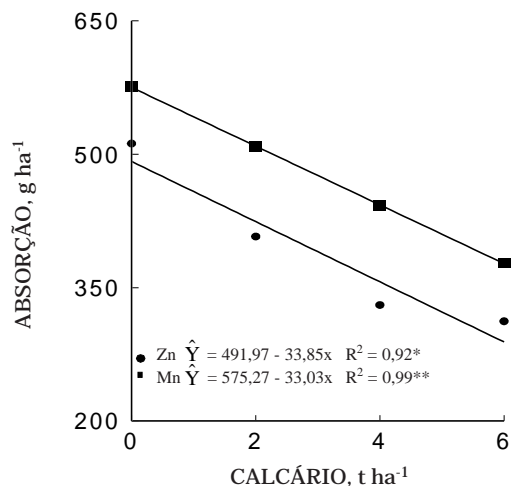


Figura 5. Efeito da aplicação de doses de calcário na superfície sobre a absorção de Zn e Mn pela soja, no ano de 1996/97. Pontos são médias de três repetições. ** Significativo $P < 0,01$ e * significativo $P < 0,05$.

CONCLUSÕES

1. O calcário aplicado na superfície apresenta eficiência na correção da acidez de camadas superficiais do solo e do subsolo, aumentando a produção acumulada de grãos de culturas em rotação no sistema plantio direto.

2. O método da elevação da saturação por bases para 65%, em amostra de solo coletada na profundidade de 0-20 cm, apresenta estimativa adequada para recomendação de calcário na superfície em sistema plantio direto, mas a calagem superficial somente deve ser recomendada para solo com pH (CaCl_2) inferior a 5,6 ou saturação por bases inferior a 65%, na camada de 0-5 cm.

LITERATURA CITADA

ALVAREZ V., V.H. Avaliação da fertilidade do solo (superfícies de resposta – modelos aproximativos para expressar a relação fator-resposta). Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1985. 75p.

BLEVINS, R.L.; MURDOCK, L.W. & THOMAS, G.W. Effect of lime application on no-tillage and conventionally tilled corn. *Agron. J.*, 70:322-326, 1978.

CAIRES, E.F. & ROSOLEM, C.A. Correção da acidez do solo e desenvolvimento do sistema radicular do amendoim em função da calagem. *Bragantia*, 57:175-184, 1998.

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.

CAMARGO, A.P.; RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; ROCHA, T.R.; NAGAI, V. & MASCARENHAS, H.A.A. Efeito da calagem nas produções de cinco cultivos de milho, seguidos de algodão e soja. *Pesq. Agropec. Bras.*, 17:1007-1012, 1982.

CHAVES, J.C.D.; PAVAN, M.A. & IGUE, K. Resposta do cafeeiro à calagem. *Pesq. Agropec. Bras.*, 19:573-582, 1984.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FRANCHINI, J.C.; BORKERT, C.M.; FERREIRA, M.M. & GAUDÊNCIO, C.A. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, Londrina, 1999. Anais. Londrina, EMBRAPA, 1999. p.350.

GONZALES-ERICO, E.; KAMPRATH, E.J.; NADERMANN, G.C. & SOARES, W.V. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn on an Oxisol of Central Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43:1155-1158, 1979.

MACHADO, P.L.O.A. & PAVAN, M.A. Adsorção de zinco por alguns solos do Paraná. *R. Bras. Ci. Solo*, 11:253-256, 1987.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba, POTAFOS, 1997. 319p.

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. Abstracts. Belo Horizonte, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/ 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. *Agron. J.*, 65:781-783, 1973.

MUZILLI, O. Princípios e perspectivas de expansão. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Plantio direto no estado do Paraná. Londrina, 1981. p.11-16 (Circular, 23)

OLIVEIRA, E.L. & PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. *Soil Till. Res.*, 38:47-57, 1996.

OLIVEIRA, E.L.; PARRA, M.S. & COSTA, A. Resposta da cultura do milho, em um Latossolo Vermelho-Escuro álico, à calagem. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:65-70, 1997.

PAVAN, M.A. Movimentação de calcário no solo através de técnicas de manejo da cobertura vegetal em pomares de macieira. *R. Bras. Frutic.*, 16:86-91, 1994.

- PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. & PRATT, P.F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminum following lime and gypsum applications to a Brazilian Oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48:33-38, 1984.
- 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)
- POTTKER, D. & BEN, J.R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:675-684, 1998.
- QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van; GALLO, P.B. & MASCARENHAS, H.A.A. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 28:375-383, 1993.
- RAIJ, B. van; SACCHETTO, M.T.D. & IGUE, T. Correlações entre o pH e o grau de saturação em bases nos solos com horizonte B textural e horizonte B latossólico. *Bragantia*, 27:193-200, 1968.
- RITCHEY, K.D.; SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. & CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian Savannah Oxisol. *Agron. J.*, 72: 40-44, 1980.
- SIDIRAS, N. & PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. *R. Bras. Ci. Solo*, 9:249-254, 1985.
- SUMNER, M.E. Amelioration of subsoil acidity with minimum disturbance. In: JAYAWARDANE, N.S. & STEWART, B.A., eds. *Subsoil management techniques*. Athens: Lewis Publishers, 1995. p.147-185.
- TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A. & BULISANI, E.A. Deficiência de manganês em soja induzida por excesso de calcário. *Pesq. Agropec. Bras.*, 27:247-250, 1992.
- WIETHOLTER, S. Histórico e perspectivas da prática de calagem no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. Anais. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. (CD-ROM).