

CINZAS DE BIOMASSA FLORESTAL COMO CORRETIVO DE ACIDEZ DO SOLO E FERTILIZANTE PARA A CULTURA DA SOJA

ANDRADE, Edna Aparecida de¹
PINTO, Juliana de Souza²
HUBNER, Vitória³
ZANÃO JÚNIOR, Luiz Antônio⁴

RESUMO

Este trabalho avalia o potencial da utilização de cinzas de biomassa florestal como corretivo da acidez do solo e fertilizante para a cultura da soja. Foram conduzidos dois experimentos. O primeiro consistiu em um teste de incubação conduzido em laboratório. Os tratamentos foram gerados por um esquema fatorial 2x5, sendo dois tipos de solos (argiloso e arenoso) e cinco doses de cinzas de biomassa vegetal: 0, 5, 10, 15 e 20 t ha⁻¹. Após o período de incubação (60 dias) foram determinados o pH em CaCl₂, teores de Ca, Mg, K, P e saturação por bases nos solos. O segundo experimento foi conduzido à campo, em área experimental em Santa Tereza do Oeste - PR. Foram avaliadas cinco doses de cinzas de biomassa florestal aplicadas sob a superfície do solo, sem incorporação, um dia após semeadura da cultura da soja. O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados. Avalizaram-se teores de macro e micronutrientes nas folhas durante o florescimento e na colheita, avaliou-se a produtividade de grãos da soja. Os dados foram submetidos a análise de variância e o efeito das doses, a análise de regressão, utilizando o programa estatístico Assistat. As cinzas de biomassa florestal proporcionaram correção da acidez do solo e aumento nos teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio no solo, tanto de textura arenosa quanto argilosa. A adubação com cinzas de biomassa florestal aumentou a produtividade de grãos da soja e proporcionou nutrição adequada da cultura.

PALAVRAS-CHAVE: Nutrição de plantas, fertilizantes alternativos, cultura energética.

FOREST BIOMASS ASH AS A SOIL ACIDITY AMENDMENT AND FERTILIZER FOR SOYBEAN CULTIVATION

ABSTRACT

This study evaluates the potential use of forest biomass ash as a soil acidity amendment and fertilizer for soybean cultivation. Two experiments were conducted. The first was an incubation test carried out in the laboratory. The treatments were arranged in a 2x5 factorial scheme, consisting of two soil types (clayey and sandy) and five doses of biomass ash: 0, 5, 10, 15, and 20 t ha⁻¹. After a 60-day incubation period, the following parameters were measured: pH in CaCl₂, and the concentrations of Ca, Mg, K, P, and base saturation in the soils. The second experiment was conducted in the field, at an experimental area in Santa Tereza do Oeste, Paraná, Brazil. Five doses of forest biomass ash were applied to the soil surface, without incorporation, one day after soybean sowing. A randomized block design was used. During the flowering stage, macro- and micronutrient levels in the leaves were assessed, and at harvest, soybean grain yield was evaluated. Data were subjected to analysis of variance, and the effect of ash doses was analyzed using regression, with the statistical program Assistat. Forest biomass ash improved soil acidity correction and increased phosphorus, potassium, calcium, and magnesium levels in both sandy and clayey soils. Fertilization with forest biomass ash enhanced soybean grain yield and provided adequate crop nutrition.

KEYWORDS: Plant Nutrition, Alternative Fertilizers, Energy Crops

¹ Doutoranda em Engenharia de Energia na Agricultura. Unioeste. E-mail: ednacesumaraparecida@gmail.com

² Doutoranda em Engenharia de Energia na Agricultura. Unioeste - PR. E-mail: juliana_brturbo@hotmail.com

³ Doutoranda em Engenharia de Energia na Agricultura. Unioeste - PR. E-mail: vitoria.hubner@hotmail.com

⁴ Pesquisador da Área de Solos do IDR-Paraná. Santa Tereza do Oeste – PR. E-mail: lzanao@idr.pr.gov.br

1. INTRODUÇÃO

O uso de biomassa florestal é indispensável para geração de energia sustentável, tendo em vista sua versatilidade. Como fonte de energia, a biomassa florestal desempenha um papel importante para as indústrias de vários segmentos (KUMAR et al., 2021).

A queima da madeira nas indústrias, sob a forma de toras e cavacos, produz energia térmica, alimentando as caldeiras para a geração de vapor (BRAGHIROLI; PASSARINI, 2020). É de responsabilidade das indústrias o destino correto dos resíduos sólidos (cinzas) resultantes dessa queima.

A composição dessas cinzas é quantitativa e qualitativa, e depende da forma em que é queimada. O processo de carbonização determina a capacidade de liberar componentes químicos, e nutrientes (ALBUQUERQUE et al., 2021). As características das cinzas são muito distintas e fatores como tipo de solo, biomassa, formas de colheita e de combustão podem interferir em suas propriedades (VOSHELL; MÄKELÄ; DAHL, 2018).

As cinzas vegetais apresentam elevado potencial de contaminação do meio ambiente (TOSTI et al., 2019). Com isso, à busca por diversos tipos de reutilização constitui-se na atual preocupação as políticas ambientais. Nesse contexto, a utilização das cinzas agrega valor de diversos modos destacando a diminuição de custos destinados à sua eliminação; liberação de espaços em indústrias; retorno financeiro por sua venda e ainda outros fins como na produção de cimento, substituindo recursos naturais já em escassez e relativo valor comercial (SILVA et al., 2019).

O reaproveitamento desses resíduos como materiais alternativos representa sua incorporação em novos processos produtivos, como na agricultura (YU et al., 2019). As cinzas apresentam teores de macronutrientes como potássio, cálcio, magnésio e fósforo em sua composição proporcionando sua utilização como fertilizante agrícola. Mas nem todos os nutrientes contidos nas cinzas estão solubilizados ou na forma que as plantas conseguem absorver (ZAJAC et al., 2018).

As cinzas podem ser utilizadas no solo para correção do pH e neutralização do Al tóxico pois o cálcio, presente na composição das cinzas sob a forma de CaO (cal viva) confere características de ação alcalina, podendo ser aproveitada como corretivo da acidez do solo (ŻELAZNY; JAROSIŃSKI, 2019). A toxidez do alumínio está diretamente relacionada com o pH do solo. Em pH em CaCl₂ superior a 5,0 o alumínio não está solúvel no solo e não é absorvido pela planta. As propriedades alcalinas das cinzas aumentam o pH nos solos e conseqüentemente podem ser utilizadas como corretivo da acidez do solo por aumentarem o pH e neutralizarem o Al tóxico (HAMIDI et al., 2021). Dessa forma, busca-se encontrar aplicações para as cinzas, já que seu descarte inadequado pode causar prejuízos econômicos e ambientais (ALAVI-BORAZJANI et al., 2020). Nesse contexto, as

cinzas de biomassa florestal surgem como uma alternativa viável para a agricultura, desde que sejam utilizadas em doses corretas. Sua disponibilidade é abundante, contribuindo para a reposição de nutrientes no solo, aumentando a produtividade das culturas e reduzindo os custos com fertilizantes minerais e corretivos de acidez do solo. Este estudo avalia os benefícios da aplicação de cinzas de biomassa florestal na agricultura, como corretivo da acidez do solo e fertilizante para a cultura da soja.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 BIOMASSA FLORESTAL

O uso de biomassa florestal é indispensável para geração de energia sustentável tendo em vista sua versatilidade em várias formas de utilização. Como fonte de energia, a biomassa florestal desempenha um papel importante para as indústrias de vários seguimentos (EMBRAPA FLORESTAS, 2015).

Para a produção de espécies de biomassa florestal, áreas com baixa aptidão para agricultura são utilizadas em sua grande maioria. A extração de nutrientes pelas árvores não é maior que algumas culturas como o café, o algodão, a soja, o milho e pastagens. Na cultura florestal, as copas das árvores acumulam nutrientes como forma de prevenção, podendo ser utilizadas caso alguma interrupção no fornecimento desses nutrientes aconteça (BELLOTE; SILVA, 2000).

A biomassa florestal é uma matéria prima totalmente renovável, minimizando os impactos ambientais. As espécies de árvores mais representativas utilizadas para o fornecimento de energia em formas de toras, cavacos e carvão são espécies exóticas, especificamente o eucalipto e o pinus. Existem espécies menos representativas como a acácia, o paricá, entre outras. O eucalipto é destaque nas indústrias de celulose que o têm como fonte principal de sua matéria prima (EMBRAPA FLORESTAS, 2015).

2.2 CINZAS

As cinzas são um resíduo sólido de origem industrial que provêm da queima de madeira sob a forma de toras e cavacos. A queima da madeira produz energia térmica, através da produção de vapor (GONÇALVES; MORO, 1995). O processo de carbonização determina maior ou menor capacidade de liberar componentes químicos, tais como os nutrientes (MAEDA; SILVA; CARDOSO, 2008). As

características das cinzas são muito distintas e fatores como o tipo de solo, biomassa, formas de colheita e formas de combustão podem interferir nelas (MORUJO, 2011).

As cinzas vegetais se enquadram no grupo dos resíduos comuns e que apresentam riscos de contaminação ao meio ambiente (ANVISA, 2006). A busca por diversos tipos de reutilização se constitui na atual preocupação em relação às políticas ambientais. A reutilização desses resíduos como materiais alternativos representa sua incorporação em novos processos produtivos, como a agricultura.

A gestão apropriada desses resíduos é importante do ponto de vista econômico e ambiental. Sá (2013), afirma que formas viáveis da utilização dessas cinzas devem ser consideradas porque, de certa forma, elas trazem problemas para as indústrias que são detentoras do seu resíduo e têm, portanto, a responsabilidade de destinar adequadamente o que produzem. A utilização da cinza de biomassa pode se mostrar uma alternativa ecologicamente correta para a devolução de nutrientes para o solo, sendo economicamente viável como insumo no processo produtivo agrícola (BRUNELLI; PISANI JUNIOR, 2006).

2.3 UTILIZAÇÃO DE CINZAS DE BIOMASSA FLORESTAL NO SOLO

A aplicação das cinzas no solo tem se mostrado satisfatória devido à boa qualidade da mesma. Porém, deve-se ter cuidado para que metais pesados ou poluentes orgânicos não sejam acumulados. Deste modo, somente cinzas consideradas de alta qualidade pode ser aplicadas no solo. Ensaios de longa duração utilizando cinzas aplicadas em ecossistemas florestais nos países do norte da Europa mostraram que elas se destacaram positivamente (INSAM; KNAPP, 2011).

O cálcio está presente nas cinzas sob a forma de CaO, que lhe confere características de ação alcalina, podendo ser aproveitado como corretivo da acidez do solo (CAMPANHARO et al., 2008). As cinzas originárias de biomassa florestal proveniente de indústrias de celulose têm sua totalidade estimada em aproximadamente 750 milhões de toneladas, sendo essa uma quantidade muito significativa. Desse total, 50 % são utilizados como substrato e fontes de fertilizantes

(IZQUIERDO; QUEROL, 2012).

Maiores produtividades dos cultivos extraem maiores quantidades de nutrientes e contribuem para empobrecer e acidificar ainda mais o solo. A utilização das cinzas de biomassa vegetal se torna uma alternativa para a recuperação nutricional desses desequilíbrios. Além disso, em contrapartida, contribui para a destinação adequada desse resíduo produzido em grande escala, conforme Guariz et al. (2009).

Estudos sobre a utilização de cinzas no solo apontam essa prática como uma alternativa potencialmente benéfica e viável. Contudo, é essencial observar alguns critérios, como a dose aplicada, para evitar impactos negativos tanto para as plantas quanto para o solo (SILVA et al., 2013).

3. METODOLOGIA

Realizaram-se dois experimentos: para um, utilizaram-se amostras de solos coletadas em Santa Tereza do Oeste (argiloso) e em Umuarama (arenoso) e para o outro, realizaram-se avaliações a campo.

3.1 EXPERIMENTO 1: INCUBAÇÃO EM SOLOS DE TEXTURAS DIFERENTES

Coletaram-se amostras de solos com duas texturas distintas: argilosa e arenosa. Os solos foram classificados em Latossolo Vermelho Distroférrico, de textura argilosa (600 g kg⁻¹ de argila) e em Neossolo Quartzarênico, de textura arenosa (140 g kg⁻¹ de argila) (Tabela 1). As amostras foram coletadas em profundidades de 0 a 20 cm. Após a coleta, o experimento foi conduzido em laboratório na Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste).

Tabela 1 – Análise de solo da área experimental de Santa Tereza do Oeste – PR, 2019.

Solo	pH CaCl ₂	MO g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	Al -----	H+Al -----	K cmol _c dm ⁻³	Ca -----	Mg -----	CTC -----	V %
Argiloso	5,8	49,7	3,6	0,00	4,3	0,49	6,4	4,7	15,8	73
Arenoso	5,6	18,8	24,8	0,00	3,3	0,33	2,2	0,6	6,4	49

Fonte: Próprio autor

Para os tratamentos utilizou-se o esquema fatorial 2x5: solos com duas texturas distintas e cinco doses de cinzas de biomassa florestal (0, 5, 10, 15 e 20 t ha⁻¹). Realizaram-se quatro repetições utilizando-se delineamento inteiramente casualizado. As cinzas foram fornecidas pelo silo Moinho Iguaçu, localizado na região de Cascavel - PR, que utiliza eucalipto como matéria prima para combustão e secagem dos grãos.

A fim de determinar os macros e micronutrientes, além do teor de umidade das cinzas, realizaram-se análises químicas das mesmas, cujos resultados estão presentes na Tabela 2. Além disso, analisaram-se as cinzas como corretivo de acidez do solo.

Tabela 2 – Análise química e teores de umidades das cinzas de biomassa florestal.

Determinação	Resultado	Unidade
Umidade á 105°C	2,56	%
Nitrogênio	1,31	g kg ⁻¹
Fósforo	4,31	g kg ⁻¹
Potássio	18,98	g kg ⁻¹
Cálcio	92,43	g kg ⁻¹
Magnésio	10,90	g kg ⁻¹
Enxofre	3,99	g kg ⁻¹
Boro	36,97	mg kg ⁻¹
Cobre	28,80	mg kg ⁻¹
Ferro	5927,30	mg kg ⁻¹
Manganês	2179,41	mg kg ⁻¹
Zinco	43,69	mg kg ⁻¹

Fonte: Próprio autor

A cinza como corretivo de acidez do solo, apresentou as seguintes características: Poder de Neutralização (PN) em relação ao CaCO₃: 90,23 %; Reatividade das Partículas (ER): 96,37 %; Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT): 86,95 %; teor de óxido de cálcio (CaO): 37,38 % e óxido de magnésio (MgO): 3,65 %. Com base nesses resultados, concluiu-se que, a partir da classificação e do teor de MgO do corretivo, as cinzas equivalem-se ao calcário calcítico e que cerca de 96 % das partículas reagiriam em até três meses após a aplicação no solo.

As amostras de solos foram destorroadas e secas em estufa de circulação forçada de ar durante quarenta e oito horas (48 h). Posteriormente, elas foram passadas em uma peneira de 2 mm e divididas em amostras de 500 g de solo. Essas foram colocadas e tampadas em recipientes de polietileno com capacidade de 0,8 dm³. As cinzas também foram peneiradas e pesadas nas devidas quantidades para os respectivos tratamentos.

Após a homogeneização das cinzas aos solos, adicionaram-se 150 mL de água destilada em cada recipiente de solo arenoso e 240 mL de solo argiloso. A umidade foi mantida próxima a capacidade de campo por sessenta dias (período de incubação). Então, o solo foi seco, peneirado e encaminhado para realização de análises químicas. Determinaram-se: pH em CaCl₂; teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e calculada a saturação por bases (V %).

Após, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e o efeito das doses de cinzas foi avaliado por análise de regressão utilizando o programa estatístico Assistat.

3.2 EXPERIMENTO 2: ADUBAÇÃO DA SOJA COM CINZAS DE BIOMASSA FLORESTAL

Conduziu-se o experimento em condições de campo, em solo classificado como Latossolo Vermelho Distroférico, em Santa Tereza do Oeste - PR. Avaliaram-se as aplicações de cinco doses de cinzas: 0, 5, 10, 15 e 20 t ha⁻¹, com quatro repetições, em delineamento de blocos ao acaso.

Os resultados da análise de solo, coletada na profundidade de 0 a 20 cm, realizada no local do experimento, antes de sua instalação são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Análise de solo da área experimental de Santa Tereza do Oeste – PR, 2019.

Profundidade Cm	pH CaCl ₂	MO g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	Al	H+Al	K	Ca	Mg	CTC	V
				-----		cmol _c dm ⁻³	-----			%
0-20	5,00	54	4,10	0,00	4,96	0,69	5,93	4,09	15,68	68

Fonte: Próprio autor

De posse dos dados da composição química das cinzas e dos tratamentos avaliados, calculou-se as quantidades de macronutrientes fornecidos pelas cinzas (Tabela 4).

Tabela 4 – Quantidade de Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) fornecidos pela cinza e pelo fertilizante mineral.

Dose de Cinzas t ha ⁻¹	N	P	K	Ca	Mg
	-----		kg ha ⁻¹	-----	
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	6,5	21,5	94,5	462,0	54,5
10	13,0	43,0	189,0	924,0	109,0
15	19,5	64,5	283,5	1386,0	163,5
20	26,0	86,0	378,0	1848,0	218,0

Fonte: Próprio autor

A semeadura da soja foi realizada com uma semeadora de precisão e espaçamento entre linhas de 40 cm, em Sistema de Plantio Direto (SPD) sobre palhada de trigo. As parcelas apresentavam 2,5 m de comprimento e 2,5 m de largura. Aplicaram-se as cinzas a lanço um dia após a semeadura.

As aplicações de herbicidas, fungicidas e inseticidas ocorreram de acordo com a necessidade e recomendações para a cultura da soja.

Ao atingir o estágio fenológico de florescimento da soja, coletaram-se, em cada parcela, 30 folhas recém-maduras, sem pecíolo. Após, as mesmas foram lavadas com água destilada, acondicionadas em sacos de papel e secadas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C, por setenta e duas horas (72 h). Em seguida, foram moídas em moinho tipo Wiley, com peneira de malha 0,84

mm. A matéria seca foi mineralizada pela mistura nítrico-perclórica (3:1 v v-1), determinando-se os teores de macro e micronutrientes conforme Tedesco et al. (1995).

A colheita foi realizada manualmente e a produtividade de grãos, determinada na área útil de cada parcela, transformados em kg ha⁻¹ e corrigida para 13% de umidade.

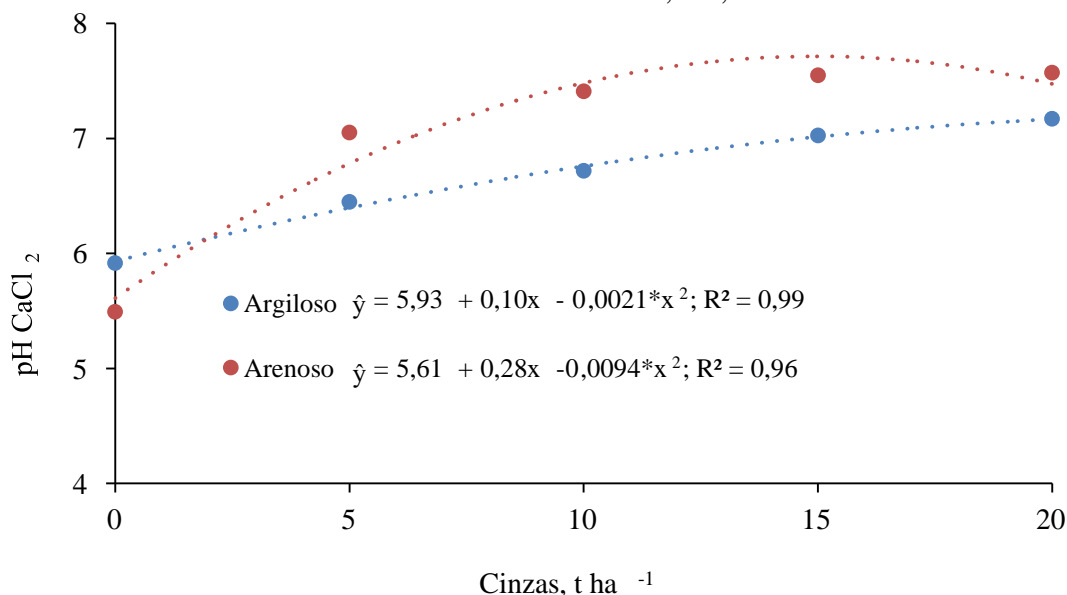
Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e regressão para avaliar o efeito das doses de cinzas utilizando o programa estatístico Assistat.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 INCUBAÇÃO DE CINZAS EM SOLOS DE TEXTURAS DIFERENTES

As cinzas de biomassa florestal aplicadas, tanto no solo arenoso quanto no solo argiloso promoveram elevação no valor do pH em CaCl₂ (Figura 1). À medida que as doses aumentaram, a elevação do pH foi ficando menos acentuada.

Figura 1 – pH em CaCl₂ de solos de diferentes texturas em função da incubação com doses de cinzas de biomassa florestal. Santa Tereza do Oeste, PR, 2021.



Fonte: Próprio autor

O Ca está sob a forma de CaO nas cinzas da biomassa florestal e aos poucos se transforma em carbonato de cálcio (CaCO₃). Também, ao se adicionar água ao CaO, forma-se hidróxido de cálcio [Ca(OH)₂]. Além disso, pela reação das cinzas no solo ocorre a formação de carbonatos de magnésio (MgCO₃) e de potássio (K₂CO₃) (PRADO et al., 2002). Todos esses componentes conferem às cinzas composição característica de corretivo de acidez do solo. Os carbonatos, por exemplo, ao

regirem no solo formam ácido carbônico (HCO_3^-) e hidroxila (OH^-), que reagem com o hidrogênio (H^+) e representa a acidez ativa do solo, formando CO_2 e H_2O . Ao reduzir a quantidade de H^+ na solução do solo, há elevação de pH, conforme Albuquerque et al. (2021).

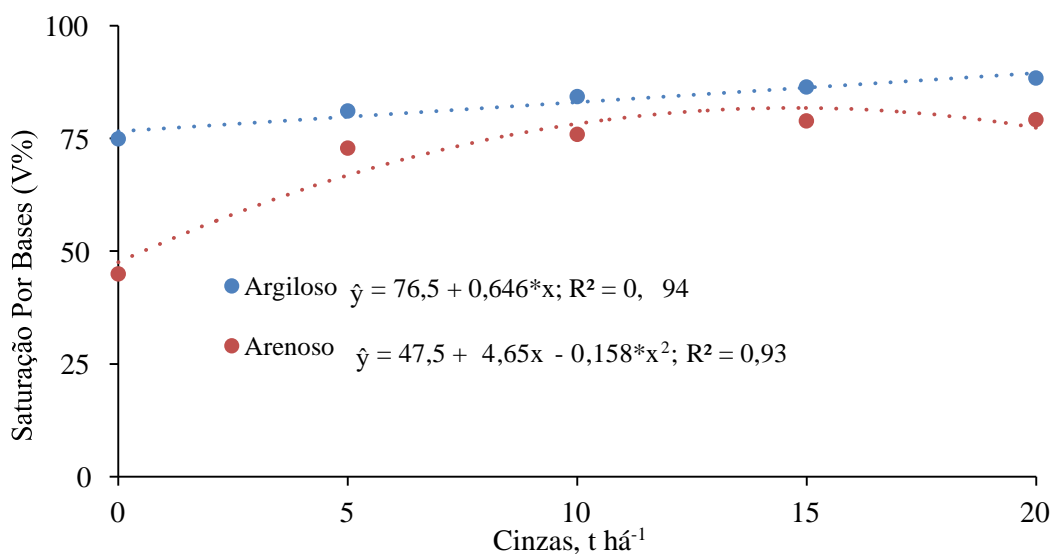
Magela et al. (2019) também verificaram aumento significativo no pH do solo com aplicação de cinzas, o que foi também evidenciado por Silva et al. (2013) e Sbruzzi (2017).

Tanto no solo arenoso quanto no solo argiloso, no tratamento que não recebeu aplicação de cinzas, o pH em CaCl_2 , segundo a classificação proposta pela SBSC/NEPAR (2017) estava muito alto. Com a aplicação de 5 t ha^{-1} de cinzas, nos dois solos, foi atingido pH em CaCl_2 que deve ser evitado, que seria acima de 6,0. Acima desse pH pode haver indisponibilização de micronutrientes catiônicos, principalmente Mn, o que pode diminuir a produtividade das culturas.

Com relação a saturação por bases dos solos, essa também apresentou um aumento em decorrência da aplicação das cinzas de biomassa florestal (Figura 2). O solo argiloso, que não recebeu aplicação das cinzas, encontrava-se com saturação por bases (Ca, Mg e K) na CTC em torno de 73 % e o arenoso, de 45 %. Somente o solo argiloso apresentava saturação por bases adequada para o cultivo da maior parte das culturas produtoras de grãos (cereais e leguminosas). Segundo SBSC/NEPAR (2017), o ideal para essas culturas é uma saturação por bases de 70 %. No solo arenoso, através de cálculo com auxílio da equação ajustada seriam necessárias $6,2 \text{ t ha}^{-1}$ de cinzas de biomassa florestal para atingir a saturação por bases ideal de 70 %.

Destaca-se que a qualidade de um corretivo de acidez do solo depende de seu valor neutralizante (VN) e da granulometria de suas partículas (reatividade - ER). No caso, as cinzas utilizadas no presente trabalho apresentavam valor neutralizante de 90,23 % e reatividade de 96,37 %, que se fosse um corretivo seria de boa qualidade, conferindo esse efeito à cinza de biomassa florestal verificados no efeito neutralizante e em sua granulometria. Assim, como as cinzas são resíduos com muita variabilidade, os efeitos de sua utilização na correção da acidez do solo certamente dependerão dessas duas variáveis (VN e ER).

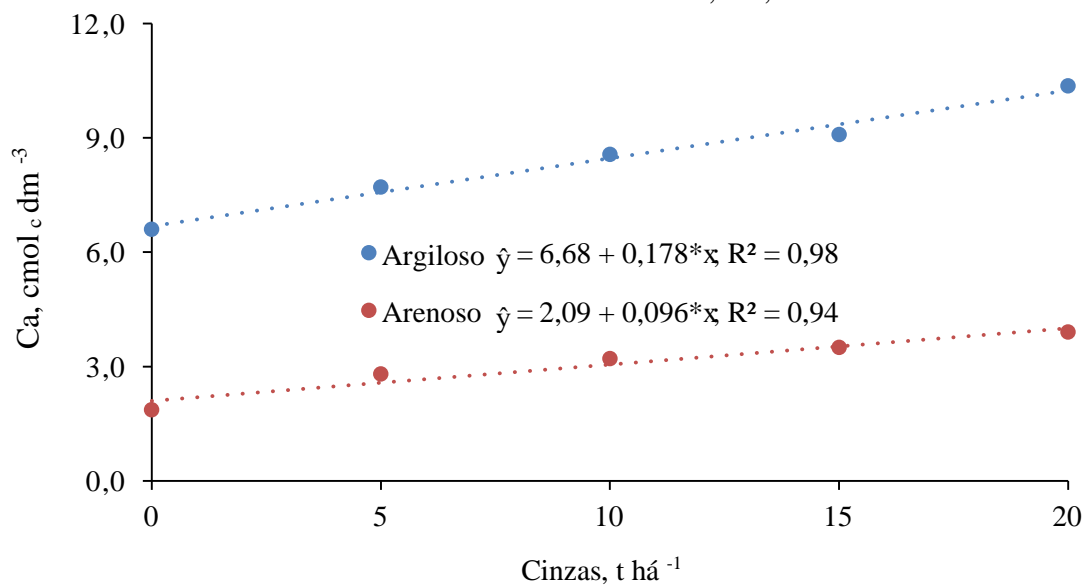
Figura 2 – Saturação por bases em solos de diferentes texturas em função da incubação com doses de cinzas de biomassa florestal. Santa Tereza do Oeste, PR, 2021.



Fonte: Próprio autor

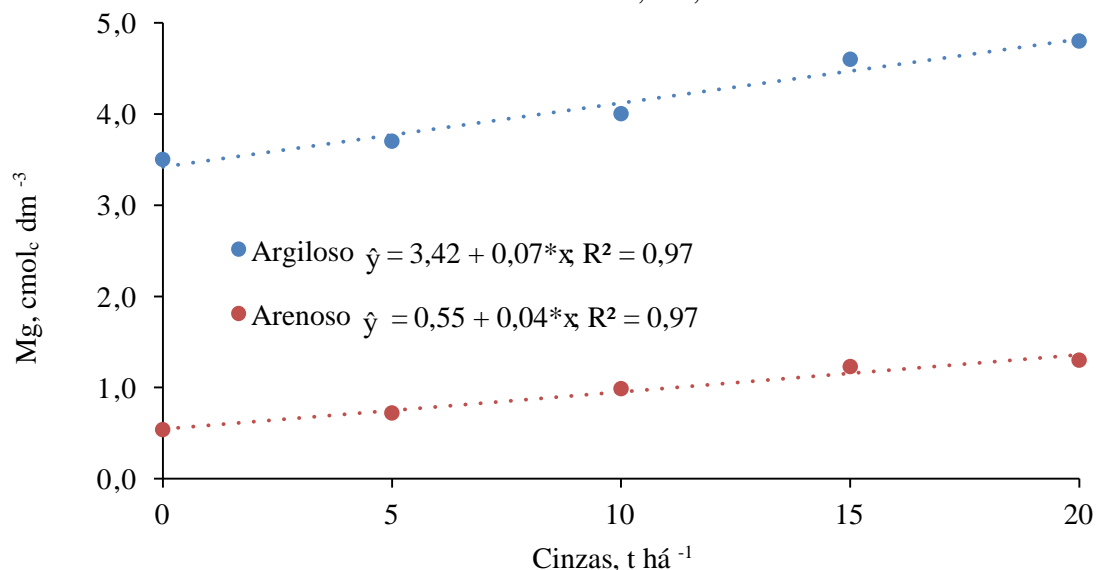
Elevação linear dos teores de Ca e Mg tanto no solo argiloso quanto no solo arenoso foi observada com a aplicação das doses de cinza de biomassa florestal (Figuras 3 e 4).

Figura 3 – Teores de cálcio de solos de diferentes texturas em função da incubação com doses de cinzas de biomassa florestal. Santa Tereza do Oeste, PR, 2021.



Fonte: Próprio autor

Figura 4 – Teores de magnésio de solos de diferentes texturas em função da incubação com doses de cinzas de biomassa florestal. Santa Tereza do Oeste, PR, 2021.



Fonte: Próprio autor

Os teores de Ca se elevaram de 6,6 para 10,4 cmolc dm⁻³ no solo argiloso e de 1,9 para 3,9 cmolc dm⁻³ no solo arenoso, representando aumento de 58 % e 105 %, respectivamente. No caso do Mg, os teores aumentaram de 3,5 para 4,8 cmolc dm⁻³ (37 %) no solo argiloso e de 0,5 para 1,3 cmolc dm⁻³ no solo arenoso (160 %). Esses aumentos referem-se ao teor inicial desses elementos no solo e os obtidos após a aplicação de 20 t ha⁻¹ de cinzas de biomassa florestal (Figuras 3 e 4).

A elevação linear e significativa dos teores de Ca e Mg do solo com a aplicação de cinzas de biomassa florestal deve-se à sua composição. As cinzas utilizadas possuem, aproximadamente, 10 % de Ca e cerca de 1 % de Mg (Tabela 2), o que representa grandes quantidades aplicadas desses dois macronutrientes (Tabela 4).

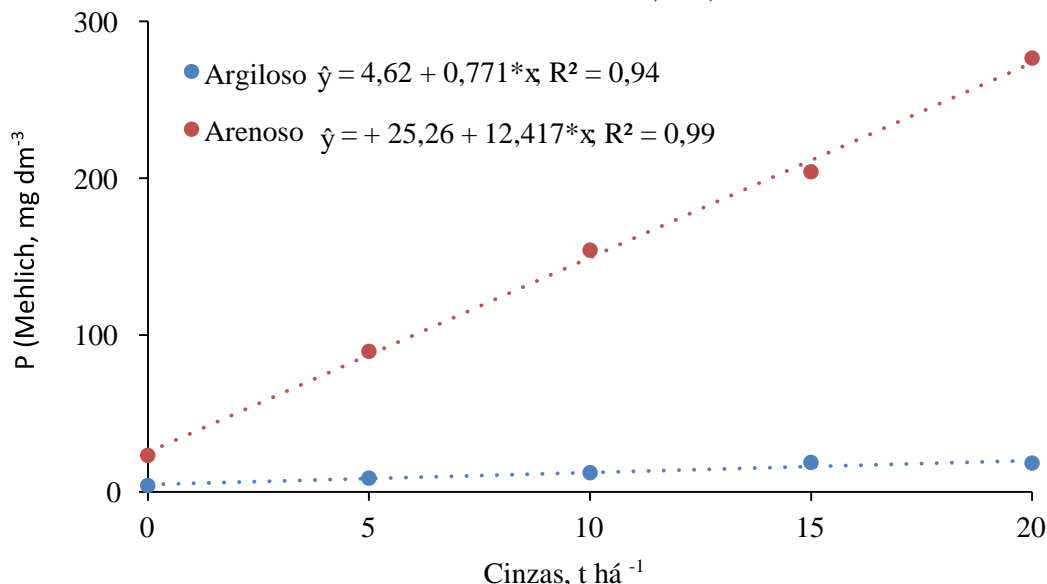
Verifica-se que aplicações crescentes de calcário, que é corretivo de acidez de solo, também resultam em aumento linear nos teores de Ca e Mg do solo (Maraschin et al. 2020), o que mostra que as cinzas de biomassa florestal possuem efeito semelhante ao do calcário. Assim como as cinzas, o calcário possui em sua composição, altos teores desses dois elementos.

Ao analisar tipos de cinzas de origem de caldeiras industriais (madeira de origem desconhecida, bagaço de cana de açúcar, eucalipto e pinus), verificou-se que todas disponibilizaram Mg ao solo, destacando-se as de madeira de origem desconhecida e eucalipto, conforme Magela et al. (2019).

Verificou-se elevação linear dos teores de P no solo em função da aplicação das doses de cinzas de biomassa florestal (Figura 5). Comparando a testemunha com a aplicação de 20 t ha⁻¹ de cinzas, houve aumento de 1100 % e 350 % nos teores de P nos solos arenoso e argiloso, respectivamente. Segundo a classificação proposta pela SBCE/NEPAR (2017), os teores iniciais de P encontravam-se

baixos no solo argiloso e altos no solo arenoso. Com aplicação de 20 t ha⁻¹ de cinzas, os teores de P passaram a ser classificados em muito altos no solo argiloso e condição a se evitar no solo arenoso.

Figura 5 – Teores de fósforo de solos de diferentes texturas em função da incubação com doses de cinzas de biomassa florestal. Santa Tereza do Oeste, PR, 2021.



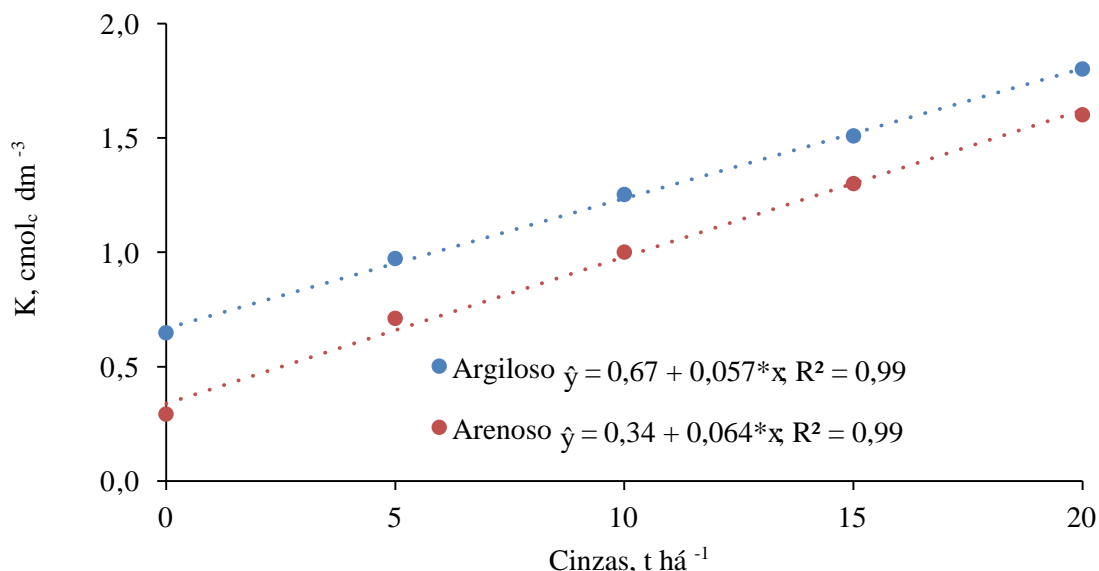
Fonte: Próprio autor

Verifica-se maior retenção de P em solos argilosos do que em arenosos, em todas as doses de fertilizante fosfatado avaliadas, devido a maior adsorção de P pelas argilas do solo.

Há menor retenção de P em solos arenosos do que em solos com maior teor de argila. Correlação positiva com o teor de argila e a disponibilidade de P alcançada com a dose mais alta avaliada foi maior no solo arenoso. Quanto menor o teor de argila no solo, menor a sua adsorção e maior sua quantidade na solução do solo. Souza et al. (2017) relataram diferença de 44,3 % na disponibilidade de P entre os solos arenoso e argiloso mostrando a inteiração dos íons de fosfato com as argilas presentes no solo.

Houve aumento linear nos teores de K no solo com aplicação das cinzas de biomassa florestal em ambos os solos (Figura 3). Verifica-se que a aplicação de cinzas se mostrou suficiente para elevar os teores de K no solo. Segundo Campanharo et al. (2008) a adubação potássica na agricultura, até a produção de fertilizantes potássicos minerais, era feita com a aplicação de cinzas.

Figura 6 – Teores de potássio de solos de diferentes texturas em função da incubação com doses de cinzas de biomassa florestal. Santa Tereza do Oeste, PR, 2021.



Fonte: Próprio autor

A diferença entre o aumento de K no solo com a aplicação das cinzas foi considerável. Os teores iniciais de K no solo arenoso (0,3 cmolc dm⁻³) e no argiloso (0,6 cmolc dm⁻³) aumentaram 433 % e 195 %, respectivamente, após a aplicação de 20 t ha⁻¹ de cinzas. Segundo a classificação proposta pela SBCS, os teores iniciais de K estavam altos em ambos os solos e com a aplicação de 20 t ha⁻¹ foram classificados como muito altos.

Além de alguns outros fatores, a quantidade de argila, em menor intensidade como no caso do P, é determinante para uma maior ou menor relação de K-trocável e K na solução do solo, conforme Werle et al. (2008). Ribeiro et al. (2014) constataram maior concentração de K no solo argiloso quando comparado com solo arenoso. Observaram também maior mobilidade do K em solo arenoso, com carreamento desse elemento até 70 cm de profundidade, comprovando menor adsorção de K em solos arenosos.

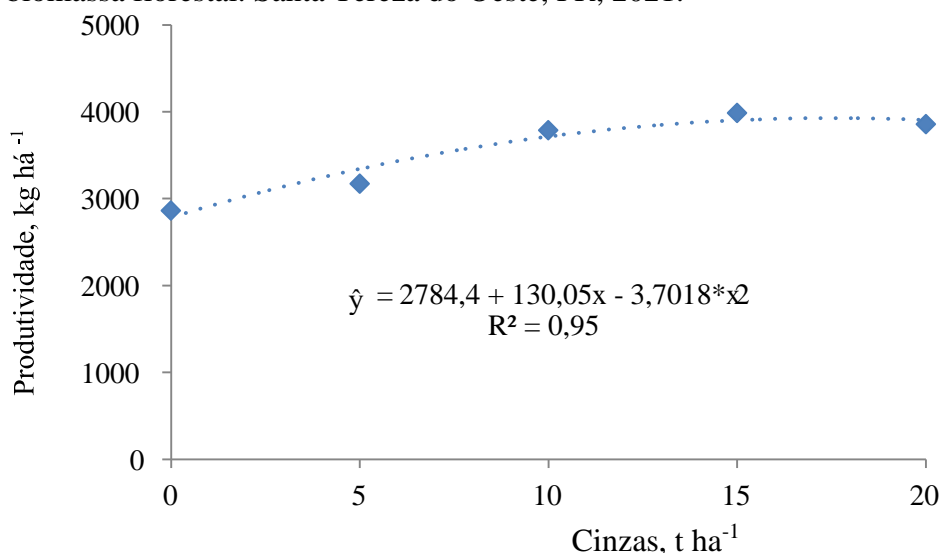
Para a maioria dos atributos químicos e pH avaliados, houve efeito da aplicação de cinzas maior no solo arenoso que no solo argiloso. Tal fato deve-se ao chamado efeito tampão, capacidade que o solo possui em resistir ao aumento do pH e na liberação de nutrientes de sua fase sólida para a fase líquida, conforme Albuquerque et al. (2021). Esse poder tampão varia com a quantidade de matéria orgânica, teor e tipo de argila. Assim, solos com maiores teores de argila e matéria orgânica possuem maior poder tampão e resistem mais à mudança de pH, como é o caso. Dessa forma, é necessária

maior quantidade de material corretivo, como as cinzas, para elevação do pH, correção da acidez do solo e liberação de nutrientes como o P e o K.

4.2. ADUBAÇÃO DA SOJA COM CINZAS DE BIOMASSA FLORESTAL

A produtividade de grãos da soja foi significativamente influenciada pelas doses de cinzas de biomassa florestal. A produtividade máxima de 3.926 kg ha⁻¹ foi alcançada com a aplicação de 17,6 t ha⁻¹ de cinzas (Figura 7).

Figura 7 – Produtividade de grãos da soja em função da aplicação de doses de cinzas de biomassa florestal. Santa Tereza do Oeste, PR, 2021.



Fonte: Próprio autor

Katterer et al. (2019), em estudos a longo prazo da aplicação de cinzas em condições de campo, verificaram aumentos de produtividade em oito de dez safras de milho e em cinco de oito safras de soja com a aplicação de cinzas. Vääläinen et al. (2011) usando cinzas de madeira granuladas, comparadas com fertilizante mineral, relataram que houve maior lucro com a utilização do resíduo, estimulando a reciclagem de nutrientes. Sbruzzi (2017) obteve máxima produção de grãos de feijão com 15,5 t ha⁻¹ de cinzas. Bonfim-Silva et al. (2020) relataram cinzas de biomassa vegetal foram eficientes em proporcionar aumento na produção de folhas de cebolinha, representando aumento de 64,7 % com doses de 21,63 g dm⁻³, comparando com a testemunha (sem aplicação de cinzas). Noutro, verificou, na cultura do amendoim, aumento de produtividade de grãos, com máxima produção de 44 grãos de amendoim por vaso com dose de 22,34 g dm⁻³ de cinza vegetal (TAKENAKA, 2019).

Os teores de macro e micronutrientes nas folhas da soja, em todos os tratamentos foram considerados adequados para a cultura, conforme SBCS/NEPAR (2017) (Tabela 5).

Tabela 5 – Teores de macro e micronutrientes em folhas de soja em função da aplicação de doses de cinzas de biomassa florestal e adubação mineral. Santa Tereza do Oeste - PR, 2021.

Dose de cinzas ----- t ha ⁻¹ -----	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	B	Mn
	g kg ⁻¹				mg kg ⁻¹				
0	48,0	2,8	20,2	12,0	4,8	9,3	27,7	49,7	66,1
5	48,3	2,9	18,3	10,7	3,9	8,2	28,5	46,8	59,9
10	51,7	3,0	20,7	11,9	4,7	9,6	32,5	47,1	63,6
15	50,0	2,9	19,5	10,5	4,2	8,2	32,9	45,6	60,8
20	49,3	2,8	18,5	10,2	4,1	8,1	27,8	46,8	60,1
Média	49,5	2,9	19,4	11,1	4,3	8,7	29,9	47,2	62,1

Fonte: Próprio autor

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As cinzas de biomassa florestal proporcionaram correção da acidez do solo e aumento nos teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio no solo, tanto de textura arenosa quanto argilosa.

As cinzas de biomassa florestal podem ser aplicadas na agricultura, corrigindo a acidez do solo e fornecendo nutrientes para as culturas, como a soja. Pode ser considerada corretivo de acidez do solo e fertilizante.

A adubação com cinzas de biomassa florestal aumentou a produtividade de grãos da soja e proporcionou nutrição adequada da cultura.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. R.; ANGÉLICA, R. S.; MERINO, A.; PAZ, S. P. Chemical and mineralogical characterization and potential use of ash from Amazonian biomasses as an agricultural fertilizer and for soil amendment. **Journal of Cleaner Production**, v. 295, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/article/abs/pii/S0959652621006922>. Acesso em: 20 abr. 2023.

ANVISA. **Manual de gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde**. Ministério da Saúde, 2006. Disponível em: https://www.anvisa.gov.br/servicosaude/manuais/manual_gerenciamento_residuos.pdf. Acesso em: 15 jun. 2024.

ALAVI-BORAZJANI, S. A.; CAPELA, I.; TARELHO, L. A. C. Valorization of biomass ash in biogas technology: Opportunities and challenges. **Energy Reports**, v.6, p.472-476, 2020.

BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D. Técnicas de amostragem e avaliações nutricionais em plantios de Eucalyptus spp. In: GONÇALVES, J. L. M., BENEDETTI, V. (org.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 105-133.

BONFIM-SILVA, M. E.; PINTO, F. R. M.; FERRAZ, F. P. A.; NONATO, J. J.; SILVA, A. J. T.

Produção e eficiência no uso de água da cebolinha adubada com cinza vegetal em vasos Leonard adaptados. **Revista Brazilian Journal of Development**, v. 6, p. 37347-37373, 2020.

BRAGHIROLI, F. L.; PASSARINI, L. Valorization of biomass residues from forest operations and wood manufacturing presents a wide range of sustainable and innovative possibilities. **Current Forestry Reports**, v. 6, n. 2, p. 172-183, 2020

BRUNELLI, A. M. M. P.; PISANI JUNIOR, R. Proposta de disposição de resíduo gerado a partir da queima do bagaço de cana em caldeiras como fonte de nutrientes e corretivo de solo. In Congresso Internacional de Ingenieria Sanitaria y Ambiental, **Anais. Asociación Interamericana de Ingenieria Sanitaria y Ambiental**, Punta del Leste, v. 1, p. 1-9, 2006.

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, Reunião Brasileira sobre Micorrizas, 12., Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo, 10., Reunião Brasileira de Biologia do Solo, 7.**, 2008, Londrina. FertBio 2008: desafios para o uso do solo com eficiência e qualidade ambiental: Anais. Londrina: Embrapa Soja: SBCS: IAPAR, UEL, p. 4, 2008.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos (SIBCS)**. Rio de Janeiro-RJ. EMBRAPA-SPI, 2009.

EMBRAPA FLORESTAS – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Plantações Florestais: geração de benefícios com baixo impacto ambiental**, Colombo 2015. Disponível em: <<http://acr.org.br/download/biblioteca/01.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2024.

GONÇALVES, J. L. M.; MORO, L. Uso de cinza de biomassa florestal como fonte de nutrientes em povoamentos puros de *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, v. 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: **Anais do Congresso Brasileiro de Resíduos Orgânicos**. Vitória: Incaper, 2009.

HAMIDI, N. H.; AHMED, O. H.; OMAR, L.; CH'NG, H. Y. Combined use of charcoal, sago bark ash, and urea mitigate soil acidity and aluminium toxicity. **Agronomy**, v. 11, n. 9, p. 1799, 2021.

INSAM, H.; KNAPP, B.A. **Recycling of biomass ashes**. Springer, Berlin Heidelberg, 2011. 164 p.

IZQUIERDO, M.; QUEROL, X. Leaching behavior of elements from coal combustions fly ash: Na, overview. **International Journal of Coal Geology**, v. 94, p. 54-66, 2012.

JANSONE, B.; SAMARIKS, V.; OKMANIS, M.; KLAVINA, D.; LAZDINA, D. Effect of high concentrations of wood ash on soil properties and development of Young norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) and Scot Pine (*Pinus sylvestris* L.). **Sustainability**, v. 12, p. 9479, 2020.

KÄTTERER, T.; ROOBROECK, D.; ANDRÉN, O.; KIMUTAI, G.; KARLTUN, E.; KIRCHMANN, H.; NYBERG, G.; VANLAUWE, B.; NOWINA DE R. K. Biochar addition

persistently increased soil fertility and yields in maize-soybean rotations over 10 years in sub-humid regions of Kenya. **Field Crops Research**, v. 235, p. 18-26, 2019.

KUMAR, A., ADAMOPOULOS, S., JONES, D., AMIANDAMHEN, S. O. Forest biomass availability and utilization potential in Sweden: A review. **Waste and Biomass Valorization**, v. 12, n. 1, p. 65-80, 2021.

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, 2008.

MAGELA, M. L. M.; COELHO, L.; FINZI, R. R.; GONTIJO, L. N. Vegetative ash biomass as a potential source of silicon for soils in eucalyptus plantation. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, n. 4, p. 502-506, 2019.

MARASCHIN, L.; SCARAMUZZA, F. J.; VIEIRA, R. C. Incubação do calcário e as características químicas de solos com texturas diferentes. **Revista Nativa**, v. 8, n. 1, p. 43-51, 2020.

MISHRA, S.; BAHADUR, V. Effect of chemical fertilizers, bio-fertilizers and organic manure on growth, yield and quality of guava under Prayagraj agro-climatic condition. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 8, n. 4, p. 3154-3158, 2019.

MORUJO, A. F. **Estudos da utilização de cinza (volantes e de fundo) na remoção de fosfato**. 64 f, 2011. Dissertação. Engenharia do Ambiente. Universidade Nova Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Lisboa.

PRADO, R. M.; CORREA, M. C. M.; NATALE, W. Efeitos da cinza da indústria de cerâmica no solo e na nutrição de mudas de goiabeira. **Acta Scientiarum**, v. 24, n. 5, p. 1493-1500, 2002.

RIBEIRO, P. H. P.; NETO, L. A. J.; TEIXEIRA, B. M.; GUERRA, C. O. H.; SILVA, F. N.; CUNHA, N. F. Distribuição de potássio aplicado via vinhaça em latossolo Vermelho amarelo e nitossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 8, n. 5, p. 403-410, 2014.

SÁ, G. S. **Gestão de cinza de biomassa e avaliação do potencial fertilizante**. 2013. 65 p. Dissertação (Mestrado, Departamento de Ambiente Ordenado), Universidade de Aveiro, 2013.

SILVA, F. C.; CRUZ, N. C.; TARELHO, L. A.; RODRIGUES, S. M. Use of biomass ash-based materials as soil fertilisers: critical review of the existing regulatory framework. **Journal of Cleaner Production**, v. 214, p. 112-124, 2019.

SILVA, F. R.; ALBULQUERQUE, J. A.; GATIBONI, L. C.; COSTA, A. Uso da cinza da combustão de biomassa florestal como corretivo de acidez e fertilidade de um Cambissolo Húmico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 12, n. 3, p. 304-313, 2013.

SBCS/NEPAR – Sociedade Brasileira de Ciências do Solo/Núcleo Estadual Paraná. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2017. 482 p.

SBRUZZI, E. K. **Cinza de biomassa florestal para aplicação nas culturas do feijão e do milho**. 2017. 64 p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2017.

SOUZA, R. V.; PEGORARO, R. F.; REIS, S. T. Disponibilidade de fósforo e produção de biomassa de pinhão manso em solos com distintas texturas e de doses de fósforo. **Revista Agroambiente**, v. 11, p. 1-10, 2017.

TAKENAKA, P. Y. **Características produtivas de cultivares de amendoim adubadas com cinza vegetal**. 2019. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Rondonópolis, 2019.

TEDESCO, M.J.; CIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Departamento de solos, UFRGS – Boletim Técnico, n. 5, 174 p, 1995.

TOSTI, L.; VAN ZOMEREN, A.; PELS, J. R.; DIJKSTRA, J. J.; COMANS, R. N. Assessment of biomass ash applications in soil and cement mortars. **Chemosphere**, v. 223, p. 425-437, 2019.

VOSHELL, S.; MÄKELÄ, M.; DAHL, O. A review of biomass ash properties towards treatment and recycling. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 96, p. 479-486, 2018.

WERLE, R.; GARCIA, A. R.; ROSOLEM, A. C. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2279-2305, 2008.

YU, C. L.; DENG, Q.; JIAN, S.; LI, J.; DZANTOR, E. K.; HUI, D. Effects of fly ash application on plant biomass and element accumulations: a meta-analysis. **Environmental Pollution**, v. 250, p.137-142, 2019

ZAJĄC, G.; SZYSZLAK-BARGŁOWICZ, J.; GOŁĘBIOWSKI, W.; SZCZEPANIK, M. **Chemical characteristics of biomass ashes**. **Energies**, v. 1, n. 11, p. 2885, 2018.

ŻELAZNY, S. E.; JAROSIŃSKI, A. The evaluation of fertilizer obtained from fly ash derived from biomass. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi-Mineral Resources Management*, v. 35, p. 139-152. 2019.