



Aplicação de resíduo de reciclagem de papel em solo ácido: I – Fertilidade e teores de metais pesados no solo¹

Alvadi Antonio Balbinot Junior², Milton da Veiga³ e José Alfredo da Fonseca⁴

Resumo – O processo de reciclagem de papel gera grande quantidade de resíduo, cuja disposição em aterros sanitários, em geral, é inviável economicamente. Uma alternativa é a sua aplicação no solo para correção da acidez e aumento do teor de Ca. Contudo, há presença de metais pesados nesse resíduo, sendo necessário estudo sobre efeitos agrônômicos e ambientais da aplicação desse produto no solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do resíduo de reciclagem de papel sobre atributos químicos de um solo originalmente ácido. Foi conduzido um experimento em Papanduva, SC, em delineamento experimental de blocos completos casualizados, com três repetições. Foram avaliadas as seguintes doses de resíduo: 64, 127, 191, 254, 382 e 509t/ha em base úmida. Também foram avaliados tratamentos com aplicação de calcário dolomítico na dose correspondente a 1 SMP para elevar o pH_{água} a 6 e uma testemunha, sem aplicação de resíduo ou calcário. O resíduo e o calcário foram incorporados ao solo, na camada de zero a 20cm, por meio de uma aração e três gradagens, em junho de 2004. A partir da incorporação do resíduo, o solo foi manejado em sistema plantio direto. As coletas de amostras de solo foram realizadas na camada de zero a 20cm, aos 9, 22 e 34 meses após a aplicação. O resíduo aplicado no solo aumentou o pH, o teor de Ca e a relação Ca/Mg do solo. Os teores de Hg, Pb, Ni, Cd e Cr no solo não foram afetados pela aplicação do resíduo, mesmo nas maiores doses.

Termos para indexação: correção de pH, metais (Hg, Pb, Ni, Cd, Cr, Zn e Cu), ambiente.

Paper recycling residue application in acid soil: I – Fertility and heavy metal levels in the soil

Abstract – The paper recycling process generates an expressive amount of residue and in general the disposal of this product in landfills is economically impracticable. An alternative is its application in the soil, with the aim to increase the soil pH and the Ca level. However, there are heavy metals in this residue, making it necessary to study the agronomic and environmental effects of the residue application in the soil. The objective of this study was to evaluate the effects of the application of paper recycling residues in different doses on soil chemical properties. An experiment was carried out in Papanduva, Santa Catarina, southern Brazil, in a complete randomized block design, with three replications. These were the evaluated doses of paper recycling residues: 64, 127, 191, 254, 382 and 509t/ha of wet mass. In addition, a treatment with lime and a test without residues or lime application were evaluated. The residues and lime were incorporated in the zero to 20cm soil layer, through one ploughing and three diskings, in winter time (June 2004). After residue incorporation in the soil, the no-tillage system was used. The soil samples were collected 9, 22, and 34 months after application, in the zero to 20cm layer. The residue application increased soil pH and Ca levels, and the Ca/Mg relation in the soil. The Hg, Pb, Ni, Cd and Cr levels in the soil were not affected by residues, even in greater doses.

Index terms: soil pH, metals (Hg, Pb, Ni, Cd, Cr, Zn and Cu), environment.

Introdução

Um dos objetivos da reciclagem de materiais é reduzir a contaminação ambiental proveniente de resíduos gerados pela humanidade. A

transformação de papel descartado, como revistas e jornais, em novos produtos de valor comercial, como papel higiênico, gera grande quantidade de resíduo. Esse resíduo apresenta característica de uma

massa fibrosa de cor acinzentada, sendo classificado como um resíduo de classe IIA – não inerte (ABNT, 2004). Devido ao elevado volume produzido e à baixa permeabilidade do resíduo, sua alocação em aterros

Aceito para publicação em 6/5/10.

¹ Pesquisa financiada parcialmente pela Fundação de Apoio à Pesquisa Científica e Tecnológica do Estado de Santa Catarina (FAPESC).

² Eng.-agr., Dr., Epagri/Estação Experimental de Canoinhas, C.P. 216, 89460-000 Canoinhas, SC, e-mail: balbinot@epagri.sc.gov.br.

³ Eng.-agr., Dr., Epagri/Estação Experimental de Campos Novos, C.P. 116, 89620-000 Campos Novos, SC, e-mail: milveiga@epagri.sc.gov.br.

⁴ Eng.-agr., M.Sc., Epagri/Estação Experimental de Canoinhas, e-mail: fonseca@epagri.sc.gov.br.

sanitários, em geral, é inviável economicamente.

Entre as alternativas para disposição final de resíduos gerados por indústrias, a aplicação no solo, visando à melhoria de seus atributos químicos e físicos, tem merecido atenção cada vez maior (Fierro et al., 1999; Nemati et al., 2000; Foley & Cooperband, 2002). No resíduo gerado pelo processo de reciclagem de papel, constata-se presença de compostos que podem atuar como corretivos da acidez do solo, principalmente óxidos de Ca e Mg. Salienta-se que, no Brasil, a acidez do solo é um dos fatores que mais limita o adequado desenvolvimento de culturas agrícolas (Oliveira et al., 2002; Abreu Jr. et al., 2003).

No entanto, esse resíduo apresenta em sua constituição elementos que potencialmente podem causar danos ao ambiente, tais como mercúrio (Hg), chumbo (Pb), níquel (Ni), cádmio (Cd), cromo (Cr), zinco (Zn) e cobre (Cu). Esses metais pesados provêm principalmente da tinta utilizada na impressão de folhas que originam o resíduo. O acúmulo de metais pesados em solos agrícolas, devido a aplicações em altas doses de resíduo, é o aspecto que causa maior preocupação com relação à segurança ambiental necessária para viabilização dessa prática. Os metais pesados podem expressar seu potencial poluente diretamente nos organismos do solo, pela disponibilidade às plantas em níveis tóxicos, além da possibilidade de transferência para a cadeia alimentar por meio das próprias plantas ou pela contaminação das águas de superfície e subsuperfície (Chang et al., 1997; Oliveira & Mattiazzo, 2001). O consumo de plantas contendo elevados teores de metais pesados pode acarretar sérios riscos à saúde humana (Silveira et al., 2003; Nogueira et al., 2008). Os metais pesados apresentam efeito acumulativo no organismo e podem causar vários distúrbios no sistema nervoso (Ferreira & Anjos, 2001). Assim, é necessário verificar o efeito do uso desse resíduo sobre os teores de metais pesados no solo.

Trabalhos de pesquisa já foram realizados para verificar as variações

em atributos químicos do solo decorrentes da aplicação de resíduos de fábrica de celulose (Suzuki et al., 1991), resíduo siderúrgico (Prado & Fernandes, 2000), resíduos de curtume e carbonífero (Ferreira et al., 2003) e lodo de esgoto (Anjos & Mattiazzo, 2000; Borges & Coutinho, 2004; Nascimento et al., 2004). No entanto, há escassez de trabalhos sobre o uso de resíduo de reciclagem de papel para correção da acidez do solo ou como fonte de nutrientes às plantas, bem como sobre possíveis impactos nos teores de metais pesados no solo.

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de resíduo de reciclagem de papel, aplicado em diferentes doses em solo ácido, sobre atributos químicos do solo relacionados à sua fertilidade e sobre os teores de metais pesados no solo.

Material e métodos

O trabalho foi conduzido no Campo Experimental Salto Canoinhas, da Epagri/Estação Experimental de Canoinhas, município de Papanduva, SC (26°22'15" latitude sul, 50°16'37" longitude oeste e 800m de altitude). O experimento foi conduzido em delineamento experimental de blocos completos casualizados, com três repetições. Alguns atributos físicos e químicos do solo onde foi implantado o experimento eram os seguintes:

520g/kg de argila; $pH_{\text{água}} = 4,9$; $I_{\text{SMP}} = 4,9$; $P = 1,2\text{mg}/\text{dm}^3$; $K = 52\text{mg}/\text{dm}^3$; $MO = 41\text{g}/\text{kg}$; $Al = 1\text{cmol}_c/\text{dm}^3$; $Ca = 5,2\text{cmol}_c/\text{dm}^3$; $Mg = 3,5\text{cmol}_c/\text{dm}^3$. O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho (Embrapa, 1999).

Os tratamentos consistiram da aplicação de resíduo de reciclagem de papel nas seguintes doses (base úmida): 64, 127, 191, 254, 382 e 509t/ha, somente no início do experimento. Também foi conduzido um tratamento referência, com aplicação de 10,7t/ha de calcário dolomítico (PRNT 100%), dose recomendada para atingir $pH_{\text{água}} 6$ (Sociedade..., 2004), e um tratamento testemunha, sem aplicação de resíduo ou calcário. A composição química do resíduo utilizado no experimento, determinada segundo metodologia descrita por Tedesco et al. (1995), encontra-se na Tabela 1. Cada unidade experimental apresentou área total de 50m² (5m x 10m). Os produtos foram distribuídos uniformemente na área experimental nos dias 23 e 24 de junho de 2004, sendo depois incorporados ao solo por meio de uma aração e três gradagens, em profundidade de 20cm.

Nas safras estivais 2004/05, 2005/06 e 2006/07, foram semeadas em plantio direto as culturas de milho, e de soja e milho, respectivamente. Cultivaram-se nabo-forrageiro antecedendo o milho da safra 2004/05, ►

Tabela 1. Características químicas do resíduo de reciclagem de papel avaliado

Característica	Teor	Característica	Teor
Umidade (%)	65,00	Alumínio total (%)	6,30
Cinzas (%)	71,00	Ferro total (%)	0,28
pH	7,60	Manganês total (mg/dm ³)	59,00
Valor de neutralização (%)	24,00	Cobre total (mg/dm ³)	176,00
Cond. elétrica (µS/cm)	129,00	Zinco total (mg/dm ³)	132,00
Carbono orgânico (%)	15,00	Chumbo total (mg/dm ³)	27,00
Nitrogênio (TKN) (%)	0,28	Níquel total (mg/dm ³)	< 5,00
P ₂ O ₅ total (%)	0,16	Cádmio total (mg/dm ³)	< 2,00
K ₂ O total (%)	0,11	Cromo total (mg/dm ³)	46,00
CaO total (%)	13,00	Mercúrio (mg/dm ³)	0,04
MgO total (%)	0,83	Molibdênio (mg/dm ³)	< 15,00
Sódio total (%)	0,66	Cobalto total (mg/dm ³)	16,00
Enxofre total (%)	0,07	Boro total (mg/dm ³)	11,00

Nota: Resultados expressos no material seco a 75°C.

aveia-preta antecedendo a soja da safra 2f005/06, e consórcio de aveia-preta + nabo-forrageiro antecedendo o milho da safra 2006/07. Os cultivos de inverno não receberam adubação. Os cultivos estivais foram adubados seguindo recomendação técnica (Sociedade..., 2004). Todos os tratamentos receberam a mesma adubação.

As coletas de amostras de solo foram realizadas em março de 2005, abril de 2006 e abril de 2007, respectivamente 9, 22 e 34 meses após a aplicação, na camada de zero a 20cm de profundidade, com auxílio de uma pá de corte. Em cada parcela coletaram-se, nas entrelinhas das culturas de verão, 15 subamostras de solo, as quais constituíram uma amostra para cada parcela. As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Análises do Solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), sendo determinados $pH_{\text{água}}$; I_{SMP} ; Ca Mg e Na trocáveis (extraídos com KCl 1mol/L); P (Mehlich); Zn e Cu (extraídos com HCl 0,1mol/L); Hg (metodologia da United State Environmental Protection – Usepa 7471 A); e Pb, Ni, Cd e Cr (metodologia Usepa 3050).

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância e ao teste F. Quando comprovada existência de diferença significativa entre tratamentos, a 5% de probabilidade, realizou-se análise de regressão. Selecionou-se o modelo que apresentou o melhor ajuste aos dados e ao fenômeno investigado.

Resultados e discussão

Houve aumento do pH do solo em decorrência da aplicação do resíduo de reciclagem de papel, comprovado nas três coletas realizadas (Figura 1). Em doses acima de 64t/ha de resíduo, o $pH_{\text{água}}$ alcançou valores acima de 5,5 nas três amostragens. Em $pH_{\text{água}}$ acima de 5,5 já não há mais alumínio tóxico no solo (Sociedade..., 2004). O calcário, como esperado, também elevou o $pH_{\text{água}}$ do solo acima de 5,5. Mesmo nas maiores doses do resíduo, o $pH_{\text{água}}$ do solo não passou de 6 em amostragem realizada 9 meses após a aplicação. No segundo ano, o $pH_{\text{água}}$ atingiu 6,5 e, no terceiro ano,

alcançou valores próximos a 7. Esse resultado demonstra que o resíduo apresentou efeito de curto e de longo prazo sobre o pH do solo, já que o $pH_{\text{água}}$ aumentou de 5,2 para valores próximos a 6 após 9 meses da aplicação, e continuou aumentando até a última coleta, efetuada 34 meses após a aplicação do resíduo (Figura 1).

Após 34 meses da aplicação do resíduo, o $pH_{\text{água}}$ alcançou valores superiores a 6,5 nas maiores doses avaliadas (Figura 1), o que é muito elevado para as culturas de soja e de milho. Em $pH_{\text{água}}$ próximo à neutralidade, pode haver reduzida atividade microbiana e baixa disponibilidade de alguns micro-

reaplicações do resíduo somente podem ser realizadas com base em resultado de análise de solo que comprove redução de $pH_{\text{água}}$ para valor inferior a 5,5. Se o $pH_{\text{água}}$ do solo estiver acima de 6,5 e for realizada aplicação ou reaplicação do resíduo, mesmo que em doses baixas, certamente ocorrerá elevação excessiva de pH, denominada supercalagem, que pode afetar negativamente a produtividade de várias culturas (Tanaka et al., 1992).

Em experimento realizado em vasos, com o mesmo resíduo, verificou-se aumento de pH até valores acima de 8 (Balbinot Jr. et al., 2006), comprovando que o produto testado possui poder de

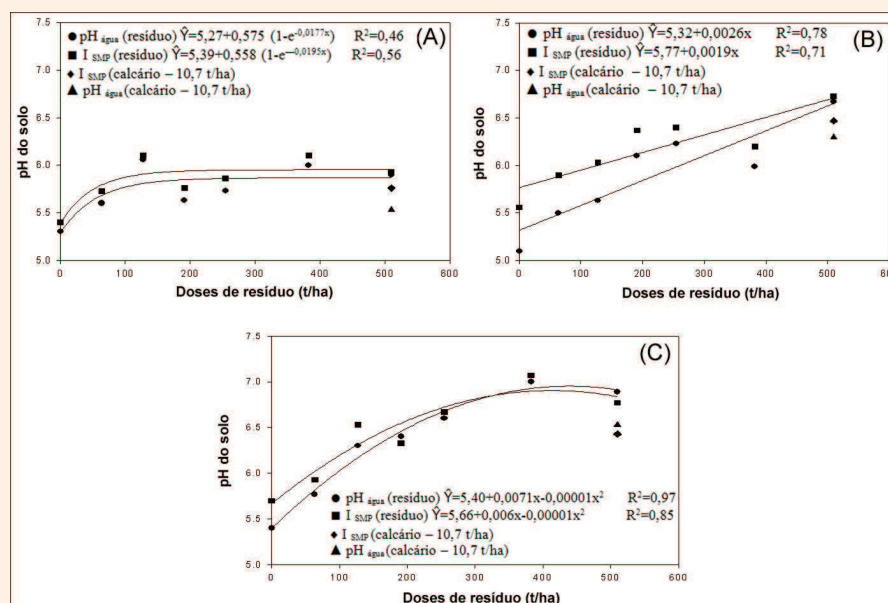


Figura 1. $pH_{\text{água}}$ e I_{SMP} do solo em decorrência da aplicação de diferentes doses de resíduo de reciclagem de papel ou de calcário em dose única, em três épocas de amostragem. (A) 9 meses após a aplicação; (B) 22 meses após a aplicação; e (C) 34 meses após a aplicação

nutrientes, tais como Mn, Fe, Zn e Cu (Kabata-Pendias & Pendias, 1984). O $pH_{\text{água}}$ do solo adequado para a maioria das culturas anuais se situa na faixa de 5,5 a 6,5 (Marschner, 1995). Esse resultado indica que a dose do resíduo úmido não poderia ultrapassar 200t/ha, para manter o pH em níveis adequados ao crescimento e desenvolvimento de culturas como o milho e a soja. Essa dose obrigatoriamente deve ser incorporada ao solo para possibilitar o cultivo da área. Da mesma forma, esse resultado evidencia que

neutralização da acidez do solo. Em campo, o aumento do $pH_{\text{água}}$ e I_{SMP} do solo foi menos elevado do que em vasos porque há maior número de variáveis bióticas e abióticas influenciando a relação entre o resíduo de reciclagem de papel e o pH do solo, até mesmo um possível deslocamento do efeito do corretivo abaixo da camada onde o mesmo foi incorporado.

O resíduo afetou significativamente os teores de Ca e Mg no solo (Figura 2). Na primeira amostragem, 9 meses após a aplicação, com o aumento da dose de resíduo houve

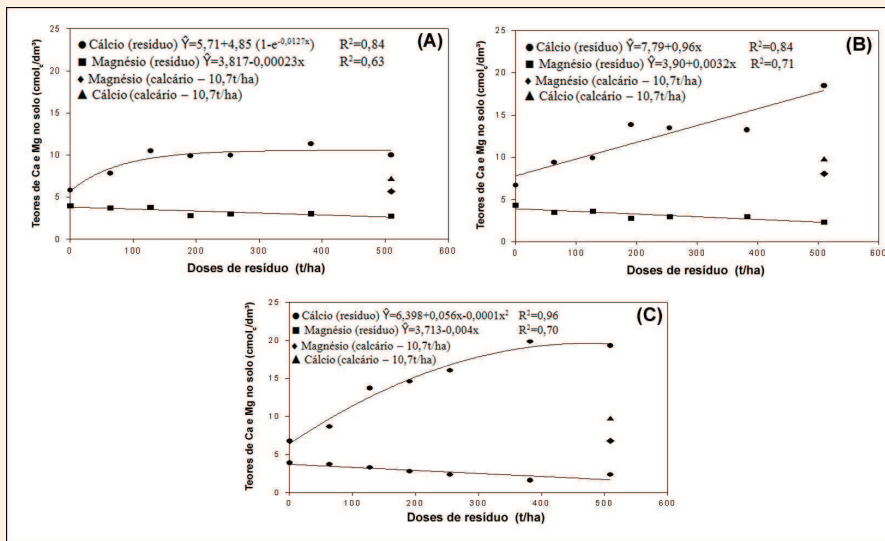


Figura 2. Teores de Ca e Mg no solo em decorrência da aplicação de diferentes doses de resíduo de reciclagem de papel ou de calcário em dose única, em três épocas de amostragem. (A) 9 meses após a aplicação; (B) 22 meses após a aplicação; e (C) 34 meses após a aplicação

aumento no teor de Ca até aproximadamente 200t/ha, estabilizando a partir dessa dose. Na segunda amostragem, 22 meses após a aplicação, o aumento do teor de Ca ocorreu de forma linear com o aumento da dose do resíduo aplicada. Na terceira amostragem, 34 meses após a aplicação, o teor de Ca se estabilizou com dose aproximada de 400t/ha de resíduo. O aumento significativo nos teores de Ca com a aplicação do resíduo ocorreu porque esse produto possui CaO em sua composição (Tabela 1).

Por outro lado, houve decréscimo no teor de Mg trocável com o aumento da dose de resíduo (Figura 2), o que pode ter ocorrido devido ao aumento das cargas negativas do solo pela elevação de pH (cargas dependentes de pH), associado à elevação do teor e da saturação de Ca na CTC, como também determinado por Medeiros et al. (2008), em solo similar. A lixiviação de Mg para camadas mais profundas também pode ter ocorrido, tanto pelo efeito de aumento da concentração de Ca como pela maior energia de ligação deste nas cargas do solo (Barber, 1984). O calcário, por sua vez, promoveu aumentos nos teores de Ca e Mg em relação à testemunha (sem aplicação de resíduo e calcário), pois apresenta elevados teores desses dois elementos. Resultados semelhantes

foram obtidos em experimento conduzido com o mesmo resíduo em vasos (Balbinot Jr. et al., 2006).

Em decorrência do aumento no teor de Ca e redução no teor de Mg promovidos pela aplicação do resíduo no solo, a relação Ca/Mg aumentou com o incremento das doses de resíduo avaliadas, atingindo valores próximos a 4, 8 e 12, respectivamente na primeira, segunda e terceira amostragem. No entanto, com a aplicação de calcário, houve comportamento inverso, ou seja, redução da relação Ca/Mg em comparação com a testemunha. Esses resultados indicam que o resíduo testado apresenta alto potencial para aumentar a relação Ca/Mg do solo, e que esse efeito de aumento da relação Ca/Mg foi contínuo até 34 meses, podendo ainda aumentar com o decorrer do

tempo, até que inicie a perda do efeito residual do corretivo. Em muitas áreas cultivadas a relação Ca/Mg é inferior a 2, devido à utilização intensa de calcário dolomítico (Oliveira et al., 2002), situação na qual o resíduo testado pode ser utilizado para elevar essa relação, mesmo tendo sido observado que o rendimento da maior parte das culturas não é afetado por relações Ca/Mg variando de 0,5 até mais de 10, desde que nenhum dos dois nutrientes esteja em deficiência (Sociedade..., 2004). Adicionalmente, esse resíduo pode ser usado em culturas que requerem elevada disponibilidade de Ca no solo para adequado crescimento e desenvolvimento, como, por exemplo, a maçã e o tomate.

Na segunda e na terceira amostragem (22 e 34 meses após a aplicação, respectivamente), constatou-se aumento linear no teor de P com o aumento da dose de resíduos (Figura 3). Esse aumento ocorreu tanto pelo aumento do pH do solo (Figura 1) e consequente aumento da disponibilidade de P na solução do solo, como pelo fato de o resíduo possuir P_2O_5 em sua constituição (Tabela 1). Com a aplicação da maior dose (509t/ha) houve adição de aproximadamente 285kg/ha de P_2O_5 , considerando o teor de umidade do resíduo de 65% e o teor de P_2O_5 de 0,16%. O baixo teor de P se constitui em um dos principais problemas relacionados à fertilidade do solo na Região Sul do Brasil (Sociedade..., 2004).

Observou-se aumento linear no teor de Na com o acréscimo da dose de resíduo na primeira e terceira

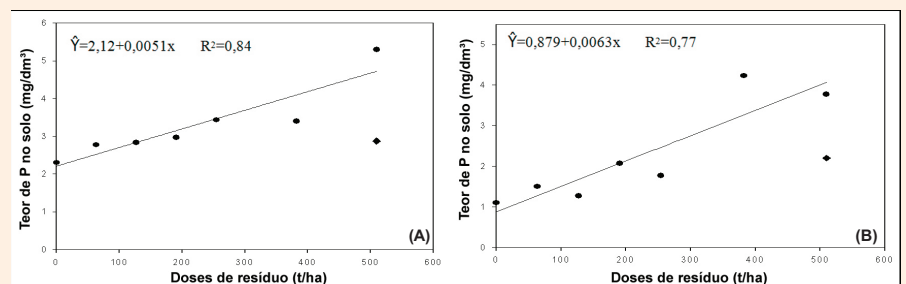


Figura 3. Teor de P no solo em decorrência da aplicação de diferentes doses de resíduo de reciclagem de papel (●) ou de calcário em dose única (◆), em duas épocas de amostragem. (A) 22 meses após a aplicação e (B) 34 meses após a aplicação

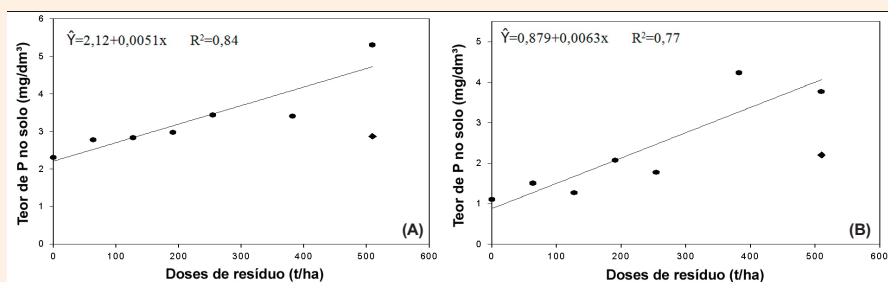


Figura 4. Teor de P no solo em decorrência da aplicação de diferentes doses de resíduo de reciclagem de papel (•) ou de calcário em dose única (), em duas épocas de amostragem. (A) 9 meses após a aplicação e (B) 34 meses após a aplicação

Tabela 2. Teores de metais pesados no solo em três épocas de amostragem em decorrência da aplicação de doses de resíduo de reciclagem de papel ou de calcário dolomítico no solo em dose única (10,7t/ha)¹

Tratamento (t/ha)mg/dm ³						
	Hg ⁽²⁾	Pb ⁽²⁾	Ni ⁽²⁾	Cd ⁽²⁾	Cr ⁽²⁾	Zn ⁽²⁾	Cu ⁽²⁾
9 meses após a aplicação							
0	0,040 ^{ns}	20,67 ^{ns}	11,00 ^{ns}	< 1	36,33 ^{ns}	0,67 c	0,87 ^{ns}
64	0,040	21,67	8,67	< 1	36,67	1,23 b	0,87
127	0,043	21,00	10,67	< 1	39,67	2,23 a	0,67
191	0,073	20,33	10,67	< 1	41,00	2,00 a	0,80
254	0,043	19,67	11,00	< 1	40,33	2,03 a	0,70
382	0,043	21,00	11,00	< 1	42,33	2,40 a	0,67
509	0,066	21,33	9,67	< 1	38,33	2,26 a	0,77
Calcário	0,063	21,00	10,67	< 1	39,67	0,73 c	0,70
22 meses após a aplicação							
0	0,043 ^{ns}	20,67 ^{ns}	13,00 ^{ns}	0,40 ^{ns}	43,00 ^{ns}	0,80 c	0,97 a ⁽³⁾
64	0,053	21,33	13,33	0,37	45,00	1,27 b	0,83 a
127	0,047	20,67	13,33	0,30	45,00	1,30 b	0,70 b
191	0,047	19,67	14,33	0,50	45,67	2,63 a	0,57 b
254	0,053	19,33	14,33	0,40	44,33	2,43 a	0,47 c
382	0,050	20,33	14,00	0,37	45,33	2,03 a	0,60 b
509	0,057	19,00	13,33	0,33	43,33	2,17 a	0,23 c
Calcário	0,053	21,00	13,67	0,43	45,67	0,73 c	0,36 c
34 meses após a aplicação							
0	0,050 ^{ns}	24,00 ^{ns}	13,00 ^{ns}	0,50 ^{ns}	42,00 ^{ns}	0,90 b	1,30 a ⁽³⁾
64	0,043	23,33	11,33	0,47	46,33	1,07 b	0,77 b
127	0,037	23,00	12,33	0,53	42,00	2,57 a	0,30 c
191	0,043	23,67	14,00	0,53	47,67	2,60 a	0,27 c
254	0,043	24,00	13,00	0,57	45,00	2,20 a	0,17 d
382	0,043	21,33	12,33	0,53	41,33	1,20 b	0,10 d
509	0,043	24,33	12,67	0,50	43,33	1,93 a	0,10 d
Calcário	0,043	23,00	13,67	0,47	46,00	0,90 b	0,23 c

⁽¹⁾ Resultados expressos no material seco a 45°C. Média de três repetições. Em cada repetição foram feitas duas determinações.

⁽²⁾ Mercúrio determinado em vapor frio e outros metais em ICP-OES.

^{ns} Teste F não significativo.

Nota: Médias seguidas das mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

amostragens (Figura 4). Isso ocorreu porque o resíduo possui Na em sua composição (Tabela 1). Aumento excessivo de Na no solo pode ocasionar problemas como salinização e dispersão de argila, comprometendo a estrutura do solo. Contudo, o aumento do teor de Na observado no presente trabalho não ultrapassou o teor crítico desse elemento no solo – acima de 15% da CTC (Fassbender & Bornemiza, 1994).

Verificou-se que a aplicação de resíduo de reciclagem de papel, mesmo nas maiores doses, não afetou os teores de Hg, Pb, Ni, Cd e Cr no solo, fato observado nas três amostragens de solo, realizadas aos 9, 22 e 34 meses após a aplicação (Tabela 2). Nas três épocas, constatou-se aumento no teor de Zn em decorrência da aplicação do resíduo. Isso ocorreu devido à adição desse elemento ao solo via resíduo. Após 34 meses da aplicação, observaram-se menores teores de Cu nas maiores doses de resíduo, embora o resíduo testado também possuísse Cu (Tabela 1). Isto provavelmente ocorreu porque o resíduo promoveu aumento do pH do solo, que, por sua vez, promove precipitação do Cu na forma de hidróxido, reduzindo a sua disponibilidade (Souza et al., 2007). Essa reação também era esperada para o Zn, porém não foi observada. Salienta-se que, em todos os tratamentos, os teores de metais pesados avaliados ficaram abaixo dos limites críticos estabelecidos pela Usepa (1993), pela Diretriz da Comunidade Europeia (Ferreira et al., 1999) e pela Cetesb (2005). Resultados similares aos apresentados nesse trabalho, no tocante aos metais pesados, também foram obtidos em experimento conduzido em vasos, com a aplicação do mesmo resíduo (Balbinot Jr. et al., 2006). Entretanto, ainda não há informação sobre a possibilidade de aumento de teores de metais pesados no solo em decorrência de reaplicação desse resíduo, seja incorporado ou em superfície.

Conclusões

O resíduo de reciclagem de papel promoveu elevação do pH do solo, dos teores de Ca, P e Na e da relação Ca/Mg.

Os teores de Hg, Pb, Ni, Cd e Cr no solo não foram afetados pelo resíduo de reciclagem de papel aplicado em solo ácido, mesmo nas maiores doses avaliadas. No entanto, o resíduo promoveu aumento dos teores de Zn e redução dos teores de Cu disponíveis no solo.

Agradecimentos

À empresa Mili S.A., de Três Barras, SC, pelo apoio à pesquisa.

Literatura citada

1. ABNT. NBR 10004. *Resíduos sólidos, classificação de resíduos*. Rio de Janeiro, 2004. 63p.
2. ABREU JR. C.H.; MURAOKA, T.; LAVORANTE, A.F. Relationship between acidity and chemical properties of Brazilian soils. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.60, n.2, p.337-343, 2003.
3. ANJOS, A.R.M. dos; MATTIAZZO, M.E. Metais pesados em plantas de milho cultivadas em Latossolos repetidamente tratados com biossólido. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.57, n.4, p.769-776, 2000.
4. BALBINOT JR., A.A.; TÔRRES, A.N.L.; FONSECA, J.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, n.1, p.16-25, 2006.
5. BARBER, S.A. *Soil nutrient bioavailability – a mechanistic approach*. Nova York: John Willey & Sons, 1984. 398p.
6. BORGES, M.R.; COUTINHO, E.L.M. Metais pesados do solo após aplicação de biossólido. II - Disponibilidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.28, n.3, p.557-568, 2004.
7. CHANG, A.C.; HYUN, H.; PAGE, A.L. Cadmium uptake for swiss chard growth on composted sewage sludge treated field plots: plateau or time bomb? *Journal of Environmental Quality*, Madison, v.26, n.1, p.11-19, 1997.
8. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. Decisão de diretoria Nº195-2005-E, de 23 de novembro de 2005. Disponível em: <www.cetesb.sp.gov.br/solo/relatorios/tabela_valores_/2005.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2009.
9. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: Embrapa-SPI, 1999. 412p.
10. FASSBENDER, H.W.; BORNEMIZA, E. *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. 2.ed. San José: IICA, 1994. 420p.
11. FERREIRA, A.C.; ANDREOLI, C.V.; LARA, A.I. Riscos associados ao uso de lodo de esgoto. In: PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO – PROSAB. *Uso e manejo de lodo de esgoto na agricultura*. Rio de Janeiro, 1999. p.29-33.
12. FERREIRA, J.A.; ANJOS, L.A. dos. Aspectos de saúde coletiva e ocupacional associados à gestão dos resíduos sólidos municipais. *Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v.17, n.3, p.689-696, 2001.
13. FERREIRA, A.S.; CAMARGO, F.A.O.; TEDESCO, M.J. et al. Alterações de atributos químicos e biológicos de solo e rendimento de milho e soja pela utilização de resíduos de curtume e carbonífero. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.27, n.4, p.755-763, 2003.
14. FIERRO, A.; ANGERS, D.A.; BEAUCHAMP, C.J. Dynamics of physical organic matter fractions during deinking sludge decomposition. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.63, n.5, p.1013-1018, 1999.
15. FOLEY, B.J.; COOPERBAND, L.R. Paper mill residuals and compost effects on soil carbon and physical properties. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v.31, n.6, p.2086-2095, 2002.
16. KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. *Trace elements in soils and plants*. Flórida: Boca Raton, 1984. 315p.
17. MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. London: Academic Press, 1995. 888p.
18. MEDEIROS, J.C.; ALBUQUERQUE, J.A.; MAFRA, A.L. et al. 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: Ciências Agrárias*, Londrina, v.29, n.4, p.799-806, 2008.
19. NASCIMENTO, C.W.A.; BARROS, D.A.S.; MELO, E.E.C. et al. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.28, n.2, p.385-392, 2004.
20. NEMATÍ, M.R.; CARON, J.; GALLICHAND, J. Using paper de-inking sludge to maintain soil structural form. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.64, n.1, p.275-285, 2000.
21. NOGUEIRA, T.A.R.; OLIVEIRA, L.R.; MELO, W.J. de. et al. Cádmiu, cromo, chumbo e zinco em plantas de milho e em Latossolo após nove aplicações anuais de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.33, n.5, p.2195-2207, 2008.
22. OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E. Metais pesados em Latossolo tratado com lodo de esgoto e em plantas de cana-de-açúcar. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.58, n.3, p.581-593, 2001.
23. OLIVEIRA, H.J.; ERNANI, P.R.; AMARANTE, C.V. Alteração na composição química das fases sólida e líquida de um solo ácido pela aplicação de calcário e gesso agrícola. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v.1, n.1, p.93-101, 2002.
24. PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo cultivado com cana-de-açúcar em vasos. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.57, n.4, p.739-744, 2000.
25. SILVEIRA, M.L.A.; ALLEONI, L.R.F.; GUILHERME, L.R.G. Biosolids and heavy metals in soils. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.60, n.4, p.793-806, 2003.
26. SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. *Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*. 10.ed. Porto Alegre, RS: SBCS/Núcleo Regional Sul; Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, 2004. 394p.
27. SOUZA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds.). *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.206-274.
28. SUZUKI, A.; BASSO, C.; KITAZAWA, I.H. O uso da lama de cal como corretivo da acidez do solo. *Agropecuária Catarinense*, Florianópolis, v.4, n.1, p.8-11, 1991.
29. TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; BULISANI, E.A. Deficiência de manganês em soja induzida por excesso de calcário. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.27, n.2, p.247-250, 1992.
30. TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A. et al. *Análise de solo, plantas e outros materiais*. 2.ed. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 174p.
31. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. *Final rules: Standards for the use or disposal of sewage sludge*, 1993. Part 503. ■