

Uso da cinza de biomassa na agricultura: efeitos sobre atributos do solo e resposta das culturas

Jandeilson Alves de Arruda¹ [1], Thiago Anderson Oliveira de Azevedo¹ [2], José Lucínio de Oliveira Freire¹ [3], Lucas Bochartt Bandeira² [4], José Wellington de Medeiros Estrela¹ [5], Sebastiana Joelma de Azevedo Santos¹ [6]

[1] jandeilson_agro@hotmail.com, [2] thyagoanderson2009@gmail.com, [3] lucinio@folha.com.br, [4] lucasborchartt@yahoo.com.br, [5] wellingtonestrela18@hotmail.com, [6] joelmaifpbpicuiy@gmail.com - ¹ IFPB – Campus Picuí. Acesso Rodovia PB 151, s/n. Bairro: Cenequista. Picuí/PB. CEP 58187-000; ² IFPB – Campus Sousa. Rua Presidente Tancredo Neves, s/n. Jardim Sorrilândia. Sousa/PB. CEP 58800-970

RESUMO

Esta revisão de literatura objetiva identificar os efeitos da aplicação de cinza de biomassa vegetal sobre atributos do solo e sobre o crescimento e produção de espécies vegetais. A cinza de biomassa tem sido gerada por diversas atividades industriais e agroindustriais, sendo produzidas grandes quantidades de resíduo. A utilização agrícola desse material é uma alternativa ecologicamente correta e economicamente viável. A composição das cinzas é variável; sendo assim, as modificações causadas no solo e a resposta das culturas também variam. As principais alterações químicas resultantes da aplicação de cinza de biomassa são elevação no pH e nos teores de Ca, Mg, K e P, além da redução dos teores de Al^{3+} . A elevação do pH causada pela cinza estimula a atividade biológica, favorecendo a decomposição de matéria orgânica e a atividade de algumas enzimas. A cinza pode, ainda, elevar a retenção de água. A aplicação de cinza de biomassa tem elevado a altura das plantas, o seu diâmetro, o número de folhas, a massa seca da parte aérea e raízes, bem como o teor foliar de clorofila e nutrientes em diversas espécies de plantas cultivadas, a exemplo da alface, azevém, aveia, milho, sorgo, algodão, girassol, mamona, café, bananeira, capins, pinus e eucalipto.

Palavras-chave: : Fertilizante alternativo. Condicionador do solo. Resíduo industrial.

ABSTRACT

This review aimed to identify the effects of biomass ash application on soil attributes and on the growth and production of plants. The biomass ash has been produced by various industrial and agro industrial activities, with huge amounts of waste generated. Agricultural use of this material is an environmentally correct and economically viable alternative. The composition of the ash is variable, so the changes caused in the soil and the cultures' response also vary. The main chemical changes resulting from the application of biomass ashes are raise in pH and in Ca, Mg, K and P levels, besides the reduction of Al^{3+} contents. The rise in pH caused by the ash stimulates biological activity favoring the decomposition of organic matter and the activity of some enzymes. The ash can increase water retention. The application of biomass ash has heighten plant height, its diameter, the number of leaves, the dry mass of shoots and roots, and the leaf chlorophyll and nutrients contents in several species of cultivated plants – for example, lettuce, rye, oats, corn, sorghum, cotton, sunflower, castor beans, coffee, banana, grasses, pine and eucalyptus.

Keywords: *Alternative fertilizer. Soil conditioner. Industrial residue.*

1 Introdução

Os fertilizantes estão definidos na legislação brasileira (Decreto nº 86.955, de 18 de fevereiro de 1982) como “substâncias minerais ou orgânicas, naturais ou sintéticas, fornecedoras de um ou mais nutrientes das plantas” (DIAS; FERNANDES, 2006). Têm como função elevar os teores de nutrientes no solo, bem como repor ao solo os elementos retirados em cada colheita, com a finalidade de manter ou mesmo ampliar o seu potencial produtivo. Sua participação é fundamental para o aumento do rendimento físico da agricultura, isto é, sua produtividade.

Em sistemas convencionais, diversos adubos químicos têm sido utilizados para fertilização de solos, tais como a ureia, o sulfato de amônio, o nitrato de amônio, o cloreto de potássio, o superfosfato simples, o superfosfato triplo, entre outros. Esses adubos apresentam alta solubilidade e elevada concentração de elementos químicos – que muitas vezes são lixiviados, volatilizados ou absorvidos em grandes quantidades pelas plantas, causando desequilíbrios nutricionais (CAVALLARO JÚNIOR, 2006) –, além de apresentarem elevado custo. Ademais, esse tipo de fertilizante não é aceito em sistemas agroecológicos e orgânicos de produção, o que tem gerado, nos últimos anos, a procura por fontes alternativas de fertilizantes (ZANÃO JÚNIOR et al., 2009).

Apesar de não haver conceituação clara do que são fertilizantes alternativos, entende-se que são aqueles de origem natural e/ou de baixa solubilidade, disponíveis no país ou próximo a uma determinada região produtora. Os principais materiais utilizados como fertilizantes alternativos são, sem dúvida, os adubos orgânicos, a exemplo dos esterco, compostos orgânicos, vermicompostos e biofertilizantes. Mais recentemente, materiais provenientes do processamento e abate de bovinos, comercializados na forma de farinha de casco e chifres e farinha de ossos, emergem como fertilizantes fornecedores de nitrogênio (14% de N) e de fósforo (27% de P₂O₅), respectivamente (CAVALLARO JÚNIOR, 2006).

Tendo em vista que os esterco – utilizados na forma curtida ou em preparados como o biofertilizante – apresentam composição química variável de acordo com a alimentação dos animais, eles acabam, muitas vezes, por apresentar baixos teores de determinado elemento, de modo que se faz necessária a

complementação por meio da aplicação de outros materiais, geralmente de origem mineral. Exemplos desses materiais são os pós de rochas e os resíduos industriais e agroindustriais – por exemplo, a cinza de biomassa, gerada em fornos industriais de padarias e pela queima de resíduos de biomassa vegetal em caldeiras utilizadas em diversas atividades econômicas.

Além da utilização como fertilizante, alguns desses materiais alternativos, como a cinza de biomassa, podem apresentar, ainda, capacidade de corrigir a acidez do solo (ZIMMERMANN; FREY, 2002; SOUZA et al., 2013), podendo substituir os calcários agrícolas na prática da calagem. A despeito disso, esses produtos muitas vezes são utilizados sem seguir critérios técnicos e precisam ter seu comportamento no solo e a resposta das culturas melhor compreendidos, de forma que se possa otimizar seu uso.

Já existe bastante informação na literatura acerca das alterações nos atributos do solo e do efeito sobre as culturas ocasionados pela aplicação de cinza de biomassa, porém essas informações encontram-se dispersas. Assim, esta revisão de literatura objetiva reunir informações sobre os efeitos da aplicação de cinza de biomassa vegetal sobre atributos do solo e sobre o crescimento e a produção de espécies vegetais.

2 Cinza de biomassa

A cinza de biomassa é o produto resultante da queima de vegetais quando da combustão incompleta e variável da madeira, sendo a sua composição qualitativa e quantitativa dependente da biomassa utilizada, da temperatura de carbonização – responsável pela maior ou menor sublimação dos componentes químicos – e da adoção ou não da requeima (MAEDA; SILVA; CARDOSO, 2008).

As cinzas foram os únicos materiais utilizados para adubação potássica na agricultura até o descobrimento das jazidas de sais potássicos solúveis, mostrando que, no passado, havia uma relação direta entre a agricultura e o uso da cinza, prática essa perdida ao longo do tempo (CAMPANHARO et al., 2008).

O grande crescimento das indústrias de celulose, papel e siderurgia tem provocado, nas últimas décadas, a geração de elevadas quantidades de cinza de biomassa florestal (MORO; GONÇALVES, 1995).

No semiárido nordestino, as indústrias de cerâmica vermelha têm sido as principais geradoras desse material.

A utilização agrícola da cinza de biomassa mostra-se como uma alternativa viável e ecologicamente correta, pois possibilita o aproveitamento do resíduo, além de devolver ao ambiente parte dos nutrientes extraídos pelas plantas e armazenados na biomassa que fora retirada para queima. Ademais, as cinzas contribuem para melhorias nas propriedades físicas e químicas do solo (MORO; GONÇALVES, 1995; FERREIRA; FAGERIA; DIDONET, 2012).

Para Brunelli e Pisani Jr. (2006), a utilização da cinza como insumo no processo produtivo agrícola é ambiental e economicamente viável, uma vez que esse material possibilita alta capacidade de retenção de água, melhorando o desenvolvimento das culturas e reduzindo os impactos ambientais, além de possuir macro e micronutrientes e capacidade de reduzir a acidez do solo. Apesar disso, essa cinza tem sido pouco utilizada na agricultura como fertilizante (OSAKI; DAROLT, 1991).

As cinzas produzidas durante a queima da biomassa florestal possuem compostos orgânicos e inorgânicos que podem ter efeitos favoráveis para a planta, especialmente naqueles solos com maior deficiência nutricional (JORDAN *et al.*, 2002). Entre

os nutrientes que podem ser encontrados nas cinzas de madeira, estão o cálcio e o magnésio, que se apresentam como óxidos, hidróxidos e carbonatos (HARALDSEN; PEDERSEN; GRONLUND, 2011; NORSTROM *et al.*, 2012). Esses compostos químicos conferem ao material ação alcalina, o que pode contribuir para a correção da acidez dos solos. A quantidade de K_2O existente nas cinzas de madeira varia conforme o tipo de madeira, podendo estar entre 5% e 25%. (CHIRENJE; MA, 2002).

A composição química de cinzas de biomassa apresentada por diversos autores pode ser verificada na Tabela 1. As cinzas utilizadas pelos autores foram originadas de caldeiras ou fornos da indústria de celulose e tiveram como matéria bruta para queima resíduos de colheita de eucalipto, com exceção da cinza utilizada por Vogel *et al.* (2003), que teve como origem a queima de casca de acácia-negra.

Resultados obtidos em estudo feito por Osaki e Darolt (1991) mostraram uma relação Ca/Mg superior a três e teores de K_2O entre 6% e 7% em amostras de cinza analisadas. Os autores observaram grande variação nos teores de micronutrientes nas amostras estudadas, com uma amplitude de 50 a 250 $mg\ kg^{-1}$ de Zn, de 100 a 150 $mg\ kg^{-1}$ de Cu, e de 2.600 a 10.800 $mg\ kg^{-1}$ de Mn.

Tabela 1 - Características químicas de cinzas de biomassa utilizadas por diferentes autores

Característica	Moro e Gonçalves (1995)	Dallago (2000)	Vogel <i>et al.</i> (2003)	Maeda, Silva e Cardoso (2008)	Silva <i>et al.</i> (2009)
PN (%)	*	*	*	*	6,5
N ($g\ kg^{-1}$)	1,5	4,9	3,93	1,04	1,6
P ($g\ kg^{-1}$)	1,1	3,5	3,50	3,02	1,8
K ($g\ kg^{-1}$)	4,5	7,4	17,48	11,95	13,0
Ca ($g\ kg^{-1}$)	18,4	391,0	64,08	26,02	19,0
Mg ($g\ kg^{-1}$)	1,6	9,6	7,94	4,18	5,3
S ($g\ kg^{-1}$)	0,5	6,5	*	0,62	1,0
Fe ($g\ kg^{-1}$)	*	*	*	15,48	13,0
Mn ($g\ kg^{-1}$)	*	*	*	1,16	1,1
Cu ($mg\ kg^{-1}$)	*	*	*	34,00	39,0
Zn ($mg\ kg^{-1}$)	*	*	*	48,20	100,0
B ($mg\ kg^{-1}$)	*	*	*	59,80	*
Na ($mg\ kg^{-1}$)	*	*	*	1.002,00	768,0
Cd ($mg\ kg^{-1}$)	*	*	*	*	0,3
Cr ($mg\ kg^{-1}$)	*	*	*	35,00	40,0
Ni ($mg\ kg^{-1}$)	*	*	*	*	22,0
Pb ($mg\ kg^{-1}$)	*	*	*	*	4,0

* Não determinado pelo(s) autor(es).

Fonte: Dados da pesquisa.

3 Efeito sobre atributos do solo

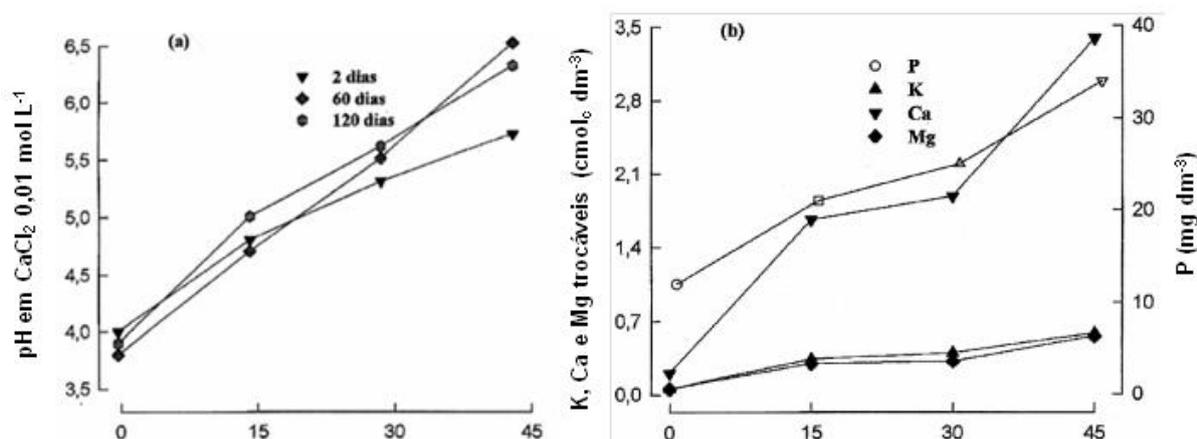
A cinza de biomassa aplicada ao solo altera diversas características deste, tanto químicas quanto físicas ou microbiológicas, sendo mais marcantes as alterações de cunho químico, em função da constituição do material, rico em óxidos.

Para Guariz *et al.* (2009), a incorporação das cinzas pode promover mudanças nas características do solo, como elevação nos níveis de pH e nos teores de Ca, Mg, B, Mn, CTC, além de elevar a saturação por bases e atuar na redução dos níveis de Al e Fe.

A cinza de biomassa aplicada a um solo Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico promoveu grande

elevação do valor de pH (Figura 1a) e dos teores de K, Ca e Mg trocáveis e P disponível (Figura 1b) e a redução do Al trocável, em amostras de solo incubadas sob condições controladas em laboratório (GONÇALVES; MORO, 1995). A aplicação de 15 t ha⁻¹ de cinza elevou os teores de K trocáveis de próximo a zero para aproximadamente 0,3 cmolc dm⁻³, representando um teor de K disponível de 117 mg dm⁻³, o que seria suficiente para considerar elevado o teor de K nesse solo. Em termos práticos, esses dados nos dizem que a aplicação de 15 t ha⁻¹ de cinza disponibiliza aproximadamente 230 kg ha⁻¹ de K ou 277 kg ha⁻¹ de K₂O.

Figura 1 - Valores de pH em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ e teores de K, Ca e Mg trocáveis e P disponível em função de doses de cinza



Fonte: Gonçalves e Moro (1995).

Elevação do valor do pH em CaCl₂, dos teores de Ca, Mg, K e P, além da redução do teor de Al trocável e da acidez potencial (H+Al) de um Cambissolo Húmico (Tabela 2) em resposta à aplicação de doses da cinza (0, 10, 20, 40 e 80 t ha⁻¹) também foram verificados por Maeda, Silva e Cardoso (2008). O aumento do teor de K da camada 0-20 cm (média das camadas 0-10 e 10-20 cm) foi de aproximadamente 240%, passando de 0,09 cmolc dm⁻³ (35,19 mg dm⁻³) para 0,22 cmolc dm⁻³ (86 mg dm⁻³), pela aplicação de apenas 10 t ha⁻¹.

Prado, Corrêa e Natale (2002) verificaram que a cinza aplicada em um Argissolo Vermelho-Amarelo alterou significativamente as características químicas analisadas, tanto na presença quanto na ausência de calagem. Houve aumento no pH e nos teores de mi-

cronutrientes (B, Cu e Zn), além de redução da acidez potencial (H+Al+3), em resposta à aplicação de cinza, independentemente da presença ou não de calcário. Já para Ca e Mg, houve aumento nos teores, porém a aplicação do calcário também exerceu influência sobre essas características. Para P, K e matéria orgânica, não foi verificada resposta às doses de cinza.

Silva *et al.* (2009) verificaram que a aplicação de doses de cinza de biomassa (0, 3, 6, 12, 18 e 24 t ha⁻¹) em um Cambissolo Húmico (com 342 g kg⁻¹ de argila) e em um Nitossolo Hálco (300 g kg⁻¹ de argila) não alterou o pH dos solos após 90 dias de incubação. Porém, houve aumento linear nos teores de Ca, Mg e K e quadrático no teor de P em resposta à aplicação das doses, evidenciando que as cinzas podem ser usadas como fonte desses elementos (Figura 2).

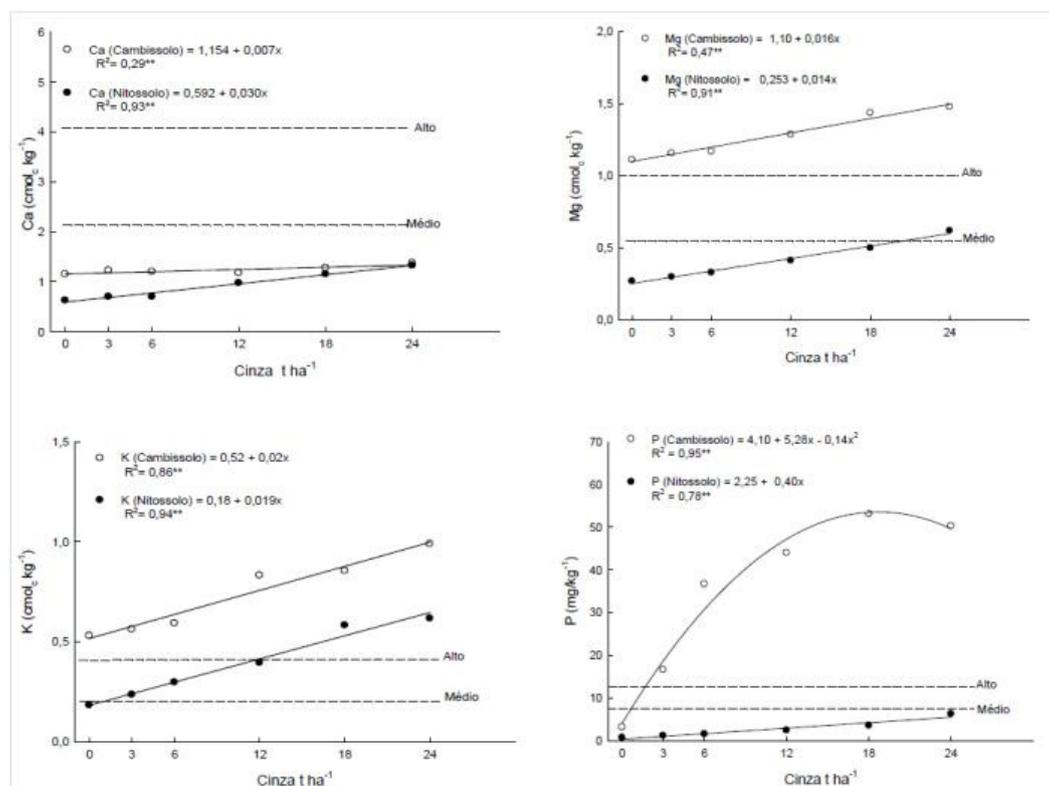
Tabela 2 - Resultados analíticos de características químicas em diferentes camadas de um Cambissolo Húmico submetido a doses de cinza de biomassa

Dose	Camada	pH (CaCl ₂)	Ca	Mg	Al	K	H+Al	P
t ha ⁻¹	cm	-	-----cmol _c dm ⁻³ -----					mg dm ⁻³
0	0-10	4,2	0,4	0,3	0,7	0,09	6,31	5,4
10	0-10	4,4	1,6	0,7	0,5	0,25	5,30	9,0
20	0-10	4,7	3,1	1,5	0,3	0,44	4,40	14,5
40	0-10	5,0	3,8	1,0	0,0	0,70	3,40	18,4
80	0-10	5,5	7,3	2,5	0,0	1,17	2,31	37,4
CV - %		0,58	30,00	26,50	16,10	17,80	1,80	23,70
0	10-20	4,2	0,6	0,2	0,8	0,09	6,42	5,4
10	10-20	4,2	1,2	0,9	0,6	0,19	6,08	9,0
20	10-20	4,4	2,6	1,0	0,4	0,32	5,40	9,4
40	10-20	4,6	2,4	1,0	0,3	0,50	4,69	10,8
80	10-20	5,0	5,8	2,0	0,0	0,96	3,35	27,9
CV - %		2,50	27,10	23,6	24,30	53,10	6,40	29,00
0	20-30	4,2	0,6	0,3	0,7	0,11	6,41	6,7
10	20-30	4,1	0,8	0,5	0,7	0,16	6,61	6,7
20	20-30	4,2	1,5	0,7	0,7	0,22	6,16	6,7
40	20-30	4,1	1,6	0,7	0,6	0,20	6,67	4,9
80	20-30	4,4	3,6	1,6	0,3	0,51	6,25	16,0
CV - %		2,80	37,60	51,50	17,90	40,00	7,00	34,20

CV = Coeficiente de Variação.

Fonte: Maeda, Silva e Cardoso (2008).

Figura 2 - Teores de Ca, Mg e K trocáveis e P disponível em dois solos após aplicação de doses de cinza



Fonte: Gonçalves e Moro (1995).

Bonfim-Silva *et al.* (2015a) verificaram aumento linear no pH do solo, sendo os valores elevados de 6,3 para 7,2 pela aplicação de 20 g dm⁻³ (aproximadamente 40 t ha⁻¹) de cinza de madeira de eucalipto em um Latossolo do Cerrado, coletado em Rondonópolis-MT.

Segundo Bellote *et al.* (1998), a aplicação de resíduos da celulose e de cinza de caldeiras aumenta a atividade biológica do solo, acelerando a decomposição da serrapilheira e a ciclagem de nutrientes.

Avaliando a influência da cinza de biomassa sobre propriedades microbiológicas do solo, Zimmermann e Frey (2002) verificaram que a adição de 8 t ha⁻¹ do material em um solo ácido de floresta coletado em Unterehrendingen, na Suíça, mostrou efeitos de curto prazo sobre as características avaliadas. Os autores verificaram que houve aumento no carbono da biomassa microbiana e na respiração basal até 15 dias após a aplicação da cinza sob condições de laboratório. Os autores observaram ainda que, em condições de campo, houve aumento no efluxo de CO₂, evidenciando uma maior atividade microbiana (principalmente de bactérias), e uma redução nos teores de carbono orgânico e N total, verificados no primeiro dia após a adição da cinza. A atividade enzimática de fosfatases foi reduzida possivelmente em função de uma maior oferta de P pela cinza de biomassa, mas, em contraste a isso, houve aumento na atividade da protease e da urease. Uma justificativa apresentada para esses resultados é a de que o aumento no pH causado pela cinza estimulou a atividade dos microrganismos do solo ali presentes. Diversos autores afirmam que o aumento do pH ocasionado pela calagem favorece a atividade microbiana (CATTELAN; VIDOR, 1990; ERNANI; NASCIMENTO; OLIVEIRA, 1998; MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

A capacidade de retenção de água do solo é outro fator que pode ser alterado pela aplicação de resíduos e cinzas. Em estudo conduzido por Bellote *et al.* (1998), à medida que o potencial da água no solo foi aumentado, os tratamentos que receberam cinza aumentaram sua capacidade de retenção de água. Na condição de capacidade de campo (0,3 kPa), a cinza aumentou a capacidade do solo de reter água em 12% a 14% em relação à testemunha (solo com adubação mineral) em todos os tratamentos, mas não de forma homogênea.

4 Efeitos sobre o crescimento e nutrição vegetal

A resposta de culturas à aplicação de cinzas de biomassa já foi avaliada em diversos estudos. Aumentos na produção de fitomassa seca foram verificados por Park *et al.* (2012) em azevém e aveia e por Pita (2009) em plantas de milho.

Almeida, Fontes e Almeida (1988) avaliaram o efeito da cinza resultante da queima do tegumento da castanha de caju como fonte de fósforo para a cultura do sorgo. Os autores concluíram que, apesar de não verificarem resultados significativos da aplicação do material sobre a produção de biomassa pelo sorgo, a cinza estudada apresenta potencial como fonte alternativa de P, em virtude de ter sido detectada tendência de resposta à aplicação das doses da cinza. Os autores afirmaram que questões metodológicas, ligadas ao tempo de realização do experimento, podem ter interferido nos resultados, sugerindo que mais experimentos sejam realizados para avaliação do produto.

Moro e Gonçalves (1995) verificaram que doses de cinza (5, 10, 15, 20 e 25 t ha⁻¹), aplicadas em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, influenciaram de forma significativa o diâmetro à altura do peito (DAP), o volume sólido de madeira com casca e o índice de sítio de plantas de *Eucalyptus grandis* nas idades de 51, 63 e 79 meses, bem como sua altura nas idades de 51 e 63 meses. Verificou-se também que os ganhos de produção devido à aplicação de cinza, em termos de volume sólido de madeira com casca aos 79 meses de idade, variaram entre 25,7% para a menor dose (5 t ha⁻¹) e 48,6% para a dose de 20 t ha⁻¹.

Dando continuidade ao trabalho de Moro e Gonçalves (1995), Gonçalves e Moro (1995) verificaram que o conteúdo de K na parte aérea total de plantas de eucalipto aos 79 meses de idade foi 44,9% e 36,1% maior, respectivamente, nos tratamentos que receberam cinza nas dosagens 10 e 20 t ha⁻¹ quando comparados à testemunha (solo sem aplicação de adubos ou cinza). Já quando comparados à adubação química (NPK 10:20:10), os aumentos foram de 17,2% e 10,1%, respectivamente, para as duas doses estudadas (Tabela 3).

Tabela 3 - Conteúdo de nutrientes da parte aérea total (folhas, galhos, casa e lenho) de plantas de eucalipto aos 79 meses de idade

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
	-----kg ha ⁻¹ -----					
Testemunha	147,9	11,9	54,6	69,1	19,5	9,99
417 kg ha ⁻¹ de 10:20:10	240,4	19,2	67,5	78,1	29,8	14,5
10 t ha ⁻¹ de cinza	245,5	18,8	79,1	152,9	30,3	16,6
20 t ha ⁻¹ de cinza	240,4	18,3	74,3	157,0	32,4	14,7
Média	218,5	17,0	68,9	114,3	28,0	13,9
CV experimental (%)	4,6	9,3	12,8	21,4	15,6	16,6
DMS (p=0,05)	28,4	4,5	24,9	69,2	12,3	6,5

CV = Coeficiente de Variação; DMS = diferença média significativa; p = probabilidade.

Fonte: Gonçalves e Moro (1995).

Ao avaliarem o efeito de cinza de biomassa e esterco bovino sobre o desempenho agrônomo de plantas de mamona da cultivar BRS nordestina cultivadas em solo arenoso (960 g kg⁻¹ de areia) que recebeu Al³⁺ (3mmolc dm⁻³), Lima *et al.* (2006) concluíram que a adição de cinza de madeira favoreceu o crescimento das plantas, porém, apresentou eficiência aquém do esterco bovino.

Maeda, Silva e Cardoso (2008) não verificaram diferenças significativas no crescimento e teores de nutrientes (Tabelas 4 e 5) nas acículas de mudas de

Pinus taeda em resposta à aplicação de doses de cinza de biomassa (0, 10, 20, 40 e 80 t ha⁻¹) após 148 dias de cultivo em um Cambissolo Húmico. Exceção apenas para o Cu: os autores verificaram que houve diferença significativa do teor do elemento nas acículas das mudas de Pinus do tratamento que recebeu 80 t ha⁻¹ de cinza, sendo essa diferença uma redução de 40%. Os autores justificam que possivelmente essa redução no teor foliar de Cu se deu em função da elevação do valor do pH pela cinza aplicada.

Tabela 4 - Crescimento de mudas de *Pinus taeda* em resposta à aplicação de cinza

Dose	Crescimento relativo (%)			Massa seca (g)	
	H	De	R	PA	Total
t ha ⁻¹					
0	8,03	175,0	7,07	8,21	15,29
10	9,91	136,5	6,70	7,24	13,95
20	14,40	113,9	5,70	7,90	13,60
40	15,70	162,2	7,02	7,97	14,98
80	11,20	154,5	7,46	7,87	15,32
CV - %	74,09	24,77	12,54	12,42	10,85

H = altura; De = diâmetro; R = raiz; PA = parte aérea; CV = Coeficiente de Variação.

Fonte: Maeda, Silva e Cardoso (2008).

Tabela 5 - Teores de nutrientes em acículas de *Pinus taeda* em resposta a doses de cinza

Dose	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
t ha ⁻¹	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹			
0	22,41	1,36	6,28	7,17	1,14	22,11	110,19	727,90	112,18
10	22,23	1,50	6,60	5,18	1,27	22,94	92,19	624,15	124,63
20	19,70	1,43	6,73	4,66	1,34	20,11	76,24	657,92	95,77
40	21,59	1,52	6,72	4,70	1,18	10,72	82,56	511,45	106,20
80	20,99	1,57	5,79	5,07	1,03	13,26	100,19	464,65	105,39
CV - %	9,93	14,36	14,32	16,51	14,06	31,81	17,36	27,44	26,11

CV = Coeficiente de Variação.

Fonte: Maeda, Silva e Cardoso (2008).

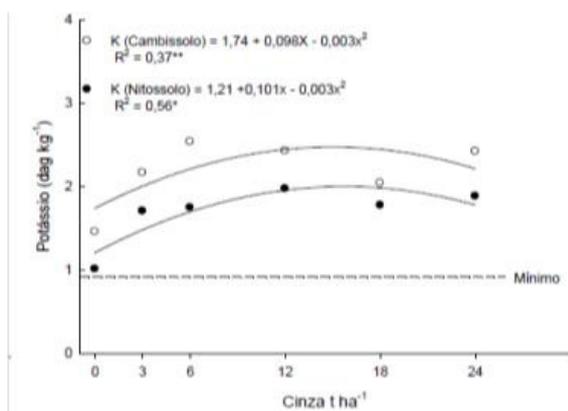
Avaliando o efeito de cinza de biomassa de cana-de-açúcar (0, 30, 60 e 90 t ha⁻¹) em Latossolo Vermelho-Amarelo de textura arenosa, Feitosa, Maltoni e Silva (2009) verificaram que a aplicação de doses de 60 a 90 t ha⁻¹ pode substituir a adubação convencional de milho, principalmente com relação ao potássio. Parte da adubação química da bananeira também pode ser substituída satisfatoriamente pela aplicação de 1 kg de cinza por planta a cada 40 dias, conforme verificado por Teixeira *et al.* (2009).

Silva *et al.* (2009) também verificaram aumento no teor de K (Figura 3) na parte aérea de plantas de eucalipto cultivadas durante 70 dias em dois solos

(Cambissolo Húmico e Nitossolo Háplico) que receberam cinza de biomassa (0, 3, 6, 12, 18 e 24 t ha⁻¹). Os autores não verificaram aumentos nos teores de Ca e Mg.

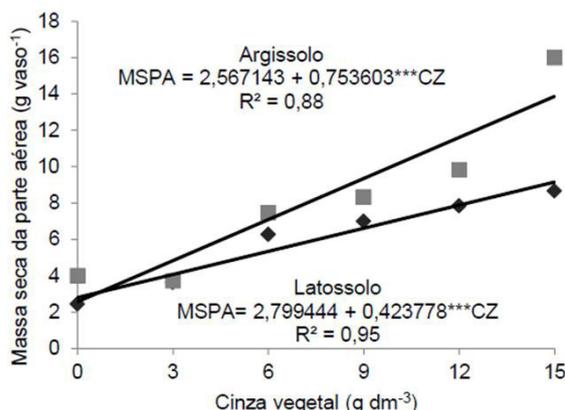
Bezerra (2013) concluiu que a aplicação de cinza como corretivo e fertilizante proporcionou maior desenvolvimento, crescimento e produção em plantas de capim-marandu cultivadas em dois solos (Latossolo Vermelho e Argissolo Vermelho-Amarelo) de Rondonópolis-MT. A autora verificou que doses no intervalo de 9 a 15 g dm⁻³ (aproximadamente 18 a 30 t ha⁻¹) resultam em máximas produções (Figura 4).

Figura 3 - Teores de K na parte aérea de eucaliptos cultivados em 2 solos submetidos a doses de cinza



Fonte: Silva *et al.* (2009).

Figura 4 - Massa seca de capim-marandu submetido a doses de cinza em Latossolo Vermelho (◆) e Argissolo Vermelho-Amarelo (■)

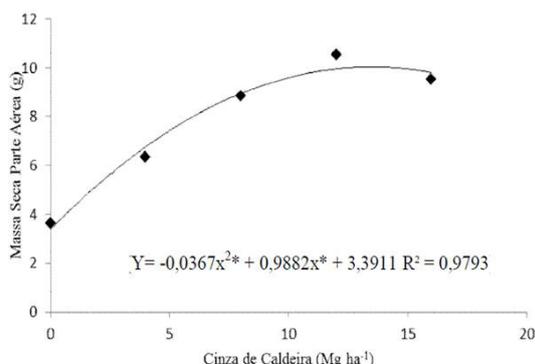


Fonte: Bezerra (2013).

Resultados semelhantes foram verificados por Bonfim-Silva *et al.* (2013) para capim-marandu ao aplicarem doses variando de 0 a 3,75 g dm⁻³ de cinza a um Latossolo Vermelho, o que ocasionou maior produção de matéria seca da parte aérea e da raiz em dois cultivos sucessivos. Os autores verificaram ainda elevação no teor foliar de clorofila.

Souza *et al.* (2013) verificaram que a aplicação de cinza (doses variando de 0 a 16 t ha⁻¹) em um Latossolo Vermelho-Amarelo coletado em Barreiras-BA resultou em aumento de produção de biomassa em alface. Os autores concluíram que a aplicação de cinza em doses de 11,35 e 12,4 t ha⁻¹ proporcionou os maiores valores para massa fresca da parte aérea (180,4 g planta⁻¹) e para massa seca da parte aérea (9,9 g por planta), respectivamente (Figura 5). Esses resultados foram atribuídos à elevação do pH e das concentrações de Ca, Mg, P e K, que tiveram resposta linear à aplicação das doses de cinza.

Figura 5 - Massa seca da parte aérea da alface em função de níveis crescentes de cinza de caldeira



Fonte: Souza *et al.* (2013).

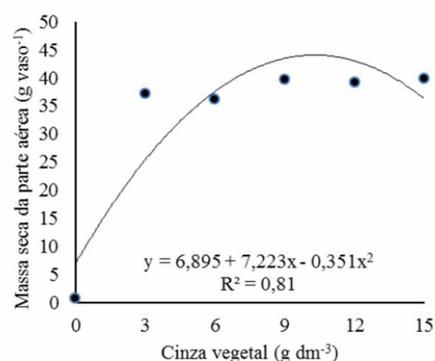
A cinza de biomassa proveniente de olarias foi testada por Terra *et al.* (2014) como componente de substratos para produção de mudas e cultivo de alface. Os autores verificaram que a mistura de solo:cinza numa proporção 1:1 foi extremamente prejudicial tanto à germinação quanto ao desenvolvimento das plantas de alface. Entretanto, a cinza vegetal apresentou um grande potencial para correção do solo. Possivelmente os resultados negativos foram verificados em função da quantidade excessiva da cinza empregada – em condições de campo, essa quantidade seria proporcional a 2000 m³ de cinza aplicada ao solo –, que resultou em um pH de 10,51,

muito elevado para o cultivo vegetal. Os resultados apresentados por Silva *et al.* (2012) indicam que o uso de cinza em menores proporções pode ser benéfico para a germinação da alface. Os autores concluíram que o substrato formado pela mistura de solo com 6,25% (massa/massa) de cinza apresentou resultados superiores ao substrato comercial para as variáveis porcentagem de germinação e IVG.

Morais, Bragion e Silva (2014) avaliaram o uso de cinza na forma de solução, com concentração de 5% de cinza de eucalipto. As aplicações foram realizadas quinzenalmente e totalizaram cinco aplicações. Os autores concluíram que o emprego da solução aumentou o diâmetro de mudas de café Catuaí Vermelho IAC 144 quando aplicada tanto no solo como por via foliar. A aplicação conjunta das duas formas de aplicação não resultou em diferenças significativas em relação à testemunha.

Bonfim-Silva *et al.* (2015b) verificaram resposta positiva de plantas de algodoeiro cultivar FMX 910 à aplicação de doses de cinza de biomassa (0, 3, 6, 9, 12 e 15 g dm⁻³) a um Latossolo Vermelho. Após 60 dias, os autores verificaram efeito quadrático na massa seca da parte aérea (Figura 6), na altura das plantas, no diâmetro do caule, na massa seca de raízes e no teor de clorofila.

Figura 6 - Massa seca da parte aérea das plantas do algodoeiro cultivar FMX 910 em função das doses de cinza vegetal em Latossolo Vermelho do Cerrado

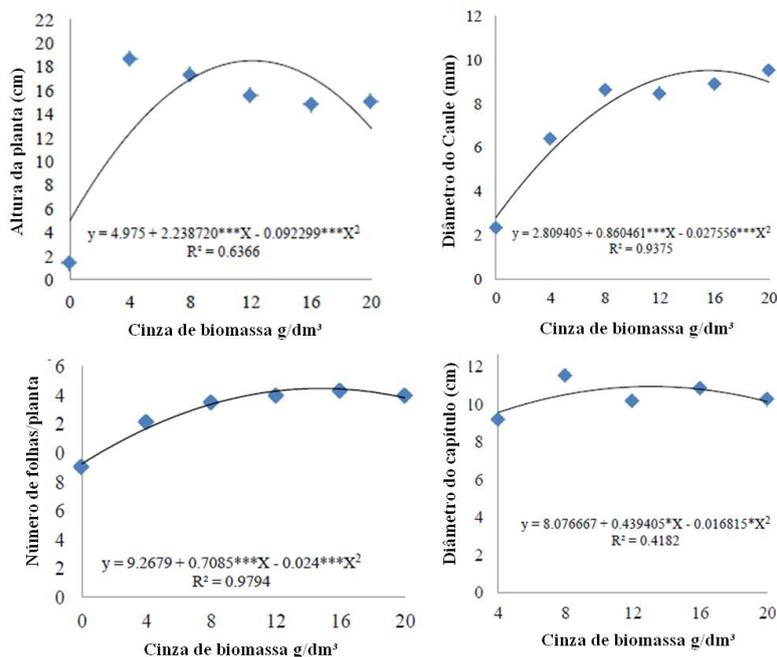


Fonte: Bonfim-Silva *et al.* (2015b).

Bonfim-Silva *et al.* (2015a) obtiveram resultados semelhantes ao avaliarem a resposta de plantas de girassol ornamental à aplicação de doses de cinza de biomassa. As doses aplicadas foram de 0, 4, 8, 12, 16 e 20 g dm⁻³ e resultaram em efeitos quadráticos so-

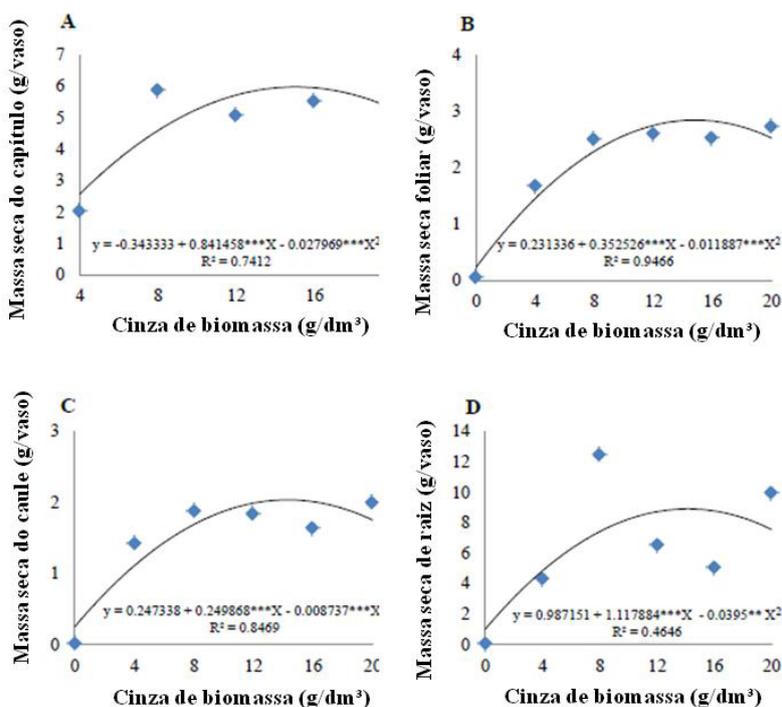
bre as variáveis altura da planta, diâmetro do caule, número de folhas por planta, massa seca do capítulo, massa seca foliar, massa seca do caule, massa seca de raízes, além do diâmetro do capítulo e diâmetro do disco (Figuras 7 e 8).

Figura 7 - Altura, diâmetro, número de folhas e diâmetro do capítulo em plantas de girassol ornamental 51 dias após aplicação de doses de cinza de biomassa em um Latossolo do Cerrado



Fonte: Bonfim-Silva et al. (2015a).

Figura 8 - Massa seca de diferentes partes em plantas de girassol ornamental 51 dias após aplicação de doses de cinza de biomassa em um Latossolo do Cerrado



Fonte: Bonfim-Silva et al. (2015a).

5 Considerações finais

Pelo exposto, é possível verificar que a cinza de biomassa, como um resíduo, é um material que pode trazer transtornos às empresas geradoras bem como às comunidades inseridas no entorno destas. Porém, a utilização agrícola desse material é uma alternativa ecologicamente correta e economicamente viável, trazendo benefícios a todas as partes envolvidas na sua geração e descarte.

Apesar de possuir composição variável, esse material apresenta certas características gerais que indicam benefícios para o seu uso agrícola. No entanto, são necessários estudos para a melhor compreensão do seu efeito sobre o solo e as plantas, de modo que sua aplicação seja otimizada e os riscos de impactos negativos no solo e nas culturas sejam minimizados.

As principais alterações químicas resultantes da aplicação de cinza de biomassa são elevação no pH e nos teores de Ca, Mg, K e P, além da redução dos teores de Al^{3+} . A elevação do pH causada pela cinza estimula a atividade biológica, favorecendo a decomposição de matéria orgânica e a atividade de algumas enzimas. A cinza pode, ainda, elevar a retenção de água.

A aplicação de cinza de biomassa tem elevado a altura das plantas, o seu diâmetro, o número de folhas, a massa seca da parte aérea e das raízes, bem como o teor foliar de clorofila e nutrientes em diversas espécies de plantas cultivadas – a exemplo da alface, azevém, aveia, milho, sorgo, algodão, girassol mamona, café, bananeira, capins, pinus e eucalipto.

De acordo com a maioria dos estudos consultados, doses variando entre 10 e 20 t ha⁻¹ parecem ser aquelas que trazem melhores resultados, sobretudo em culturas olerícolas e anuais.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. A. G.; FONTES, J. M.; ALMEIDA, F. C. G. Uso da cinza da casca de castanha do caju como fonte de fósforo para a cultura do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.). **Ciência Agrônômica**, v. 19, n. 1, p. 67-72, 1988.

BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D.; FERREIRA, C. A.; ANDRADE, G. C. Resíduos da indústria de celulose em plantios florestais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 37, p. 99-106, jul./dez. 1998.

BEZERRA, M. D. L. **Cinza vegetal como corretivo e fertilizante no cultivo de capim-marandu em solos do cerrado mato-grossense**. 2013. 63 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis, 2013.

BONFIM-SILVA, E. M.; CABRAL, C. E. A.; SILVA, T. J. A.; MOREIRA, J. C. F.; CARVALHO, J. C. S. Cinza vegetal: características produtivas e teor de clorofila do capim-marandu. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 5, p. 1215-1225, 2013.

BONFIM-SILVA, E. M.; FREITAS, D. C.; BATISTA, E. R.; LIMA, M. A. Wood ash as corrective of soil pH and as fertilizer in ornamental sunflower cultivation. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 33, p. 3253-3264, 2015a.

BONFIM-SILVA, E. M.; CARVALHO, J. M. G.; PEREIRA, M. T. J.; SILVA, T. J. A. Cinza vegetal na adubação de plantas de algodoeiro em Latossolo Vermelho do cerrado. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 11, n. 21, p. 523-533, 2015b.

BRUNELLI, A. M. M. P.; PISANI JÚNIOR, R. Proposta de disposição de resíduo gerado a partir da queima do bagaço de cana em caldeiras como fonte de nutriente e corretivo do solo. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 30., 2006, Punta del Leste. **Anais...** Montevideo: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2006. v. 1, p. 1-9.

CAMPANHARO, M.; MONNERAT, P. H.; RIBEIRO, G.; PINHO, L. G. R. Utilização de cinza de madeira como corretivo de solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 28.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 12.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 10.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 7., 2008, Londrina. **Desafios para o uso do solo com eficiência e**

qualidade ambiental: anais. Londrina: Embrapa Soja; SBCS; IAPAR; UEL, 2008. 1 CD-ROM.

CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p. 133-142, 1990.

CAVALLARO JÚNIOR, M. L. **Fertilizantes orgânicos e minerais como fontes de N e de P para produção de rúcula e tomate.** 2006. 39 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico, Campinas, 2006.

CHIRENJE, T.; MA, L. Q. Impact of high-volume wood-fired boiler ash amendment on soil properties and nutrients. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.33, n.1-2, p. 1- 17, 2002.

DALLAGO, J. S. **Utilização da cinza de biomassa de caldeira como fonte de nutrientes no crescimento de plantas de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild).** 2000. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

DIAS, V. P.; FERNANDES, E. Fertilizantes: uma visão global sintética. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 24, p. 97-138, set. 2006.

ERNANI, P. R.; NASCIMENTO, J. A. L.; OLIVEIRA, L. C. Increase of grain and green matter of corn by liming. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 275-280, abr./jun. 1998.

FEITOSA, D. G.; MALTONI, K. L.; SILVA, I. P. F. Avaliação da cinza oriunda da queima do bagaço da cana-de-açúcar na substituição da adubação química convencional para produção de alimentos e preservação do meio ambiente. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, p. 2412-2415, 2009.

FERREIRA, E. P. B.; FAGERIA, N. K.; DIDONET, A. D. Chemical properties of an Oxisol under organic management as influenced by application of sugarcane bagasse ash. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 2, p. 228-236, 2012.

GONÇALVES, J. L. M.; MORO, L. Uso da “cinza” de biomassa florestal como fonte de nutrientes em povoamentos puros de *Eucalyptus grandis*. IPEF, Piracicaba, n. 48/49, p. 28-37, 1995.

GUARIZ, H. R.; PICOLI, M. H. S.; CAMPANHARO, W. A.; RODRIGUES, B. P. Uso de cinzas de fornos de cerâmica como fonte de nutrientes para aproveitamento na agricultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS, 1., 2009, Vitória. **Anais...** Vitória: Incaper, 2009. 1 CD-ROM.

HARALDSEN, T. K.; PEDERSEN, P. A.; GRONLUND, A. Mixtures of bottom wood ash and meat and bone meal as NPK fertilizer. In: INSAM, H.; KNAPP, B. A. (Eds.). **Recycling of biomass ashes.** Berlin: Springer, 2011. p. 33-44.

JORDAN, M.; SÁNCHEZ, M. A.; PADILLA, L.; CÉSPEDES, R.; OSSES, M.; GONZÁLEZ, B. Kraft mill residues effects on Monterey pine growth and soil microbial activity. **Journal of Environmental Quality**, v. 31, n. 3, p. 1004-1009, 2002.

LIMA, R. L. S.; SEVERINO, L. S.; BELTRÃO, N. E. M.; FERREIRA, G. B. Efeito da adição de cinza de madeira e esterco bovino no crescimento inicial da mamoneira cultivada em solo ácido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 2. 2006, Aracaju. **Cenário atual e perspectivas: anais.** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006.

MAEDA, S.; SILVA, H. D.; CARDOSO, C. Resposta de *Pinus taeda* à aplicação de cinza de biomassa vegetal em Cambissolo Húmico, em vaso. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 56, p. 43-52, jan./jun. 2008.

MORAIS, P. I. C.; BRAGION, M. L. L.; SILVA, S. Efeito de cinza de eucalipto no diâmetro de mudas de *Coffea arabica*. **Revista da Estatística UFOP**, v. 3, n. 3, p. 397-400, 2014.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo.** Lavras: Editora UFLA, 2002. 625 p.

MORO, L.; GONÇALVES, J. L. M. Efeitos da “cinza” de biomassa florestal sobre a produtividade de po-

- voamentos puros de *Eucalyptus grandis* e avaliação financeira. **IPEF**, Piracicaba, n. 48/49, p. 18-27, 1995.
- NORSTROM, S. H.; BYLUND, D.; VESTIN, J. L. K.; LUNDSTROM, U. S. Initial effects of wood ash application to soil and soil solution chemistry in a small, boreal catchment. **Geoderma**, v. 187-188, p. 85-93, 2012.
- OSAKI, F.; DAROLT, M. R. Estudo da qualidade de cinzas vegetais para uso como adubos na região metropolitana de Curitiba. **Revista Setor Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 11, n. 1-2, p. 197-205, 1991.
- PARK, N. D.; RUTHERFORD, P. M.; THRING, R. W.; HELLE, S. S. Wood pellet fly ash and bottom ash as an effective liming agent and nutrient source for rye grass (*Lolium perenne* L.) and oats (*Avena sativa*). **Chemosphere**, v. 86, n. 4, p. 427-432, jan. 2012.
- PITA, P. V. V. **Valorização agrícola de cinza da co-combustão de bagaço de cana-de-açúcar e biomassa lenhosa**. 2009. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrônômica) – Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.
- PRADO, R. M. **Nutrição de Plantas**. Editora Unesp, 2009. 408 p.
- PRADO, R. M.; CORRÊA, M. C. M.; NATALE, W. Efeito da cinza da indústria de cerâmica no solo e na nutrição de mudas de goiabeira. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1493-1500, 2002.
- SILVA, F. R.; ALBUQUERQUE, J. A.; GATIBONI, L. C.; MARANGONI, J. M. Cinza de biomassa florestal: alterações nos atributos de solos ácidos do planalto catarinense e em plantas de eucalipto. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 10, n. 6, p. 475-482, nov./dez. 2009.
- SILVA, C. G.; COSTA, A. B.; FONSECA, A. M.; TERRA, M. A.; LEONEL, F. F. Quantidade ideal de cinza vegetal na germinação de sementes de alface. In: CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO (CONNEPI), 7., 2012, Palmas. **Ciência, tecnologia e inovação: ações sustentáveis para o desenvolvimento regional: anais**. Palmas: IFTO, 2012.
- SOUZA, R. A.; MONÇÃO, O. P.; SOUZA, H. B.; OLIVEIRA, J. S.; REIS, T. C. Efeito da cinza de caldeira sobre as características químicas de um solo do Cerrado baiano e produtividade da alface. **Cultivando o Saber**, v. 6, n. 4, p. 60-73, 2013.
- TEIXEIRA, E. W. L.; SANTOS, H. R.; MOURA, M. A. R.; SIMPLICIO, A. A. F.; NESS, R. L. L. Adubação orgânica da bananeira com cinza de madeira, esterco e urina de vaca. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 12., 2009, Fortaleza. **Desafios para a produção de alimentos e bioenergia: resumos**. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Fisiologia Vegetal; Universidade Federal do Ceará; Embrapa Agroindústria Tropical, 2009.
- TERRA, M. A.; LEONEL, F. F.; SILVA, C. G.; FONSECA, A. M. Cinza vegetal na germinação e no desenvolvimento da alface. **Revista Agrogeoambiental**, v. 6, n. 1, p. 11-17, abr. 2014.
- VOGEL, H. L. M.; SCHUMACHER, M. V.; SILVA, J. V. M.; ROSS, G. P. D.; MOREIRA, E. S. Utilização de cinza de caldeira de biomassa como fonte de nutrientes em *Acacia mearnsii* De Wild. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 8., 2003, São Paulo. **Benefícios, Produtos e Serviços da Floresta: Oportunidades e Desafios do Século XXI**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2003.
- ZANÃO JÚNIOR, L. A.; BORSZOWSKI, P. R.; RADOMSKI, M. I.; SANTOS, R. O. Calagem e adubação para a produção de morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch.) de base agroecológica. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, p. 2434-2437, nov. 2009.
- ZIMMERMANN, S.; FREY, B. Soil respiration and microbial properties in an acid forest soil: effects of wood ash. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 34, n. 11, p. 1727-1737, nov. 2002.