



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

Medeiros, João Carlos; Albuquerque, Jackson Adriano; Mafra, Álvaro Luiz; Batistella, Fhelipe; Grah, Josué

Calagem superficial com resíduo alcalino da indústria de papel e celulose em um solo altamente tamponado

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 33, núm. 6, noviembre-diciembre, 2009, pp. 1657-1665

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180215871014>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

 redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

SEÇÃO IV - FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

CALAGEM SUPERFICIAL COM RESÍDUO ALCALINO DA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE EM UM SOLO ALTAMENTE TAMPONADO⁽¹⁾

João Carlos Medeiros⁽²⁾, Jackson Adriano Albuquerque⁽³⁾, Álvaro
Luiz Mafra⁽³⁾, Fhelipe Batistella⁽⁴⁾ & Josué Grah⁽⁴⁾

RESUMO

Solos dos planaltos subtropicais do Brasil são pobres em nutrientes e têm alta necessidade de calagem, o que encarece e pode limitar a correção da acidez. O objetivo deste estudo foi avaliar modificações químicas e físicas de um Cambissolo Húmico alumínico e a resposta da cultura do trigo ao resíduo alcalino da indústria de papel e celulose (Dregs) em comparação com um corretivo convencional. Os tratamentos foram doses de resíduo (Res) de 25, 50 e 100 % da recomendação indicada pelo método SMP, visando elevar o pH para 6,0, que correspondem a 2.625, 5.250 e 10.500 kg ha⁻¹, respectivamente. Essas doses se compararam a 50 e 100 % SMP de calcário dolomítico (Cal), e correspondem a 5.600 e 11.200 kg ha⁻¹, respectivamente, além do solo sem correção (testemunha, sem resíduo e, ou, corretivo). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. Os corretivos foram aplicados superficialmente em duas épocas: primeira metade em junho de 2004 e o restante em junho de 2006, em uma área de campo nativo pastejado, sem revolvimento do solo. As amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0 a 5, 5 a 10, e 10 a 15 cm para caracterização química e física do solo. Em 2006, foram avaliados os teores foliares de nutrientes e a produtividade de grãos de trigo. A aplicação superficial do resíduo alcalino melhorou os atributos químicos do solo, principalmente na camada superficial, com aumento do pH e dos teores de Ca e Mg, da relação molar entre Ca e Mg e do teor de Na, sem, entretanto, atingir o valor crítico de saturação da CTC por Na. A calagem superficial com resíduo ou calcário reduziu linearmente o grau de

⁽¹⁾ Recibo para publicação em janeiro de 2009 e aprovado em agosto de 2009.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrônomo, M.Sc. em Manejo do Solo, Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP. Av. Pádua Dias 11, CEP 13418-900 Piracicaba (SP). E-mail: medeiros.jc@gmail.com

⁽³⁾ Professor Associado do Departamento de Solos e Recursos Naturais da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Av. Luis de Camões 2090, CEP 88520-000 Lages (SC). E-mails: jackson@cav.udesc.br; a2alm@cav.udesc.br

⁽⁴⁾ Estudante de Agronomia, UDESC/CAV, Bolsista de Iniciação Científica, PROPED/UDESC. E-mails: batistella.f@gmail.com; josuegrah@hotmail.com

flocação das argilas na camada superficial do solo. Os teores de nutrientes nas plantas e a produtividade de grãos foram semelhantes entre os tratamentos com calcário ou resíduo, com respostas crescentes às doses dos corretivos.

Termos de indexação: dregs, estrutura do solo, nutrientes, sódio.

**SUMMARY: SURFACE LIMING WITH PAPER AND CELLULOSE INDUSTRY
ALKALINE RESIDUE IN A HIGHLY BUFFERED SOIL**

Soils of the subtropical highlands of Brazil are nutrient-poor and have high lime requirements, which increases costs and can limit the acidity correction. The objective of this study was to assess chemical and physical modifications of an aluminic Humic Cambissol, and the response of wheat crop to the application of alkaline residue from paper and cellulose industry. The treatments consisted of residue rates corresponding to 25, 50 and 100 % (respectively 2,625, 5,250 and 10,500 kg ha⁻¹) of the recommended liming by the SMP method, to increase pH up to 6.0, in comparison with dolomitic limestone at rates of 50 and 100 % SMP (respectively 5,600 and 11,200 kg ha⁻¹), and the control treatment, with no residue and no lime application, in an experimental design of random blocks with four replicates. The lime was surface-applied in 2004, on a grazed native grassland area, without incorporation. Soil samples were collected from the layers 0–5; 5–10 and 10–15 cm for soil chemical and physical analyses. In 2006, the foliar nutrient contents and grain yield of the wheat crop were evaluated. Surface application of alkaline residue improved soil chemical properties, mainly in the surface layer, and increased soil pH, and Ca and Mg contents. However, the Ca:Mg molar ratio and sodium contents increased, without reaching the critical Na saturation in the soil CEC. Surface liming with residue or limestone linearly decreased the degree of clay flocculation in the surface soil layer. Foliar nutrient contents and grain yield were similar in the liming treatments, with positive response to lime rates.

Index terms: dregs, nutrients, sodium, soil structure.

INTRODUÇÃO

A indústria de papel e celulose gera diversos resíduos, como lama de cal, “dregs” e “grits”, com potencial para neutralizar a acidez do solo em áreas agrícolas, suprindo nutrientes às plantas. Nesse sentido, constituem alternativa ao uso do calcário por sua composição de natureza alcalina como CaO, CaOH, SiCO₃, além de CaCO₃ e MgCO₃ (Carvalho-Pupatto et al., 2004; Ramos et al., 2006, Almeida et al., 2007b).

O descarte desses resíduos no solo seria uma alternativa apropriada, considerando especialmente a alta necessidade de calcário dos solos das regiões de planaltos subtropicais nas proximidades de muitas indústrias de papel e celulose. Tais solos têm alto tamponamento de pH, o que se relaciona com as condições de acidez ligadas aos elevados teores de matéria orgânica e Al trocável (Almeida et al., 1999). Assim, sua correção química pode ser limitada pelo elevado custo, notadamente nos locais mais distantes das jazidas de calcário.

O uso de resíduos como corretivos da acidez pode ser interessante para melhoria das condições químicas

e físicas dos solos (Zambrano et al., 2003). Por outro lado, a substituição do calcário por resíduos alcalinos da indústria de papel e celulose pode ser limitada pelo Na nesses produtos, o que poderia acarretar alterações negativas no solo, como favorecer a dispersão da argila (McIntyre, 1979), diminuir a estabilidade dos agregados (Albuquerque et al., 2002), e consequentemente reduzir a condutividade hidráulica saturada (Bond, 1998) e formar crosta na superfície de solos descobertos (Sumner, 1993). Outra limitação relacionada ao uso do resíduo alcalino decorre da elevada relação molar entre Ca e Mg (Almeida et al., 2007a). O desbalanço entre esses dois nutrientes no solo pode reduzir o desenvolvimento das culturas, pois a presença de um elemento pode prejudicar a absorção do outro (Orlando Filho et al., 1996; Medeiros et al., 2008). Ademais, em solos com alta relação entre Ca e Mg, verifica-se redução da absorção de K, que ocorre pelo efeito antagônico entre K e Ca em função das altas quantidades de Ca adicionadas, como observado por Pintro et al. (2005) e Medeiros et al. (2008).

Assim, o aproveitamento desses resíduos na agricultura depende de suas características químicas, relacionadas aos processos industriais de produção e aos atributos do solo, como pH, quantidade de argila,

teores de C orgânico, CTC, etc. Nesse sentido, Almeida et al. (2007b) determinaram a composição química de uma amostra de resíduo alcalino da indústria de celulose, e afirmam que o produto pode ser utilizado como corretivo da acidez do solo, servindo também como fonte de Ca e de alguns micronutrientes às plantas. Em outro estudo, testando doses crescentes de resíduo alcalino (dregs), acrescido de Mg ou não, Almeida et al. (2007a) verificaram, em condições controladas, aumento na produção de matéria seca das plantas de trigo pela aplicação do produto. Mais recentemente, Lunardi Neto et al. (2008) relataram a utilização desse mesmo resíduo alcalino na melhoria de solos degradados pela mineração de carvão, observando elevação no pH, sem causar dispersão da argila e mantendo a estabilidade de agregados do solo. Tais efeitos positivos dos resíduos sobre o solo poderiam também ser constatados em áreas agrícolas manejadas em semeadura direta, onde já se conhecem os benefícios da aplicação superficial de calcário, conforme destacado por Costa et al. (2006).

A hipótese deste trabalho é que os resíduos industriais, com propriedades corretivas da acidez do solo, podem ser tão ou mais vantajosos do que corretivos convencionais na melhoria das propriedades químicas do solo. Nesse sentido, o objetivo do estudo foi avaliar o uso de resíduo alcalino da indústria de papel e celulose como corretivo da acidez, aplicado na superfície do solo, determinando as alterações nos atributos químicos e físicos de um Cambissolo Húmico alumínico, bem como a resposta da cultura do trigo em termos de produtividade de grãos e acúmulo de nutrientes no tecido vegetal.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no município de Lages, SC, em área ocupada por pastagens nativas, com predomínio de gramíneas do gênero *Paspalum* e algumas leguminosas do gênero *Desmodium*, utilizadas por vacas leiteiras. O clima é mesotérmico

úmido, tipo Cfb na classificação de Köppen, com verões frescos e chuvas bem distribuídas durante o ano, totalizando cerca de 1.400 mm anuais. A temperatura média anual estimada é de 15,6 °C (Embrapa, 2004). O solo da área experimental é classificado como um Cambissolo Húmico alumínico (Embrapa, 2006) (Quadro 1).

Os tratamentos constaram de doses crescentes de corretivos da acidez do solo, utilizando, para o resíduo alcalino (Res), os níveis 25, 50, e 100 % da recomendação indicada pelo método SMP, visando atingir pH igual a 6,0 na camada de 0 a 10 cm, que correspondem a 2.625, 5.250 e 10.500 kg ha⁻¹, respectivamente (CQFSRS/SC, 2004), comparados a 50 e 100 % SMP de calcário dolomítico (Cal), proporcionais a 5.600 e 11.200 kg ha⁻¹, respectivamente, além do tratamento testemunha, sem calcário e sem resíduo. O delineamento experimental foi blocos inteiramente casualizados com parcelas de dimensões de 8 x 8 m e quatro repetições.

O resíduo alcalino da indústria de papel e celulose apresentou a seguinte composição química: Ca = 321 g kg⁻¹, Mg = 31 g kg⁻¹, Na = 12 g kg⁻¹, pH = 10,7 com poder relativo de neutralização total (PRNT) de 80 % (Almeida et al., 2007b). O calcário dolomítico era composto de: Ca = 289 g kg⁻¹, Mg = 118 g kg⁻¹, Na = 0,17 g kg⁻¹, e PRNT de 100 %, determinados conforme Tedesco et al. (1995). Os corretivos foram distribuídos na superfície do solo após a roçada do campo nativo, sem incorporação, sendo a metade da dose aplicada em junho de 2004 e o restante em junho de 2006. Nesse período, a área foi pastejada em regime rotativo por vacas leiteiras. Em julho de 2006, 45 dias após a segunda aplicação dos corretivos, a área foi dessecada, com semeadura direta da cultura do trigo (*Triticum aestivum*), com densidade de 320 sementes m⁻². A adubação foi realizada com base na análise de solo da camada de 0 a 20 cm de profundidade. Aplicaram-se, na semeadura, 320 kg ha⁻¹ da fórmula NPK 05-20-10, e, 30 dias após a semeadura, foram aplicados 45 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia, conforme recomendação da CQFSRS/SC (2004).

Quadro 1. Composição química, granulométrica e mineralógica da camada de 0 a 20 cm do Cambissolo Húmico alumínico utilizado no experimento

Camada	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	P	K	C _{org}	Areia	Silte	Argila	Mineralogia
cm		— cmol _c dm ⁻³ —		— mg dm ⁻³ —		%	— g dm ⁻³ —				(Predominante)
0–5	5,1	1,7	0,6	3,2	6,1	250	3,2	352	306	342	Caulinita
5–10	5,0	0,3	0,1	5,6	4,7	120	2,4	353	277	370	Caulinita
10–20	4,8	0,2	0,1	6,7	1,3	60	2,2	355	266	379	Caulinita

Legenda: pH: pH do solo determinado em H₂O numa relação 1:1; C_{org}: carbono orgânico.

As amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0 a 5 cm, 5 a 10 cm e 10 a 15 cm, 90 dias após a segunda aplicação dos corretivos para caracterização química e física. Os atributos químicos determinados foram: pH em água, K⁺, P, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e C orgânico. Os teores de Na⁺, K⁺ e P foram determinados pelo método Mehlich-1, sendo o P quantificado por colorimetria e o Na⁺ e K⁺ por fotometria de chama, como descrito em Tedesco et al. (1995). O Ca²⁺ e Mg²⁺ foram extraídos com solução neutra de KCl 1 mol L⁻¹ e determinados por espectrofotometria de absorção atômica, conforme Tedesco et al. (1995). As determinações de pH foram feitas na relação 1:1, com leituras em potenciômetro de acordo com Tedesco et al. (1995). Para Na, foi calculada sua percentagem de saturação na CTC efetiva pela equação: saturação (Na) = (Na/CTC_{efetiva}) x 100. O C orgânico foi determinado pelo método da combustão úmida (Tedesco et al., 1995).

Os atributos físicos do solo avaliados foram: estabilidade de agregados, determinada conforme método descrito por Kemper & Chepil (1965), sendo os resultados expressos pelo diâmetro médio geométrico (DMG). O teor de argila total foi determinado pelo método da pipeta (Gee & Bauder, 1986), com dispersão química usando-se hidróxido de Na 1 mol L⁻¹. O teor de argila dispersa foi determinado com dispersão do solo em água, calculando-se posteriormente o grau de flocação. A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico (Embrapa, 1997).

O teor de nutrientes no tecido vegetal foi avaliado em amostras foliares de 20 plantas por parcela, coletadas aleatoriamente no estádio de emborragamento, sendo secas em estufa, processadas em moinho de facas, com posterior digestão sulfúrica e determinação dos teores de Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica; teores de K por espectrofotometria de emissão de chama e P por colorimetria, conforme Tedesco et al. (1995). Ao término do ciclo da cultura, coletaram-se, em cada parcela, uma área de 4,5 m² para quantificação da produtividade de grãos, corrigida para 12 % de umidade.

Os resultados foram submetidos à análise de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e variância pelo teste F ($p < 0,05$). O fator quantitativo (dose de corretivo) foi analisado em cada camada de solo, com ajuste de equações de regressão, contrastando-as e usando o polinômio significativo de maior grau. O tratamento testemunha foi considerado como dose zero para o calcário e para o resíduo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O calcário dolomítico (corretivo convencional) elevou, de forma linear, o pH do solo na camada de 0 a 10 cm (Figura 1a) enquanto o resíduo elevou o pH até a profundidade de 15 cm (Figura 1b), corroborando os resultados de Carvalho-Pupatto (2004) e Ramos et

al. (2006). Houve diferença na mobilidade dos componentes responsáveis pela correção da acidez entre os corretivos. A correção da acidez pelo resíduo foi mais intensa na camada superficial, elevando o pH de 5,0 para próximo de 6,0. Nas camadas subsuperficiais, esta correção foi menor, de 4,9 para 5,7 na camada de 5 a 10 cm e de 4,7 para 5,3 na camada de 10 a 15 cm, mostrando-se mais eficiente que o calcário. O resíduo foi mais eficiente na correção da acidez do solo em função de possuir maior quantidade de NaOH e CaOH em sua composição, os quais liberam hidroxilas (OH⁻) na reação da dissociação, que, por sua vez, possui maior solubilidade que o carbonato (HCO₃⁻) liberado na reação do calcário (Corrêa et al., 2007).

Os teores de Ca²⁺ do solo aumentaram tanto com o calcário quanto com o resíduo alcalino, mas com maior intensidade com os tratamentos com resíduo alcalino, quando comparado com o calcário (Figura 1c,d), o que se deve à composição química desses materiais, isto é, ao Ca que predomina no resíduo e ao Ca e Mg do calcário dolomítico. Para o resíduo, a elevação dos teores de Ca²⁺ teve comportamento linear em todas as camadas do solo (Figura 1c); na camada superficial, os teores passaram de 2 cmol_c dm⁻³ no tratamento não corrigido para próximo de 13 cmol_c dm⁻³ na maior dose (10.500 kg ha⁻¹). Nas camadas subsuperficiais, este incremento foi menos pronunciado, mas demonstra descida deste elemento no perfil do solo. O deslocamento do Ca²⁺ no perfil pode estar relacionado com a movimentação física de partículas finas do corretivo (Amaral et al., 2004), bem como à formação de pares iônicos com ânions, que carreiam este elemento no perfil, como já constatado em estudos envolvendo calagem superficial (Kaminski et al., 2005).

Os teores de Mg²⁺ no solo aumentaram de forma quadrática na superfície e de forma linear nas camadas subsuperficiais em função da aplicação do resíduo alcalino (Figura 1e). Este comportamento pode ser atribuído à elevada relação Ca:Mg do resíduo, a qual propicia adsorção preferencial do Ca²⁺ no solo e deslocamento do Mg²⁺ para camadas mais profundas (Corrêa et al., 2007). Outro aspecto que pode provocar a descida do Mg²⁺ no solo é a formação de pares iônicos com outros elementos contidos no resíduo. Com o uso do calcário, elevaram-se os teores de Mg²⁺ na camada de 0 a 5 cm de forma linear (Figura 1f). Com o aumento do pH na camada superficial, em função da reação do calcário, criam-se cargas negativas, retendo o Mg²⁺ e impedindo a descida no perfil.

Com o aumento da dose do resíduo, observou-se resposta linear positiva na relação Ca:Mg do solo na camada de 0 a 5 cm (Figura 2a), passando de 3/1 para 20/1. Tal relação está acima do limite crítico para o desenvolvimento normal das plantas (Malavolta, 1980; Rosolem et al., 1984; Medeiros et al., 2008). Deve-se considerar, no entanto, que, nas camadas abaixo de 5 cm, a relação Ca:Mg está dentro de limite adequado às plantas, possivelmente reduzindo a possibilidade

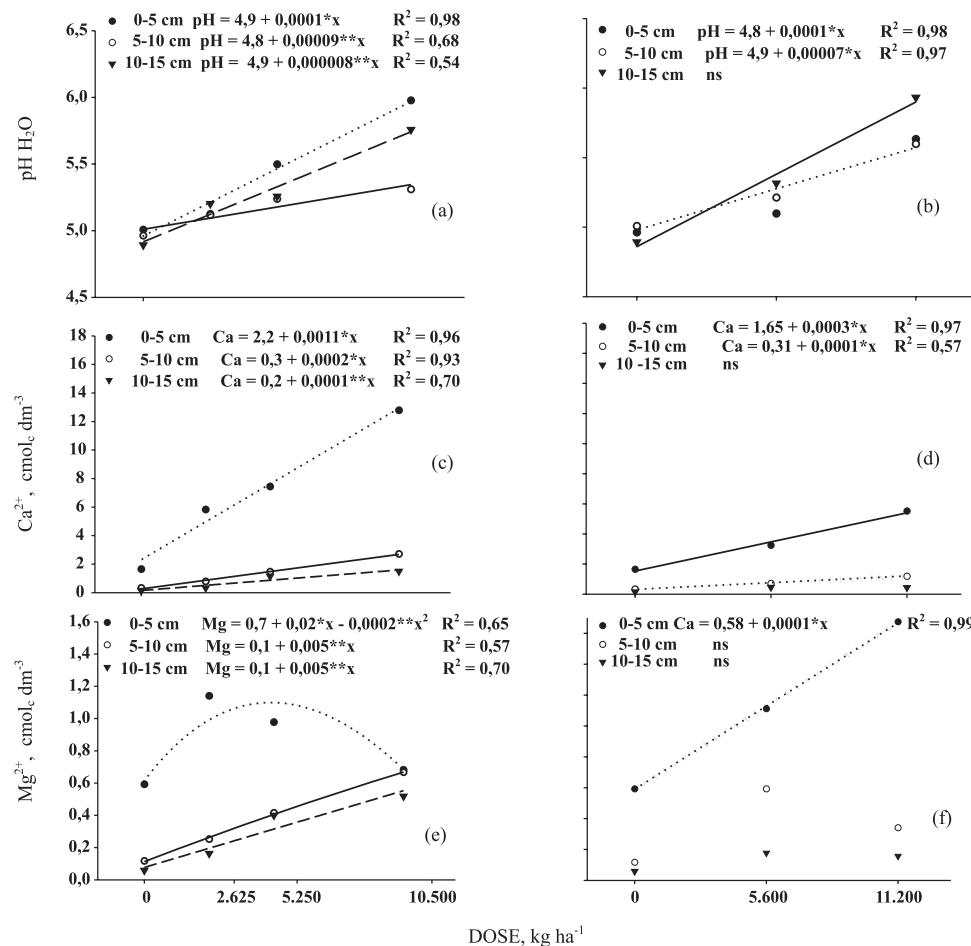


Figura 1. pH do solo (a) e (b), teores de cálcio (c) e (d); e de magnésio (e) e (f) de um Cambissolo Húmico alumínico corrigido com doses de resíduo alcalino (esquerda) e calcário (direita), aplicadas em superfície, calculadas com base no método SMP (*, ** e ns: significativo a 5 e 1 % e não significativo).

de desequilíbrio na absorção desses dois elementos, o que depende também da porcentagem e da atividade das raízes em subsuperfície.

A aplicação de resíduo alcalino aumentou os teores de Na de forma linear em todas as camadas (Figura 2b), variando de 11,5 mg dm⁻³ para os tratamentos sem correção até valores próximos de 50 mg dm⁻³ na maior dose. Com teores elevados de Na, o solo pode dispersar, diminuir a permeabilidade à água e ao ar, e dificultar o manejo. Para evitar estes problemas, a frequência e as doses aplicadas devem ser rigorosamente controladas. Nas doses e intervalos aplicados, a saturação por Na foi modificada na camada subsuperficial (Figura 2c), mas está abaixo do limite crítico de 5 % citado por McIntyre (1979).

O teor de C orgânico não foi alterado com a correção da acidez do solo, com média de 25 g kg⁻¹ (Figura 2d). Este efeito tampão da matéria orgânica neste solo pode estar relacionado com os altos teores de C desses solos

de planalto, onde se verifica baixa atividade microbiana pelas baixas temperaturas médias (Davidson & Janssens, 2006) e pelo manejo do solo conservacionista que preserva a estrutura, com maior proteção física dos compostos orgânicos, dificultando a decomposição microbiana (Bayer et al., 2000).

A densidade do solo variou de 1,19 a 1,30 g cm⁻³, com diferença entre os tratamentos na primeira camada para ambos os corretivos aplicados (Figura 3a,b). Este efeito pode ser explicado pela renovação do sistema radicular das culturas, que aumentaria seu desenvolvimento devido às melhores condições químicas do solo.

A aplicação de corretivos reduziu linearmente o grau de floculação na camada de 0 a 5 cm, de 77 para 63 % com o uso do resíduo, e de 77 para 71 com o calcário (Figura 3e). Essa maior redução pode estar associada aos teores de Na contidos no resíduo, o qual aumentou sua participação no complexo de troca, que,

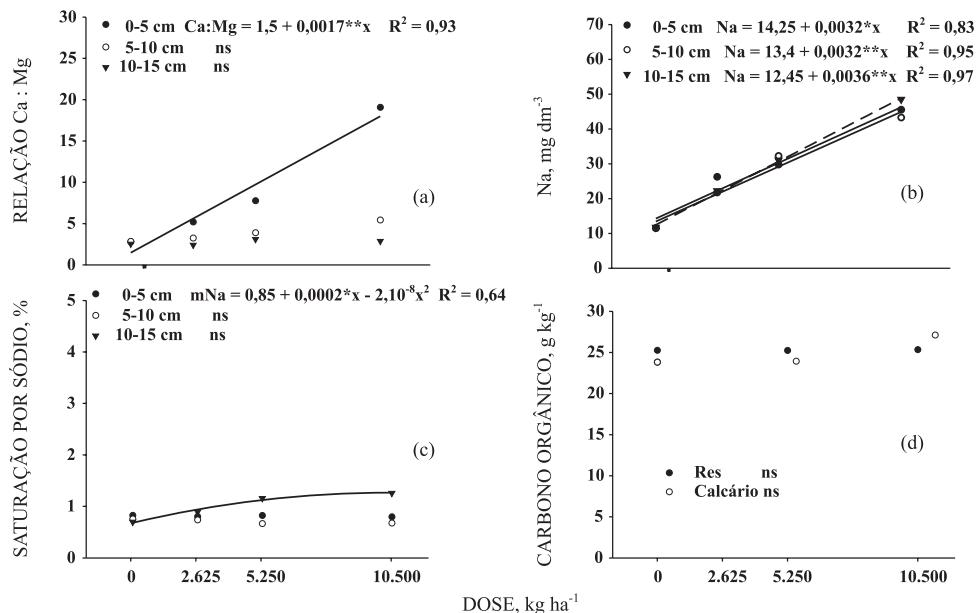


Figura 2. Relação Ca:Mg (a), teores de Na (b), saturação por Na (c) e carbono orgânico (d) do Cambissolo Húmico alumínico submetido a doses de resíduo alcalino aplicadas em superfície, calculadas com base no método SMP. (*, ** e ns: significativos a 5 e 1 % e não significativo).

segundo Sumner (1993), favorece as forças de repulsão entre as partículas do solo. Já para as profundidades abaixo de 5 cm, o teor de Na não foi suficiente para dispersar a argila. Para o calcário, a redução no grau de flocação (Figura 3f) pode estar relacionada com o aumento da carga líquida negativa dos coloides, conforme observado num Latossolo Bruno por Albuquerque et al. (2000), que relatam também a precipitação do Al trocável com a elevação do pH, o que favorece a dispersão.

A estabilidade de agregados representada pelo diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados foi alterada pelas doses aplicadas na primeira camada analisada (0 a 5 cm) somente para o resíduo alcalino. Nas doses menores houve aumento da estruturação e, nas maiores, predominou o efeito dispersante dos elementos químicos sobre os efeitos agregantes (Figura 3c). Para os tratamentos corrigidos com calcário, não houve efeito significativo na estabilidade dos agregados (Figura 3d).

Verificou-se pequeno incremento nos teores de Ca na parte aérea das plantas, independentemente do tipo de corretivo (Figura 4a), pois, nas plantas com melhor disponibilidade de nutrientes, o crescimento vegetativo é maior e ocorre diluição dos nutrientes no tecido vegetal, fenômeno conhecido como efeito de Steenbergh (Malavolta et al., 1997). No entanto, os teores de Ca ficaram acima do mínimo para a cultura do trigo, que, segundo Pauletti, (2004) foram de 2,5 g kg⁻¹ e aproximaram-se dos teores desse elemento encontrados por Gargantini & Soares (1973), avaliando plantas de

trigo em vasos com suprimento de diferentes nutrientes.

Os corretivos da acidez do solo não modificaram os teores de Mg nas folhas das plantas (Figura 4b), e ficaram dentro dos teores adequados para o crescimento e desenvolvimento da cultura do trigo (Gargantini & Soares, 1973; Pauletti, 2004), mesmo considerando o aumento na relação Ca:Mg observada na camada superficial do solo que recebeu aplicação do resíduo alcalino (Figura 2a). Para o elemento K, não houve diferença significativa entre os teores no tecido vegetal (Figura 4c), os quais estão acima do limite mínimo de 15 g kg⁻¹, considerado adequado para o desenvolvimento normal da cultura (Pauletti, 2004).

Os teores de P no tecido vegetal tiveram resposta semelhante ao Ca, havendo pequeno acréscimo com a correção do solo para ambos os corretivos, mas acima do limite crítico (Figura 3d), que é de 2,1 g kg⁻¹ (Pauletti, 2004). Os teores elevados estão relacionados principalmente com a adubação fosfatada realizada na implantação da cultura e com o aumento do pH do solo, pois, com a criação de cargas negativas, parte do fosfato é dessorvida da superfície das partículas e vai para a solução, ficando disponível para as plantas (Fageria & Baligar, 2001). Além disso, o P é um elemento pouco móvel no solo, portanto sua absorção pelas plantas depende muito do sistema radicular, e, com a redução do Al³⁺ tóxico pela correção da acidez, há aumento substancial da área explorada pelo sistema radicular e assim da absorção de P pelas plantas.

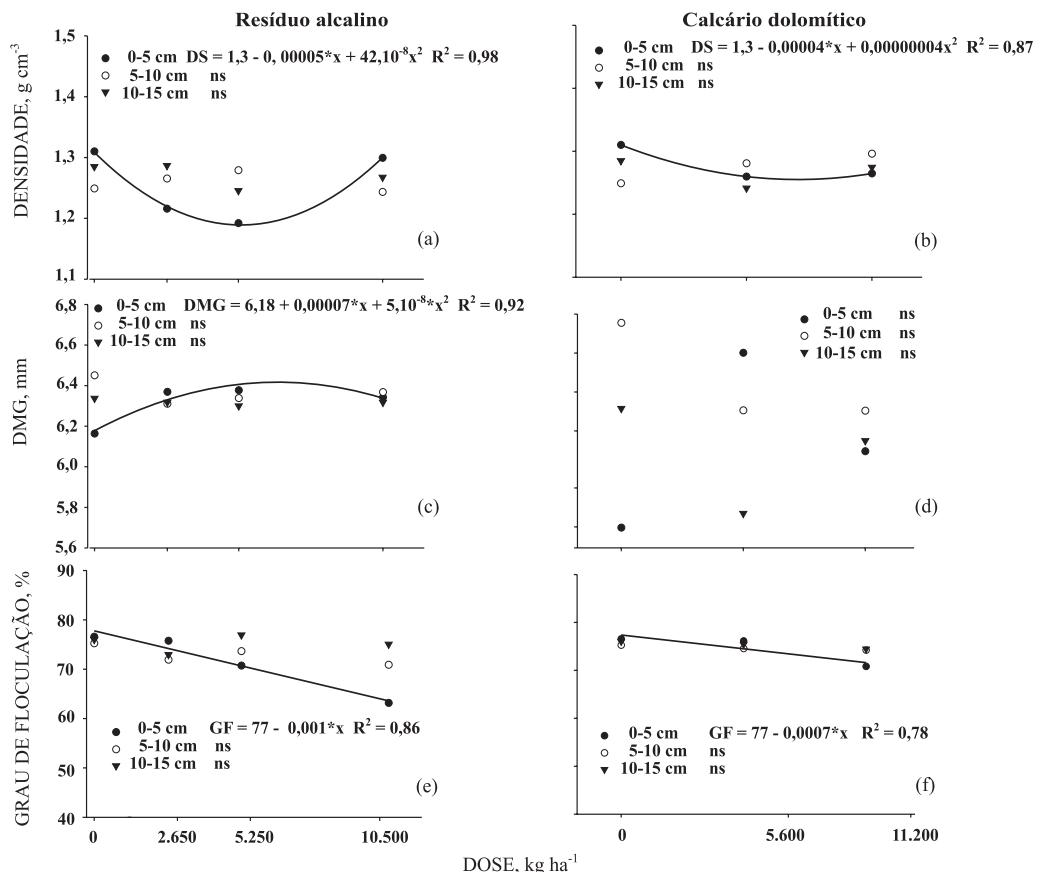


Figura 3. Densidade do solo (a) e (b), DMG: diâmetro médio geométrico (c) e (d) e grau de flocação da argila (e) e (f) de um Cambissolo Húmico alumínico submetido a doses de resíduo alcalino (esquerda) e calcário (direita), aplicadas em superfície, calculadas com base no método SMP (*, ** e ns: significativo a 5 e 1 % e não significativo).

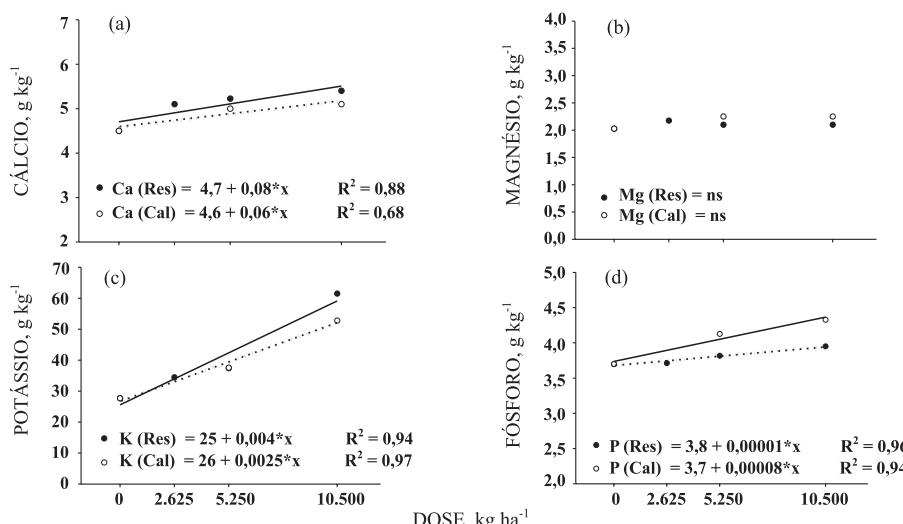


Figura 4. Teores de cálcio (a), magnésio (b), potássio (c) e fósforo (d) no tecido da parte aérea de plantas de trigo no início do florescimento, cultivadas em um Cambissolo Húmico alumínico corrigido com doses de resíduo alcalino (Res) e calcário (Cal), aplicadas em superfície, calculadas com base no método SMP (*, ** e ns: significativo a 5 e 1 % e não significativo).

Com a melhora na disponibilidade de nutrientes no solo e consequente absorção desses nutrientes, a produtividade da cultura do trigo aumentou de 1.750 kg ha⁻¹ na testemunha para próximo de 3.000 kg ha⁻¹ nos tratamentos com 100 % da dose de ambos os corretivos (Figura 5). Produtividades semelhantes foram observadas por Sangoi et al. (2007) num experimento realizado em Cambissolo Húmico, com pH corrigido para 6,0, avaliando diferentes épocas de semeadura. Com a aplicação de calcário, a produtividade aumentou de forma linear e com o resíduo alcalino de forma quadrática. Não houve prejuízos na produtividade em função da composição química do resíduo com elevada relação Ca:Mg.

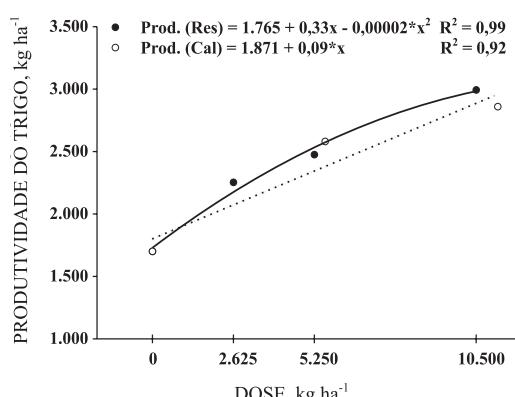


Figura 5. Produtividade da cultura do trigo em um solo corrigido com doses crescentes de resíduo alcalino (Res) e calcário (Cal), aplicadas em superfície, calculadas com base no método SMP, Lages - SC. (*: significativo a 5 %).

CONCLUSÕES

1. A aplicação do resíduo (Dregs) melhorou os atributos químicos do solo, principalmente na camada superficial, e aumentou a produtividade de grãos de trigo, entretanto aumentou a relação molar entre Ca e Mg e os teores de Na. Porém, a saturação da CTC por Na ficou abaixo do nível crítico.

2. Com a aplicação superficial dos corretivos, foram observadas mudanças nos atributos físicos do solo na camada superficial com a redução do grau de flocação.

3. A produção de trigo, assim como os teores dos nutrientes no tecido, foi semelhante com ambos os corretivos da acidez do solo, com resposta linear positiva às doses aplicadas para Ca e P no tecido e para a produtividade de grãos.

LITERATURA CITADA

- ALBUQUERQUE, J.A.; ARGENTON, J.; FONTANA, E.C.; COSTA, F.S. & RECH, T.D. Propriedades físicas e químicas de solos incubados com resíduo alcalino da indústria de celulose. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:1065-1073, 2002.
- ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; ERNANI, P.R. & FONTANA, E.C. Propriedades físicas e eletroquímicas de um Latossolo Bruno afetadas pela calagem. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:295-300, 2000.
- ALMEIDA, H.C.; ERNANI, P.R.; ALBUQUERQUE, J.A.; MARIN, H. & SCAPINI, E. Influência da adição de um resíduo industrial na velocidade de neutralização da acidez do solo, adsorção de sódio e disponibilidade de magnésio para o trigo. *R. Ci. Agropec.*, 6:104-113, 2007a.
- ALMEIDA, H.C.; SILVEIRA, C.B.; ERNANI, P.R.; CAMPOS, M.L. & ALMEIDA, D. Composição química de um resíduo alcalino da indústria de papel e celulose (dregs). *Química Nova*, 7:1669-1672, 2007b.
- ALMEIDA, J.A.; ERNANI, P.R. & MAÇANEIRO, K.C. Recomendação alternativa de calcário para solos altamente tamponados do extremo Sul do Brasil. *Ci. Rural*, 29:651-656, 1999.
- AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I.; HINRICH, R. & BERTOL, I. Movimentação de partículas de calcário no perfil de um Cambissolo em plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:359-367, 2004.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. & MARTIN-NETO, L. Efeitos de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:599-607, 2000.
- BOND, W.J. Effluent irrigation - An environmental challenge for soil science. *Aust. J. Soil Res.*, 36:543-555, 1998.
- CARVALHO-PUPATTO, J.G.; BÜLL, L.T. & CRUSCIOL, C.A.C. Atributos químicos do solo, crescimento radicular e produtividade do arroz de acordo com a aplicação de escórias. *Pesq. Agropec. Bras.*, 39:1213-1218, 2004.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFSRS/SC. Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10.ed. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.
- CORRÊA, J.C.; BULL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C.; MARCELINO, M. & MAUAD, M. Correção da acidez e modalidade de íons em Latossolo com aplicação superficial de escória, resíduo alcalino, lodo de esgoto e calcário. *Pesq. Agropec. Bras.*, 42:1307-1317, 2007.
- COSTA, A.; ALBUQUERQUE, J.A.; ERNANI, P.R.; BAYER, C. & MERTZ, L.M. Alterações físicas e químicas num Cambissolo Húmico de campo nativo após a correção da acidez. *R. Ci. Agropec.*, 5:118-130, 2006.
- DAVIDSON, E.A. & JANSSENS, I.A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature*, 440:165-173, 2006.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Classificação dos Solos. Manual de métodos de análise do solo. Rio de Janeiro, 1997.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Brasília, 2006. 306p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Solos do Estado de Santa Catarina. Rio de Janeiro, 2004. 726p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 46)
- FAGERIA, N.K. & BALIGAR, V.C. Improving nutrient use efficiency of annual crops in Brazilian acid soils for sustainable crop production. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 32:1303-1319, 2001.
- GARGANTINI, H. & SOARES, E. Efeito do tamanho do vaso e da época de corte de plantas de trigo no estudo da ação dos nutrientes N, P e K. *Bragantia*, 32:237-244, 1973.
- GEE, G.W. & BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis. Physical and mineralogical methods*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. Part 1. p.383-411.
- KAMINSKI, J.; SANTOS, D.R.; GATIBONI, L.C.; BRUNETTO, G. & SILVA, L.S. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um Argissolo sob pastagem natural. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:573-580, 2005.
- KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E. & CLARCK, F.E., eds. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1965. Part 1. p.499-510.
- LUNARDI NETO, A.; ALBUQUERQUE, J.A.; ALMEIDA, J.A.; MAFRA, A.L.; MEDEIROS, J.C. & ALBERTON, A. Atributos físicos do solo em área de mineração de carvão influenciados pela correção da acidez, adubação orgânica e revegetação. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1379-1388, 2008.
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas. Princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba, Potafos, 1997. 319p.
- MCINTYRE, D.S. Exchangeable sodium, subplasticity and hydraulic conductivity of some Australian soils. *Austr. J. Soil Res.*, 17:115-120, 1979.
- MEDEIROS J.C.; MAFRA A.L.; ALBUQUERQUE J.A.; ROSA J.D. & GATIBONI L.C. Relação cálcio: magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico álico. *Semina: Ci. Agr.*, 19:93-98, 2008.
- ORLANDO FILHO, J.O.; BITTENCOURT, V.C.; CARMELLO, Q.A.C. & BEAUCLAIR, E.G.F. Relações K, Ca e Mg de solo Areia Quartzosa e produtividade da cana-de-açúcar. *STAB*, 14:13-17, 1996.
- PAULETTI, V. Nutrientes: Teores e interpretações. 2.ed. Castro, Fundação ABC, 2004. 86p.
- PINTRO, J.C.; INOUE, T.T.; TORMENA, C.A.; COSTA, A.C.S. & SILVA, M.A.G. Mineral composition and dry mass production of corn plants affected by different phosphate sources and different soil aluminum saturation levels. *J. Plant Nutr.*, 27:2149-2158, 2005.
- RAMOS, L.A.; NOLLA, A.; KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S. & CAMARGO, M.S. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:849-857, 2006.
- ROSOLEM, C.A.; MACHADO, J.K. & BRINHOLI, O. Efeito das relações Ca/Mg, Ca/K e Mg/K do solo na produção de sorgo sacarino. *Pesq. Agropec. Bras.*, 19:1443-1448, 1984.
- SANGOLI, L.; BERNES, A.C. & ALMEIDA, M.L. Características agronômicas de cultivares de trigo em resposta à época da adubação nitrogenada de cobertura. *Ci. Rural*, 6:1564-1570, 2007.
- SUMNER, M.E. Sodic soils: New perspectives. *Aust. J. Soil Res.*, 31:683-750, 1993.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5)
- ZAMBRANO, M.; PARODI, V.; GALLARDO, F. & VIDAL, G. Characterization of "dregs" and grits from cellulose paste industry: Study for its application to acid soils. *Afinidad*, 60:16-25, 2003.