

# Resíduo alcalino da indústria de celulose na correção da acidez de um Cambissolo Húmico aluminico

*Alkaline residue of cellulose industry in the acidity correction of a Humic Aluminic Cambisol*

João Carlos Medeiros<sup>1</sup>, Jackson Adriano Albuquerque<sup>2\*</sup>, Álvaro Luiz Mafra<sup>2</sup>, Jaqueline Dalla Rosa<sup>1</sup>, Thiago Phillippi<sup>2</sup>

Recebido em 23/08/2010; aprovado em 03/10/2012.

## RESUMO

A indústria de celulose gera resíduos alcalinos que devem ser caracterizados para avaliar sua viabilidade técnica para uso em solos agrícolas, como alternativa aos corretivos da acidez. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da aplicação de resíduo alcalino em alguns atributos químicos e físicos de um Cambissolo Húmico aluminico e no desenvolvimento inicial das plantas de trigo. Os tratamentos foram doses de calcário (Cal) correspondentes a 0,5 e 1 SMP e de resíduo alcalino (Res) correspondentes a 0,25, 0,5 e 1 SMP para elevar o pH do solo a 6,0, num delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. O solo foi acondicionado em vasos com volume de 4 L e cultivado com trigo, em casa de vegetação. O uso do resíduo alcalino aumenta o pH, os teores e a saturação por sódio e reduz o grau de flocculação da argila, porém não afeta a estabilidade dos agregados do solo. Os dois corretivos adicionam cátions básicos ao solo, porém o resíduo aumenta a relação Ca/Mg. O resíduo é uma alternativa para neutralizar a acidez de solos e melhorar as condições químicas do solo para o crescimento da cultura do trigo.

**PALAVRAS-CHAVE:** pH do solo, calagem, estrutura do solo, nutrientes.

## SUMMARY

Cellulose industry generates alkaline residues which must be characterized in order to evaluate the technical viability of their use in agricultural soils as an alternative of soil acidity correction. The objectives of this study were to evaluate the effect of the application of alkaline residue on some chemical and physical properties of a Humic Cambisol and on the initial growth phase of a wheat crop. The treatments consisted in doses of lime corresponding to 0.5 and 1 SMP and doses of residue corresponding to 0.25, 0.5 and 1 SMP in order to increase pH up to 6.0. The wheat was sown in 4 L pots filled with soil. The pots were arranged in a greenhouse according to a completely randomized experimental design with four replicates. The addition of Res increased soil pH, the sodium content and soil sodium saturation and reduced the clay flocculation. However, the stability of soil aggregates was not affected. Both correctives increased the soil's basic cations, although the residue increased the Ca/Mg ratio. This alkaline residue is an alternative to correct acid soils and improve the chemical conditions of soils to grow wheat.

**KEY WORDS:** soil pH, liming, soil structure, nutrients.

<sup>1</sup> Embrapa Arroz e Feijão, Rodovia GO-462, km 12, Zona Rural, Caixa Postal 179, CEP 75375-000, Santo Antônio de Goiás, GO, Brasil.

<sup>2</sup> Departamento de Solos e Recursos Naturais, Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina – CAV/UEDESC. Av. Luiz de Camões, 2090, Bairro Conta Dinheiro, CEP 88520-000, Lages, SC, Brasil. Email: jackson.irai@gmail.com. \*Autor para correspondência.

## INTRODUÇÃO

O Brasil produz 13,3 milhões de toneladas de celulose e 9,4 milhões de toneladas de papel ao ano, posicionando-se como sexto maior produtor mundial de celulose, sendo o nono na produção de papel e líder na produção de celulose de fibra curta (BRACELPA, 2011). Entretanto, cada 100 toneladas de celulose produzidas gera 50 toneladas de resíduos sólidos, efluentes hídricos e gases (BELLOTE et al., 1998), que devem ser adequadamente dispostos ou tratados para evitar danos graves ao ambiente (FLORES et al., 1998).

Uma alternativa para o aproveitamento dos resíduos alcalinos da indústria de celulose seria a utilização em áreas agrícolas, principalmente na neutralização da acidez do solo (CABRAL et al., 2008), o que permitiria economia de matérias-primas, água, energia e redução da poluição ambiental causada pelo seu armazenamento em aterros sanitários. Neste sentido, são necessários estudos mais aprofundados das alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e no desenvolvimento das culturas, pelo uso desses materiais.

Os resíduos alcalinos da indústria de papel e celulose têm a capacidade de neutralizar a acidez, pois contêm compostos de reação básica como CaO, CaOH, SiCO<sub>3</sub>, NaOH, CaCO<sub>3</sub> e MgCO<sub>3</sub>, e adicionam nutrientes ao solo (STAPPE e BALLONI, 1988; RAMOS et al., 2006; ALMEIDA et al., 2007a; MEDEIROS et al., 2009). No entanto, a utilização desses resíduos deve ser criteriosa tendo em vista a presença do sódio na sua composição. Segundo McIntyre (1979) quando a quantidade de sódio superar 5% da CTC efetiva, ocorre dispersão da argila (BALKS, et al., 1998; ALBUQUERQUE et al., 2002, MEDEIROS et al., 2009), processo que reduz a condutividade hidráulica (McINTYRE, 1979; BOND, 1998). Outro efeito do resíduo, que pode ser prejudicial, está relacionado com a alteração da relação molar entre cálcio e magnésio, o que pode causar desbalanço destes cátions, essenciais às plantas (OLIVEIRA e PARRA, 2003; ALMEIDA et al., 2007a).

As potencialidades desses resíduos no uso

agrícola e suas possíveis limitações dependem da sua composição química e de atributos do solo, como mineralogia e textura (REICHERT e NORTON, 1996). Com base na composição química de uma amostra de um resíduo alcalino da indústria de celulose, denominado dregs, Almeida et al. (2007a) afirmam que o produto pode ser utilizado como corretivo da acidez dos solos agrícolas e também como fonte de cálcio e de alguns micronutrientes às plantas, sem riscos de contaminações a curto e médio prazos. Zambrano et al. (2003) constataram que a adição de dois resíduos alcalinos da indústria de papel e celulose melhorou as propriedades físicas e químicas de solos degradados. A adição de dregs em plantio das espécies *Pinus radiata* e *Eucalyptus globulus* aumentou o crescimento das plantas, relacionado a efeitos positivos no solo (JORDAN e RODRIGUEZ, 2004). Em área recuperada após a mineração de carvão, Lunardi Neto et al. (2008), observaram que a adição de dregs, para elevar o pH até 6,0, aumentou o pH e não modificou o teor de argila dispersa e nem a estabilidade dos agregados, se constituindo numa alternativa para recuperação desses solos. Testando doses crescentes desse mesmo resíduo, acrescido de Mg ou não, Almeida et al. (2007b), verificaram aumento na produção de matéria seca das plantas de trigo quando aplicado até 25 toneladas por hectare em Cambissolo Húmico.

A hipótese deste estudo é que o resíduo alcalino da indústria de celulose, quando aplicado em doses adequadas para cada classe de solo, melhora os atributos químicos, não degrada os atributos físicos do solo e eleva a produtividade do trigo.

Com base no exposto, desenvolveu-se experimento objetivando avaliar o uso de doses de resíduo alcalino da indústria de papel e celulose sobre os atributos físicos e químicos de um Cambissolo Húmico alumínico e na produção de massa seca e nutrição da cultura do trigo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação climatizada, utilizando um Cambissolo Húmico alumínico, textura franco-argilosa (EMBRAPA, 2006), derivado de rochas sedimentares da formação Rio do Rastro, coletado da camada de 0 a 0,20 m, numa área sob campo nativo pastejado. O solo foi seco ao ar, destorroado, peneirado em malha de 8 mm e acondicionado em vasos de PVC com capacidade de quatro litros. A composição química, granulometria e a mineralogia do solo antes da aplicação dos tratamentos estão descritos na Tabela 1. Na fração mineralógica predomina caulinita com pequenas quantidades de micas, de quartzo e de argilominerais 2:1 com hidróxido de alumínio nas entrecamadas (ALMEIDA et al., 1997).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições, contendo os seguintes tratamentos: sem corretivo (Test); resíduo alcalino nas doses de 25% (Res 25), 50% (Res 50) e 100% (Res 100); calcário nas doses de 50% (Cal 50) e 100% (Cal 100). Para todos os tratamentos, a necessidade de corretivos da acidez foi estimada pelo método SMP para elevar o pH do solo a 6,0 (CQFS-RS/SC, 2004).

O resíduo alcalino da indústria de papel e celulose apresentou a seguinte composição química: Ca = 354 g kg<sup>-1</sup>, Mg = 9 g kg<sup>-1</sup>, Na = 10 g kg<sup>-1</sup>, pH = 10,7 com valor de neutralização (VN) de 80% (ALMEIDA et al., 2007a). O calcário era composto de: CaO = 289 g kg<sup>-1</sup>, MgO = 118 g kg<sup>-1</sup>, Na = 170 mg kg<sup>-1</sup>, VN = 87% e ER de 81%, determinados conforme Tedesco et al. (1995).

Os corretivos da acidez foram misturados com o solo e incubados por 30 dias, realizando-

se posteriormente adubação com 100 mg kg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, na forma de cloreto de potássio, e 150 mg kg<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de superfosfato triplo, incorporados ao solo antes da semeadura (CQFS-RS/SC 2004). A cultura teste utilizada foi trigo (*Triticum aestivum*), cultivar BRS Louro. Após 12 dias da germinação realizou-se o desbaste deixando-se sete plantas por vaso. Como adubação de cobertura aplicou-se 75 mg kg<sup>-1</sup> de N na forma de uréia, 15 dias após a germinação. A umidade do solo foi mantida em torno de 80% da capacidade de campo, com determinações diárias da massa dos vasos. Aos 45 dias após a semeadura, as plantas foram cortadas na superfície do solo, separando-se a parte aérea (folhas + colmos + estruturas reprodutiva em início de desenvolvimento) das raízes.

Para determinar a produção de matéria seca o material vegetal da parte aérea e das raízes foi seco em estufa a 65°C até atingir massa constante e triturado em moinho de tecido vegetal, para posterior digestão sulfúrica para determinação dos teores de Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica, de K por fotometria de chama e de P por colorimetria (TEDESCO et al., 1995).

No solo foram analisados os teores de Ca, Mg, Al, K e Na. As amostras de solo foram secas em estufa a 60°C, destorroadas, moídas e passadas em peneira de 2 mm. O Ca, o Mg e o Al foram extraídos com solução neutra de KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, sendo os dois primeiros determinados por absorção atômica e o Al trocável por titulometria de neutralização. O Na e o K foram extraídos com solução ácida de HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 mol L<sup>-1</sup> (solução PA) e quantificados por fotometria de chama, segundo Tedesco et al. (1995). O H + Al foi extraído com solução de acetato de amônio a pH 7 e determinado por

Tabela 1 - Composição química, granulométrica e mineralógica do Cambissolo Húmico alumínico na camada de 0 a 0,20 m.

pH	Ca	Mg	Na	K	Al	H+Al	CTC <sub>pH7</sub>	P	MO	Areia	Silte	Argila	Mineralogia
----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----							mg dm <sup>-3</sup>		----- g kg <sup>-1</sup> -----				(Predominante)
4,9	0,86	0,63	0,08	0,28	5,0	14,4	16,2	3,4	43	354	280	366	Caulinita

Legenda: pH: pH do solo determinado em H<sub>2</sub>O numa relação 1:1; MO: matéria orgânica do solo. Métodos para análises químicas segundo Tedesco et al. (1995).

titulometria de neutralização. A soma de bases, a saturação por bases, a CTC efetiva e a saturação por sódio foram calculadas conforme Embrapa (1997).

Os resultados foram submetidos à análise de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk, e a variância pelo teste F. As respostas do solo e das plantas às doses de corretivos foram ajustadas com equações de regressão, contrastando-as e usando-se o polinômio significativo de maior grau.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Atributos químicos e físicos do solo

O pH do solo aumentou de forma linear para ambos os corretivos. A aplicação do resíduo alcalino elevou o pH do solo de 4,6, na testemunha, para 6,9 no tratamento Res 100 e o calcário para 6,0 no Cal 100 (Figura 1A). O aumento do pH com a aplicação do resíduo foi maior que o esperado inicialmente, levando a crer que a metodologia para determinação do valor de neutralização para corretivos, não é adequada para o resíduo, provavelmente subestimando o valor de neutralização. É importante considerar que a granulometria do resíduo é extremamente fina o que favorece as reações no solo (Almeida et al., 2007a, 2007b).

Com o aumento do pH o teor de Al reduziu de  $5,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  para  $0,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , após a aplicação do resíduo alcalino na dose equivalente a 50% (Tabela 2). Em função da maior capacidade de elevação do pH, o resíduo foi mais eficiente na neutralização do Al trocável, quando comparado ao calcário.

O teor de Ca nos tratamentos sem aplicação de corretivos foi de  $0,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , passando para  $6,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  na maior dose de calcário e  $14,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  na maior dose do resíduo alcalino (Figura 1B), considerados teores altos (CQFS-RS/SC, 2004). Pela capacidade de adicionar Ca ao solo, o resíduo é uma alternativa de disponibilidade rápida para culturas exigentes neste elemento.

A adição de calcário elevou os teores de Mg enquanto o resíduo praticamente não alterou os

teores deste elemento no solo, ficando, neste caso, em torno de  $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  (Figura 1C), valor considerado baixo (CQFS-RS/SC, 2004). Estas diferenças nos teores de cálcio e magnésio entre os tratamentos com calcário e com resíduo alcalino são explicadas pela composição química dos produtos. O resíduo tem aproximadamente 35% de cálcio e 1% de magnésio, enquanto o calcário utilizado tem relação Ca/Mg de aproximadamente 3:1. Após a aplicação de resíduo da indústria de reciclagem de papel, Balbinot Júnior et al. (2006) também observaram aumento da relação Ca/Mg, a qual, dependendo da magnitude e do teor de Mg no solo, pode causar deficiência deste elemento às plantas (OLIVEIRA e PARRA, 2003). Outro fator que contribui neste sentido é o aumento da lixiviação do Mg, que é deslocado para a solução pela aplicação de resíduos com teores altos de Ca conforme relatado por Nkana et al. (1999), trabalhando com percolação em colunas preenchidas com amostras de três solos ácidos da região central de Camarões, e por Almeida et al. (2008), em um Cambissolo Húmico do Sul do Brasil.

A relação Ca/Mg no solo variou de 1,4 no tratamento sem correção até 35 no tratamento com maior dose de resíduo alcalino (Figura 1D). A relação ideal de Ca/Mg no complexo de troca é variável, mas com frequência é citada como uma relação favorável à absorção de nutrientes pelas plantas quando está em torno de 1,5 a 3,5 (PAULETTI, 2004). Já Raij et al. (2001) citam que esta relação pode chegar até 7, sem que ocorra desbalanço nutricional na maioria das culturas. A CQFS-RS/SC (2004) relata que, para algumas culturas, a relação pode chegar a 10 sem consequências prejudiciais às plantas. A relação Ca/Mg é, neste estudo, um dos fatores mais preocupantes, pois o resíduo tem alto teor de cálcio e baixo de magnésio, podendo causar, desta forma, desbalanço nutricional no solo e provável prejuízo ao desenvolvimento das plantas, principalmente em solos com deficiência de Mg. Almeida et al. (2007b) observaram que a adição desse mesmo resíduo alcalino quando combinado com Mg favoreceu o crescimento do trigo, o que, segundo os autores, se deve a

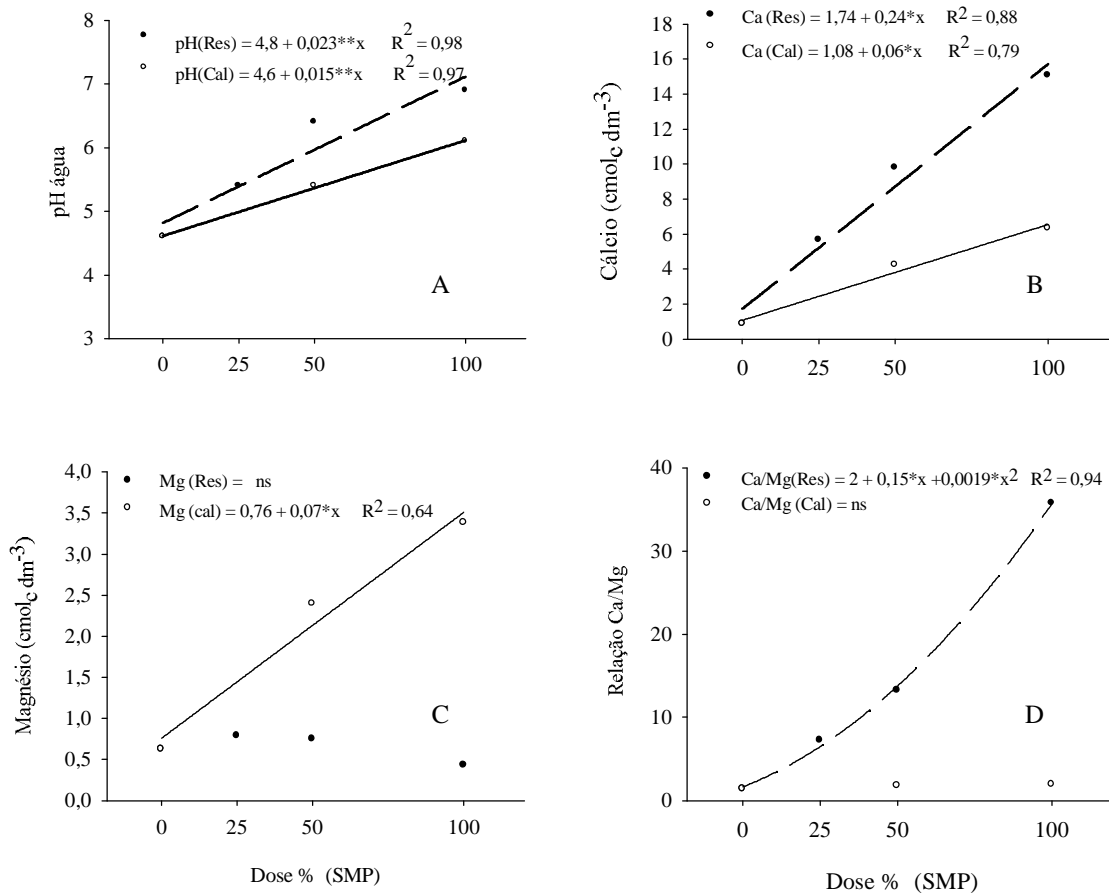


Figura 1 - pH do solo em água (A), teores de cálcio (B), de magnésio (C) e relação Ca/Mg (D) do Cambissolo Húmico aluminoso após a aplicação de quantidades crescentes de resíduo alcalino e calcário (\*\* e \* significativos a 0,01 e 0,05; ns = não significativo).

redução da relação Ca/Mg e a maior absorção de Mg pela cultura.

A soma de bases (SB) aumentou com a aplicação do resíduo, de 1,8 na testemunha até  $16,5 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$  no tratamento Res 100 (Tabela 2). Houve aumento na CTCefetiva do solo de forma mais pronunciada para os tratamentos corrigidos com resíduo, passando de 6,8 para  $16,6 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$  (Tabela 2). Com a aplicação de resíduo a saturação por bases (V) aumentou para 43% e 70%, respectivamente, nas doses de 25 e 50% da quantidade necessária para elevar o pH do solo a 6,0 (Tabela 2). Assim, a dose de 50% seria suficiente para atingir saturação por bases adequada para o desenvolvimento da maioria das culturas (RAIJ et al., 2001).

O grau de flocculação das argilas diminuiu

com o aumento das doses dos corretivos. Para o calcário, esta redução foi linear e com menor intensidade, passando de 75% para 55% enquanto que no caso do resíduo, o decréscimo foi quadrático, chegando ao grau de flocculação de 20% na maior dose deste produto (Figura 2A). Esta redução pode estar associada à elevação do pH do solo e substituição do Al por Ca e Mg no complexo de troca, que por terem maior raio hidratado e menor carga, dispersam a argila. No caso do resíduo alcalino, a dispersão da argila se deu de forma mais acentuada do que com o calcário, o que se relaciona com a redução do Al trocável e aumento na saturação por sódio. Os teores de sódio do solo aumentaram de  $0,08 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$  para  $1,40 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$  com a aplicação da maior dose de resíduo (Tabela 2). O aumento

Tabela 2 - Teores de alumínio, H+Al, sódio e potássio trocáveis, soma de bases (SB), CTC efetiva, saturação por bases (V), saturação por Al (m) e diâmetro médio geométrico (DMG) do Cambissolo Húmico aluminoso após a aplicação de quantidades crescentes de resíduo alcalino e calcário. Lages, SC.

Tratamento	Al	H+Al	Na	K	SB	CTC <sub>efetiva</sub>	V	m	DMG
Test	5,0	14,4	0,08	0,28	1,8	6,8	11	73	5,5
Res 25	0,4	9,2	0,33	0,19	7,0	7,4	43	5	5,8
Res 50	0,1	4,8	0,64	0,18	11,3	11,4	70	0	5,9
Res 100	0,0	0,1	1,40	0,17	16,5	16,6	100	1	6,0
Cal 50	1,0	9,3	0,07	0,24	6,9	7,9	43	13	5,9
Cal 100	0,0	6,2	0,07	0,20	10,0	10,0	61	0	5,7

Legenda: Test = testemunha; Res 25 = resíduo alcalino dose 25%; Res 50 = resíduo alcalino dose 50%; Res 100 = resíduo alcalino dose 100%; Cal 50 = calcário dose 50%; e Cal 100 = calcário dose 100% (1 SMP) da necessidade de corretivo para elevar o pH a 6,0. Atributos químicos determinados segundo Tedesco et al. (1995).

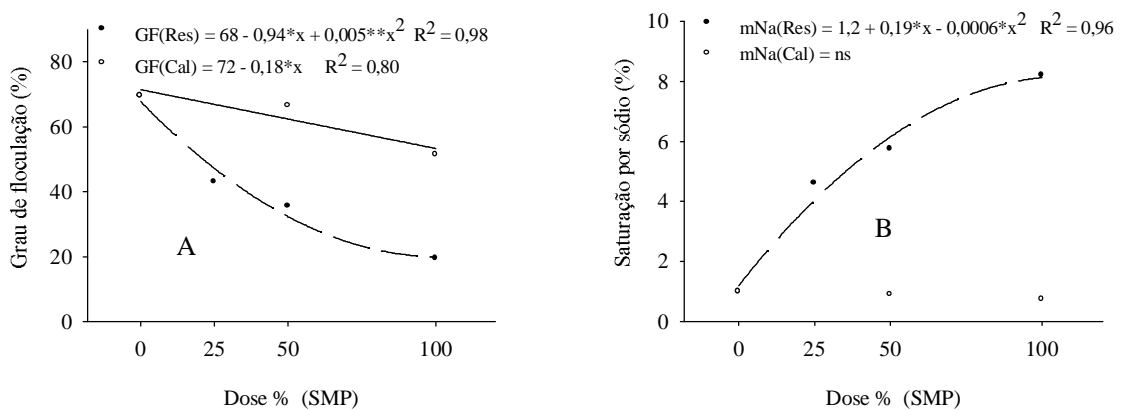


Figura 2 - Grau de floculação - GF (A), e saturação por sódio na CTC efetiva - mNa (B), do Cambissolo Húmico aluminoso após a aplicação de quantidades crescentes de resíduo alcalino e calcário (\*\* e \* significativos a 0,01 e 0,05; ns = não significativo).

da saturação por sódio na CTC do solo foi significativo nos tratamentos que utilizaram resíduo alcalino como corretivo da acidez (Figura 2B), atingindo 8% da CTC, acima do limite crítico a partir do qual pode ocorrer redução drástica na condutividade hidráulica saturada do solo (McINTYRE, 1979). Lunardi Neto et al. (2008), avaliando a correção da acidez de um solo reconstruído após a mineração de carvão na região Sul de Santa Catarina, observaram menor redução no grau de floculação da argila pela aplicação de resíduo alcalino (dregs) do que pela aplicação de calcário. Tal resultado esteve

relacionado com o pH mais baixo no tratamento com resíduo alcalino, quando comparado com o calcário. Outro aspecto a considerar é que a aplicação de produtos com elevado teor de Ca desloca o Na dos sítios de troca e facilita a lixiviação deste elemento (KINJO et al., 1992), principalmente em experimentos de campo e de média a longa duração. Almeida et al. (2008) aplicaram resíduo alcalino da indústria de celulose na superfície de um Cambissolo Húmico, e adicionaram semanalmente 38 mm de água sobre a superfície do solo. Observaram que, depois de transcorridas 10 semanas, 60% do Na

adicionado com o resíduo alcalino foi lixiviado. Constataram ainda que a lixiviação foi menor nos tratamentos com pH do solo mais elevado e conseqüentemente com maior quantidade de cargas negativas.

Os corretivos, apesar de reduzirem o grau de floculação não alteraram a estabilidade dos agregados em água, avaliada pelo diâmetro médio geométrico (Tabela 2). Este fato pode ser explicado pelo efeito agregante do sistema radicular da gramínea cultivada, que pode ter contribuído para impedir que os agregados sofressem desestruturação (CARPENEDO e MIELNICZUK, 1990). Além disso, os elementos químicos adicionados com os corretivos, principalmente os polivalentes, podem formar pontes de cátions entre as partículas do solo, atuando no processo de agregação, conforme discutido por Munner e Oades (1989).

### Produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes no tecido vegetal

A produção de matéria seca da parte aérea por vaso aumentou de 3,5 g na testemunha para 9 g no Cal 100 e 12 g no Res 100. A matéria seca das raízes também aumentou com a aplicação dos corretivos da acidez (Figura 3). A melhoria no desenvolvimento das plantas pela elevação do pH do solo, obtida com uso de resíduos alcalinos da indústria de papel e celulose, já foi verificada por outros autores (JORDAN e RODRIGUEZ,

2004; ARIAS et al., 2005; ALMEIDA et al. 2007b; MEDEIROS et al., 2009), com benefícios semelhantes à aplicação de calcário (MUSE e MITCHELL, 1995).

As doses de resíduo alcalino utilizadas elevaram de forma linear a concentração de Ca na parte aérea do trigo de 4,8 para 8,2 g kg<sup>-1</sup> (Figura 4A), que, segundo Raij et al. (1996), está acima do teor mínimo de Ca para a cultura do trigo que é de 2,5 g kg<sup>-1</sup>. A concentração de Mg no tecido aumentou com a aplicação de calcário, de 4,0 para 6,8 g kg<sup>-1</sup>, o que não foi observado com a aplicação do resíduo alcalino (Figura 4B), mas neste caso os teores de Mg se mantiveram acima do teor mínimo para a cultura do trigo que é de 1,5 g kg<sup>-1</sup> (RAIJ et al., 1996). Isto demonstra não ter havido antagonismo entre Ca e Mg em relação à nutrição da cultura. Entretanto, esse é um fator a ser avaliado quando se pensa no aproveitamento do poder corretivo desses resíduos, sendo indicados preferencialmente para solos bem supridos em Mg, ou aplicados em conjunto com calcário dolomítico.

O teor de potássio, na parte aérea das plantas de trigo na testemunha era de 26 g kg<sup>-1</sup>. Com a adição de resíduo alcalino diminuiu para 24 g kg<sup>-1</sup> (Figura 4C), mas não foi alterado pela adição de calcário. Para fósforo, os teores no tecido vegetal variaram de 3,3 a 4,2 g kg<sup>-1</sup> (Figura 4D), observando-se decréscimo com o aumento das quantidades de resíduo aplicadas, mesmo sob

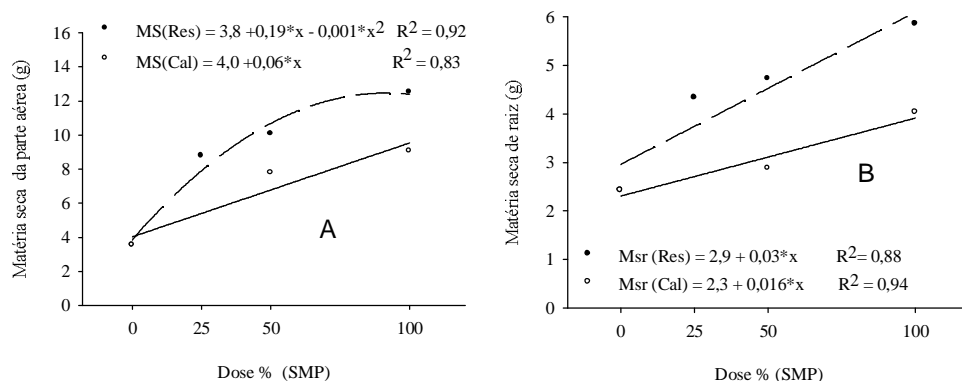


Figura 3 - Matéria seca da parte aérea (A) e das raízes (B) de plantas de trigo, por vaso, cultivadas no Cambissolo Húmico aluminoso após a aplicação de quantidades crescentes de resíduo alcalino e calcário (\*significativo a 0,05).

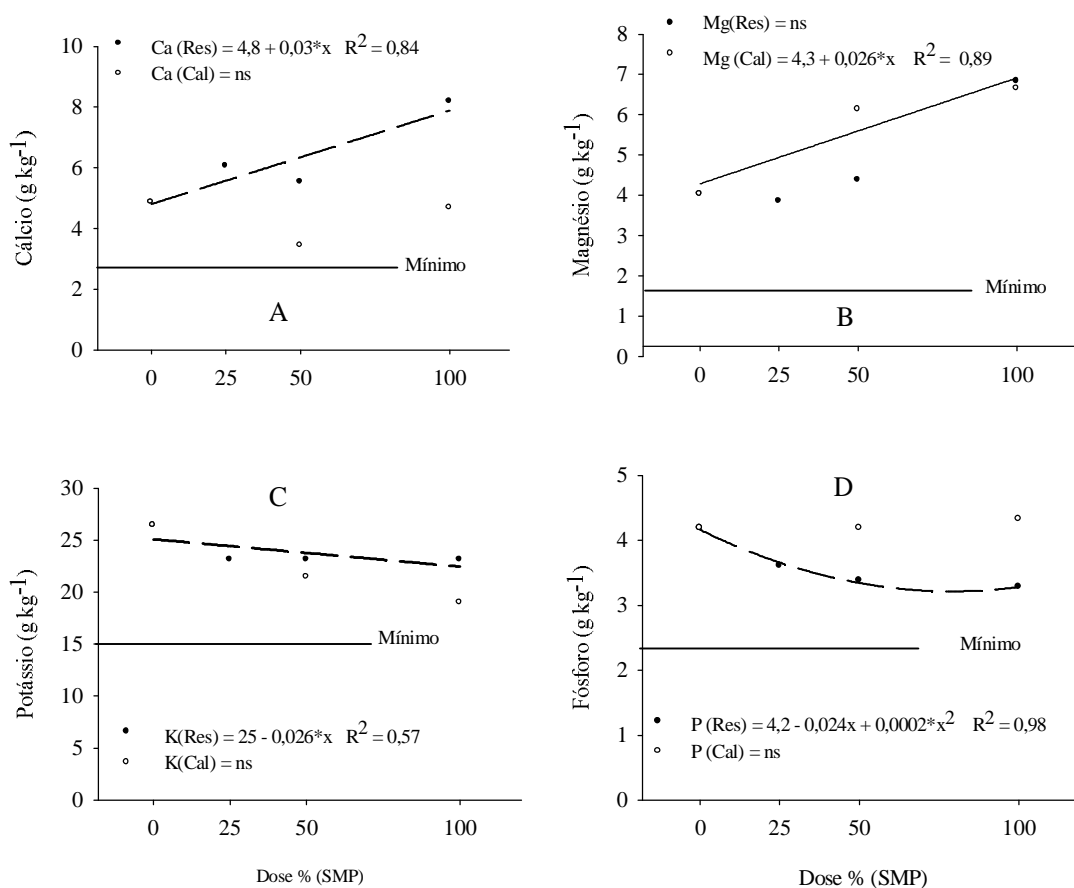


Figura 4 - Teores de cálcio (A), magnésio (B), potássio (C) e fósforo (D) no tecido foliar de plantas de trigo desenvolvidas em casa de vegetação num Cambissolo Húmico alumínico após aplicação de quantidades crescentes de resíduo alcalino e calcário (\* significativo a 0,05; ns = não significativo). Mínimo\*\* é o teor mínimo de cada elemento necessário para o desenvolvimento normal das plantas, determinado segundo Rajj et al. (1996).

adubação fosfatada. A redução do teor de P no tecido pode ser explicada pelo efeito de diluição, devido ao maior crescimento das plantas (Figura 3) nas maiores doses do resíduo.

## CONCLUSÕES

O uso do resíduo alcalino da indústria de papel e celulose aumenta os teores e a saturação por sódio no solo, reduz o grau de floculação da argila, porém não afeta a estabilidade dos agregados.

Os dois corretivos elevam o pH, adicionam cátions básicos ao solo, porém o resíduo aumenta a relação Ca/Mg.

No Cambissolo Húmico alumínico o resíduo alcalino favorece o crescimento do trigo.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e a CAPES pela concessão de bolsas de produtividade, de iniciação científica e de mestrado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, J.A. et al. Propriedades físicas e químicas de solos incubados com resíduo alcalino da indústria de celulose. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.1065-1073, 2002.
- ALMEIDA, J.A. et al. Caracterização mineralógica de Cambissolos originados de rochas pelíticas nos patamares do alto rio Itajaí e no Planalto de Lages (SC). **Revista Brasileira**



- de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, p.181-190, 1997.
- ALMEIDA, H.C. et al. Composição química de um resíduo alcalino da indústria de papel e celulose (dregs). **Química Nova**, São Paulo, v.7, p.1669-1672, 2007a.
- ALMEIDA, H.C. et al. 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. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.6. p.104-113, 2007b.
- ALMEIDA, H.C. et al. influência da adição de um resíduo alcalino da indústria de papel e celulose na lixiviação de cátions em um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1775-1784, 2008.
- ARIAS, M. et al. Use of dregs and grits from the Kraft cellulose fabrication process in vegetable productivity. **Afinidad**, La Rioja, v.62, p.225-232, 2005.
- BALBINOT JÚNIOR, A.A. et al. Alteração em características químicas de um solo ácido pela aplicação de calcário e resíduos de reciclagem de papel. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.5, p.16-25, 2006.
- BALKS, M.R. et al. Effects of sodium accumulation on soil physical properties under an effluent-irrigated plantation. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v.36, p.821-830, 1998.
- BELLOTE, A.F.J. et al. Resíduos da indústria de celulose em plantios florestais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, Embrapa, v.37, p.99-106, 1998.
- BOND, W.J. Effluent irrigation - an environmental challenge for soil science. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v.36, p.543-555, 1998.
- BRACELPA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. **Avaliação do setor de celulose e papel. Desempenho do setor em 2011**. Disponível em: [www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/estatisticas/booklet.pdf](http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/estatisticas/booklet.pdf). Acesso em: abril de 2011.
- CABRAL, F. et al. Use of pulp mill inorganic wastes as alternative liming materials. **Bioresource Technology**, Essex, v.99, p.8294-8298, 2008.
- CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos roxos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, p.99-105, 1990.
- COMISSÃO DE QUÍMICA FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Recomendações de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre: SBCS – Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAAGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAAGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, EMBRAPA-CNPS, 2006. 309p.
- FLORES, D.M.M. et al. Tratamentos alternativos do efluente de uma indústria de celulose branqueada e papel. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.8, p.93-107, 1998.
- JORDAN, M.; RODRIGUEZ, E. Effect of solid residues from the cellulose industry on plant growth. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Tharandt, v.167. p.351-356, 2004.
- KINJO, T. et al. Efeito da aplicação de efluente da fábrica de celulose junto com fosfogesso na correção da acidez do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.49, p.129-135, 1992.
- LUNARDI NETO, A. et al. Atributos físicos do solo em área de mineração de carvão influenciados pela correção da acidez, adubação orgânica e revegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1379-1388, 2008.
- McINTYRE, D.S. Exchangeable sodium, subplasticity and hydraulic conductivity of some Australian soils. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v.17, p.115-120, 1979.
- MEDEIROS, J.C. et al. Calagem superficial com resíduo alcalino da indústria de papel e celulose em um solo altamente tamponado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.1657-1665. 2009.

- MUNNER, M.; OADES, J.M. The role of Ca-organic interactions in soil aggregate stability. III. Mechanisms and models. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v.29, p.411-423, 1989.
- MUSE, J.K.; MITCHELL, C.C. Paper mill boiler ash and lime by-products as soil liming materials. **Agronomy Journal**, Stanford, v.87, p.432-438, 1995.
- NKANA, J.C.V. et al. Dynamics of nutrients in tropical acid soils amended with paper pulp sludge. **Waste Management Research**, London, v.17, p.198-204, 1999.
- OLIVEIRA, E.L.; PARRA, M.S. Resposta do feijoeiro a relações variáveis entre cálcio e magnésio na capacidade de troca de cátions de Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.859-866, 2003.
- PAULETTI, V. **Nutrientes: teores e interpretações**. 2.ed. Castro: Fundação ABC, 2004. 86p.
- RAIJ, B.V. et al. **Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas, Instituto Agrônômico e Fundação IAC, 1996. 285p.
- RAIJ, B.V. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285p.
- RAMOS, L.A. et al. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.849-857, 2006.
- REICHERT, J.M.; NORTON, L.D. Fluidized bed combustion bottom-ash effects on infiltration and erosion of variable-charge soils. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.60, p.275-282. 1996.
- STAPPE, J.L.; BALLONI, E.A. O uso de resíduos da indústria de celulose como insumos na produção florestal. **Revista IPEF**, Piracicaba, v.40, p.33-37, 1988.
- TEDESCO, M.J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.
- ZAMBRANO, M. et al. Characterization of “dregs” and grits from cellulose paste industry: study for its application to acid soils. **Afinidad**, La Rioja, v.60, p.16-25, 2003.