

# Atributos de solo e rendimento da cultura do milho em função da aplicação de resíduo de reciclagem de papel em um Cambissolo Háplico

Lilian Alves De Marco<sup>1</sup>, Alvadi Antonio Balbinot Junior<sup>2</sup>, Therezinha Maria Novais de Oliveira<sup>3</sup>, José Alfredo da Fonseca<sup>4</sup>, Epitágoras Rodson Oliveira Costa<sup>5</sup> e Milton da Veiga<sup>6</sup>

**Resumo** – O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de resíduo de reciclagem de papel sobre os atributos químicos de um Cambissolo Háplico muito ácido e no rendimento da cultura do milho. Utilizou-se o delineamento experimental de blocos casualizados, com três repetições. Foram avaliadas as seguintes doses de resíduo úmido: 50, 100, 150, 250, 400 e 600t/ha. Além disso, testou-se um tratamento padrão, com calcário dolomítico na dose para atingir pH 6 na água e uma testemunha, sem calcário ou resíduo. O resíduo corrigiu a acidez do solo, bem como melhorou outros atributos químicos. Os teores de metais pesados no solo não foram afetados pelos tratamentos. O rendimento de máxima eficiência técnica do milho foi observado com a aplicação de 308t/ha de resíduo úmido.

**Termos para indexação:** acidez do solo, metais pesados, produtividade de grãos.

## Soil attributes and maize yield affected by the application of recycling paper residues in an Inceptisol

**Abstract** – The objective of this study was to evaluate the effect of recycling paper residues on the chemical attributes of an acid Inceptisol and on maize yield. The experiment had a randomized block design, with three replications. The authors evaluated doses of recycling paper residues in these amounts: 50, 100, 150, 250, 400 and 600t/ha of wet mass. In addition, there was an evaluation of a treatment with lime to reach pH 6 in water and a control group, without either residue or lime application. The residue increased soil pH and improved other chemical properties. The level of heavy metals in the soil was not affected by the residues, even in greater doses. The highest maize grain yield was observed with 308t/ha of residues.

**Index terms:** soil acidity, heavy metals, grain yield.

## Introdução

Um dos objetivos da reciclagem de resíduos é reduzir a contaminação ambiental. A transformação de papel descartado, como revistas e jornais, em novos produtos de valor comercial, como papel higiênico, gera quantidade expressiva de rejeito. Esse produto apresenta característica de uma massa fibrosa de cor acinzentada, sendo classificado como um resíduo IIA – não inerte (ABNT, 2004). Devido ao elevado volume produzido e à baixa permeabilidade do resíduo, sua alocação em aterros sanitários apresenta elevado

custo, além de representar um passivo ambiental.

O emprego de resíduos de reciclagem de papel para correção da acidez do solo em doses apropriadas tem-se mostrado eficaz, sem causar impacto ambiental significativo em relação ao aumento dos teores de metais pesados no solo e nos grãos produzidos (Balbinot Jr. et al., 2006a; Balbinot Jr. et al., 2006b; Balbinot Jr. et al., 2010a; Balbinot Jr. et al., 2010b; Costa et al., 2009). No resíduo gerado pelo processo de reciclagem de papel, constata-se a 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 limitam o adequado desenvolvimento de culturas agrícolas, incluindo o milho.

A hipótese deste trabalho é de que a aplicação de resíduo de reciclagem de papel em um Cambissolo Háplico muito ácido melhora sua fertilidade sem alterar significativamente os teores de metais pesados disponíveis no solo. Nesse sentido, o objetivo foi avaliar o efeito do resíduo de reciclagem de papel, aplicado em diferentes doses em Cambissolo Háplico com pH muito baixo, sobre seus atributos químicos e sobre a produtividade da cultura do milho. ►

Aceito para publicação em 20/12/11.

<sup>1</sup> Eng.-agr., Programa de Mestrado em Engenharia de Processos, Universidade da Região de Joinville (Univille). Rua 258, 25, apto 302, Itapema, SC, e-mail: lilianagronomia@hotmail.com.

<sup>2</sup> Eng.-agr., Dr., Embrapa Soja, C.P. 231, 86001-970 Londrina, PR, fone: (43) 3371-6058, e-mail: balbinot@cnpso.embrapa.br (autor para correspondência).

<sup>3</sup> Eng. sanitária, Dra., Programa de Mestrado em Engenharia de Processos, Universidade da Região de Joinville (Univille), e-mail: tnovais@univille.br.

<sup>4</sup> Eng.-agr., M.Sc., Epagri/Estação Experimental de Canoinhas, BR-280, km 219,5, Campo da Água Verde, C.P. 216, 89.460-000 Canoinhas, e-mail: fonseca@epagri.sc.gov.br.

<sup>5</sup> Eng.-agr., M.Sc., Companhia Volta Grande de Papel. Rua Adolfo Trentini, 1.232, Industrial Norte, 89295-000 Rio Negrinho, e-mail: epitagorasc@cvg.ind.br

<sup>6</sup> Eng.-agr., Dr., Epagri/Estação Experimental de Campos Novos, C.P. 116, 89620-000 Campos Novos, email: milveiga@epagri.sc.gov.br.

## Material e métodos

O experimento foi implantado em propriedade particular, localizada no município de Canoinhas, SC (50°16' longitude oeste, 26°11' latitude sul e 800m de altitude), em um Cambissolo Háplico (Embrapa, 2004) com elevada acidez. Alguns atributos físicos e químicos do solo analisados antes da aplicação dos tratamentos foram: 682g/kg de argila; pH em água = 4,7; índice SMP = 4,6; P (resina) = 14,6mg/dm<sup>3</sup>; K = 184mg/dm<sup>3</sup>; MO = 46g/kg; Al = 8,6cmolc/dm<sup>3</sup>; Ca = 0,8cmolc/dm<sup>3</sup>; Mg = 0,5cmolc/dm<sup>3</sup>.

Utilizou-se o delineamento experimental de blocos completos casualizados, com três repetições. Os tratamentos consistiram da aplicação das doses de 50, 100, 150, 250, 400 e 600t/ha de resíduo de reciclagem de papel (base úmida), as quais foram determinadas com base no trabalho desenvolvido por Balbinot et al. (2006b). Também foi utilizado um tratamento referência, com aplicação de 15,1t/ha de calcário dolomítico (100% PRNT), dose recomendada para atingir pH 6 (Sociedade..., 2004), e um tratamento testemunha, sem aplicação de resíduo nem calcário. Algumas características químicas do resíduo utilizado no experimento, determinadas segundo metodologia descrita por Tedesco et al. (1995), se encontram na Tabela 1. Cada unidade experimental apresentou área total de 40m<sup>2</sup> (5m x 8m). O resíduo de reciclagem de papel e o calcário foram distribuídos nas parcelas em agosto de 2008, como ilustrado na Figura 1, sendo depois incorporados ao solo, até a profundidade de 20cm, por meio de uma aração e três gradagens.

Em novembro de 2008, semeou-se o milho Agroeste 1575 e utilizou-se a adubação recomendada em toda a área experimental (Sociedade..., 2004). O espaçamento entre fileiras adotado foi de 0,9m e densidade de 55 mil plantas/ha. Em março de 2009, o milho presente na área útil de 9m<sup>2</sup> foi colhido, trilhado e os grãos pesados, sendo os resultados de produtividade corrigidos para 13% de umidade. Os resíduos culturais foram distribuídos uniformemente nas parcelas a fim de não haver exportação de nutrientes via palha.



Figura 1. Vista geral do experimento no momento da aplicação do resíduo de reciclagem de papel e do calcário dolomítico. Canoinhas, SC

Em março de 2009, quando os grãos de milho apresentavam umidade de aproximadamente 18%, foram coletadas nas entrelinhas da cultura 15 subamostras de solo em cada unidade experimental, na profundidade de até 20cm, as quais formaram uma amostra composta. As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Análises da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), sendo determinado: pH em água; índice SMP; Ca, Mg e Na trocáveis (extraídos com KCl 1mol/L); P (Mehlich); Hg (Usepa, 1993, 7471 A); e Pb, Ni, Cd, e Cr (Usepa, 1993, 3050). A metodologia Usepa 3050 promove a extração dos metais considerados ambientalmente disponíveis.

Os dados coletados foram analisados estatisticamente por meio de análise de variância e teste F. Quando identificada a 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. As equações ajustadas apresentaram coeficientes significativos a 5% de probabilidade, com exceção da variável produtividade de grãos, cuja significância foi de 10% de probabilidade.

## Resultados e discussão

Houve aumento do pH em água e índice SMP do solo com o aumento da dose de resíduo de reciclagem

de papel (Figura 2), especialmente devido à presença de CaO no resíduo. Isso comprova que o produto tem efeito corretivo da acidez do solo, como discutido por Balbinot Jr. et al. (2006a) e Balbinot Jr. et al. (2010a), em trabalhos realizados em vasos e em Latossolo Vermelho. Nas doses acima de 120t/ha, o pH em água foi superior a 5,5, eliminando o alumínio trocável, que é tóxico para a maioria das culturas. Mesmo nas maiores doses de resíduo, o pH em água do solo máximo atingido foi 6,8. Em pH em água próximo à neutralidade, pode haver reduzida atividade microbiana e baixa disponibilidade de alguns micronutrientes, tais como Mn, Fe, Zn e Cu (Kabata-Pendias e Pendias, 1984). O pH em água do solo adequado para a maioria das culturas anuais se situa na faixa de 5,5 a 6,5 (Marschner, 1995). O calcário elevou o pH em água do solo para aproximadamente 5,8.

Observou-se aumento no teor de cálcio trocável com o aumento das doses de resíduo, até 400t/ha (Figura 3), e doses superiores a essa não aumentaram o teor desse nutriente. A aplicação de calcário também proporcionou aumento no teor de Ca no solo. Em decorrência do aumento no teor de Ca promovido pela aplicação do resíduo no solo, a relação Ca/Mg aumentou linearmente com o incremento das doses de resíduo avaliadas, atingindo valores próximos a 30 (Figura 4). No entanto, com a aplicação de calcário, houve

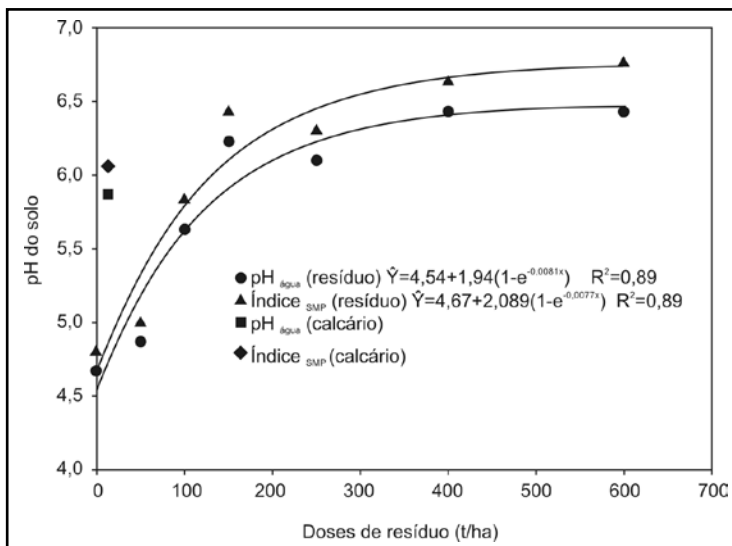


Figura 2. pH do solo em decorrência da aplicação de diferentes doses de resíduo de reciclagem de papel e com aplicação de calcário. Canoinhas, SC

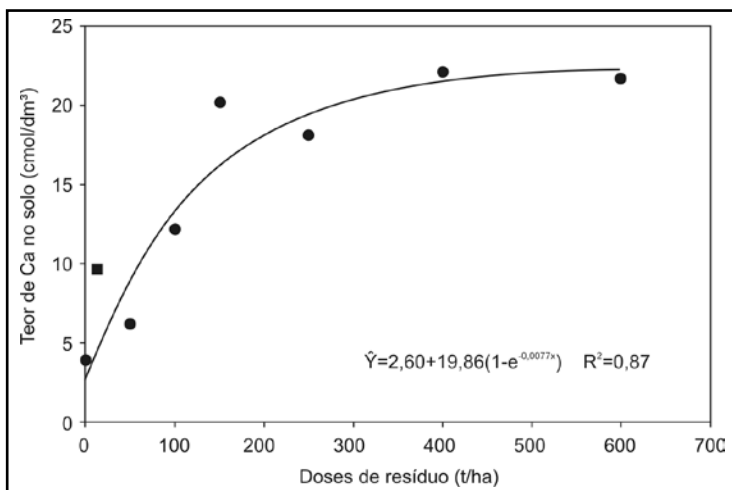


Figura 3. Teores de Ca trocável no solo em decorrência da aplicação de diferentes doses de resíduo de reciclagem de papel (●) e com aplicação de calcário (■). Canoinhas, SC

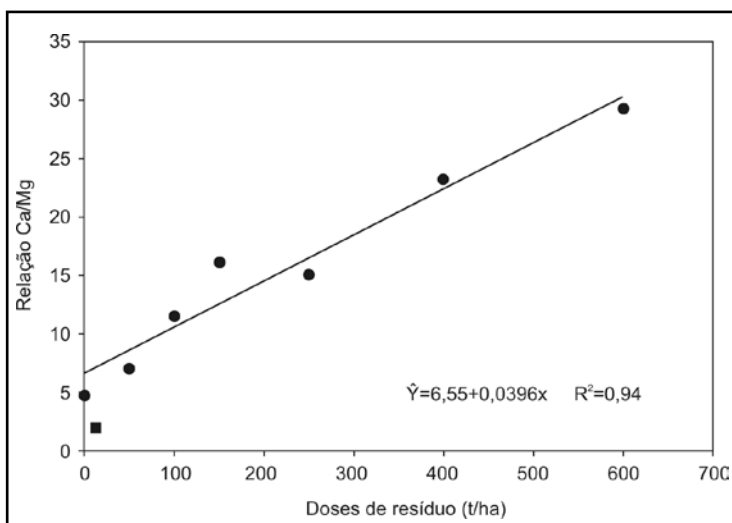


Figura 4. Relação Ca/Mg no solo em decorrência da aplicação de diferentes doses de resíduo de reciclagem de papel (●) e com aplicação de calcário (■). Canoinhas, SC

comportamento inverso, ou seja, redução da relação Ca/Mg em relação à testemunha. Esses resultados indicam que o resíduo testado apresenta alto potencial para aumentar a relação Ca/Mg do solo.

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.

Foi constatado aumento nos teores de fósforo extraível com o aumento das doses de resíduo até 240t/ha (Figura 5). Doses acima dessa reduziram o teor de fósforo, provavelmente em função da formação de fosfato de cálcio quando existe grande concentração de Ca no solo com pH mais elevado, conforme relatado por Ernani et al. (2000). Na maior dose de resíduo avaliada o teor de P extraível foi inferior à dose zero, indicando expressiva formação de fosfato de cálcio, o que é indesejável, já que o P é um macronutriente e seus teores em solos do sul do Brasil em geral são baixos (Sociedade..., 2004).

Observou-se aumento linear no teor de Na com o acréscimo da dose de resíduo (Figura 6). 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 para o desenvolvimento das principais culturas, acima de 15% da CTC (Fassbender & Bornemiza, 1994). Esse resultado também foi observado em experimento conduzido em vasos, com resíduo similar (Balbinot Jr. et al., 2006a).

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 disponíveis no solo (Tabela 2). Resultados similares aos apresentados neste trabalho, no tocante aos metais pesados, também foram obtidos em experimento conduzido em vasos, com a aplicação de resíduo similar (Balbinot Jr. et al., 2006a). Entretanto, ainda não há informações sobre a possibilidade de aumento de teores de metais pesados no solo em decorrência de reaplicação desse resíduo, seja incorporado, seja em superfície.

Alterações químicas observadas no solo em função da adição do resíduo, principalmente em termos de aumento de pH e de teores de Ca e P, propiciaram aumento na produtividade de grãos da cultura do milho até a dose de ▶

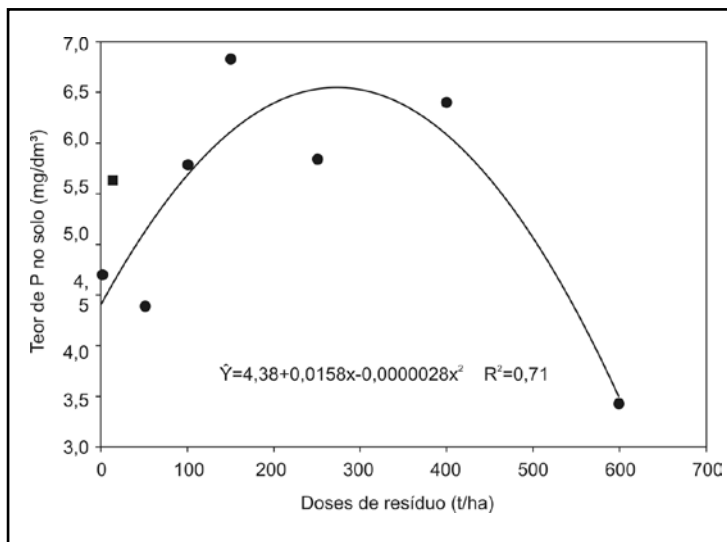


Figura 5. Teor de P no solo em decorrência da aplicação de diferentes doses de resíduo de reciclagem de papel (●) e com aplicação de calcário (■). Canoinhas, SC

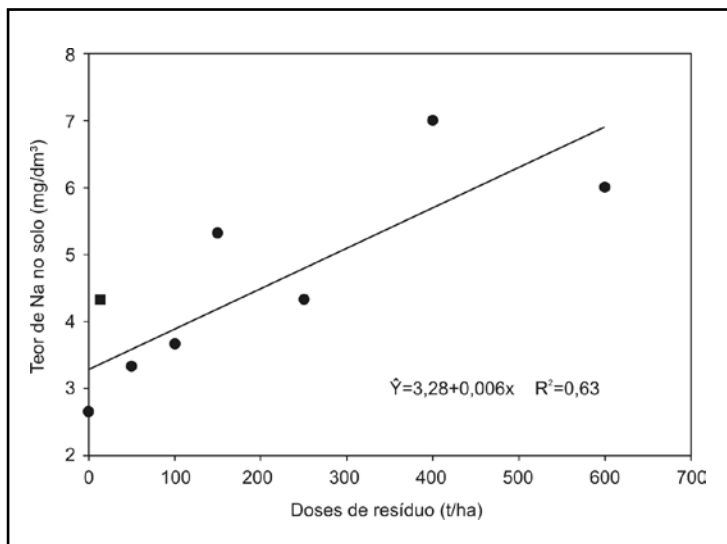


Figura 6. Teor de Na no solo em decorrência da aplicação de diferentes doses de resíduo de reciclagem de papel (●) e com aplicação de calcário (■). Canoinhas, SC

Tabela 1. Características químicas do resíduo de reciclagem de papel utilizado no experimento

Característica do resíduo	Quantidade
Umidade (g/kg)	630
pH	7,7
Carbono orgânico (g/kg)	200
Nitrogênio (TKN) (g/kg)	1,7
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total (g/kg)	0,7
K <sub>2</sub> O total (g/kg)	0,5
CaO total (g/kg)	240
MgO total (g/kg)	3,0
Enxofre total (g/kg)	0,7
Cobre total (mg/kg)	39
Zinco total (mg/kg)	306
Ferro total (g/kg)	2,4
Manganês total (mg/kg)	40
Sódio total (g/kg)	2,3
Boro total (mg/kg)	< 1
Chumbo total (mg/kg)	7
Níquel total (mg/kg)	4
Cádmio total (mg/kg)	< 0,2
Cromo total (mg/kg)	4
Mercúrio (mg/kg)	0,09
Molibdênio (mg/kg)	3
Cobalto total (mg/kg)	5
Alumínio total (g/kg)	25
Cinzas (g/kg)	610
Cond. elétrica (dS/cm)	0,88
Poder de neutralização (%)	44

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

Tabela 2. Teores de metais pesados no solo em decorrência da aplicação de doses de resíduo de reciclagem de papel no solo e calcário dolomítico. Canoinhas, SC

Tratamento (t/ha)	Mercúrio (Hg)	Chumbo (Pb)	Níquel (Ni)	Cádmio (Cd)	Cromo (Cr)
	mg/kg.....				
0	0,057 <sup>ns</sup>	21,3 <sup>ns</sup>	14,3 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	34,67 <sup>ns</sup>
50	0,053	20,3	15,3	0,20	34,67
100	0,050	19,7	14,0	0,20	31,67
150	0,060	19,3	12,7	0,20	29,67
250	0,065	20,5	12,5	0,20	30,50
400	0,063	20,0	14,3	0,20	32,00
600	0,060	23,0	12,7	0,20	31,33
Calcário (15,1 t/ha)	0,063	17,3	14,3	0,20	27,67

Notas: - Resultados expressos no material seco a 45°C.

- Média de três repetições. Em cada repetição foram feitas duas determinações.

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

ns = Diferenças não significativas a 5% de probabilidade de erro.



308t/ha (114t/ha de resíduo seco), ponto de máxima eficiência técnica, estimado com base no modelo ajustado, por meio de derivada (Figura 7). Doses superiores a essa reduziram a produtividade, provavelmente devido à menor disponibilidade de fósforo, combinada com o aumento excessivo do pH.

Nesse contexto, a hipótese deste trabalho foi comprovada, pois em doses intermediárias de resíduo houve melhoria na fertilidade do solo, o que se refletiu em aumento na produtividade de grãos de milho em relação à testemunha. Adicionalmente, não houve alterações nos teores ambientalmente disponíveis de metais pesados no solo, indicando ser possível o uso do resíduo industrial testado como corretivo da acidez do solo.

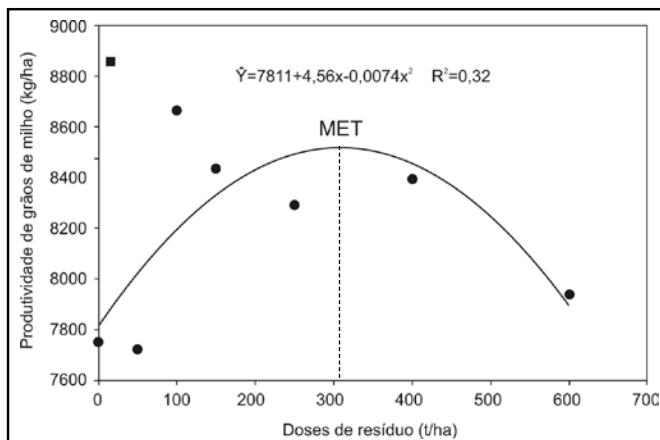


Figura 7. Produtividade de grãos de milho com diferentes doses de resíduo de reciclagem de papel (●) e com aplicação de calcário (■). Canoinhas, SC.

MET = máxima eficiência técnica.

## Conclusão

O resíduo de reciclagem de papel aplicado em um Cambissolo Háptico muito ácido melhorou alguns atributos químicos do solo, principalmente o pH e os teores de cálcio e fósforo, bem como aumentou a produtividade de grãos de milho, mas não modificou os teores de metais pesados no solo.

## Agradecimentos

À Companhia Volta Grande de Papel, pelos recursos para a realização deste trabalho.

Ao senhor Rodrigo Rocha, por ceder a área experimental.

## Literatura citada

- ABNT. **NBR 10004, 2004**. Resíduos sólidos, classificação de resíduos. Rio de Janeiro, 2004, 63p.
- BALBINOT JR., A.A.; TÔRRES, A.N.L.; FONSECA, J.A. et al. Crescimento e teores de nutrientes em tecido de alface pela aplicação de calcário e resíduos de reciclagem de papel num solo ácido. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.5, n.1, p.9-15, 2006a.
- 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, 2006b.
- BALBINOT JR., A.A.; VEIGA, M.; FONSECA, J.A. Aplicação de resíduo de reciclagem de papel em solo ácido: I - Fertilidade e teores de metais pesados no solo. **Agropecuária Catarinense, Florianópolis**, v.23, p.60-65, 2010a.
- BALBINOT JR., A.A.; VEIGA, M.; BACKES, R.L. Aplicação de resíduo de reciclagem de papel em solo ácido: II - Produtividade das culturas de milho e soja e teores de metais pesados nos grãos. **Agropecuária Catarinense, Florianópolis**, v.23, p.66-71, 2010b.
- COSTA, E.R.O.; RIZZI, N.; SILVA, H.D.; SHIZUO, M.; LAVORANTI, O.J. Alterações químicas do solo após aplicação de biosólidos de fábrica de papel reciclado. **Floresta**, v.39, n.1, p. 1-10, 2009.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. **Solos do Estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 2004. 1 CD-ROM.; mapa color. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento; n. 46).
- ERNANI, P.R.; NASCIMENTO, J.A.L.; CAMPOS, M.L. et al. Influência da combinação de fósforo e calcário no rendimento de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p. 537-544, 2000.
- FASSBENDER, H.W.; BORNEMIZA, E. **Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina**. 2.ed. San José: IICA, 1994, 420p.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. Flórida: Bocca Raton, 1984, 315p.
- MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. London: Academic Press, 1995, 888p.
- 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.
- 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.
- 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.
- USEPA – United States Environmental Protection Agency. **Final rules: Standards for the use or disposal of sewage sludge**, 1993. Part 503. ■