

# CRITÉRIOS DE CALAGEM PARA A SOJA NO SISTEMA PLANTIO DIRETO CONSOLIDADO<sup>(1)</sup>

Antonio Nolla<sup>(2)</sup> & Ibanor Anghinoni<sup>(3)</sup>

## RESUMO

As recomendações de calagem desenvolvidas para o sistema convencional de preparo do solo estão sendo utilizadas no sistema plantio direto, onde há uma dinâmica diferenciada dos atributos de acidez decorrente do acúmulo superficial de matéria orgânica e de nutrientes e menor toxidez por Al. Este trabalho relaciona diferentes indicadores de acidez de um Latossolo Vermelho aluminoférrico típico no sistema plantio direto com características de plantas de soja, para estabelecer critérios de calagem. Foram utilizados dois experimentos em plantio direto há oito anos, um iniciado a partir de lavoura convencional e outro de campo natural, com diferentes níveis de acidez, resultantes de aplicação anterior de doses de calcário. Amostras indeformadas de solo foram coletadas em colunas (PVC), e plantas de soja foram cultivadas por 25 dias. Os critérios de calagem foram obtidos a partir da derivação de equações relacionando o rendimento de grãos no campo e características de plantas de soja nas colunas com os seguintes indicadores de acidez do solo: pH em água e em CaCl<sub>2</sub>, Al trocável e sua saturação, relação Al/Ca + Mg trocáveis e saturação por bases. O pH em água de 5,5 e a saturação por bases de 62 % foram os critérios de calagem mais adequados, com amostragem do solo tanto na camada de 0–15 cm como na de 0–10 cm. Os critérios de calagem podem também ser estabelecidos, em curto prazo, por plantas desenvolvidas em amostras indeformadas de solo em colunas, de preferência utilizando características do sistema radicular.

**Termos de indexação:** indicadores de acidez, características da planta, camadas de solo.

---

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Executada com auxílio do CNPq - PRONEX. Recebido para publicação em março de 2005 e aprovado em abril de 2006.

<sup>(2)</sup> Pós-Doutorando em Solos, ICIAG/GPSi, Universidade Federal de Uberlândia – UFU. Caixa Postal 593, CEP 38400-902 Uberlândia (MG). Bolsista do CNPq. E-mail: nolla73@hotmail.com

<sup>(3)</sup> Professor Adjunto do Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Av. Bento Gonçalves 7712, Caixa Postal 776, CEP 91540 000 Porto Alegre (RS). Bolsista do CNPq. E-mail: ibanghi@ufrgs.br

**SUMMARY: LIMING CRITERIA FOR SOYBEAN IN ESTABLISHED NO-TILLAGE SYSTEM**

*Lime recommendations developed for conventional systems are being used in no-tillage systems with different dynamics of the acidity attributes, due to organic matter and nutrient accumulation on the superficial layer and lower aluminum toxicity. This study associated different acidity indicators of a Rhodic Hapludox after eight years under no-tillage system with soybean plant characteristics in order to establish liming criteria. Two field experiments were compared, both under no-tillage for eight years; one had previously been under conventional tillage and the other under natural pasture, and presented different acidity levels owing to previous liming. Undisturbed soil samples were collected in PVC columns, in which the soybean plants were grown for 25 days. Lime criteria were obtained by derivation of equations relating soybean grain yield and plant characteristics with the following soil acidity indicators: water and  $\text{CaCl}_2$  pH, exchangeable aluminum, aluminum saturation, exchangeable Al/Ca + Mg ratio and base saturation. A pH in water of 5.5 and base saturation of 62 % were the most suitable liming criteria for soil samples from the 0 to 15 cm as well as from the 0 to 10 cm depth soil layers. Liming criteria can also be determined, in the short term, by growing plants in undisturbed soil columns, preferentially using root characteristics.*

*Index terms: soil acidity indicators, plant characteristics, soil layers.*

**INTRODUÇÃO**

Os sistemas para a recomendação de calagem incluem duas etapas: (a) a decisão de aplicar ou não corretivo de acidez (necessidade de calagem) e (b) a definição da dose por aplicar para atingir objetivo especificado. O pH, o Al (trocável ou sua saturação) e a saturação por bases são indicadores que podem ser utilizados para definir se há ou não necessidade de calagem. A acidez potencial, o índice SMP e as fórmulas que envolvem fatores e, ou, componentes da acidez (Al trocável, matéria orgânica, saturação por bases) têm sido utilizados para determinar a dose de corretivo por aplicar no solo para atingir objetivos pré-estabelecidos (Nolla & Anghinoni, 2004).

No Brasil, são usados diversos indicadores para verificar se existe ou não necessidade de calagem, que foram desenvolvidos pelos programas regionais de pesquisa em Fertilidade do Solo. Os indicadores de acidez mais utilizados são: o pH em água, no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina (CQFS RS/SC, 2004); a saturação por bases, em São Paulo (Raij et al., 2001) e em alguns estados vizinhos (Sousa et al., 1989; Wiethölter, 2000); o Al trocável, nos estados do Nordeste, Norte e parte do Centro-Oeste (Quaggio, 2000); e o Al, o Ca e o Mg trocáveis, principalmente na região de Cerrado (Ribeiro et al., 1999; Sousa & Lobato, 2004). A camada de solo utilizada para o diagnóstico da acidez é de 0–20 cm, com vistas em verificar a necessidade de reaplicação de calcário após um período de 4 a 5 anos.

As recomendações de calagem, atualmente utilizadas para o RS e SC (CQFS RS/SC, 2004), estabelecem que os critérios de calagem para o sistema plantio direto (SPD) são o pH 5,5 e, ou, a saturação por bases de 65 %. Para condições muito ácidas de

lavoura ou de campo natural (índice SMP  $\leq 5,0$ ), na fase de implantação do SPD, recomenda-se incorporar o calcário para atingir o  $\text{pH}_{\text{água}}$  6,0 (1 SMP pH 6,0) com base na análise da camada de 0–20 cm. No caso da adoção do SPD a partir de campo natural em condição menos ácida, a aplicação de calcário pode ser superficial (Índice SMP  $> 5,0$ ) ou incorporada (Índice SMP entre 5,0 e 5,5), na dose necessária para elevar o  $\text{pH}_{\text{água}}$  do solo até 5,5 (amostragem da camada de 0–20 cm). No caso de aplicação ou reaplicação de calcário, quando o sistema já estiver com mais de cinco anos (consolidado), a aplicação do calcário pode ser superficial. A dose é estimada para elevar o pH até o pH 5,5, na camada de 0–10 cm (1/2 SMP pH 5,5).

A prática da calagem, no estabelecimento do plantio direto a partir de lavouras no sistema convencional ou de campo natural, com mobilização de solo, é a mesma adotada no preparo convencional. No entanto, muitos questionamentos surgem para definir a necessidade de calagem no sistema plantio direto consolidado ( $> 5$  anos) e na implantação do sistema plantio direto em campo natural sem mobilização do solo. Isto porque, em ambos os casos, ocorre acúmulo de resíduos e formação de gradientes de matéria orgânica e de nutrientes (especialmente P, Ca, Mg e K), mudando a dinâmica do Al com diminuição da sua toxidez às plantas por causa da complexação com ácidos fúlvicos e húmicos da matéria orgânica (Salet, 1998; Franchini et al., 1999) e por ligantes de baixo peso molecular proveniente dos resíduos de culturas (Miyazawa et al., 1993; Franchini et al., 1999; Miyazawa et al., 2000). Também ocorre pela diminuição do seu teor na solução ou na CTC com o aumento do teor de fósforo (Nolla, 2003) ou, ainda, pela diminuição de sua atividade resultante do aumento da concentração iônica na solução do solo

(Anghinoni & Salet 1998, Salet et al., 1999). Nessa situação, o rendimento das culturas tem-se mostrado elevado mesmo em condições bastante ácidas (Anghinoni & Salet, 2000), induzindo a idéia de que a utilização dos critérios de calagem do sistema convencional superestima a necessidade de calagem no sistema plantio direto consolidado.

Além disso, questiona-se também a profundidade da camada de solo a ser amostrada, bem como a frequência de amostragem para o diagnóstico da acidez no sistema plantio direto, uma vez que os gradientes aumentam e se aprofundam no perfil do solo com o tempo, pela deposição de resíduos e aplicação superficial de calcário e de fertilizantes. As condições de clima (elevada precipitação e distribuição uniforme nas quatro estações) e solo (boas condições de drenagem, porosidade e estruturação) no sul do País favorecem a ação corretiva, no perfil do solo, do calcário aplicado na superfície, atingindo cerca de 10 cm de profundidade em período de quatro anos de sua aplicação (Anghinoni & Salet, 2000).

A determinação do melhor indicador de calagem e seu valor de referência requerem a existência de uma rede experimental, com a inclusão das culturas e dos solos mais representativos da região, tendo, ainda, como premissas, de que cada solo apresente uma ampla faixa de acidez e seja cultivado por longo tempo para caracterizar a consolidação do sistema. Como essa não é uma condição de ocorrência freqüente, uma alternativa a ser testada é a utilização de amostras indeformadas de solo de experimentos que satisfaçam essa condição, com o uso de culturas de interesse, para o estabelecimento do melhor critério de calagem, com base na avaliação de características da raiz e, ou, da parte aérea.

O Manual de Adubação e de Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (CQFS RS/SC, 2004), com novos critérios de calagem para o sistema plantio direto, foi elaborado com pouco suporte de pesquisa. Este trabalho foi, então, desenvolvido para relacionar diferentes indicadores de acidez de um Latossolo no sistema plantio direto consolidado com características de plantas de soja, em campo e em colunas indeformadas de solo, para avaliar os critérios de calagem nessa condição.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para o presente trabalho, utilizaram-se dois experimentos de campo sob sistema plantio direto consolidado com diferentes níveis de acidez de um Latossolo Vermelho aluminoférrico típico, instalados pela Embrapa Trigo, na região do Planalto Riograndense (RS). O primeiro, em área cultivada sob preparo convencional entre 1988 e 1993, quando, então, foram aplicadas superficialmente 0; 1,8; 3,6 e 7,2 t ha<sup>-1</sup> de calcário (0; 1/4; 1/2 e 1 SMP - pH 6,0,

respectivamente) e outro tratamento com incorporação (0–20 cm) de 7,2 t ha<sup>-1</sup> de calcário. O segundo experimento, em área de campo natural até 1993, quando foram aplicadas, superficialmente, 0; 2,2; 4,4 e 8,8 t ha<sup>-1</sup> de calcário (0; 1/4; 1/2 e 1 SMP - pH 6,0, respectivamente) e outro tratamento com incorporação (0–20 cm) de 8,8 t ha<sup>-1</sup> de calcário. A definição dos tratamentos baseou-se na recomendação de calcário indicada pelo método SMP (Tedesco et al., 1985), para elevar o pH em água a 6,0, com base em amostras de solo da camada de 0–20 cm de profundidade. Ambos os experimentos foram arranjados em blocos casualizados com três repetições e cultivados com milho (*Zea mays*, L.) ou soja [*Glycine max* (L) Merrill], no verão, e trigo (*Triticum estivum*, L.) ou aveia preta (*Avena strigosa*, S.), no inverno, seguindo as recomendações técnicas para cada cultura, principalmente quanto aos aspectos de fertilização e de controle de plantas daninhas, de pragas e doenças.

Amostras de solos foram retiradas na camada de 0–20 cm em todas as parcelas para a caracterização química do solo (dezembro de 2000). Após, amostras indeformadas de solo foram coletadas, em colunas em canos de PVC de 10 (diâmetro) x 15 cm (altura), nas entrelinhas da soja. As colunas foram transportadas para as instalações do Departamento de Solos da UFRGS, em Porto Alegre (RS), colocadas em um cercado telado e descoberto e arranjadas em delineamento inteiramente casualizado. Foram colocadas para germinar oito sementes de soja, cultivar BR-16, sensível ao Al (Menosso et al., 2000). Após a emergência, efetuou-se o desbaste, permanecendo quatro plantas por coluna. O ensaio foi conduzido por 25 dias após a semeadura, quando a parte aérea das plantas foi colhida. Após, as colunas foram seccionadas nas camadas de 0–10 e 10–15 cm, separando-se o solo das raízes de cada camada. As raízes foram lavadas com água, pesadas (matéria fresca), colocadas em sacos plásticos e congeladas. O comprimento do sistema radicular foi determinado pelo método de Tennant (1975), e a matéria seca das raízes e da parte aérea foi pesada após a secagem em estufa de circulação forçada a 65 °C por 72 h. Adicionalmente, nas parcelas em campo, a soja foi semeada em 20 de novembro de 2000, com semeadora para plantio direto, especial para parcelas, com espaçamento de 0,45 m, com oito linhas de 5,5 m de comprimento. A colheita foi feita manualmente em abril de 2001, coletando-se as plantas das três linhas centrais para determinação da produção (dados fornecidos pela Embrapa Trigo – Passo Fundo – RS), ajustados para umidade nos grãos de 130 g kg<sup>-1</sup>.

As amostras de solos foram secas ao ar e passadas em peneiras com malha de 2 mm para determinação dos seguintes atributos químicos: pH-H<sub>2</sub>O e em CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>, índice SMP, teores de Ca, Mg e Al trocáveis e K disponível, todos conforme Tedesco et al. (1995). O CO total foi determinado pelo método de Walkley & Black, descrito em Embrapa (1997). A

acidez potencial foi obtida pelo método do acetato de Ca (Embrapa, 1999), com a soma de bases e a saturação por Al sendo calculadas.

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo programa SANEST, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de erro. Estabeleceram-se relações entre as características de plantas de soja e os atributos de acidez do solo para avaliar os indicadores de acidez. Os respectivos valores de referência (critérios) para a tomada de decisão de calagem no sistema plantio direto foram determinados pela derivação das equações obtidas das relações entre as características de planta e os atributos de acidez, no ponto onde o valor da primeira derivada é nulo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os solos apresentavam, antes dos ensaios nas colunas, intervalo de valores de atributos de acidez entre os tratamentos adequado para a avaliação dos critérios de calagem para solos sob sistema plantio direto consolidado (Quadro 1). O pH (em água e em  $\text{CaCl}_2$ ), o Al e a soma de bases trocáveis mantiveram-se proporcionais às doses de calcário aplicadas na instalação dos experimentos (1993).

Como conseqüência das diferenças entre os atributos de acidez dos solos, o crescimento da soja, tanto no campo como nas colunas indeformadas de solo, foi similarmente afetado, com ajuste quadrático das equações ( $P < 0,05$ ), em ambos os solos (Quadro 2). A aplicação anterior de calcário (1993) provocou, em 2000, aumento quadrático no rendimento de grãos, na produção de matéria seca das raízes e da parte aérea e do comprimento radicular.

**Quadro 1. Intervalo de valores dos atributos químicos da camada de 0–20 cm de um Latossolo Vermelho aluminoférrico típico, cultivado no sistema plantio direto por oito anos da aplicação de doses de calcário, em área de lavoura convencional e em campo natural**

Atributo químico	Condição inicial	Amplitude
pH água	Lavoura	4,3–5,5
	Campo natural	4,1–5,7
pH $\text{CaCl}_2$	Lavoura	3,6–4,8
	Campo natural	3,3–5,1
Al trocável ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	Lavoura	2,5–0,2
	Campo natural	2,9–0,5
Saturação por bases (%)	Lavoura	16–61
	Campo natural	11–71
CTC <sup>(1)</sup> ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	Lavoura	12,4–14,6
	Campo natural	13,0–16,2

<sup>(1)</sup> Acidez potencial determinada pelo método do acetato de Ca 0,5 mol L<sup>-1</sup>.

O rendimento de grãos não foi influenciado (Quadro 3) pela incorporação ou não da dose integral do calcário (SMP pH 6,0), quando de sua aplicação oito anos antes (1993). Somente o acúmulo de matéria seca radicular e da parte aérea das plantas de soja desenvolvidas nas colunas de solo da área de campo natural foi maior ( $P < 0,05$ ), quando não houve incorporação do calcário. Isto pode ter ocorrido, porque a área de campo natural apresentava originalmente maior acidez do solo (Quadro 1). As demais características das plantas de soja cultivadas nas colunas, provenientes dessa condição, e todos os dados das colunas, provenientes da área de lavoura convencional, não foram influenciados pela forma de aplicação do calcário (Quadro 3). Espera-se que a

**Quadro 2. Equações de regressão (e sua significância) relacionando parâmetros de planta de soja e doses de calcário, aplicadas em Latossolo Vermelho aluminoférrico típico com posterior cultivo no sistema plantio direto sob diferentes condições iniciais de acidez**

Parâmetro	Condição inicial	Equação	Ajuste ( $R^2$ )	Significância
Rendimento grãos (t ha <sup>-1</sup> )	Lavoura	$\hat{Y} = -0,87x^2 + 1,72x + 2,42$	0,93	$P < 0,05$
	Campo natural	$\hat{Y} = -1,37x^2 + 2,18x + 2,19$	0,99	$P < 0,05$
M.S. aérea (g coluna <sup>-1</sup> )	Lavoura	$\hat{Y} = -1,62x^2 + 2,62x + 1,70$	0,98	$P < 0,05$
	Campo natural	$\hat{Y} = -2,83x^2 + 4,14x + 1,24$	0,92	$P < 0,05$
M.S. raiz (g coluna <sup>-1</sup> )	Lavoura	$\hat{Y} = -0,64x^2 + 1,00x + 0,50$	0,95	$P < 0,05$
	Campo natural	$\hat{Y} = -1,36x^2 + 1,95x + 0,47$	0,84	$P < 0,05$
Comprimento raiz (m coluna <sup>-1</sup> )	Lavoura	$\hat{Y} = -28,77x^2 + 42,92x + 36,36$	0,63	$P < 0,05$
	Campo natural	$\hat{Y} = -65,29x^2 + 106,80x + 15,18$	0,97	$P < 0,05$

incorporação do calcário, que favorece maior reatividade no solo, resulte em menor efeito residual do calcário, como verificado na matéria seca de soja nas colunas provenientes da condição original mais ácida.

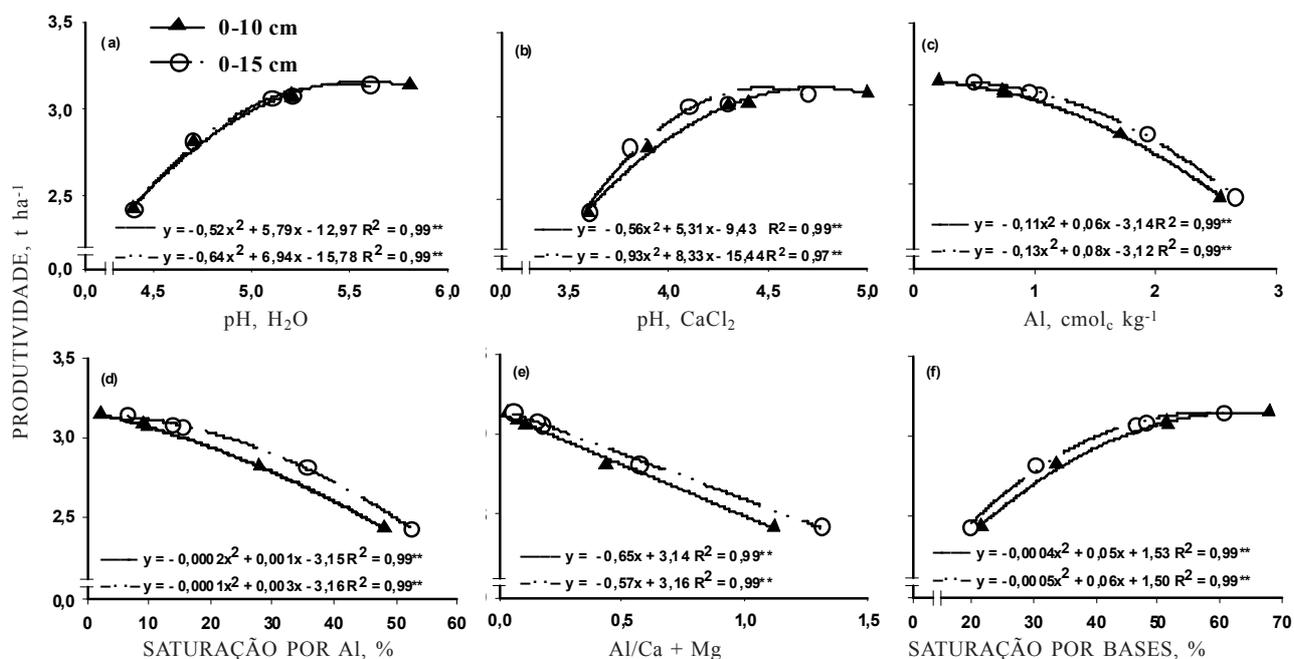
Para definir os critérios de calagem, devem ser estabelecidas as relações entre o rendimento da cultura e os diferentes indicadores de acidez do solo. Essas relações, para os solos sob diferentes condições iniciais (níveis de acidez) de estabelecimento do plantio direto, estão apresentadas nas figuras 1 e 2, respectivamente, para as camadas de 0–15 cm e 0–10 cm. De maneira geral, todas as relações apresentaram alto ajuste nas duas camadas, quer o

plantio tenha iniciado a partir de lavoura, quer em campo natural. Comparando as camadas, observa-se que ocorre melhor definição dos máximos de rendimentos de soja na camada de 0–10 cm, provavelmente relacionado com a maior homogeneidade nos atributos de acidez do solo (Figuras 1 e 2), mesmo que, nessa camada, ocorra maior amplitude nos atributos de acidez do solo. Relações lineares e proporcionais entre a necessidade de calcário para elevar o pH de quatro solos (método SMP pH 6,0) e a espessura da camada de solo a partir da superfície (0-5, 0-10, 0-15 e 0-20 cm) foram obtidas por Schindwein & Anghinoni (2000), sob plantio direto após a aplicação superficial de calcário.

**Quadro 3. Rendimento de grãos em campo e características de plantas de soja em colunas indeformadas de um Latossolo Vermelho aluminoférrico típico cultivado no sistema plantio direto após oito anos da aplicação integral do calcário (SMP pH 6,0), com e sem incorporação ao solo de lavoura cultivada e em campo natural**

Condição inicial	Calcário	Característica da planta				
		Rendimento grãos	Matéria seca aérea	Matéria seca raiz	Comprimento raiz	Raio raiz
		t ha <sup>-1</sup>	g coluna <sup>-1</sup>		m coluna <sup>-1</sup>	mm
Lavoura	Incorporado	3,41 a	2,76 a	0,84 a	46,6 a	0,15 a
	Superfície	3,13 a	2,64 a	0,88 a	53,2 a	0,14 a
Campo natural	Incorporado	2,98 a	2,32 b	0,92 b	54,2 a	0,15 a
	Superfície	3,03 a	2,80 a	1,20 a	59,6 a	0,14 a

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si (Tukey P < 0,05).



**Figura 1. Relação entre a produtividade de grãos e o pH H<sub>2</sub>O (a), pH CaCl<sub>2</sub> (b), Al trocável (c) saturação por Al (d), relação Al/Ca + Mg trocáveis (e) e saturação por bases (f) em duas camadas de um Latossolo Vermelho aluminoférrico típico cultivado por oito anos no sistema plantio direto, após a aplicação de calcário em área de lavoura convencional.**

Tomando como critério de calagem o valor do indicador de acidez que corresponde ao rendimento máximo de grãos de soja (Figuras 1 e 2), observa-se que todas as curvas permitem essa definição, pois apresentam equações de segunda ordem, com elevado ajuste ( $R^2 > 0,95$ ) e significância ( $P < 0,05$ ). Os critérios de calagem para a relação Al/ Ca + Mg apresentam equações de primeira ordem com elevado ajuste ( $R^2 > 0,92$ ), porém sem definição dos máximos de rendimentos de soja e, por isto, sua inviabilidade como indicador de calagem neste trabalho.

É importante destacar que as curvas de ajuste das relações entre as características da planta e as doses de calcário anteriormente aplicadas, que determinam diferentes níveis de acidez do solo (Quadro 2), apresentam comportamento similar ao rendimento de grãos das parcelas de campo (Figura 1), que é a característica de referência. Considerando a natureza e a magnitude dessas relações, as características do sistema radicular também foram utilizadas para definir os critérios de calagem. Os valores de referência (critérios de calagem) dos indicadores de calagem utilizados neste trabalho foram determinados, para cada característica da planta (Quadros 4 e 5), no ponto onde o valor da primeira derivada das equações que descrevem essas relações é nulo.

Ao relacionar o rendimento de grãos com os diferentes indicadores de acidez na camada de 0–15 cm (Quadro 4), os seguintes critérios de calagem

foram obtidos, considerando a média das duas condições iniciais (lavoura e campo natural): pH em água 5,4; pH em  $\text{CaCl}_2$  4,4 e saturação por bases 61 %. É importante ressaltar que dois dos três principais critérios de calagem utilizados no Brasil: pH e saturação por bases, foram muito similares, na média das duas condições iniciais de instalação do plantio direto, quer avaliados na camada de 0–15 cm (Quadro 4), quer na camada de 0–10 cm (Quadro 5). A Comissão de Química e Fertilidade do Solo do Núcleo Regional Sul/SBCS (CQFS RS/SC, 2004) utiliza, como um dos critérios de calagem para o sistema plantio direto consolidado, o pH em água de 5,5 e a camada de 0–10 cm para o seu diagnóstico, o que é coerente com os resultados obtidos com o rendimento de grãos neste trabalho (Quadro 5). O critério do pH em água de 5,5, para o maior rendimento da soja em plantio direto, no entanto, é menor do que o pH 6,0 utilizado no preparo convencional (CQFS RS/SC, 2004).

O mesmo não ocorreu com os indicadores que incluem o Al (troçável ou sua saturação), onde houve maior variabilidade entre as características de planta (Quadros 4 e 5), sendo mais elevados na camada de 0–15 cm em relação à camada de 0–10 cm. Na camada de 0–15 cm, os critérios de calagem baseados no Al troçável e sua saturação variaram mais de duas vezes, de 0,32 para 0,79  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  e de 11 para 23 %, entre as condições de lavoura e campo natural, respectivamente. Os critérios de calagem que utilizam o Al troçável e a sua saturação indicam que, acima de

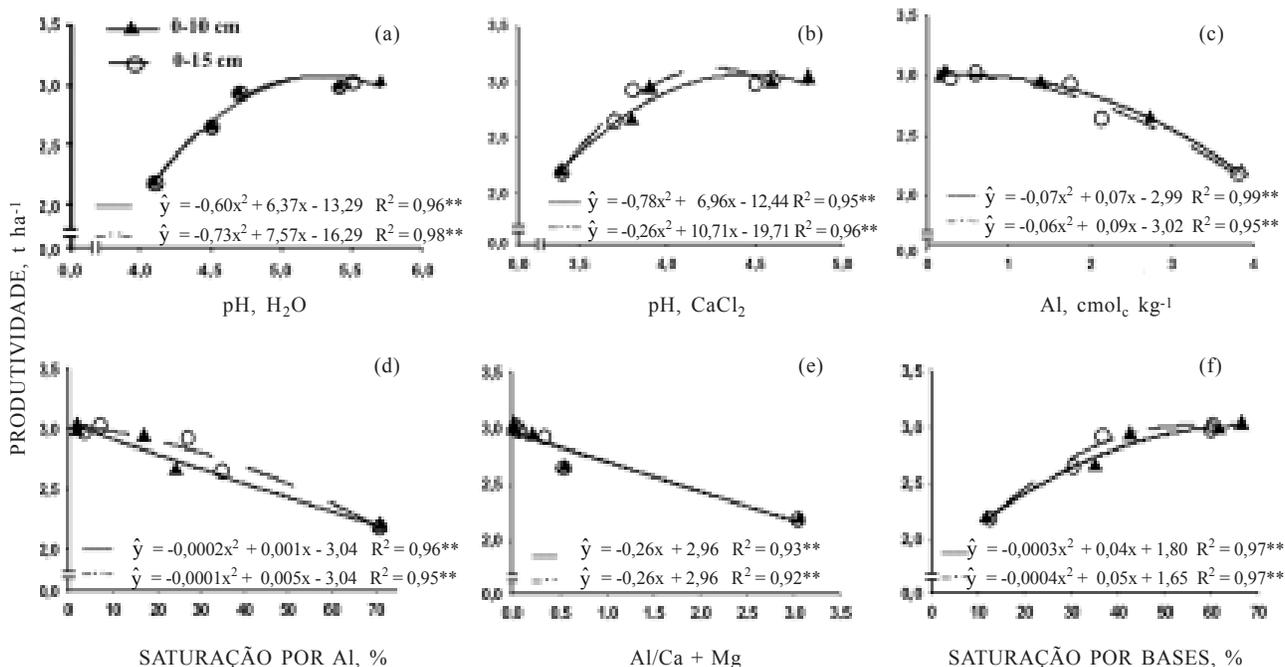


Figura 2. Relação entre a produtividade de grãos e o pH H<sub>2</sub>O (a), pH CaCl<sub>2</sub> (b), Al troçável (c) saturação por Al (d), relação Al/Ca + Mg troçáveis (e) e saturação por bases (f) em duas camadas de um Latossolo Vermelho aluminoférrico típico cultivado por oito anos no sistema plantio direto, após a aplicação de calcário em área de campo natural.

determinados valores ( $\geq 0,56$   $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  de Al e saturação  $\geq 17$  % - Quadro 4), a soja tem seu rendimento afetado no sistema plantio direto, como já relatado por Anghinoni & Salet (2000). Na camada de 0–10 cm, esses valores foram menores ( $\geq 0,38$   $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  de Al e saturação  $\geq 3$  % - Quadro 5). Esses critérios indicam, mais uma vez, a menor toxidez por Al no sistema plantio direto.

Os menores valores de pH e saturação por bases e os maiores valores para o Al (trocável ou sua saturação) no plantio direto proveniente do campo natural (Quadros 4 e 5) devem-se, provavelmente, à maior

consolidação deste sistema, por sua não-mobilização, uma vez que o teor de matéria orgânica é semelhante (C orgânico médio de  $30,5 \text{ g kg}^{-1}$ , na lavoura, e  $32,0 \text{ g kg}^{-1}$ , no campo natural) e os níveis de acidez (Quadro 1) sejam levemente superiores. Para Sá (2003), o plantio direto consolida-se entre 10 e 20 anos de utilização contínua do sistema. Aliado a esse fato, a não-mobilização do solo na instalação do sistema plantio direto proveniente do campo natural pode ter mantido os bioporos existentes, originados pela decomposição de raízes e atividade da meso e da macrofauna (Wuest, 2001), o que pode melhorar o desenvolvimento radicular no perfil nessas condições.

**Quadro 4. Critérios de calagem para a soja, com indicadores de acidez na camada de 0–15 cm de um Latossolo Vermelho aluminoférrico típico cultivado no sistema plantio direto, após oito anos de cultivo em lavoura cultivada e em campo natural**

Característica da planta	Condição Inicial	pH-H <sub>2</sub> O	pH-CaCl <sub>2</sub>	Al	Sat Al	Sat. bases
				$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$	%	
Rendimento de grãos	Lavoura	5,5	4,5	0,32	11	60
	Campo natural	5,2	4,3	0,79	23	62
	Média	5,4	4,4	0,56	17	61
Matéria seca radicular	Lavoura	5,4	4,5	0,68	11	55
	Campo natural	5,1	4,2	1,11	16	61
	Média	5,3	4,4	0,90	13	58
Comprimento radicular	Lavoura	5,7	4,7	0,74	10	63
	Campo natural	5,2	4,3	0,85	13	57
	Média	5,5	4,5	0,80	12	60
Matéria seca parte aérea	Lavoura	5,3	4,4	0,80	14	63
	Campo natural	5,1	4,2	0,89	14	61
	Média	5,2	4,3	0,85	14	62

**Quadro 5. Critérios de calagem para a soja, com indicadores de acidez na camada de 0–10 cm de um Latossolo Vermelho aluminoférrico típico cultivado no sistema plantio direto, após oito anos de cultivo em lavoura cultivada e em campo natural**

Característica da planta	Condição Inicial	pH-H <sub>2</sub> O	pH-CaCl <sub>2</sub>	Al	Sat Al	Sat. bases
				$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$	%	
Rendimento de grãos	Lavoura	5,6	4,7	0,29	3	64
	Campo natural	5,3	4,5	0,47	3	60
	Média	5,5	4,6	0,38	3	62
Matéria seca radicular	Lavoura	5,6	4,8	0,31	13	61
	Campo natural	5,7	4,8	0,31	1	75
	Média	5,7	4,8	0,31	7	70
Comprimento radicular	Lavoura	5,5	4,7	0,64	10	59
	Campo natural	5,4	4,5	0,13	9	80
	Média	5,5	4,6	0,39	10	69
Matéria seca parte aérea	Lavoura	5,4	4,6	0,53	1	56
	Campo natural	5,3	4,4	0,96	1	47
	Média	5,4	4,5	0,75	1	52

De maneira geral, houve elevado ajuste entre as características de plantas de soja nas colunas, tanto da raiz como da parte aérea, e os indicadores de acidez, nas duas camadas de solo, e nas duas condições de instalação do plantio direto. Os critérios de calagem obtidos pela derivação das equações (Quadros 4 e 5) indicam boa correspondência com os critérios determinados pelo rendimento de grãos de soja no campo. Assim, ao menos em princípio, qualquer das características da planta obtidas nas colunas de solo indeformado (exceto a relação Al/Ca + Mg trocáveis) pode ser utilizado para a definição de critérios de calagem para o sistema plantio direto. No entanto, é importante observar que, dentre as características de plantas de soja nas colunas, os critérios de calagem determinados com base no sistema radicular foram os que mais se aproximaram daqueles determinados pelo rendimento de grãos no campo (Quadros 4 e 5). Esses dados concordam com os de Ritchey et al. (1983), que afirmam que o sistema radicular é a parte da planta que melhor reflete, em curto prazo, os efeitos da acidez do solo.

### CONCLUSÕES

1. Dos indicadores testados para a tomada de decisão de calagem para a soja em plantio direto consolidado, o pH em água e a saturação por bases foram considerados os mais adequados, seguidos do Al trocável ou sua saturação na CTC.

2. A definição da necessidade de calagem pelo pH e pela saturação por bases nesse sistema pode ser efetuada tanto na camada de 0–15 cm como na de 0–10 cm, uma vez que os critérios não se diferenciaram.

3. Os critérios de calagem para a soja no sistema plantio direto consolidado, considerando-se as duas camadas de solo, foram: pH em água 5,5, pH em CaCl<sub>2</sub> 4,5 e saturação por bases 62 %, sendo, neste caso, mais baixo do que o adotado no RS e SC, de 65 %. Para o Al, os critérios foram mais baixos na camada de 0–10 cm em relação à camada de 0–15 cm.

4. Os critérios de calagem podem também ser determinados com plantas se desenvolvendo em amostras indeformadas de solo sob plantio direto, de preferência utilizando medidas do sistema radicular.

### AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao pesquisador da Embrapa – Trigo, Dr. Delmar Pöttker (In Memoriam), pela disponibilização das áreas experimentais, pelo auxílio na coleta das amostras de solo, pela permissão no uso de dados e pela valiosa contribuição para o desenvolvimento do trabalho.

### LITERATURA CITADA

- ANGHINONI, I. & SALET, R.L. Aluminum toxicity in no-tillage system in southern Brazil. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 16., Montpellier, 1998. Summaries. Montpellier, International Soil Science Society, 1998. p.261-267.
- ANGHINONI, I. & SALET, R.L. Reaplicação de calcário no sistema plantio direto consolidado. In: KAMINSKI, J., ed. Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto. Pelotas, Núcleo Regional Sul, 2000. p.41-59. (Boletim Técnico, 4)
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS RS/SC. Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília, Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa em Solos, 1997. 212p.
- FRANCHINI, J.C.; MALAVOLTA, E. & MIYAZAWA, M. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. R. Bras. Ci Solo, 23:533-542, 1999.
- MENOSSO, O.G.; COSTA, J.A.; ANGHINONI, I. & BOHNEN, H. Tolerância de genótipos de soja em solução nutritiva diluída. Pesq. Agropec. Bras., 11:2157-2166, 2000.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & CALEGARI, A. Efeito do material vegetal na acidez do solo. R. Bras. Ci. Solo, 17:411-416, 1993.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & FRANCHINI, J.C. Resíduos vegetais: influência na química de solos ácidos. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS NO PLANTIO DIRETO, Ponta Grossa, 2000. Anais. Ponta Grossa, AEACG, 2000. p.82-94.
- NOLLA, A. Critérios para a calagem no sistema plantio direto. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. 169p. (Tese de Doutorado)
- NOLLA, A. & ANGHINONI, I. Métodos utilizados para a correção da acidez do solo no Brasil. R. Ci. Exatas Nat., 6:97-111, 2004.
- QUAGGIO, J.A. Acidez e calagem em solos tropicais. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 2000. 111p.
- RAIJ, B. van.; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H. & ABREU, C.A. Os métodos de análise química do sistema IAC de análise de solo no contexto nacional. In: RAIJ, B. van.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H., eds. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 2001. p.5-39.
- RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 359p.

- RITCHEY, K.D.; SILVA, J.E. & COSTA, U.F. Relação entre o teor de cálcio no solo e o desenvolvimento de raízes avaliado por um método biológico. *R. Bras. Ci. Solo*, 7:269-275, 1983.
- SÁ, J.C.M.; VIEIRA, A.M.; BOZZA, D.L.; FIGUEIREDO, A.G. & SCHON, M. Desenvolvimento radicular e extração de nutrientes de híbridos de milho afetado por níveis de palha em plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29.; 2003. Resumos Expandidos. Ribeirão Preto, UNESP, 2003. CD-ROM
- SALET, R.L. Toxidez de alumínio no sistema plantio direto. Porto alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998. 109p. (Tese de Doutorado)
- SALET, R.L.; ANGHINONI, I. & KOCHHANN, R.A. Atividade do alumínio na solução de solo do sistema plantio direto. *R. Ci.. Unicruz*, 1:9-13, 1999.
- SCHLINDWEIN, J.A. & ANGHINONI, I. Variação do pH e necessidade de calcário em função da profundidade de amostragem após a aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. In: REUNIÃO SUL BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. 2., Pelotas, 2000. Resumos Expandidos. Pelotas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. CD ROM
- SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; LOBATO, E. & CASTRO, L.H.R. Métodos para determinar as necessidades de calagem em solos dos cerrados. *R. Bras. Ci. Solo*, 13: 193-198, 1989.
- SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E. Cerrado: Correção do solo e adubação. 2.ed. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEIIS, S.J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5)
- TEDESCO, M.J.; VOLKWEIIS, S. J. & BOHNEN, H. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985. 188p. (Boletim Técnico, 5)
- TENNANT, D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. *J. Appl. Ecol.*, 63:995-1001, 1975.
- WIETHÖLTER, S. Calagem no Brasil. Passo Fundo, Embrapa Trigo, 2000. 104p.
- WUEST, S.B. Soil biopore estimation: effects of tillage, nitrogen and photographic resolution. *Soil Till. Res.*, 62:111-116, 2001.