

## AMOSTRAGEM DO SOLO E FATORES RESPONSÁVEIS PELA ACIDEZ DO SOLO: CARACTERIZAÇÃO, CRITÉRIOS E ESTRATÉGIAS PARA CORREÇÃO

Antonio Nolla<sup>1</sup>, Erci Marcos Del Quiqui<sup>1</sup>, Gilberto Alves Ferreira<sup>1</sup>, Antonio Saraiva Muniz<sup>2</sup> e Suzana Zavilenski Fogaca<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual de Maringá – UEM, Departamento de Ciências Agronômicas, Campus de Umuarama. Estrada da Paca s/n, CEP.: 87500-000, Bairro São Cristóvão, Umuarama, PR. E-mail: anolla@uem.br; gfyferreira@hotmail.com; emcquiqui@uem.br; suzfogaca@hotmail.com

<sup>2</sup>Universidade Estadual de Maringá – UEM, Departamento de Agronomia, Campus Sede.

*RESUMO: Este trabalho teve como objetivo caracterizar os principais causadores da acidez do solo e estabelecer indicadores e modos para correção, destacando-se métodos, recomendações e opções de amostragem e análise do solo. A acidez do solo é um fator de degradação química do solo, caracterizada pela alta concentração de  $Al^{+3}$  em solução, que promove alterações fisiológicas, reduzindo a absorção de água e nutrientes. Para o diagnóstico da acidez, o solo deve ser amostrado, sendo o tipo de equipamento um dos requisitos fundamentais para a coleta de solo, principalmente no sistema plantio direto. Nestas condições, devem ser evitados equipamentos que promovem perda de solo, sendo recomendado a pá de corte ou o trado calador, amostrando-se a camada de 0-10 cm e para o sistema convencional, usar qualquer equipamento coletando-se a camada de 0-20 cm. Os principais critérios de calagem se baseiam no pH-H<sub>2</sub>O (<5,5), na saturação por bases (<60%) e nos teores de  $Al^{+3}$  (<1,0 cmolc kg<sup>-1</sup>). Quanto à calagem, sua aplicação deverá seguir a recomendação adequada para o tipo de solo e sistema de cultura empregado. A aplicação de calcário, incorporado ou superficial, pode alterar a dose de calcário a ser aplicada e aumentar o efeito residual do insumo.*

*PALAVRAS-CHAVE: sistema plantio direto, calcário incorporado e superficial, efeito residual.*

### SOIL SAMPLING AND FACTORS RESPONSIBLE FOR SOIL ACIDITY: CHARACTERIZATION, CRITERIA AND STRATEGIES FOR CORRECTION

*ABSTRACT: The objective of this paper was to characterize the main responsible for soil acidity and establish indicators and ways for the correction, detaching methods, recommendations and options for sampling and soil analysis. Soil acidity is a factor for chemical degradation of soil, characterized by high level of  $Al^{+3}$  in solution, that leads physiological changes, decreasing the absorption capacity of water and nutrients. For the acidity detection, soil is collected and the choice of equipment is a fundamental requirement to sampling, especially in no till. In these conditions, it must be avoided equipment that promote soil loss, and for this use the cutting shovel and sampling tube in the 0-10 cm layer. In the conventional tillage, all equipment's can be used by collecting a layer of 0-20 cm. The main criteria for the liming are based on the pH-H<sub>2</sub>O (<5.5), bases saturation (<60%) and  $Al^{+3}$  level (<1.0 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>). In relation to liming, the application should follow the adequate recommendation for the type of soil and the culture system used. The lime application, incorporated or surface, may change the dose of lime to be applied and increase the residual effect of corrective.*

*KEY WORDS: no tillage system, incorporated and surface limestone, residual effect.*

## INTRODUÇÃO

A agricultura se baseia no cultivo de espécies que apresentam capacidade de produzir e remunerar o agricultor que se utiliza do solo para seu sustento. No entanto, para que as plantas apresentem capacidade de se desenvolver adequadamente é necessário que o solo esteja fertilizado adequadamente e os elementos responsáveis pela acidez seja neutralizados. O solo ácido apresenta altos teores de alumínio ( $>1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), onde as plantas que se desenvolvem nestas condições apresentam uma restrição no desenvolvimento radicular, devido ao engrossamento e encurtamento das raízes gerados pelo efeito fisiológico da concentração excessiva de  $\text{Al}^{+3}$  em solução (Taiz e Zeiger, 2004; Nolla e Anghinoni 2006, Nolla et al., 2013; Nolla et al., 2015)

A verificação da condição no solo que justifique a aplicação de produtos capazes para a correção da acidez, baseia-se na análise do solo. Para isso, é necessário amostrar o solo e efetuar a análise para a caracterização química dos atributos de acidez. No processo de amostragem do solo, inicialmente é necessário a escolha do equipamento de amostragem que sejam adequados para o sistema de preparo e cultivo do solo adotado. Geralmente, nos sistemas onde é realizada a mobilização do solo com utilização das práticas de aração e gradagem grande parte dos equipamentos podem ser utilizados. No entanto, quando a mobilização do solo ocorre apenas nas linhas de cultivo, os equipamentos que apresentam problemas de perda do volume de solo coletado durante a amostragem não devem ser recomendados por alterar a camada de coleta, de forma a aumentar a variação dos atributos químicos a serem analisados (Anghinoni e Salet, 1998; Schlindwein e Anghinoni, 2002, Vieira, 2010; Aqua et al., 2013). Outro aspecto relacionado à amostragem refere-se à camada de solo a ser coletada. Dependendo do sistema de manejo empregado, a profundidade do solo a ser amostrado pode ser diferente, uma vez que a aplicação de corretivos incorporado ou superficialmente pode apresentar ação diferenciada na neutralização da acidez do solo (Nolla e Anghinoni, 2006).

Em relação à aplicação dos corretivos de acidez do solo, deve-se estabelecer referenciais para o uso destes produtos adequadamente. Assim, dependendo do sistema de manejo, do tipo do solo, do clima e da cultura que está sendo cultivada, estes critérios podem diferir, o que altera a forma, dosagem e condições de recomendação destes produtos (Nolla e Anghinoni, 2006; Anghinoni, 2007). Em alguns casos, o uso de corretivos como o calcário tem

como finalidade a fertilização cálcica e magnésiana, o que exige uma análise detalhada para que a decisão de calagem seja adequada (Nolla et al., 2015).

O trabalho foi elaborado com o objetivo de caracterizar os principais fatores que ocasionam a acidez do solo e estabelecer formas e critérios para sua correção, destacando-se métodos, recomendações e estratégias para a adequada amostragem e análise do solo.

### **ACIDEZ DO SOLO**

Dentre os fatores ambientais do solo, os ligados à acidez (pH, saturação por bases, acidez potencial e solubilidade de nutrientes) são os que mais interferem na produtividade, especialmente nas regiões tropicais. Entre as causas químicas capazes de ocasionar a acidez do solo, destacam-se a água da chuva (dissociação do ácido carbônico –  $H_2CO_3$ ), a decomposição de materiais orgânicos (dissociação de prótons de grupamentos carboxílicos e fenólicos da matéria orgânica e de restos culturais), a adição de fertilizantes nitrogenados (uréia, sulfato de amônio, etc.) e a lixiviação de cátions como cálcio, potássio e magnésio (Sá, 1993; Pöttker, 2002; Wiethölter, 2002). O cultivo do solo, tanto manejado no sistema convencional como no sistema plantio direto, também gera um processo de acidificação, em função de perdas e absorção pelas plantas de cátions básicos, pela mineralização de materiais orgânicos e em função da nitrificação (Salet et al., 1999; Pöttker e Ben, 1998; Amaral, 2002 e Wiethölter, 2002).

O alumínio ( $Al^{3+}$ ) presente na solução do solo provoca inibição da expansão da raiz e, posteriormente, redução e engrossamento do sistema radicular da planta (Taylor, 1988), resultando em menor absorção de nutrientes e água devido ao menor volume de solo explorado. A disponibilidade de nutrientes é relacionada ao pH do solo. Em solos ácidos com pH baixo (<5,5), há menor disponibilidade de cálcio, magnésio e fósforo. Tais restrições prejudicam o desenvolvimento normal das plantas, afetando sua capacidade produtiva. O alumínio, ao ser liberado dos minerais para a solução de solo, causa problemas de fitotoxidez às plantas. A toxidez de alumínio tem sido identificada como um dos mais importantes fatores limitantes do crescimento e desenvolvimento das plantas em solos ácidos (Foy, 1992). Os sintomas de toxidez de alumínio não são claramente diagnosticados na parte aérea das plantas, pois são similares às deficiências de nutrientes. Provavelmente isto ocorre porque o alumínio pode interferir na absorção, translocação e uso de fósforo, cálcio e magnésio (Salet et al., 1999). A absorção de alumínio pelas plantas afeta as células e suas organelas, morfológicamente, citogeneticamente e

fisiologicamente, prejudicando principalmente o crescimento do sistema radicular (Wagatsuma et al. 1995).

A redução do crescimento do sistema radicular pode ser causada por mecanismos diferentes, onde o alumínio pode atuar fora ou no interior das células das plantas. O alumínio atinge a superfície das raízes por difusão ou por fluxo de massa. Pode entrar no espaço livre aparente das células corticais e se concentrar nas células epidérmicas do ápice das raízes (Taylor, 1988). Neste caso, o alumínio pode se ligar às cargas negativas da parede celular, originadas da desprotonação de grupos carboxílicos da pectina, aumentando a rigidez da matriz de pectina, impedindo que ocorra a expansão celular, podendo ocorrer o rompimento das células da epiderme das raízes devido a pressão que as demais células exercem.

O alumínio pode se ligar às cargas negativas da membrana plasmática, originadas da desprotonação de grupamentos hidroxílicos e carboxílicos das proteínas e de grupos fosfatos dos fosfolipídios. Assim, o alumínio pode alterar a estrutura e o funcionamento da membrana plasmática.

O alumínio também pode penetrar no interior da célula, no simplasto, alterando processos fisiológicos e bioquímicos das plantas. A metade do alumínio total encontrado no ápice das raízes pode estar localizada no simplasto (Ryan et al., 1995). A entrada de alumínio para o interior da célula pode ocorrer por diferentes mecanismos. Um dos mecanismos propostos é a endocitose de  $Al^{+3}$  ligado à membrana plasmática ou a endocitose de complexos com alumínio. Outro mecanismo proposto é sua entrada pelos canais de íons, onde o transporte de alumínio ocorre através de proteínas carregadoras da membrana plasmática (Rengel, 1992). A enzima ATPase reduz o ATP e ocorre a extrusão de prótons das células, criando um gradiente de potencial eletroquímico na membrana plasmática, sensibilizando as proteínas carregadoras de íons. O alumínio se liga a estas proteínas e é carregado para o interior da célula. O alumínio também pode penetrar por lesões provocadas por estresse (Delhaize e Ryan, 1995).

No simplasto, onde o pH está ao redor de 6,5 a 7,5 e associado a grande quantidade de ligantes, a concentração de  $Al^{+3}$  pode ser muito baixa. Portanto, se o alumínio no simplasto pode ser tóxico, pode-se supor que a causa da toxidez resulta da formação de complexos alumínio-ligante, ou seja, o alumínio pode inibir as funções vitais dos ligantes aos quais se liga (enzimas, calmodulina, ATP ou DNA), ou também o complexo alumínio-ligante pode influenciar outros processos metabólicos.

## AMOSTRAGEM DO SOLO

O controle da acidez do solo é efetuado com a aplicação de substâncias que liberam oxidrilas ( $\text{OH}^-$ ) capazes de neutralizar os prótons ( $\text{H}^+$ ) da solução do solo. Qualquer programa de recomendação de adubação e calagem baseia-se nos resultados provenientes da interpretação do laudo de análise de solo. Os resultados dos atributos químicos da acidez do solo que são apresentados no laudo são provenientes da coleta das amostras simples, que são misturadas e transformadas na amostra composta enviada ao laboratório.

Um fator a ser considerado refere-se à escolha do equipamento de amostragem a ser utilizado. Para o sistema de plantio convencional e cultivo mínimo a camada de amostragem é de 0-20 cm, sendo que qualquer equipamento, como pá de corte, trados em geral, podem ser utilizados (Schlindwein e Anghinoni, 2000, 2002; Vieira, 2010; Rozane et al., 2011), porque o solo é homogeneizado através das práticas de mobilização do solo como aração, gradagem ou escarificação. Para sistemas conservacionistas como o sistema plantio direto, o qual prioriza a mínima mobilização, a utilização de equipamentos de amostragem que possam perder solo, como trado holandês, de rosca e de caneca, deve ser evitada, porque a perda de solo altera a camada de coleta, mascarando os resultados da análise (Salet et al., 2005; Anghinoni, 2007; Aqua et al., 2013). Desta forma, recomenda-se para o sistema plantio direto a utilização da pá de corte e do trado calador (Schlindwein e Anghinoni, 2000, 2002; Comissão..., 2004; Salet et al., 2005; Nicolodi et al., 2008a, b; Vieira, 2010; Rozane et al., 2011).

A amostragem do solo efetuada de forma adequada é fundamental para uma correta recomendação de adubação e calagem. Se a amostragem do solo não for representativa, irá repercutir em resultados discordantes da real fertilidade do solo. Isto ocasiona uma recomendação inadequada de fertilizantes e corretivos de acidez do solo, o que reduz a produtividade das culturas comerciais e a lucratividade lavoura. Assim, é recomendado encaminhar 300-500 gramas da amostra composta por 10-20 subamostras, as quais representam no máximo 10 hectares (Alvarez e Guarçoni, 2003; Silva et al., 2003; Comissão..., 2004; Guarçoni et al., 2006; Oliveira et al., 2007). Uma correta análise do solo objetiva a recomendação exata dos nutrientes que o solo necessita, isto é, quanto melhor a amostragem, melhor o diagnóstico e o resultado em produção. Um fator importante para a coleta de amostras de solo refere-se ao planejamento de amostragem. Dessa forma é fundamental a divisão da área em glebas, onde cada gleba apresenta solos com

material de origem, topografia, vegetação, histórico de utilização da área e classificação semelhantes (Raij et al., 1997; Ribeiro et al., 1999; Comissão..., 2004; Salet et al., 2005; Guarçoni et al., 2006).

Uma estratégia para a amostragem em sistemas de cultivo convencional ou sob sistema plantio direto em fase de consolidação (<5 anos da implantação), consiste na coleta do solo a uma profundidade de 0-20 cm para a caracterização dos parâmetros de acidez do solo (Comissão..., 2004). Em áreas cultivadas sob sistema de plantio direto, onde a aplicação de corretivos de solo é realizada em superfície, recomenda-se amostrar o solo na camada de 0-10 cm, devido à ação predominante do corretivo nesta profundidade (Schlindwein e Anghinoni, 2000; Silveira e Stone, 2002; Comissão..., 2004). No entanto, observa-se que os critérios de recomendação de calagem são variáveis, segundo os princípios analíticos e os objetivos propostos. Estudos realizados por Caires et al. (2000) mostraram que a calagem superficial proporcionou não só aumentos significativos no pH, Ca + Mg trocáveis e saturação por bases, mas também, redução significativa nos teores de H+Al, em todas as profundidades estudadas, inclusive nas camadas de 20-40 e 40-60 cm. Esses resultados mostram claramente os efeitos positivos do calcário aplicado na superfície sobre a 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. Verificaram também que 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 a recomendação de calcário na superfície em sistema plantio direto. No Paraná, a calagem superficial somente deve ser recomendada para solo com pH em CaCl<sub>2</sub> inferior a 5,6 ou saturação por bases inferior a 65%, na camada de 0-5 cm (Caires et al., 1998 e 2000), utilizando-se, para solos argilosos, 1/3 a 1/2 da recomendação de calcário baseada no pH SMP para elevar a saturação por bases aos critérios estabelecidos (amostragem na camada de 0-20 cm), aplicando-se um máximo de 2,5 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário, e 1/2 para solos argilo-arenosos, aplicando-se um máximo de 1,5 a 2,0 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário (Sá, 1997). Em alguns estados do centro-oeste brasileiro, por sua vez, o critério de tomada de decisão de aplicação de calagem é a saturação por bases de 50%, que equivale ao pH 6,0 (Sousa et al., 1989; Sousa e Lobato, 1996, 2000 e 2004). É importante observar que no sistema plantio direto a não mobilização do solo ocasiona o acúmulo superficial de matéria orgânica. Este acúmulo pode diminuir o efeito fitotóxico do alumínio, devido à sua complexação com ácidos fúlvicos (Kwong e Huang, 1979; Hargrove e Thomas, 1982; Ahmad e Tan, 1986;

Pavan, 1994; Salet et al., 1999; Nolla e Anghinoni, 2006, Nolla et al., 2015). Os ligantes orgânicos de baixo peso molecular provenientes dos restos culturais também promovem a inativação de parte do alumínio na solução do solo (Salet et al., 1998; Anghinoni e Salet, 1998; Franchini et al., 1999; Nolla e Anghinoni, 2006). Segundo Salet (1998), o acúmulo de matéria orgânica resulta em uma maior energia de ligação do alumínio com a superfície das partículas de solo, com conseqüente adsorção específica desse elemento pelos grupamentos oxídicos da matéria orgânica, formando os complexos de esfera interna (ácidos húmicos).

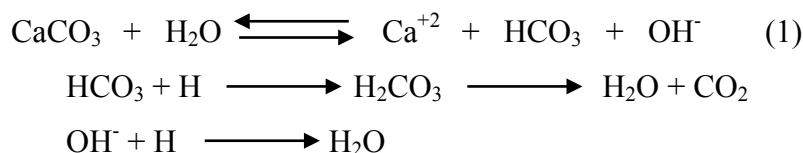
A escolha de um determinado índice e a camada de amostragem está condicionado ao seu comportamento nos solos em questão, e a necessidade de calcário não depende apenas do pH do solo, mas especialmente da capacidade tampão do solo, que se relaciona diretamente com os tipos e teor de argila e o conteúdo de matéria orgânica no solo (Defelipo et al., 1972; Quaggio, 2000). Assim, em solo arenoso (<20% de argila), a dosagem de corretivo a ser aplicada é menor que em um solo argiloso (>60%) na mesma condição de acidez do solo.

Além da correção e adubação da camada arável (0-20 cm), nos solos de cerrado a amostragem da subsuperfície do solo pode ser fundamental para obter máximas produtividades. No cerrado ou mesmo em solos de textura média/arenosa onde ocorre uma estação de seca bem definida, onde pode ocorrer queda no potencial produtivo. Assim, recomenda-se que seja efetuada a amostragem nas profundidades de 20-40 cm, para verificar a necessidade de aplicação de gesso, que devido à sua alta solubilidade, percola no perfil e fornece cálcio e enxofre e reduz a saturação por alumínio em subsuperfície (Sousa e Lobato, 2004). Como indicadores de gessagem, recomenda-se gesso agrícola se na camada de 20-40 cm o teor de cálcio for inferior a  $0,4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  e o teor e saturação por alumínio trocável forem superiores a  $0,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  e 30%, respectivamente (Ribeiro et al., 1999). A presença de altos teores de  $\text{Al}^{+3}$  e a deficiência de  $\text{Ca}^{+2}$  em subsuperfície (>20 cm), pode atuar como uma barreira química, impedindo o crescimento radicular em profundidade, gerando uma menor exploração do perfil de solo, de modo que a maior parte (>70%) do sistema radicular se limita à camada de 0-20 cm, reduzindo a absorção de água+nutrientes, o que reduz o rendimento das culturas (Sousa e Lobato, 2004).

### **CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO**

Os materiais empregados como corretivo de acidez são basicamente os óxidos, hidróxidos, escórias e carbonatos de Ca e Mg (Malavolta, 1992). É de conhecimento disseminado

a importância da calagem para a melhoria das condições bio-físico-químicas dos solos, sendo estas refletidas pelas plantas através do aumento dos lucros obtidos com a produtividade agrícola (Boaretto et al., 1996). O calcário é o material mais utilizado, entretanto para ser efetivo, necessita dissolver-se em água, conforme a reação a seguir:



As bases ( $\text{OH}^-$ ) reagem com o  $\text{Al}^{+3}$ , o  $\text{Mn}^{+2}$  e o  $\text{H}^+$  presentes no solo, fazendo com que a reação química (1) se desloque para a direita, até a neutralização da acidez do solo ou quando todo calcário aplicado seja exaurido (Bohnen, 2000). Além da neutralização da acidez do solo, a calagem proporciona aumento da concentração de cálcio e magnésio em solução, criando condições adequadas para o crescimento normal das culturas. Segundo Comissão... (2004), é comum ocorrer situações onde a acidez do solo é baixa, mas é necessária a calagem em função da baixa concentração de cálcio ( $<4,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) e magnésio ( $<1,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ). Em solos de textura média/arenosa, o nível crítico destes nutrientes pode ser ainda menor ( $1,5$  e  $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  para Ca e Mg, respectivamente) em função dos baixos ( $<5,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) valores da capacidade de troca catiônica (Ribeiro et al., 1999; Sousa e Lobato, 2004) Como estes dois nutrientes são essenciais ao desenvolvimento das plantas, a sua carência reduz o potencial produtivo das culturas comerciais, o que justifica a aplicação de produtos corretivos como objetivo de fertilizar o solo com Ca e Mg.

O uso de corretivos em solos ácidos torna-se indispensável na maioria dos casos, (Quaggio, 2000) porém nem sempre é realizada ou o é de modo inadequado e, portanto, ineficaz. Um dos problemas refere-se uso de doses excessivas de calcário sem haver necessidade. Isso ocasiona um aumento excessivo do pH do solo, reduz a disponibilidade de micronutrientes (Novais et al., 2007; Bissani et al., 2008), e eleva o custo de aplicação de insumos. Isso limita a racionalização o uso de calcário e a minimização de custos no processo produtivo.

A aplicação de corretivos promove a elevação do pH, neutralização do alumínio tóxico, fornecimento de cálcio e magnésio, propicia um maior desenvolvimento do sistema radicular das plantas, melhorando a eficiência no uso de nutrientes e água que estão no solo. Assim, a



utilização de corretivos da acidez torna-se imprescindível para atingir elevadas produtividades, sendo o investimento que maior retorno proporciona, quando comparado à aplicação de outras tecnologias (irrigação, tratamento fitossanitário e mesmo a adubação) (Silva, 2002).

Apesar de ser uma prática comum, há necessidade de que se utilizem critérios adequados para a definição da amostragem representativa do solo a ser analisada e da dose adequada de calcário a ser utilizada. A estimativa correta da quantidade de corretivo a ser aplicada no solo é importante para a consolidação de qualquer programa de uso de calagem. O termo “necessidade de calagem” indica a quantidade de corretivo de acidez necessária para a neutralização da acidez de um solo até um determinado nível, partindo de certa condição inicial (Ribeiro et al., 1999).

Os materiais corretivos (carbonato de Ca e Mg) têm baixa solubilidade e, portanto, devem ser uniformemente distribuídos em toda a área e incorporados ao solo, a fim de permitir maior contato entre o corretivo e a fonte de acidez, resultando num efeito mais rápido (Quaggio, 1986).

Outro ponto importante nos estudos que envolvem a correção é o tempo de reação do dos produtos no solo, pois estudos têm evidenciado que o efeito residual depende, dentre outros aspectos, da granulometria do material aplicado (Alcarde e Rodella, 2003).

Importância especial deve ser dada quando a prática de correção de acidez do solo for superficial, pois o período de máxima reação do calcário nas distintas camadas tende a ser diferente (Caires et al., 2000; Correa et al., 2009), sendo preciso determinar seu efeito residual. Assim, deve-se pesquisar o tempo de máxima reação de corretivos nas camadas subsuperficiais, quando o mesmo não é incorporado, para que recomendações seguras possam ser feitas.

Com a aplicação de calcário em superfície na cultura da soja, Cambri e Alleoni (2002), observaram que aos seis meses após a aplicação, a correção do pH e do Al, e os aumentos da CTC e da saturação por bases, ocorreram apenas nos primeiros 5 cm do solo. Decorridos dezoito meses da aplicação, a ação do corretivo se estendeu até a profundidade de 10 cm de solo, demonstrando que com o passar do tempo, o efeito do calcário é observado em profundidade. Tanto aos seis meses, quanto aos dezoito meses, não foi observado aumento nos teores de Ca e Mg abaixo da camada mais superficial (0-5 cm), demonstrando a baixa capacidade de reação dos corretivos de acidez, principalmente quando aplicados na superfície do solo, sem mobilização.

Costa et al. (2002), verificaram que a aplicação superficial de diferentes doses de calcário com diferente Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) na cultura da soja, gerou uma relativa correção do solo até a profundidade de 10 cm, treze meses após a aplicação do calcário

na superfície. Também notaram que na camada de 0-5 cm houve um aumento de pH e dos teores de Ca, Mg e V %, além da redução de H+Al, em função do aumento das doses, e não foi observada resposta da cultura da soja aos diferentes tipos de calcário e respectivas doses utilizadas.

Segundo Petreire e Anghinoni (2001), a aplicação superficial de calcário no solo aumenta a decomposição da matéria orgânica, liberando nitratos e sulfatos, que se ligam ao cálcio e magnésio do calcário e podem descer pelas galerias formadas pela ação de organismos da meso e da macrofauna, além da ação das raízes, até as camadas mais profundas do solo. No entanto, somente foram observadas respostas positivas em várias culturas, quando aplicou-se calcário em superfície, em solos com elevada saturação por alumínio.

A aplicação superficial de calcário, sem incorporação, em solos de textura média, em sistema de plantio sobre a palha, com utilização de gramíneas de sistema radicular profundo e que ainda adicionam ao solo grandes teores de matéria orgânica, além de proporcionar cobertura de solo, poderá criar condições para uma possível movimentação do calcário em profundidade, seja pelos canalículos deixados após a decomposição das raízes, seja pela própria atividade da macro e microbiota do solo, ativadas pelos teores mais altos de matéria orgânica, proporcionado pela palha da cana colhida mecanicamente (Amaral, 2002).

Em vista a literatura publicada, percebe-se claramente que os índices de decisão de calcário baseado nos valores de saturação por bases, no pH e nos teores de  $Al^{+3}$  são distintos entre os estados de São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul e do centro-oeste. Essas diferenças ocorrem principalmente devido ao tipo de solos utilizados na calibração da recomendação e as respostas das culturas à calagem no sistema de manejo adotado. A solução para a adequada correção da acidez do solo pode estar no uso de produtos eficientes e na escolha de indicadores adequados para o uso de calcário e/ou outros produtos capazes de correção, mesmo sem incorporação.

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A amostragem do solo é o passo inicial e fundamental para a avaliação das condições de acidez de determinada área. Desta forma, a coleta das amostras de solo deve ser efetuada adequadamente, respeitando-se a utilização de equipamentos e a camada de solo que melhor represente o sistema de cultivo adotado. Em relação à interpretação do laudo da análise de solo,

vários critérios tem sido utilizados para a decisão de aplicar ou não corretivos de acidez. No entanto, principalmente nos solos onde a mobilização do solo ocorre apenas na linha de cultivo, é necessário avaliar os indicadores de forma mais abrangente, porque o acúmulo de matéria orgânica pode promover redução na toxidez do alumínio devido à sua complexação com ligantes orgânicos, o que destaca a importância da definição dos critérios que melhor indicam a necessidade de aplicação de corretivos. Além disso, a aplicação superficial de calcário pode promover a correção da acidez em menor profundidade quando comparada com a incorporação do insumo. Isso pode resultar em menor capacidade de aprofundamento de raízes e promover uma menor resistência ao estresse hídrico, especialmente em solos de textura média/arenosa. Entretanto, o corretivo aplicado em superfície pode aumentar o efeito residual do calcário, devido à melhor resistência das plantas aos efeitos de acidez proporcionados pelo aumento dos teores de matéria orgânica, que reduz a atividade do alumínio em solução, além de disponibilizar nutrientes gerados pela mineralização da fração orgânica no decorrer do tempo.

## REFERÊNCIAS

- AHMAD, F.; TAN, K.H. Effect of lime and organic matter on soybean seedlings grown in aluminum-toxic soil. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.50, p. 656-661, 1986.
- AQUA, N.H.D.; SILVA, G.P.; BENITES, V.M.; ASSIS, R.L.; SIMON, G;A. Métodos de amostragem de solos em áreas sob plantio direto no Sudoeste Goiano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.2, p.117–122, 2013
- ALCARDE, J.A.; RODELLA, A.A. Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.(Ed.) **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade brasileira de Ciência do Solo. 2003. p. 291-334.
- ALVAREZ, V.H.; GUARÇONI M., A. Variabilidade horizontal da fertilidade do solo de uma unidade de amostragem em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p.297-310, 2003.
- AMARAL, A.S. **Mecanismos de correção da acidez do solo no sistema plantio direto com aplicação de calcário na superfície**. 2002. 106 p. Tese (doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.
- ANGHINONI, I.; SALET, R. L. Amostragem do solo e as recomendações de adubação e calagem no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N. J. (Ed.). **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages: SBCS-NRS. 1998. p. 27-52.

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto. In: NOVAIS, F. R. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2007. p. 873-928.

BISSANI, C.A.; CAMARGO, F.A.O.; GAINELLO, C.; TEDESCO, M.J. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. 344p.

BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; REGO, C.I. Calagem e gessagem em citricultura. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CITROS, 4, 1996, Bebedouro. **Anais**. Campinas: Fundação Cargill, 1996. p. 115-129.

BOHNEN, H. Acidez do solo: Origem e correção. In: KAMINSKI, J. (Ed.) **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas: Núcleo Regional Sul. 2000. p.9-19. (Boletim Técnico, 4).

CAIRES, E.F.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.27-34, 1998.

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

CAMBRI, M.A.; ALLEONI, L.R.F. Calagem superficial e produção de soja sob plantio direto no cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25, 2002, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p.13-14.

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.

CORRÊA, J. C.; FREITAS, E. E.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; FERNANDES, D. M.; MARCELINO, R. Aplicação superficial de calcário e diferentes resíduos em soja cultivada no sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 4, p. 1059-1068, 2009.

COSTA, M.A.; CORÁ J. E.; FERNANDES, C.; MARCELO, A.V. Aplicação superficial de calcário no solo cultivado com soja em sistema de semeadura direta na região de Jaboticabal - SP In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25, 2002, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002.p.9-12.

DEFELIPO, B.V.; BRAGA, J.M.; SPIES, C. Comparação entre métodos de determinação da necessidade de calcário de solos de Minas Gerais. **Experientiae**, Viçosa, v.13, n. 4, p. 111-136, 1972.

DELHAIZE, E.; RYAN, P.R. Aluminum toxicity and tolerance in plants. **Plant Physiology**, Bethesda, v.107, p.315-321, 1995.

FOY, C.D. Soil chemical factors limiting plant root growth. **Advances in Soil Science**, New York, v.19, p.97, 149, 1992.

FRANCHINI, J.C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 533-542, 1999.

GUARÇONI, M.A.; ALVAREZ, V. V. H.; NOVAIS, R. F.; CANTARUTTI, R. B.; LEITE, H. G.; FREIRE, F. M. Definição da dimensão do indivíduo solo e determinação do número de amostras simples necessário à sua representação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 6, p. 943-954, 2006.

HARGROVE, W.L.; THOMAS, G.W. Titration properties of organic matter. **Soil Science**, Baltimore, v. 134, p. 216-225, 1982.

KWONG, K.F.N.K.; HUANG, P.M. The relative influence of low molecular-weight, complexing organic acids on the hydrolysis and precipitation of aluminum. **Soil Science**, Baltimore, v.128, p.337-342, 1979.

MALAVOLTA, E. **ABC da análise de solo e folhas**: amostragem, interpretação e sugestões de adubação. São Paulo: Agronômica Ceres, 1992. 124 p.

NICOLODI, M.; ANGHINONI, I.; GIANELLO, C. Relações entre os tipos e indicadores de acidez do solo em lavouras no sistema plantio direto na região do planalto do rio grande do sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1217-1226, 2008a.

NICOLODI, M.; ANGHINONI, I.; GIANELLO, C. Indicadores da acidez do solo para recomendação de calagem no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 237-247, 2008b.

NOLLA, A.; ANGHINONI, I. Atividade e especiação química na solução afetadas pela adição de fósforo em um Latossolo sob plantio direto em diferentes condições de acidez. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.955-963, 2006.

NOLLA, A.; ANGHINONI, I.; SILVA, T.R.B.; SILVA, M.A.G. Lime-phosphate relation and soybean growth in an oxisol from no-tillage system. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, Finlândia, v.11. p.294 298-, 2013b.

NOLLA, A.; KORNDÖRFER, G.H.; SILVA, C.A.T.; SILVA, T.R.B.; ZUCARELLI, V.; SILVA, M.A.G. Correcting soil acidity with the use of slags. **African Journal of Agricultural Research**, Nigeria, v.8, p. 5174-5180, 2013a.

NOLLA, A.; ANGHINONI, I.; Castaldo, J.H.; OLIVEIRA, E.O.S.; SILVA, M.A.G.; MUNIZ, A.S. Disponibilidade de nutrientes e fitotoxicidade de alumínio: influência da complexação por ligantes na solução do solo. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v.4, n. especial, p.1-16, 2015.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J.; NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.) **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.276-374.

OLIVEIRA, F. H. T.; ARRUDA, J. A.; SILVA, I. F.; ALVES, J. C. Amostragem para avaliação da fertilidade do solo em função do instrumento de coleta das amostras e de tipos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 973-983, 2007.

PAVAN, M.A. Movimentação de calcário no solo através de técnicas de manejo da cobertura vegetal em pomares de macieira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v.16, n.1, p.86-91, 1994.

PETREIRE, C.; ANGHINONI, I. Alteração de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.885-895, 2001.

PÖTTKER, D. Correção da acidez do solo no sistema plantio direto. In: CURSO DE FERTILIDADE DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, 5, 2002, Guarapuava. **Resumos**. Guarapuava: Cooperativa Agrária, 2002. p. 54-62.

PÖTTKER, D.; BEN, J.R. **Calagem em solos sob plantio direto e em campos nativos do Rio Grande do Sul**. In: NUERNBERG, N.J. (Ed.) **Conceitos e fundamentos do sistema de semeadura direta**. Lages: SBCS/NRS, 1998. p. 77-92.

QUAGGIO, J.A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2000. 111p.

QUAGGIO, J.A. Métodos de aplicação do calcário em culturas anuais e perenes. In: SIMPÓSIO SOBRE APLICAÇÃO DE CALCÁRIO NA AGRICULTURA, 4, 1986, Campinas. **Anais**. Campinas: Fundação Cargill, 1986. p.21.

RAIJ B. VAN; CANTARELLA H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI A.M.C. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100)

RENGEL, Z. Role of calcium in aluminium toxicity. **New Phytology**, Cambridge, v.121, p.499-513, 1992.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V. V.H. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. Aprox. Viçosa: CFSEMG-UFV, 1999. 359 p.

RYAN, P.R.; SHAFF, J.E.; KOCHIAN, L.V. Aluminum toxicity in roots. Correlation among ionic currents, ion fluxes, and root elongation in aluminum-sensitive and aluminum-tolerant wheat cultivars. **Plant Physiology**, Palo Alto, v.99, p.1193-1200, 1995.

ROZANE, D.E.; ROUMALDO, L.M.; CENTURION, J.F.; BARBOSA, J.C. Dimensionamento do número de amostras para avaliação da fertilidade do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 111-118, 2011.

SÁ, J.C. de M. **Manejo da Fertilidade do solo no plantio direto**. Castro: ABC, 1993. 94p.  
SÁ, J.C. de M. Parâmetros para recomendação de calagem e adubação no sistema plantio direto. In: CONFERÊNCIA ANUAL DE PLANTIO DIRETO, 2, 1997, Pato Branco. **Resumos**. Pato Branco: Aldeia Norte, 1997. p.63-82.

SALET, R. L. **Toxidez de alumínio no sistema plantio direto**. 1998. 109 p. Tese (doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

SALET, R.L.; ANGHINONI, I.; KOCHHANN, R.A. Atividade do alumínio na solução de solo do sistema plantio direto. **Revista Científica Unicruz**, Cruz Alta, v.1, n. 1, p.9-13, 1999.

SALET, R.L.; ANGHINONI, I.; CONTE, E. Adsorção específica de alumínio no sistema plantio direto? In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2, 1998, Santa Maria. **Resumos**. Santa Maria: SBCS/NRS, 1998. p.135-138.

SALET, R. L.; NICOLODI, M.; BISSO, F. P. Eficácia do trado holandês na amostragem de solo em lavouras no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.11, p.487-491, 2005.

SCHLINDWEIN, J. A.; ANGHINONI, I. Variabilidade vertical de fósforo e potássio disponíveis e profundidade de amostragem do solo no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 4, p. 611-617, 2000.

SCHLINDWEIN, J.A.; ANGHINONI, I. Tamanho da subamostra e representatividade da fertilidade do solo no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, p. 963-968, 2002.

SILVA, M. A. C. **Aplicação superficial de calcário no solo cultivado com laranja pera em produção**. 2002. 67p. Dissertação (mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.

SILVA, M. A. G.; MUNIZ, A. S.; SENGIK, E.; MATA, J. D. V.; CARASSINI, C.; CEGANA, A.C. Amostragem e variabilidade nos atributos de fertilidade em um Latossolo sob plantio direto em São Miguel do Iguaçu, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v.25, p.243-248, 2003.

SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. Profundidade de amostragem do solo sob plantio direto para avaliação de características químicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p.157-162, 2002.

SOUSA, D.M.; LOBATO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2 ed. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

SOUSA, D.M.G. de; MIRANDA, L.N.; LOBATO, E.; RODRIGUEZ CASTRO, L.H. Métodos para determinar as necessidades de calagem em solos dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, p. 193-198, 1989.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO; E. **Correção do solo e adubação da cultura da soja**. Planaltina: EMBRAPA/CPAC, 1996. 30 p. (Circular Técnica 33)

SOUSA, D.M.G.; LOBATO; E. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto: experiência no cerrado. In: FERTBIO, 2, 2000, Santa Maria. **Anais**. Santa Maria: UFSM, 2000. (CD-ROM).

SALET, R.L.; ANGHINONI, I.; CONTE, E. Adsorção específica de alumínio no sistema plantio direto? In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2, 1998, Santa Maria. **Resumos**. Santa Maria: SBCS/ NRS, p.135-138.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.

TAYLOR, G.J. The physiology of aluminum phytotoxicity. In: SIEGAL, H.; SIEGAL, A. (Ed.) **Metals Ions in Biological Systems**. New York: Marcel Dekker, 1988. p.123-163.

VIEIRA, R.C.B. **Camada diagnóstica, critérios de calagem e teores críticos de fósforo e potássio em solos sob plantio direto no centro-sul do Paraná**. 2010. 70 p. Dissertação (mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

WAGATSUMA, T.; ISHIKAWA, S.; OBATA,H.; TAWARAYA, K.; KATOHDA, S. Plasma membrane of younger and outer cells is the primary specific site for aluminum toxicity in roots. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 171, p.105-112, 1995.

WIETHÖLTER, S. Revisão das recomendações de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. IN: REUNIÃO SUL BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 4, 2002, Porto Alegre. **Resumos**. Porto Alegre: UFRG, CD-ROM.