

Uso da cinza da combustão de biomassa florestal como corretivo de acidez e fertilidade de um Cambissolo Húmico

Use of ash forest biomass combustion as acidity correction and fertility of an Humic Cambisol

Franciani Rodrigues da Silva^{1*}, Jackson Adriano Albuquerque¹, Luciano Colpo Gatiboni¹, André da Costa¹

Recebido em 05/03/2012; aprovado em 27/03/2013.

RESUMO

Muitas indústrias utilizam a combustão da biomassa vegetal para a geração de energia, processo que produz uma grande quantidade de cinza. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de cinza de biomassa florestal como corretivo da acidez e fertilizante do solo, comparando-a com os efeitos do calcário dolomítico, em Cambissolo Húmico cultivado com *Eucalyptus dunnii*. O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação em delineamento experimental inteiramente casualizado, com os tratamentos: 1- Testemunha; 2- Cinza de biomassa florestal na dose de 11Mg ha⁻¹; 3- Cinza de biomassa florestal na dose de 22 Mg ha⁻¹; 4- Calcário na dose de 8,5 Mg ha⁻¹; 5- Calcário na dose de 17 Mg ha⁻¹. Foram plantadas, em vasos, mudas de *Eucalyptus dunnii* e cultivadas por 70 dias em casa de vegetação. Foram avaliados os atributos químicos e físicos do solo, a massa seca produzida e a composição química do tecido vegetal. A adição de cinza de biomassa florestal pode ser aplicada em solos altamente tamponados, pois não altera o grau de floculação da argila e a acidez do solo e é fonte de K, P e Ca. A aplicação de calcário dolomítico neutraliza a acidez do solo e disponibiliza mais P para o eucalipto. O crescimento inicial de plantas de eucalipto em solo adubado, não é alterado pela aplicação de cinza ou calcário.

PALAVRAS-CHAVE: resíduo industrial, atributos físicos e químicos; doses de corretivo, *Eucalyptus dunnii*.

SUMMARY

Many industries use the biomass combustion for power generation, a process that produces a lot of ash. The objective of this study was to evaluate the effect of biomass combustion ash as a corrective for acidity and as a soil fertilizer, comparing it with the effects of lime, in the Humic Cambisol cultivated with *Eucalyptus dunnii*. The experiment was conducted in a greenhouse, in a completely randomized experimental design, with the following treatments: 1- control; 2- forest biomass ash at a dose of 11 Mg ha⁻¹; 3- forest biomass ash of 22 Mg ha⁻¹; 4- Lime at a dose of 8.5 Mg ha⁻¹; 5- Lime at a dose of 17 Mg ha⁻¹. *Eucalyptus dunnii* seedlings were planted in pots and cultivated for 70 days in a greenhouse. After the chemical and physical attributes of soil, dry mass produced and the chemical composition of plant tissue were evaluated. The addition of ash forest biomass can be used in highly buffered soils because: it does not alter the degree of flocculation and the acidity of the soil; it's a source of K, P and Ca. The application of lime neutralizes soil acidity and provides more P for the eucalyptus. The early growth of Eucalyptus in fertilized soil, is not changed by applying ashes or lime.

¹ Departamento de Solos e Recursos Naturais. Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina – CAV/UDESC. Av. Luiz de Camões, 2090, Bairro Conta Dinheiro, CEP: 88520-000, Lages, SC, Brasil. Email: francianiagro@yahoo.com.br. *Autora para correspondência.

KEY WORDS: industrial waste, chemical and physical attributes, doses of corrective, *Eucalyptus dunnii*.

INTRODUÇÃO

Atualmente, a demanda por celulose e papel e seus derivados é elevada, o que acarreta em grandes quantidades de resíduos gerados. Os principais resíduos produzidos pelas indústrias de celulose e papel são: a casca da madeira, a lama de cal, o “dregs”, o “grits”, o lodo da estação de tratamento de esgoto, o lodo biológico. Para a geração da energia, é utilizada a combustão da biomassa vegetal, processo que gera a cinza de caldeira (NOLASCO et al., 2000). Esta cinza é gerada em grande quantidade, logo, há uma preocupação crescente quanto a sua adequada disposição, principalmente no que diz respeito às questões ambientais (VOUNDINKANA et al., 1998; MAEDA et al., 2008). Väättäinen et al. (2011) destacam a cinza de biomassa como agente condicionante do solo, uma vez que, é utilizada para repor os nutrientes removidos pela biomassa colhida. Sendo assim, a aplicação de cinza em solos é uma forma conveniente para reciclar parte dos elementos exportados pelas plantas (DEMEYER et al., 2001; ERNFORS et al., 2010). Cabe ressaltar que o efeito da cinza de biomassa em solos é gerido pela composição e quantidade de cinza aplicada e pelo tipo de solo (PITMAN, 2006).

O conhecimento da composição química do solo e da cinza é essencial para avaliar a viabilidade da aplicação da cinza de biomassa florestal em solos agrícolas e evitar desequilíbrios nutricionais às plantas (VOUNDINKANA et al., 2002; MAEDA et al., 2007). Segundo Moro e Gonçalves (1995) e Jordan et al. (2002), a cinza produzida durante a combustão da madeira e casca, possui em sua composição elementos orgânicos e inorgânicos que podem ter efeitos positivos nos solos, especialmente naqueles com maior deficiência nutricional e com baixo teor de matéria orgânica. Possui nutrientes como o Ca, Mg, K e P (BELLOTE et al., 1998; DEMEYER

et al., 2001; MANDRE et al., 2006). Geralmente a cinza de biomassa possui altos teores de Ca e K, comparado aos demais elementos. Todavia, os teores de Ca e Mg são inferiores aos existentes nos corretivos de acidez utilizados na agricultura (DEMEYER et al., 2001). Pitman (2006), ao avaliar cinzas de biomassa provenientes de diferentes locais, constatou diferenças na composição da mesma. O teor de Ca variou de 7,4 a 33%, Mg de 0,7 a 2,2%, K de 1,7 a 4,2% e P de 0,3 a 1,4%.

Solla-Gullón et al. (2008) verificaram o aumento de Ca, Mg, K e P no solo, após a aplicação de até 10 Mg ha⁻¹ de cinza de biomassa. Constataram que a disponibilidade de Ca e Mg às plantas, persistiu até o quinto ano de crescimento de *Pinus radiata*. A lenta solubilização da cinza de biomassa libera gradativamente os nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas, o que é uma característica desejável, tendo em vista às perdas de nutrientes por lixiviação (HARRISON et al., 2003; NOLASCO et al., 2000).

Além das alterações nos atributos químicos, o uso de resíduos pode alterar os atributos físicos do solo (DEMEYER et al., 2001). Segundo Demeyer et al. (2001) a aplicação da cinza de biomassa pode influenciar a aeração, a capacidade de retenção da água e a salinidade dos solos.

A aplicação de cinza de biomassa florestal pode favorecer o crescimento das plantas (DEMEYER et al., 2001) e aumentar a produtividade das culturas, principalmente em sistemas onde a disponibilidade de nutrientes é limitante (PARK et al., 2005). Incrementos na produtividade de culturas, bem como efeitos benéficos no solo, corroboram a possibilidade de utilização da cinza em substituição aos adubos minerais ou como suplementação da adubação mineral e orgânica (BELLOTE et al., 1998). Além disso, a crescente demanda por fertilizantes têm elevado os custos com a correção e a fertilização química do solo, forçando os agricultores na busca de fontes alternativas de nutrientes com menor custo.

Em solos destinados à produção florestal, a utilização de cinza de biomassa, em substituição

aos adubos minerais ou como suplementação da adubação mineral e orgânica pode ser considerada uma alternativa viável, todavia, faz-se necessário definir corretamente quantidades a serem aplicadas para cada classe de solo e espécie cultivada.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de cinza de biomassa florestal como corretivo da acidez e fertilizante do solo, comparando-a com os efeitos do calcário dolomítico, em Cambissolo Húmico cultivado com *Eucalyptus dunnii*.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em Lages, SC, em casa de vegetação no Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, CAV/UDESC.

Foram coletadas amostras de um Cambissolo Húmico Alumínico na camada de 0 a 20 cm sob campo nativo, derivado de siltitos da formação Rio do Rastro, com mineralogia predominante caulínica e em menor concentração mica, argilominerais 2:1 com e sem hidróxido entrecamadas e quartzo (ALMEIDA et al., 1997). Os principais atributos do solo estão descritos na tabela 1.

Após destorroado e passado em peneira com malha de 8 mm, acondicionou-se oito kg de solo em vasos com capacidade de dez litros. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com cinco repetições, com os seguintes tratamentos: 1- Testemunha; 2- Cinza de biomassa florestal na dose de 11 Mg

ha⁻¹; 3- Cinza de biomassa florestal na dose de 22 Mg ha⁻¹; 4- Calcário na dose de 50% da dose para atingir pH 5,5 (8,5 Mg ha⁻¹); 5- Calcário na dose de 100% da dose para atingir pH 5,5 (17 Mg ha⁻¹).

O calcário utilizado foi o filler com PRNT de 71% e valor de neutralização (VN) de 87,6%. Nos tratamentos que receberam calcário, a quantidade utilizada foi determinada a partir do valor inicial do pH SMP (4,3) para elevar o pH do solo a 5,5 (1 SMP), sendo assim, para a dose de 100% (74 g vaso⁻¹), utilizou-se 17 Mg ha⁻¹ do corretivo. A quantidade de cinza de biomassa florestal aplicada, em base seca (matéria seca), foi de 44 g vaso⁻¹ (dose de 50%) e 88 g vaso⁻¹ (dose de 100%), o que corresponde, respectivamente, a 11 e 22 Mg ha⁻¹ de matéria seca de cinza. As doses de cinza adicionam a mesma quantidade de cálcio existentes em 0,5 e 1,0 t ha⁻¹ de calcário. A composição química da cinza encontra-se na tabela 2.

Em todos os tratamentos, inclusive na testemunha, foi aplicado 120 kg ha⁻¹ de N, 600 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 120 kg ha⁻¹ de K₂O, que é a adubação usada na região do Planalto Sul Catarinense para o eucalipto. A aplicação dos corretivos e da adubação com NPK foi incorporado ao solo e permaneceu por um período de 30 dias incubados com solo úmido, ensacando-se as unidades experimentais para evitar a perda de umidade do solo.

Após o período de incubação, fez-se o plantio das mudas clonais de *Eucalyptus dunnii*, de 10 dias de idade, com irrigação periódica dos vasos. Aos 70 dias após o plantio, as plantas foram cortadas rente ao solo, separando parte

Tabela 1- Composição química e granulométrica do Cambissolo Húmico da camada de 0 a 0,20 m de profundidade, em Lages, SC.

Profundidade (m)	pH _(H2O)	cátions trocáveis					CO ⁽³⁾	Areia	Silte	Argila
		Ca ⁽¹⁾	Mg ⁽¹⁾	Al ⁽¹⁾	K ⁽²⁾	P ⁽²⁾				
0 - 0,20	4,3 ^(MB) 4	1,1 ^(B)	1,1 ^(A)	6,6 ^(A)	0,2 ^(MA)	3,2 ^(MB)	16	352	303	345

¹ Extrator KCl 1 mol L⁻¹

² Extrator Mehlich 1

³ CO = Carbono orgânico

⁴ Classificação conforme CQFS-RS/SC (2004), onde MB=muito baixo; B=baixo; M=médio; A=alto; MA=muito alto.

Tabela 2 - Análise química da cinza de biomassa florestal da indústria de papel e celulose.

PN ⁽¹⁾	Ug ⁽²⁾	pH	C ⁽³⁾	N ⁽⁴⁾	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	Na	Cd	Cr	Ni	Pb
%					g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹								
7	80	9,7	260	1,6	1,8	13	19	5,3	1	13	1,1	39	100	768	0,3	40	22	4

¹ PN = Poder de Neutralização (Tedesco et al., 1995)

² Ug = Umidade gravimétrica (%)

³ C = Carbono

⁴ Teor de N determinado por Kjeldahl e os demais elementos por digestão em ácido nítrico e lidos por Espectroscopia de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICP OES).

aérea (folhas + caule) de raízes, e amostras de solo foram retiradas para caracterização física e química.

As amostras de solo foram secas em estufa a 40°C, destorroadas, moídas e passadas em peneira (2 mm), para determinação do pH em água, teores de Ca, Mg e Al trocáveis, K e P extraíveis (TEDESCO et al., 1995) e teores de H+Al (EMBRAPA, 1997). O grau de floculação foi calculado através da determinação dos teores de argila total (AT) e argila natural (AN). A argila total foi obtida através da dispersão do solo em água e NaOH e a argila natural através da dispersão do solo somente com água, e determinada pelo método da pipeta (GEE e BAUDER, 1986).

O tecido vegetal (parte aérea) foi seco em estufa a 65°C para determinar a produção de massa seca da parte aérea. Após, o tecido foi moído em moinho de facas para realizar a digestão sulfúrica para extração do K e P (TEDESCO et al., 1995), sendo o fósforo quantificado por espectrofotometria do complexo fosfomolibdato e o potássio por fotometria de emissão de chama (TEDESCO et al., 1995). Para quantificar o Ca e Mg, o tecido vegetal foi calcinado em mufla (JONES JUNIOR e CASE, 1990) e as concentrações quantificadas por espectrofotometria de absorção atômica (TEDESCO et al., 1995).

Os resultados foram submetidos à análise de variância univariada, utilizando um modelo fatorial duplo, em delineamento inteiramente casualizado, considerando o calcário e a cinza como um fator qualitativo e as doses como um fator quantitativo. Quando houve efeito da interação, os coeficientes lineares (b) das equações ajustadas para as doses de calcário e

de cinza foram comparados utilizando contrastes ortogonais. Conforme os resultados dos contrastes, as regressões lineares foram ajustadas para obtenção do intercepto e do coeficiente linear para expressar o efeito das doses de calcário ou cinza. Todas as análises foram realizadas utilizando o “PROC GLM” do software SAS (2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Atributos químicos e físicos do solo

A adição das doses de calcário e cinza aumentaram significativamente o pH do solo, porém, a diminuição do alumínio foi menor com adição de cinza (Figura 1).

O calcário elevou o pH de 4,3 para 4,9 e 5,5 e a cinza para 4,5 e 4,6, respectivamente, nas doses de 50% e 100%. O pequeno efeito da cinza era esperado, já que seu poder de neutralização é de apenas 7% (Tabela 2). Tais resultados contrariam os resultados obtidos por Prado et al. (2002), onde a cinza de biomassa florestal elevou o pH CaCl₂ de 4,1 para 4,6 com a aplicação 2,3 Mg ha⁻¹ de cinza em um Argissolo Vermelho-Amarelo. Isso pode ter ocorrido devido ao alto poder tampão da acidez deste Cambissolo Húmico ou, ainda, por características diferentes entre os resíduos usados nos dois ensaios. Segundo Demeyer et al. (2001) a alcalinidade ou poder de neutralização da cinza, diminui com o aumento da temperatura de combustão e com o tempo de armazenagem da cinza de biomassa.

O teor médio de alumínio, nos tratamentos que receberam cinza, foi de 4,7 cmol_c kg⁻¹. Nesse caso, o Al⁺³ continua sendo potencialmente prejudicial para um grande número de processos

bioquímicos dos vegetais (KOCHIAN et al., 2004). Isso deve-se à baixa eficiência da cinza em neutralizar a acidez do solo ($PN = 7\%$), associada à baixa solubilidade e ao pouco tempo de duração do experimento. Esta baixa solubilidade, entretanto, pode liberar gradativamente os nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas, e pode ser uma característica desejável para culturas de baixa taxa de absorção de nutrientes (NOLASCO et al., 2000; HARRISON et al., 2003).

Com a aplicação de calcário, o teor de Al trocável reduziu para $1,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ na dose de 50% e para zero na dose de 100%, pois o Al

trocável é neutralizado quando o pH é superior a 5,5 e as formas tóxicas de Al deixam de existir na solução do solo (ERNANI, 2008). Isso mostra que a cinza pode ajudar na diminuição dos teores de alumínio do solo, porém em proporções menores que as necessárias quando forem cultivadas plantas sensíveis ao alumínio.

Com a adição de cinza de biomassa florestal, houve aumento nos teores de Ca, Mg, K, P e da CTC efetiva (Figuras 2, 3 e 4). O calcário, por sua vez, aumentou os teores de Ca, Mg, P e a CTC efetiva. O aumento dos teores de Ca deve-se à existência desse íon na composição do calcário e da cinza. Com a adição da maior dose de cinza

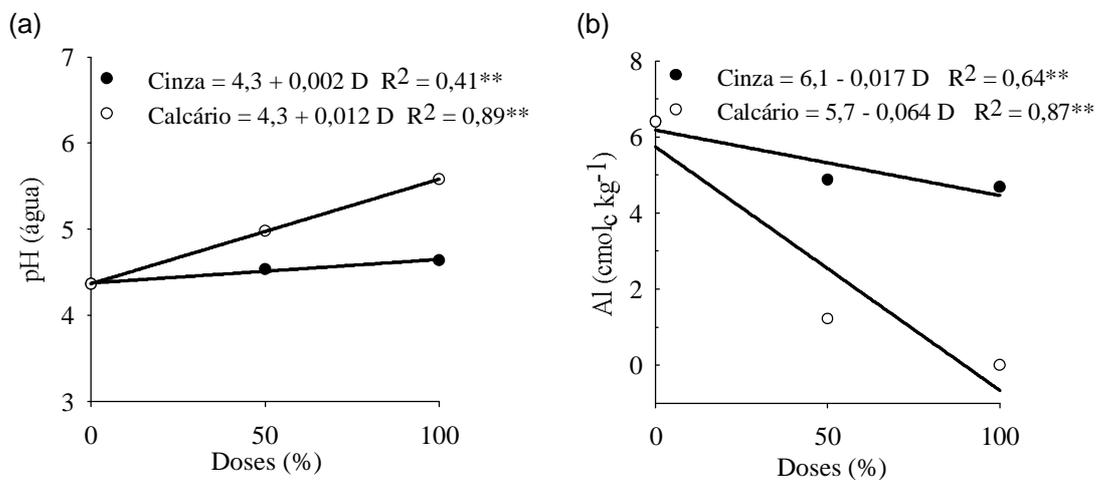


Figura 1 - pH (a) e teor de alumínio (b) de um Cambissolo Húmico, após a adição de 11 e 22 Mg ha^{-1} (50 e 100%) de cinza de biomassa florestal e 8,5 e 17 Mg ha^{-1} (50 e 100%) de calcário. Lages-SC. ** significativo ($p < 0,01$).

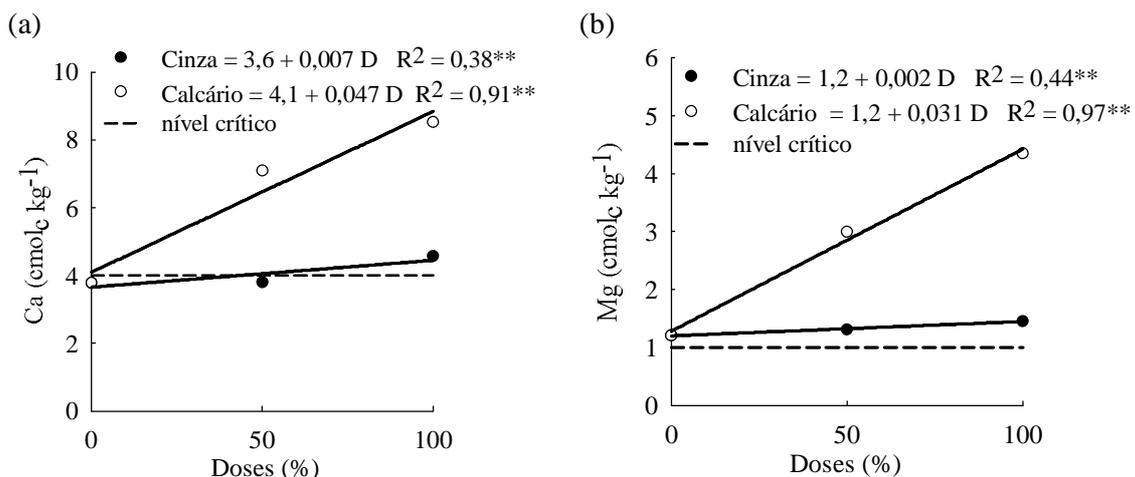


Figura 2 - Teores de cálcio (a) e magnésio (b) de um Cambissolo Húmico, após a adição de 11 e 22 Mg ha^{-1} (50 e 100%) de cinza de biomassa florestal e 8,5 e 17 Mg ha^{-1} (50 e 100%) de calcário, com as respectivas faixas de suficiência nutricional no solo conforme a CQFS RS/SC (2004). Lages-SC. ** significativo ($p < 0,01$).

o teor de Ca aumentou de $3,6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ para $4,6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, e com a adição da maior dose de calcário esse valor dobrou (de $4,1$ para $8,7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$). As concentrações de Ca diferentes nos dois materiais, além da lenta solubilização da cinza de biomassa e a liberação gradativa dos nutrientes, podem ser a causa dessa diferença entre os teores de Ca dos corretivos (HARRISON et al., 2003). O teor de Ca na maior dose de cinza e nas doses de calcário, pode ser considerado alto ($> 4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) conforme a CQFS-RS/SC (2004). Voundi Nkana et al. (1998) encontraram aumento dos teores de cálcio em três solos de clima tropical de Camarões, após a adição de cinza de biomassa florestal. De acordo com os autores, o aumento de cálcio foi devido à concentração desse íon e da quantidade do resíduo utilizado.

Com a adição de cinza, os teores de Mg no solo aumentaram de $1,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ na testemunha, para $1,3 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ na dose de 50% e $1,4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ na dose de 100%. Em trabalho semelhante, Barreto (2008) também observou aumento significativo de Mg em um Neossolo Chernozêmico, após 30 dias de incubação do solo com doses crescentes de composto com cinza de biomassa florestal. Com a adição de calcário, o Mg aumentou de $1,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ na testemunha, para $4,3 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ na maior dose. O aumento

de Mg no solo com a adição de calcário, deve-se as grandes quantidades de Mg contidas nesse corretivo.

A cinza aumentou linearmente a concentração de K no solo, de $0,19 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ na testemunha para $0,47 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ na maior dose (Figura 3), teor considerado muito alto pela CQFS - RS/SC (2004). Tal aumento se deve a cinza utilizada, a qual apresenta em sua composição 13 g kg^{-1} de K (Tabela 2). Efeito semelhante foi observado por Cortez et al. (2001) e Cabral et al. (2008) na aplicação de cinza de biomassa florestal em solos cultivados com plantas forrageiras. Entretanto, com a adição de calcário, o teor de K diminuiu significativamente. Essa diminuição pode ser explicada devido ao aumento de cargas negativas decorrentes da elevação do pH do solo, fazendo com que parte do K da solução migre para as cargas criadas (ERNANI, 2008).

Devido a adubação química, o teor de P na testemunha (13 mg kg^{-1}) foi considerado alto conforme a CQFS-RS/SC (2004). Com a adição de calcário ou de cinza esse teor aumentou de quatro a cinco vezes (55 e 61 mg kg^{-1} , respectivamente). O solo utilizado neste experimento, com 345 g kg^{-1} de argila, tem uma capacidade máxima de absorção de fósforo não muito elevada, pois os teores de óxidos de ferro e alumínio nos solos

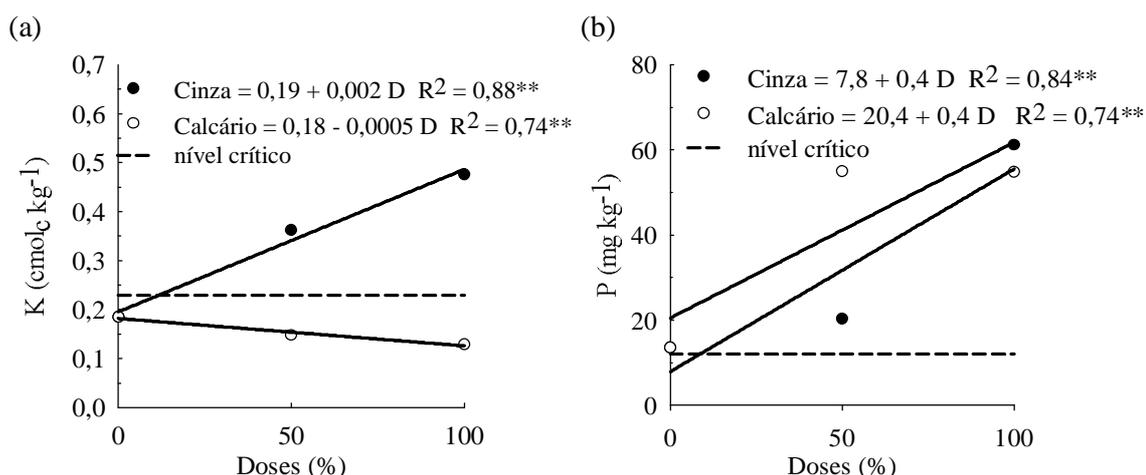


Figura 3 - Teores de potássio (a) e fósforo (b) de um Cambissolo, após a adição de $8,5$ e 17 Mg ha^{-1} (50 e 100%) de calcário e 11 e 22 Mg ha^{-1} (50 e 100%) de cinza de biomassa florestal, com as respectivas faixas de suficiência nutricional no solo conforme a CQFS-RS/SC (2004). Lages, SC. ** significativo ($p < 0,01$).

subtropicais derivados de rochas sedimentares são baixos. Assim, como o solo recebeu uma dose de P muito alta via adubação NPK (600 kg ha⁻¹ de P₂O₅), aumentou seu teor disponível para o nível classificado como “alto”.

Contudo, as adições de cinza ou de calcário aumentaram a disponibilidade de P porque contribuíram para a redução do alumínio trocável, bem como pela competição entre os íons fosfatos e OH⁻ gerados pelo calcário e, em menor grau, pela cinza de biomassa.

Com a aplicação de calcário observou-se um aumento da CTC efetiva (Figura 4). Isso ocorre pela dissociação do H adsorvido por covalência aos minerais e sua neutralização na solução do solo. Também, o Al que precipita em pH superior a 5,5. Com estes dois mecanismos, somado a adição de cátions básicos ao solo pelo calcário, a CTC efetiva é maior. Por outro lado, Voundi Nkana et al. (1998) encontraram aumento da CTC efetiva em três solos de clima tropical de Camarões, após a adição de cinza de biomassa florestal.

O conteúdo de CO no solo variou de 16 a 18 g kg⁻¹, menor no tratamento testemunha e maior no tratamento com 100% da dose de cinza (Figura 4), embora o efeito prático deste aumento seja baixo em virtude da pequena magnitude do aumento. Esse efeito pode ser atribuído à presença de carbono na cinza de biomassa (Tabela 2). Nos

tratamentos que receberam calcário, o teor de CO não foi alterado.

Produção de matéria seca e teor de nutrientes do tecido vegetal das plantas de eucalipto

A produção de matéria seca (parte aérea) do eucalipto não aumentou significativamente com a adição da cinza e de calcário (Tabela 3). Acredita-se que isso pode estar relacionado com o curto período de experimento ou com a baixa resposta do eucalipto ao aumento do pH (CQFS RS/SC, 2004). Mandre et al. (2006) verificaram aumentos na biomassa vegetal, no diâmetro e na altura de pinheiros, três anos após aplicação de cinza de biomassa florestal. Solla-Gullón et al. (2006) também constataram aumentos na biomassa, e no crescimento de coníferas após a aplicação de 10 e 20 Mg ha⁻¹ de cinza de biomassa florestal.

Em relação aos teores de nutrientes no tecido vegetal (Ca, Mg, K e P), foi observado efeito positivo da adição de calcário sobre a concentração de P no tecido foliar, consequência do aumento da disponibilidade P relatada anteriormente.

Pelo exposto, apesar da adição de cinza de biomassa florestal não ter melhorado a produção inicial de massa seca de eucalipto, a sua adição não prejudicou o crescimento das plantas. Ou seja, a cinza de biomassa florestal pode ser aplicada ao solo, ao invés de ser destinada em

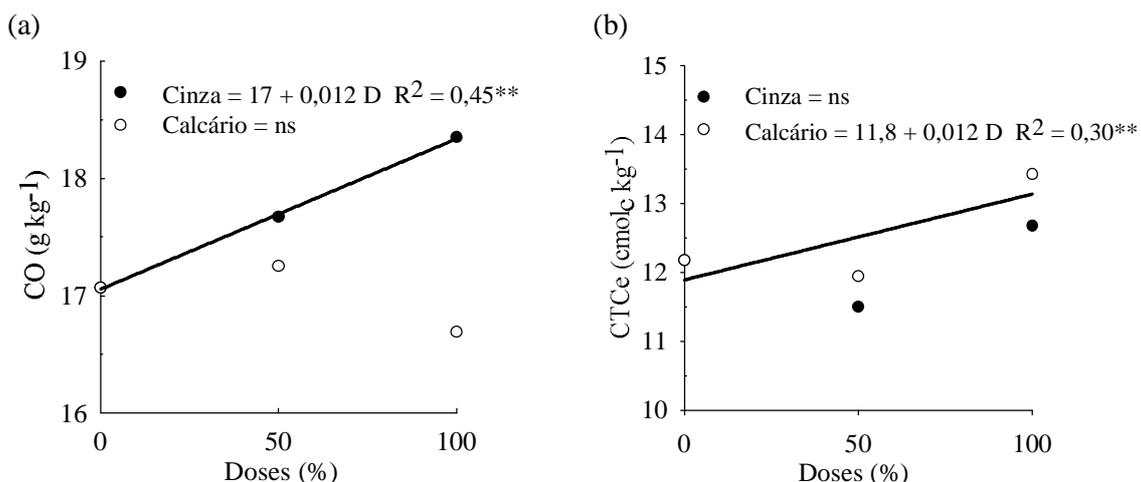


Figura 4 - Teores de carbono orgânico (a) e capacidade efetiva de troca de cátions (b) de um Cambissolo, após a adição de 11 e 22 Mg ha⁻¹ (50 e 100%) de cinza de biomassa florestal e 8,5 e 17 Mg ha⁻¹ (50 e 100%) de calcário. Lages-SC. **significativo (p<0,01).

Tabela 3 - Intercepto e coeficiente linear com os respectivos graus de significância (Prob>t) e coeficientes de determinação para a massa seca (MS) e teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e fósforo (P) no tecido vegetal das plantas de eucalipto, cultivadas em um Cambissolo Húmico, submetidas a aplicação de doses crescentes de calcário e cinza de biomassa florestal. Lages, SC.

Atributo	Unidade	Intercepto	Prob>t	Coeficiente Linear	Prob>t	R ²
Calcário						
MS	g	36,2	<0,01	-0,028	0,27	0,09
Ca	%	1,5	<0,01	0,001	0,22	0,11
Mg	%	0,5	<0,01	0,0004	0,23	0,10
K	%	1,5	<0,01	-0,001	0,07	0,23
P	%	1,0	<0,01	0,003	<0,01	0,58
Cinza						
MS	g	35,7	<0,01	-0,006	0,62	0,01
Ca	%	1,4	<0,01	-0,001	0,43	0,04
Mg	%	0,5	<0,01	-0,0002	0,56	0,02
K	%	1,6	<0,01	-0,0001	0,78	0,01
P	%	1,0	<0,01	-0,0008	0,07	0,22

aterros sanitários, especialmente em solo com baixos teores de potássio. Pois, baseado nos resultados obtidos a cinza de biomassa pode ser utilizada na adubação do solo devido a sua boa capacidade de suprimento de potássio.

CONCLUSÕES

A adição de cinza de biomassa florestal pode ser aplicada a solos altamente tamponados, pois não altera a acidez do solo e é uma eficiente fonte de potássio para as plantas.

A aplicação de cinza não é eficiente na correção do pH do solo e neutralização do alumínio trocável.

O crescimento inicial de plantas de eucalipto em solo adubado, não foi alterado pela aplicação de cinza.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

BARRETTO, V.C.M. **Resíduos de Indústria de Celulose e Papel na Fertilidade do Solo e no Desenvolvimento de Eucalipto**. 2008. 64f. Tese - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

BELLOTE, A.F.J. et al. Resíduos da indústria de celulose em plantios florestais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Curitiba, v.37, p.99-106, 1998.

CABRAL, F. et al. Use of pulp mill in organic wastes as alternative liming materials. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v.99, p.8294-8298, 2008.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre, SBCS - Núcleo Regional Sul/UFRGS, 400p. 2004.

CORTEZ, N. et al. Influência da aplicação de cinza de biomassa florestal na produção de plantas forrageiras e nas características do solo. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v.24, p.144-157, 2001.

DEMEYER, A. et al. Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient

- uptake: an overview. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v.77, p.287-295, 2001.
- ERNFORS, M. et al. Effects of wood ash fertilization on forest floor greenhouse gas emissions and tree growth in nutrient poor drained peatland forests. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.408, p.4580-4590, 2010.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Classificação dos Solos – SNLCS. **Manual e métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro, 1997.
- ETIEGNI, L.; CAMPBELL, A.G. Physical and chemical characteristics of wood ash. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v.37, p.173-178, 1991.
- ERNANI, P.R. **Química do Solo e Disponibilidade de Nutrientes**. Lages: o Autor, 2008. 230p.
- GEE, G.W.; BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. (Ed.) **Methods of soil analysis**. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p.383-411.
- GUERRINI, I.A. **Uso de resíduos industriais de fábrica de celulose e papel em plantios de eucalipto**. 2003. 96f. Tese – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu.
- HARRISON, R.B. et al. **Reciclagem de resíduos industriais e urbanos em áreas de reflorestamento**. São Paulo: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestal (IPEF), 2003. p.1-20. Circular técnica, n.198.
- JONES JUNIOR, J.B.; CASE, V.W. Sampling handling and analyzing plant tissue samples. In: WESTERMAN, R.L. (Ed.) **Soil testing and plant analysis**. Madison: Soil Science Society of America, 1990. p.389-427. SSSA Book Series, 3.
- JORDAN, M. et al. Kraft mill residues effects on Monterey Pine growth and soil microbial activity. **Environmental Quality**, Washington, v.31, p.1004-1009, 2002.
- KOCHIAN, L.V. et al. Crop plants tolerate acid soils Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v.55, p.459-493, 2004.
- MAEDA S. et al. Resposta de *Pinus taeda* à aplicação de cinza de biomassa vegetal em Cambissolo Húmico, em vaso. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.56, p.43-52, 2008.
- MAEDA, S. et al. Aplicação de cinza de biomassa florestal para plantio de *Pinus taeda* em Latossolo e Cambissolo de Piraí do Sul, PR. **Colombo: Embrapa Florestas**, 2007. 6p. Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 198.
- MANDRE, M. et al. Short-term effects of wood ash on the soil and the lignin concentration and growth of *Pinus sylvestris* L. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 223, p.349–357, 2006.
- MILLER, W.P. et al. Flocculation concentration and sodium/calcium exchange of kaolinitic soil clays. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.54, p.346-351, 1990.
- MORO, L.; GONÇALVES, J.L.M. Efeitos da "cinza" de biomassa florestal sobre a produtividade de povoamentos puros de *Eucalyptus grandis* e avaliação financeira. **Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais**, Piracicaba, v.48/49, p.18-27, 1995.
- NOLASCO, A.M. et al. Uso de resíduos urbanos e industriais como fonte de nutrientes e condicionadores de solos florestais. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Org.) **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 2000. p.385-414.
- PARKA, B.B. et al. Wood ash effects on plant and soil in a willow bioenergy plantation. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v.28, p.355–365, 2005.
- PITMAN, R. M. Wood ash use in forestry : a review of the environmental impacts. **Forestry**, Oxford, v.79, p.563-588, 2006.
- PRADO, R.M. et al. Efeito da cinza da indústria de cerâmica no solo e na nutrição de mudas de goiabeira. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.24, p.1493-1500, 2002.
- SAS. Statistical analysis system. **Getting Started with the SAS - Learning Edition**. Cary, North Carolina: SAS Institute Inc., 2002. 86p.
- SOLLA-GULLÓN, F. et al. Nutritional status

and growth of a young *Pseudotsuga menziesii* plantation in a temperate region after application of wood-bark ash. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.237, p.312–321, 2006.

TEDESCO M.J. et al. **Análises de solos, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 174p. Boletim Técnico 5.

VÄÄTÄINEN K. et al., The costs and profitability of using granulated wood ash as a forest fertilizer in drained peatland forests. **Biomass and Bioenergy**, Amsterdam, v.35, p.3335-3341, 2011.

VOUNDI NKANA, J.C. et al. Effect of wood ash application on soil solution chemistry of tropical acid soils: incubation study. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v.85, p.323–325, 2002.

VOUNDI NKANA, J.C. et al. Chemical effects of wood ash on plant growth in tropical acid soils. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v.63, p.251-260, 1998.