

## Cinza de biomassa é um produto eficiente para uso em sistema de produção de cereais em base agroecológica?

*Is biomass ash an effective product for use in cereal crops in an agroecological system?*

**José Alfredo da Fonseca & Ana Lúcia Hanisch\***

Empresa de Pesquisa Agropecuária de Extensão Rural de Santa Catarina, Canoinhas, SC, Brasil. \*Autor para correspondência: analucia@epagri.sc.gov.br.

Submissão: 09/03/2016 | Aceite: 13/06/2018

---

### RESUMO

Foi avaliada durante quatro anos, a capacidade da cinza de biomassa (CB) na construção da fertilidade do solo em sistema de produção de cereais em base agroecológica. O delineamento experimental foi em blocos completos casualizados, com seis doses: 0, 2, 4, 6, 8 e 10 Mg ha<sup>-1</sup> de CB e três repetições. Após correção do solo e cultivo de um consórcio de adubação verde de verão e de inverno, deu-se início à seguinte sequência de cultivos: milho; ervilhaca; milho; ervilhaca + aveia; milho; aveia; soja; todos sem aplicação de fertilizantes. Após a primeira e a quarta safras, foram coletadas amostras de solo, na camada de 0-0,20 m para análise de atributos de fertilidade. Houve aumento linear dos teores de P e K no solo com a adição da CB, mas, não houve efeito sobre o pH, teores de Ca e Mg e de metais pesados do solo. As produtividades de milho e soja não foram afetadas pela aplicação da CB em nenhum ano. Assim, o uso da CB em sistema agroecológico de produção não apresenta efeitos nocivos ao sistema e é uma fonte segura de K, devido à ausência de fontes não solúveis deste elemento serem uma das limitações para suprimento deste nutriente às culturas.

**PALAVRAS-CHAVE:** adubação verde, manejo do solo, resíduos, sustentabilidade.

### ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate, for four years, the ability of biomass ash (BA) to be used as a tool for developing soil fertility in a system of cereal production in an agroecological base. An experiment with a randomized complete block design with three replications was conducted. The treatments consisted of 0, 2, 4, 6, 8 and 10 Mg ha<sup>-1</sup> of ash biomass. The area was corrected and cultivated with a cocktail of green manure species during summer and winter. Soon after the treatments, the following sequence of crops was initiated: corn; vetch; oats + vetch; corn; oats; soy, all without any use of fertilizers. After the first and fourth harvests, soil samples in the 0-0.20 m layer were collected for analysis of fertility attributes. There was a linear increase in P and K content in the soil with the addition of biomass ash. There were no effects of treatments for pH, Ca and Mg and heavy metal content of soil. Corn and soybean yields were not affected by ash biomass application in any year. Thus, the use of BA does not present harmful effects to agroecological production systems and is a safe source of K, since the absence of non-soluble sources is one of the limitations for the supply of this nutrient to crops.

**KEYWORDS:** green manure, soil management, waste, sustainability.

---

## INTRODUÇÃO

A atual demanda da sociedade sobre desenvolvimento sustentável tem exigido do setor de Pesquisa e Desenvolvimento inovações nos processos industriais com redução de impactos ambientais, bem como, geração de tecnologias para a alocação dos resíduos gerados nestes processos. Uma das estratégias de alocação de resíduos sólidos gerados nos processos industriais pode ser sua aplicação no solo como insumo agrícola (ALMEIDA et al. 2007). BALBINOT JUNIOR et al. (2006) e FONSECA et al. (2012a) demonstraram a efetividade do uso dos resíduos da indústria de papel como corretivos da acidez e fertilizante do solo.

Entre os resíduos gerados em grande quantidade pela indústria de papel e celulose, destaca-se a cinza de biomassa, que é um resíduo resultante da queima da biomassa florestal utilizada como parte da matriz energética do setor. Estudos com o uso de cinzas para fins agrícolas tem ganho espaço no meio

científico, mas ainda geram conclusões diferentes sobre a viabilidade do seu uso, em especial em função da diferença na composição química entre as cinzas avaliadas (SAARSALMI et al. 2001, MAEDA et al. 2008, GÓMEZ-REY et al. 2012, HANISCH & FONSECA 2013) que por sua vez, está diretamente relacionada aos processos de produção, principalmente a origem de madeira, capacidade da caldeira e o método de queima.

A eficiência desses produtos, entretanto, está fortemente conectada aos sistemas de manejo, uma vez que a resiliência do solo, para absorção dos mesmos, está intimamente relacionada ao uso intenso de biomassa e alta ciclagem de nutrientes (VEZZANI & MIELNICZUK 2011), características que tendem a ser intensificadas em sistemas de base agroecológica. A maximização das interações que ocorrem no solo nestes sistemas pode incorporar um caráter duradouro à fertilidade e permitir, dessa forma, a incorporação de resíduos com características fertilizantes, como meio da construção da fertilidade do solo, com diminuição de custos e de riscos aos agricultores.

A hipótese do presente trabalho foi de que, em função da dinâmica do solo em sistemas agroecológicos, caracterizados pela constante rotação de culturas e alta produção de biomassa de plantas, os nutrientes contidos na cinza de biomassa aplicada ao solo serão absorvidos por plantas de cobertura e posteriormente disponibilizados às culturas comerciais via biomassa, sendo capazes de manter a capacidade produtiva do sistema, com menor custo que em sistemas convencionais e sem prejuízo ao ambiente. Para testar essa hipótese foi conduzido um experimento de médio prazo, com o objetivo de avaliar o efeito da aplicação desse produto sobre os indicadores de solo e a produtividade das culturas agrícolas, em manejo de base agroecológica.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no município de Papanduva, SC (26°22'22"S; 50°16'17"W; altitude de 800 m; clima Cfb), em um Latossolo Vermelho Distrófico típico que apresentava as seguintes características no momento da implantação do experimento: 36% de argila; 5,2 de pH água; 0,4, 6,4 e 4,6 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Al, Ca e Mg trocáveis, respectivamente; 86 e 2,2mg kg<sup>-1</sup> de K e P disponíveis, respectivamente. A área experimental foi corrigida de acordo com a recomendação da CQFS RS/SC (2004) através da aplicação de 5 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico e 800 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato natural de Gafsa (28% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total), incorporados a 0,20 m de profundidade através de aração e gradagem.

Foi utilizado delineamento experimental de blocos completos casualizados, com três repetições e seis tratamentos formados por doses de cinza de biomassa (CB): 0, 2, 4, 6, 8 e 10 Mg ha<sup>-1</sup>. Cada parcela experimental media 49 m<sup>2</sup> (7 x 7 m), com área útil de 5 x 5 m. A composição da CB apresentava as seguintes características: PRNT = 11%; umidade = 23%; densidade = 700 kg m<sup>-3</sup> e pH água = 10,2. Sua composição foi de (em g kg<sup>-1</sup>): C orgânico = 40; N = 0,4; CaO = 41; MgO = 23; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 8,9; K<sub>2</sub>O = 29; S = 3,3; Na = 1,1 e (em mg kg<sup>-1</sup>): Cu = 38; Zn = 253; Cd = 2; Cr = 46; Pb = 16; As = 12; Hg = 0,21; Se = <4. A cinza foi incorporada a 0,20 m de profundidade, em outubro de 2007, após a correção do solo.

Imediatamente após a aplicação dos tratamentos foi realizado o cultivo de um coquetel de adubação verde de verão composto por mucuna (*Mucuna pruriens*), crotalaria (*Crotalaria juncea*), girassol e milho na proporção de 100, 15, 5 e 10 kg ha<sup>-1</sup> de sementes. Esse procedimento inicial visava dar ao solo uma condição mínima para alavancar a atividade biológica, um dos fundamentos do manejo agroecológico. O coquetel de verão permaneceu em livre crescimento até a ocorrência das primeiras geadas. Na sequência, foi implantado, em semeadura direta, um consórcio de adubação verde de inverno composto por ervilhaca (*Vicia sativa*), aveia preta (*Avena strigosa*) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) na proporção de 40, 15 e 15 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Em novembro de 2008, após a rolagem da massa verde de inverno, foi iniciado o cultivo comercial da área, com a semeadura de milho.

Durante quatro safras a área experimental foi manejada em sistema de plantio direto, com cultivo de milho, variedade de polinização aberta SCS-155 - Catarina nas safras 2008/2009, 2009/2010 e 2010/2011 com espaçamento de 0,90 m entre as linhas entrelinhas e densidade de 55.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Na safra 2011/2012 foi cultivada a soja cv. Coodetec, semeada com espaçamento de 0,45 m entrelinhas. Durante o inverno a área foi mantida com plantas de cobertura, utilizando-se ervilhaca precedendo o milho e a aveia preta precedendo a soja. Após a correção inicial do solo e a aplicação dos tratamentos em 2007, não foi utilizado mais nenhum tipo de fertilizante durante todo o período experimental.

Após a primeira e a quarta safras foram coletadas, na área útil de cada parcela, 16 subamostras de solo até a profundidade de 0,20 m para comporem uma amostra composta por parcela. Nessas amostras foram determinados: pH em água, Ca, Mg e Na trocáveis (extraídos com KCl 1mol L<sup>-1</sup>); P e K disponível, extraídos por Mehlich I; Hg (USEPA 7471 1996); e Pb, Ni, Cr total, Cd, Se, Mo e As (USEPA 1996).

Anualmente, foi avaliada a produtividade das culturas, através da colheita das espigas de milho e pelas vagens de soja da área útil de cada parcela, sendo os dados apresentados em kg ha<sup>-1</sup> corrigidos para 13% de umidade (base úmida).

Os dados foram submetidos à análise de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e variância pelo teste F utilizando-se os programas R e Sisvar, sendo utilizado modelo de parcelas subdivididas no tempo. Quando constatados efeitos significativos dos tratamentos, foi realizada análise de regressão polinomial, sendo escolhidos os modelos que melhor se ajustaram ao fenômeno investigado. Para a comparação entre os anos foi utilizado o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve efeito da cinza de biomassa (CB) sobre os valores de pH em água do solo e sobre os teores de Ca e Mg (Tabela 1). A ausência de efeito da CB sobre o pH do solo era esperada uma vez que, as doses aplicadas não foram determinadas com o fim de avaliar o efeito como corretivo da acidez do solo da CB. Isso, certamente, requereria doses maiores para estar em conformidade com os métodos de recomendação mais usados no Sul do Brasil. O aumento do pH do solo com o uso de CB tem sido observado em doses mais altas que as utilizadas neste trabalho (DAROLT et al. 1993, MAEDA et al. 2008).

Tabela 1. pH, saturação por bases (V), teores de Ca e Mg trocáveis e relações Ca/Mg e Ca/K no solo após o primeiro e o quarto ano da aplicação de cinza de biomassa (CB) em solo manejado em sistema plantio direto agroecológico.

Table 1. Soil pH, base saturation (V), Calcium and Magnesium levels and Ca/Mg and Ca/K ratios in soil after one and four years of biomass ash (BA) application in soil managed under an agroecological no-till system.

CB Mg ha <sup>-1</sup>	pH		V		Ca		Mg		Ca/Mg		Ca/K	
	2008	2011	2008	2011	2008	2011	2008	2011	2008	2011	2008	2011
			%		-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----							
0	5,3	5,0	63	55	7,2	6,3	4,6	3,7	1,5	1,7	14	16
2	5,4	5,2	68	64	7,3	7,8	5,3	4,7	1,4	1,7	14	15
4	5,3	5,1	67	64	7,3	8,2	5,0	4,7	1,5	1,7	13	14
6	5,4	5,3	72	68	7,8	8,4	5,2	5,1	1,5	1,7	9	12
8	5,6	5,3	74	62	8,0	8,4	5,5	4,3	1,5	2,0	10	14
10	5,5	5,3	71	67	8,4	8,9	5,6	4,1	1,5	2,2	9	11
Média	5,4	5,2	69	63	7,7	8,0	5,2	4,4	1,5	1,8	12	14
Doses	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Anos	ns		ns		ns		ns		ns		ns	

ns = F não significativo a 5% de probabilidade.

Os valores médios de pH observados no solo quatro anos após a correção e de cultivos sucessivos foram classificados na faixa de pH baixo, embora não limitantes (CQFS RS/SC 2004). A adição de resíduos vegetais ao solo através da adubação verde pode promover, antes da humificação, a elevação do pH, por promover complexação de H e Al com compostos do resíduo vegetal, deixando Ca, Mg e K mais livres em solução, o que pode ocasionar aumento na saturação da CTC (PAVINATO & ROSOLEM 2008). Então, é provável que o sistema biomassa vegetal + plantio direto + CB tenha contribuído para a redução da toxidez de Al, mesmo com pH baixo.

As quantidades de Ca e de Mg adicionadas na maior dose de CB foram de 1,2 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> e 1,0 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Em decorrência dos baixos teores adicionados de cada um desses cátions, a relação entre eles também não foi alterada no primeiro ano (Tabela 1). Observa-se que os teores disponíveis desses nutrientes observados no solo não podem ser explicados pela aplicação da CB. A prospecção das possíveis procedências do aumento além dos observados pela adição da CB pode estar associada à mudança nas dinâmicas de complexação do Al, da solubilização e da sorção e dessorção do Ca e do Mg, decorrentes, possivelmente, das maiores atividades biológica e química, frutos da adição de energia e matéria contidas na biomassa vegetal (PAVINATO & ROSOLEM 2008).

Por outro lado, a relação Ca/Mg apresentou tendência de aumento após o quarto ano da aplicação (Tabela 1). A maior dissolução do CaO e até mesmo do fosfato natural (fosfato de cálcio) com o tempo pode ter contribuído para esse fato. Além disso, a relação na CB é maior do que aquela inicialmente observada no solo, resultando no aumento da relação com o aumento das doses aplicadas. A inter-relação entre os nutrientes Ca e Mg na nutrição vegetal está relacionada as suas propriedades químicas próximas, como o

raio iônico, valência, grau de hidratação e mobilidade, fazendo com que haja competição pelos sítios de adsorção no solo, e na absorção pelas raízes (MEDEIROS et al. 2008). Como consequência, a presença de um pode prejudicar os processos de adsorção e absorção do outro. No entanto, nas quantidades aplicadas de CB, não se justifica a hipótese de que a adsorção de Ca possa ter promovido a lixiviação de Mg.

Na relação Ca/K não foi verificada diferença entre os tratamentos pelo aumento das doses aplicadas (Tabela 1). Entretanto, ambas apresentaram tendência de diminuição com o aumento das doses. A manutenção dos altos teores de K no solo, tanto aportados pela CB como ciclados pelo sistema pode justificar esse resultado. A manutenção de adequada relação entre Ca, Mg e K é de fundamental importância por eles apresentarem efeitos inibitórios de absorção entre si (MEDEIROS et al. 2008), sendo que a relação adequada é próxima de 12:3:1. DAROLT et al. (1993) observaram desbalanceamento da relação entre esses três nutrientes pela aplicação de altas doses de CB. Esses autores avaliaram a aplicação de 40 Mg ha<sup>-1</sup> de CB e observaram uma relação Ca:Mg:K da ordem de 8,5:5,1:1. Essa é uma preocupação importante e que remete ao cuidado com as quantidades de CB a serem aplicadas. No presente trabalho, com a aplicação da maior dose (10 Mg ha<sup>-1</sup>) as relações ficaram 2,2:0,44:1 o que já mostra uma tendência de aumento da participação do K.

Houve aumento dos teores de fósforo no solo um ano após a aplicação da CB (Figura 1a). Os teores desse elemento aumentaram com o aumento das doses, chegando a duplicar com a dose de 10 Mg ha<sup>-1</sup> de CB aplicada, em relação à testemunha. Os dados são consistentes, pois a CB contém 8,9 g kg<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, o que representou a adição de até 89 kg ha<sup>-1</sup> desse nutriente ao solo na maior dose aplicada. Além disso, a adição de CaO e MgO, constituintes da CB, contribuem para propiciar um ambiente mais favorável ao aumento da disponibilidade do P, uma vez que interferem na acidez do solo, que está diretamente relacionada à fixação desse elemento. Outro fator para esse resultado pode estar associado ao manejo agroecológico do solo, principalmente, em função da intensa adição de biomassa vegetal ao sistema. Esse manejo do solo tende a gerar aumento de áreas rizosféricas e matéria orgânica do solo (MOS) e, por consequência, aumentar a população de microrganismos e atividade biológica no solo. Isso pode ter propiciado maior solubilização do P mineral, além de aumentar as formas orgânicas de P, naturalmente mais lábeis (FANCELLI & DOURADO NETO 2005). Para CROSS & SCHLESINGER (1995), com o aumento do P orgânico no solo os processos biológicos tendem a governar a sua disponibilidade.

Quatro anos após a aplicação da CB os teores de P diminuíram, situando-se entre teores baixo e muito baixo (CQFS RS/SC 2004) o que pode ser explicado pela exportação desse nutriente através dos grãos colhidos. No entanto, é necessário considerar que com o cultivo sob um manejo sem aplicações anuais de fertilizantes e com aporte de biomassa, as dinâmicas do P podem ter mudado as formas desse no solo, muitas delas não percebidas pelos métodos atuais de avaliação da disponibilidade do P no solo (NICOLODI et al. 2008). Esse argumento sustenta-se pela não observação de sintomas de deficiência de P nas plantas.

O efeito da CB sobre os teores de K no solo foi significativo (Figura 1b), de acordo com o esperado, pois o produto possui 29 g kg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, aportando, nesse experimento, até 290 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O em forma prontamente disponível na maior dose. Os teores no solo aumentaram em 93%, passando de 181 mg kg<sup>-1</sup> sem aplicação da CB, para 352 mg kg<sup>-1</sup> com a aplicação de 10 Mg ha<sup>-1</sup>. Teores de K disponível no solo acima de 90 mg kg<sup>-1</sup>, nesta classe de solo, são classificados como altos (CQFS RS/SC 2004).

Pelos dados da Figura 1b, observa-se que os níveis de K, apesar das exportações ocorridas pelas quatro safras, mantiveram-se praticamente iguais àqueles observados um ano após a aplicação. Após três anos de cultivo de milho e um de soja, sem aplicação adicional de nutrientes, os teores de K não reduziram, provavelmente, em função da ciclagem de nutrientes através do manejo da biomassa. HANISCH & FONSECA (2013) verificaram efeito semelhante em solo muito ácido, três anos após a aplicação do produto sobre pastagem perene, com doses até 10 Mg ha<sup>-1</sup> de CB. Portanto, é possível prescindir-se de adubações potássicas para além de quatro anos de cultivo na maior dose aplicada, o que evidencia a efetividade da CB como fonte de K e o efeito sinérgico do manejo do solo aplicado como melhoradores do solo.

Esse fato é de fundamental importância para sistemas de produção em base agroecológica, já que fontes de K tem se apresentado como gargalos para a obtenção de altas produtividades nesses sistemas. O alto aporte de K efetuado pode possibilitar a passagem de K trocável para não trocável, em que pese o solo não apresentar preponderância de minerais do tipo 2:1 que propiciam essa dinâmica, como observado por SILVA et al. (1995) em Latossolos do Paraná. Embora esse fato possa ter ocorrido, provavelmente não teria escala suficiente para explicar toda a retenção de K ocorrida no período. Contudo, poderia contribuir para explicar esse fenômeno. Adicionalmente, ROSSATO (2004) observou aumentos superiores a 100% na quantidade de K no solo em uma rotação aveia/milho/trigo apenas pela inclusão de um cultivo de nabo

forrageiro nessa rotação.

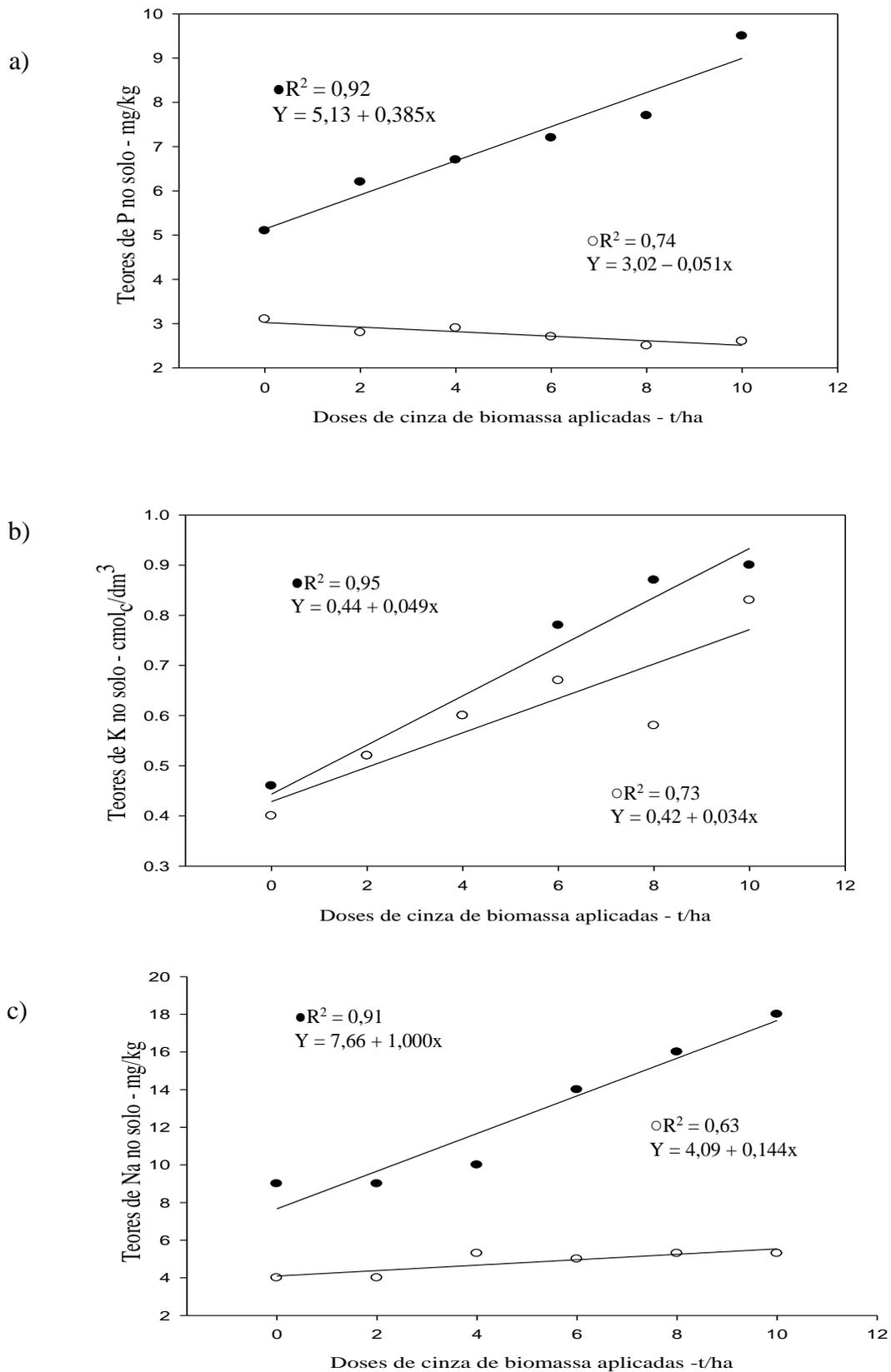


Figura 1. Teores de P disponível (a), de K disponível (b) e de Na trocável (c) no solo após um (●) e quatro (○) anos da aplicação de cinza de biomassa (CB) em solo manejado em sistema plantio direto agroecológico.

Figure 1. Contents of available Phosphorus (a), Potassium (b) and exchangeable Sodium (c) levels in the soil after one (●) and four (○) years of biomass ash application in soil managed under an agroecological no-till system.

Os teores de Na no solo cresceram com o aumento das doses aplicadas (Figura 1c) no primeiro ano, variando entre 9 a 18 mg kg<sup>-1</sup>, teores esses que não interferem de maneira negativa na solução do solo (FASSBENDER & BORNEMISZA 1994). Até a dose de 4 Mg ha<sup>-1</sup> não houve diferenças entre tratamentos no primeiro ano. Na CB o conteúdo de Na é de 1,1 g kg<sup>-1</sup>, um teor baixo, que explica o baixo nível desse elemento observado no solo. Quatro anos após a aplicação, os teores de Na foram iguais aos do tratamento testemunha, o que pode ser explicado pela alta solubilidade e mobilidade desse elemento no perfil do solo, não ocorrendo efeito residual de longo prazo.

Não foram verificadas diferenças entre tratamentos para os teores extraíveis de Mo, Ni, Hg, Cd, Cr<sub>total</sub>, Cr<sub>VI</sub>, Cr<sub>III</sub>, Pb, Co, Se e As no solo, após um e quatro anos da aplicação da CB, podendo-se inferir que nas doses e nas condições testadas não ocorreu aumento significativo da disponibilidade desses metais no solo (Tabela 2). Todos os teores apresentados situam-se no limite inferior do parâmetro conhecido como valor de prevenção, que é a concentração de determinada substância acima da qual podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo e da água subterrânea (USEPA 1996, CONAMA 2009, CETESB 2014). O risco de contaminação por metais pesados através do uso da CB na agricultura é bastante baixo, uma vez que tem origem de espécies florestais cultivadas especialmente para esse fim como as dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, ambos processados *in natura*.

Tabela 2. Teores de metais pesados no solo após a aplicação de cinza de biomassa (CB) e do primeiro (2008) e o quarto cultivos (2011) de cereais.

Table 2. Contents of heavy metals in the soil after biomass ash (BA) application, and first (2008) and fourth cereal crops (2011).

Metal	Ano	Doses de CB – Mg ha <sup>-1</sup>						Teste F
		0	2	4	6	8	10	
		mgkg <sup>-1</sup>						Doses
Hg	2007	0,053	0,050	0,050	0,047	0,050	0,053	ns
	2011	0,043	0,050	0,063	0,063	0,073	0,050	ns
Cd	2007	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	ns
	2011	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	ns
Ni	2007	16,7	16,0	15,3	16,0	16,0	17,3	ns
	2011	14,7	14,7	15,0	16,3	16,7	18,0	ns
Pb	2007	17	16	16	16	16	16	ns
	2011	15	16	15	14	16	16	ns
Cr <sub>total</sub>	2007	46	44	45	45	46	48	ns
	2011	41	41	40	46	48	44	ns
Cr <sub>VI</sub>	2007	----	----	----	----	----	----	-
	2011	<1	<1	<1	<1	<1	<1	ns
Cr <sub>III</sub>	2007	----	----	----	----	----	----	ns
	2011	41	41	40	46	48	44	ns
Mo	2007	1,3	1,3	1,7	1,7	1,3	1,3	ns
	2011	<2	<2	<2	<2	<2	<2	ns
Se	2007	----	----	----	----	----	----	ns
	2011	<4	<4	<4	<4	<4	<4	ns
As	2007	----	----	----	----	----	----	-
	2011	20	20	23	22	24	24	ns
Co	2008	2,0	2,3	1,7	2,0	3,3	3,0	ns
	2011	----	----	----	----	----	----	-

ns = F não significativo a 5% de probabilidade. ---- = não determinado

Diversos autores discutem a influência da elevação do pH do solo sobre a disponibilidade dos cátions classificados como metais pesados (NAIDU et al. 1994, DÈRE et al. 2007, FONSECA et al. 2012b), concluindo que, com o aumento do pH, há abertura de sítios de alta afinidade por esses cátions que passam quase na sua totalidade para formas fortemente adsorvidas, diminuindo, sensivelmente, a concentração dos mesmos na solução do solo.

Na Tabela 3 estão apresentadas as produtividades obtidas nos quatro anos de cultivo. Considerando o período de quatro anos, as produtividades mantiveram-se constantes, alcançando, nas maiores dosagens, em torno de 9,0 Mg ha<sup>-1</sup> de milho e 3,0 Mg ha<sup>-1</sup> de soja, sem adubações anuais por ocasião do plantio ou em cobertura. Embora a CB não tenha afetado diretamente a produção, observa-se que a construção da fertilidade do solo com o uso desse insumo, conjugado a um manejo do solo com rotação de culturas e aporte de biomassa vegetal, mostrando-se eficaz em manter níveis de produtividade de milho e de soja considerados de médio a altos para a região.

Tabela 3. Produtividade anual e média de três anos de milho e produtividade de soja no quarto ano de cultivo com o uso de cinza de biomassa.

Table 3. Annual productivity and average of three years of corn and soybean productivity in the fourth year of cultivation with use of biomass ash.

Doses Mg ha <sup>-1</sup>	Milho			Soja
	2007/08	2008/09	2009/10	Média
	-----kg ha <sup>-1</sup> -----			
0	7.056	8.364	8.547	7.989
2	7.586	9.317	8.971	8.625
4	7.390	9.561	8.744	8.565
6	7.417	9.788	9.024	8.743
8	8.385	10.129	9.132	9.215
10	8.050	9.798	9.225	9.024
Dose	ns	ns	ns	ns
P > F	0,0575	0,2603	0,5525	0,6114
CV (%)	7,46	9,03	6,76	14,44

P > F = valor de significância do teste F; ns – não significativo pelo teste F a 5%; CV = coeficiente de variação.

A produtividade média de milho durante os três anos de cultivo foi semelhante a observada por HANISCH et al. (2012) em um sistema de produção de base agroecológica, com correção inicial de nutrientes, manutenção da cobertura do solo, utilização da mesma cultivar e com a aplicação de 5 Mg ha<sup>-1</sup> de cama de aviário, conduzido no mesmo tipo de solo e na mesma região deste experimento, indicando que com o manejo adequado do solo substituiu a adição de insumos.

A ausência de efeito significativo da CB sobre a produtividade, mesmo com o aporte de K e P ao solo, pode estar relacionado ao fato de que, com a correção inicial, os teores de Ca, Mg, K e P se estabeleceram em níveis não restritivos às culturas, e a adição dos mesmos via CB não trouxe benefícios adicionais para as culturas. No entanto, a manutenção das produtividades ao longo de quatro anos indica que o efeito da maior atividade dos componentes biológicos, em função do aporte constante de biomassa vegetal, permite uma reorganização dos insumos aplicados, dentre os quais a CB, no sentido de que boa parte do que era apenas um mineral passe a ser mais um componente de um sistema organo-mineral complexo e, por consequência, mais estável e sinérgico para a produção e para a qualidade do solo (VEZZANI & MIELNCZUK 2011).

Diversos trabalhos têm qualificado resíduos industriais como eficazes e passíveis de uso com o fim de neutralizar a acidez do solo (BALBINOT JUNIOR et al. 2006, FONSECA et al. 2012a) e como fonte de nutrientes (SILVA et al. 2009, HANISCH & FONSECA 2013). Esses produtos são 70% mais baratos, comparativamente, aos calcários disponíveis. Essa redução no custo de insumos regionalmente disponíveis e eficazes, aliado à variedade de milho utilizada nesse trabalho, que apresenta maior variabilidade genética, oferece uma nova forma de produção agroecológica, menos onerosa e que contribui para diminuição de riscos econômicos nas atividades.

## CONCLUSÃO

O uso da cinza de biomassa em sistemas agroecológicos se justifica pelo significativo aporte de K e P ao solo, a um custo muito inferior às demais fontes desses nutrientes, sendo que até a dose de 10 Mg ha<sup>-1</sup>, esse aporte não apresenta risco de contaminação do solo por metais pesados e não altera substancialmente as características químicas do solo, além de manter o potencial produtivo de milho e soja.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA HC et al. 2007. Composição química de um resíduo alcalino da indústria de papel e celulose (DREGS). Química Nova 30: 1669-1672.
- BALBINOT JUNIOR AA et al. 2006. Alteração das características químicas de um solo ácido pela aplicação de calcário e resíduos de reciclagem de papel. Revista de Ciências Agroveterinárias 5: 16-25.
- CETESB. 2014. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://solo.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/34/2014/12/valores-orientadores-nov-2014.pdf>> Acesso em: 5 ago. 2014.
- CONAMA. 2009. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº420 de 28 de dezembro de 2009. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em: 7 jun. 2014.
- CQFS RS/SC. 2004. Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10.ed. Porto Alegre: SBCS/Núcleo Regional Sul. 394p.

- CROSS A& SCHLESINGER W. 1995. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. *Geoderma* 64: 197–214.
- DAROLT MR et al. 1993. Cinza vegetal como fonte de nutrientes e corretivo de solo na cultura da alface. *Horticultura Brasileira* 11: 38-40.
- DÈRE C et al. 2007. Long-term fate of exogenous metals in a sandy Luvisol subjected to intensive irrigation with raw wastewater. *Environmental Pollution* 145: 31-40.
- FANCELLI AL & DOURADO NETO D. 2005. Produção de milho em terras baixas. In: FANCELLI AL & DOURADO NETO D. (Eds) *Milho: tecnologia e produção*. Piracicaba: ESALQ. p. 21-33.
- FASSBENDER HW & BORNEMISZA E. 1994. *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. 2.ed. San José, Costa Rica: Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura. 420p.
- FONSECA JA et al. 2012a. Evolução de características químicas de um Latossolo Vermelho Distrófico típico até o quinto ano após aplicação de resíduos da indústria de celulose. *Revista Agropecuária Catarinense* 25: 73-79.
- FONSECA JA et al. 2012b. Evolução dos teores de metais pesados em um Latossolo Vermelho Distrófico típico pelo uso de um resíduo da indústria de celulose. *Revista de Ciências Agroveterinárias* 11: 17-25.
- GÓMEZ-REY MX et al. 2012. Wood ash effects on nutrient dynamics and soil properties under Mediterranean climate. *Annals of Forest Science* 69: 569–579.
- HANISCH AL et al. 2012. Adubação do milho em um sistema de produção de base agroecológica: desempenho da cultura e fertilidade do solo. *Revista Brasileira de Agroecologia* 7: 176-186.
- HANISCH AL & FONSECA JA. 2013. Efeito da adubação com cinza de biomassa sobre uma pastagem de *Hemarthria altissima* cv. Flórida cultivada em solo ácido. *Revista Agropecuária Catarinense* 26: 74-80.
- MAEDA S et al. 2008. Resposta de *Pinus taeda* à aplicação de cinza de biomassa vegetal em Cambissolo Húmico, em vaso. *Pesquisa Florestal Brasileira* 56: 43-52.
- MEDEIROS JC et al. 2008. Calcium: magnesium ratio in amendments of soil acidity: Nutrition and initial development of corn plants in a Humic Alic Cambisol. *Semina: Ciências Agrárias* 29: 799-806.
- NAIDU R et al. 1994. Ionic-strength and pH effects on the sorption of cadmium and the surface charge of soil. *European Journal of Soil Science* 45: 419-429.
- NICOLODI M et al. 2008. Insuficiência do conceito mineralista para expressar a fertilidade do solo percebida pelas plantas cultivadas no sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32: 2735-2744.
- PAVINATO PS & ROSOLEM CA. 2008. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32: 911-920.
- ROSSATO RR. 2004. Potencial de ciclagem de nitrogênio e potássio pelo nabo forrageiro intercalar ao cultivo de milho e trigo em plantio direto. *Dissertação (Mestrado em Solos)*. Santa Maria: UFSM. 130p.
- SAARSALMI A et al. 2001. Effects of wood ash fertilization on forest soil chemical properties. *Silva Fennica* 35: 355–368.
- SILVA DN et al. 1995. Mineralogia e formas de potássio em dois Latossolos do Estado do Paraná e suas relações com a disponibilidade para as plantas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 19: 433-439.
- SILVA FR et al. 2009. Cinza de biomassa florestal: alterações nos atributos de solos ácidos do Planalto Catarinense e em plantas de eucalipto. *Scientia Agraria* 10: 475-482.
- USEPA. 1996. United States Environmental Protection Agency. Soil screening guidance: thecnical background document. Washington, EPA, Office of Solid Waste and Emergency Response.
- VEZZANI FM & MIELNICZUK J. 2011. *O solo como sistema*. 1.ed. Curitiba: Edição dos autores. 104p.