

Impacto a médio prazo da aplicação de cinzas de biomassa na neutralização da toxidez do alumínio em Latossolo cultivado com capim Paaguás*

 <https://doi.org/10.47236/2594-7036.2026.v10.2070>

Luana Aparecida Menegaz Meneghetti¹

Edna Maria Bonfim-Silva²

Niclene Ponce Rodrigues de Oliveira³

Danielly Aparecida Pereira⁴

Tonny José Araújo da Silva⁵

Data de submissão concluída: 11/3/2026. Data de aprovação: 25/8/2026. Data de publicação: 29/9/2026.

Resumo – A cinza de biomassa é um resíduo agroindustrial que possui potencial de promover a fertilidade na agricultura, o que a torna alternativa sustentável para diminuir o uso de fertilizantes sintéticos. Porém, são escassos os estudos sobre os efeitos do manejo da cinza, a médio e a longo prazo, na correção da toxidez de alumínio no solo. Neste contexto, o objetivo da pesquisa foi avaliar os efeitos do manejo de aplicação da cinza de biomassa na neutralização da toxidez de alumínio em cinco anos de condução experimental em um Latossolo Vermelho sob cultivo de capim Paaguás. O experimento foi conduzido a campo, na área experimental da Universidade Federal de Rondonópolis. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com parcelas subdivididas em faixa e quatro repetições, sendo as parcelas principais as cinco doses de cinza de biomassa: 0, 8, 16, 24 e 32 t ha⁻¹. As subparcelas consistiram em duas formas de aplicação: incorporada e não incorporada ao solo. O solo da região é o Latossolo Vermelho. Foram analisados teores de alumínio e saturação por alumínio. Os resultados demonstraram que o alumínio e a saturação por alumínio apresentaram comportamento linear decrescente em todos os cinco anos de condução com a aplicação da cinza de biomassa. A cinza de biomassa promoveu a neutralização da toxidez de alumínio, especialmente nas doses de 24 e 32 t ha⁻¹. Não houve diferença estatística entre as formas de aplicação. A cinza neutraliza a toxidez de alumínio no solo e mantém esse efeito corretivo a médio prazo.

* Dados extraídos da Tese de doutorado da primeira autora, pelo Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical da Universidade Federal de Mato Grosso.

¹ Doutora em Agricultura Tropical pela Universidade Federal de Mato Grosso. Pesquisadora de Pós-Doutorado do Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas da Universidade Federal de Rondonópolis. Rondonópolis, Mato Grosso, Brasil.  luana_m.meneghetti@hotmail.com  <https://orcid.org/0000-0001-5184-3858>  <https://lattes.cnpq.br/0235765423448863>.

² Doutora de Agronomia pela Universidade de São Paulo. Professora Titular do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, da Universidade Federal de Rondonópolis. Rondonópolis, Mato Grosso, Brasil.  edna.bonfim@ufr.edu.br  <https://orcid.org/0000-0003-1989-8431>  <https://lattes.cnpq.br/8660058048761423>.

³ Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Rondonópolis. Doutoranda em Agricultura Tropical pelo Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, Faculdade de Agronomia e Zootecnia, na Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.  niclene_ponce@hotmail.com  <https://orcid.org/0000-0002-6649-3835>  <https://lattes.cnpq.br/7394462858018357>.

⁴ Mestranda em Engenharia Agrícola pela, Departamento Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, pela Universidade Federal de Rondonópolis. Rondonópolis, Mato Grosso, Brasil.  daniellyaparecida28@gmail.com  <https://orcid.org/0009-0005-2856-112X>  <https://lattes.cnpq.br/0868884853636861>.

⁵ Doutor em Irrigação e Drenagem pela Universidade de São Paulo. Professor Titular do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, da Universidade Federal de Rondonópolis. Rondonópolis, Mato Grosso, Brasil.  tonnyjasilva@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0002-6978-7652>  <https://lattes.cnpq.br/0651075688988405>.

Palavras-chave: Agricultura sustentável. Cinza vegetal. Resíduo agroindustrial.

Medium-term impacts of biomass ash application on aluminum toxicity neutralization in an Oxisol cultivated with Paiaguás grass

Abstract – Biomass ash is an agroindustrial waste product that has potential as a fertilizer in agriculture, offering a sustainable alternative to reduce the use of synthetic fertilizers. However, there are few studies on the medium- and long-term management of ash and its effects on correcting aluminum toxicity in soil. In this context, the objective of the research was to evaluate the effects of biomass ash application management on the neutralization of aluminum toxicity over five years of experimental trials on an Oxisol under Paiaguás grass cultivation. The experiment was conducted in the field, in the experimental area of the Federal University of Rondonópolis. The experimental design was randomized blocks with subdivided plots and four replicates, with the main plots being the five doses of biomass ash: 0, 8, 16, 24, and 32 t ha⁻¹. The subplots consisted of two forms of application: incorporated and unincorporated into the soil. The soil in the region is Oxisol. Aluminum content and aluminum saturation were analyzed. The results showed that aluminum and aluminum saturation presented a linear decreasing behavior in all five years of conducting the experiment with the application of biomass ash. Biomass ash promoted the neutralization of aluminum toxicity, especially at doses of 24 and 32 t ha⁻¹. There was no statistical difference between the forms of application. Ash neutralizes aluminum toxicity in the soil and maintains this corrective effect in the medium term.

Keywords: Sustainable agriculture. Wood ash. Agroindustrial waste.

Impacto a medio plazo de la aplicación de ceniza de biomasa en la neutralización de la toxicidad del aluminio en un Latossolo cultivado con pasto Paiaguás

Resumen – La ceniza de biomasa son un residuo agroindustrial con potencial fertilizante en la agricultura, lo que las convierte en una alternativa sostenible para reducir el uso de fertilizantes sintéticos. Sin embargo, son escasos los estudios sobre los efectos del manejo de la ceniza, a medio y largo plazo, en la corrección de la toxicidad por aluminio en el suelo. En este contexto, el objetivo de la investigación fue evaluar los efectos del manejo de aplicación de la ceniza de biomasa en la neutralización de la toxicidad del aluminio en cinco años de conducción experimental en un Latossolo Vermelho bajo el cultivo de pasto Paiaguás. El experimento se llevó a cabo en campo, en el área experimental de la Universidad Federal de Rondonópolis. El diseño experimental fue en bloques aleatorios con parcelas subdivididas en franjas y cuatro repeticiones, siendo las parcelas principales las cinco dosis de ceniza de biomasa: 0, 8, 16, 24 y 32 t ha⁻¹. Las subparcelas consistieron en dos formas de aplicación: incorporadas y no incorporadas al suelo. El suelo de la región es Latossolo Vermelho. Se analizaron los contenidos de aluminio y la saturación por aluminio. Los resultados demostraron que el aluminio y la saturación por aluminio presentaron un comportamiento lineal decreciente en todos los cinco años de conducción con la aplicación de ceniza de biomasa. La ceniza de biomasa promovió la neutralización de la toxicidad del aluminio, especialmente en las dosis de 24 y 32 t ha⁻¹. No hubo diferencia estadística entre las formas de aplicación. La ceniza neutraliza la toxicidad del aluminio en el suelo y mantiene este efecto correctivo a medio plazo.

Palabras clave: Agricultura sostenible. Ceniza vegetal. Residuo agroindustrial.

Introdução

A acidez elevada e a consequente toxidez por alumínio trocável (Al^{3+}) são os principais fatores limitantes da produtividade agrícola em solos tropicais, como os Latossolos, tornando o manejo da fertilidade do solo fundamental para garantir alta produtividade nas culturas (Leite *et al.*, 2018; Leite *et al.*, 2024). A presença excessiva desse elemento compromete o desenvolvimento das culturas ao inibir o crescimento radicular e reduzir a absorção de água e nutrientes. Para correção desses solos, o manejo mais utilizado é a calagem com calcário ou outros materiais alcalinos, atuando na neutralização do Al^{3+} e no aumento da saturação por bases do solo (Laço *et al.*, 2025).

A crescente demanda por sistemas agrícolas sustentáveis tem incentivado a busca por insumos alternativos capazes de atuar na correção do solo, promovendo simultaneamente o reaproveitamento de subprodutos agroindustriais (Duarte *et al.*, 2023; Rocha *et al.*, 2023). Nesse cenário, destaca-se a cinza de biomassa vegetal, proveniente de materiais vegetais propícios à geração de energia. Esses materiais reúnem compostos alcalinos principalmente óxidos e carbonatos de cálcio, magnésio e potássio, que atuam na neutralização da acidez e no aprimoramento dos atributos químicos relacionados à fertilidade do solo (Albuquerque *et al.*, 2022; Silva Filho *et al.*, 2024).

Avaliações de curto prazo confirmam o potencial da cinza de biomassa na melhoria dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, destacando-se a elevação do pH e o incremento na disponibilidade de nutrientes (De Oliveira *et al.*, 2023; Silva Filho *et al.*, 2023). Contudo, a expansão do setor agroindustrial tem gerado volumes crescentes desse resíduo, cujo descarte inadequado representa um problema ambiental expressivo. Diante disso, o aproveitamento agrícola da cinza surge como uma estratégia de economia circular para a adubação e correção dos solos, favorecida pela liberação gradual de nutrientes e por seu efeito corretivo (Meneghetti *et al.*, 2023). Apesar desses benefícios, a literatura ainda é escassa quanto ao comportamento do seu efeito residual em condições de campo a médio/longo prazo e à sua eficiência prolongada na mitigação da toxidez por alumínio.

Ademais, para responder a essa lacuna, este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos do manejo de aplicação da cinza de biomassa na neutralização da toxidez de alumínio em cinco anos de condução experimental em um Latossolo Vermelho cultivado com capim-Paiaguás.

Materiais e métodos

A pesquisa foi desenvolvida no município de Rondonópolis, Mato Grosso, em área experimental da Universidade Federal de Rondonópolis situada no bioma Cerrado (16°28'S, 54°35'W, altitude de 287m). O clima local é classificado como Aw segundo Köppen & Geiger e o solo da área é um Latossolo Vermelho distrófico (Santos *et al.*, 2025). Durante o período de condução (janeiro a março), as médias climáticas variaram entre os anos agrícolas: em 2018/2019 registraram-se 22,80 °C, 85% de umidade e 23 mm de precipitação; em 2019/2020 foram 28,44 °C, 67,7% e 12,60 mm; em 2020/2021 as médias foram 28,21 °C, 75,71% e 402 mm; em 2021/2022 observaram-se 27,07°C, 72,99% e 750,23mm; e em 2022/2023 registraram-se 22,16 °C, 94% e 12,60mm.

O experimento teve início no ano agrícola 2018/2019, com a aplicação da cinza de biomassa em novembro de 2018, seguida pela semeadura do capim *Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguás em dezembro. A reaplicação da cinza de biomassa foi

necessária somente no segundo ano agrícola (2019/2020), nos demais anos não houve reaplicação, enquanto a adubação nitrogenada (100 kg ha⁻¹ de ureia) foi realizada anualmente em todas as subparcelas. A adubação nitrogenada é necessária, pois a cinza de biomassa perde esse nutriente no momento da combustão (Bonfim-Silva; Schlichting; José, 2020).

O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso com parcelas subdivididas em faixa, totalizando 40 unidades experimentais. As parcelas principais (72 m²) receberam cinco doses de cinza (0, 8, 16, 24 e 32 t ha⁻¹), enquanto as subparcelas (36 m²) testaram duas formas de aplicação: incorporada com grade leve ou não incorporada.

Além disso, uma coleta de solo foi realizada antes da primeira aplicação de cinza de biomassa na área experimental (novembro de 2018), na camada de 0-0,20m, para caracterização química seguindo metodologia da Embrapa (1997).

Tabela 1 – Caracterização química e granulométrica do Latossolo Vermelho distrófico coletado na profundidade de 0 a 0,20 m em bioma do Cerrado, região de Rondonópolis-MT, Brasil.

pH	P	K	S	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	SB	M.O.
CaCl ₂	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	g kg ⁻¹
3.70	1.60	42.40	6.10	0.65	0.25	0.95	6.0	7.01	1.01	27.1
V	M	B	Cu	Fe	Mn	Zn		Argila	Silte	Areia
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
14.40	48.40	0.25	0.30	41.0	9.80	1.30		43	17.5	39

P = Fósforo; K = Potássio; S = Enxofre; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; H = Hidrogênio; Al = Alumínio; CTC = Capacidade de troca de cátions; SB = Soma de bases; M.O. = Matéria orgânica; V = Saturação por bases; M = Saturação por alumínio; Zn = Zinco; Mn = Manganês; Cu = Cobre; Fe = Ferro; B = Boro.

A cinza de biomassa utilizada no experimento tem como material de origem o Eucalipto (*Eucalyptus sp.*). A cinza foi analisada como fertilizante e corretivo de acidez do solo (Tabela 2), seguindo metodologia de Darolt; Bianco Neto; Zambon (1993).

Tabela 2 – Caracterização química da cinza de biomassa como fertilizante e corretivo de acidez do solo.

pH	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	SO ₄	Ca	Mg	B
CaCl ₂	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
10.67	0,49	0,79	3,25	0,60	4,96	4,20	0,04
Fe	Cu	Mn	Zn	CaO	MgO	PRNT	PN
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0,72	0,01	0,04	0,02	9,10	6,50	24.76	30

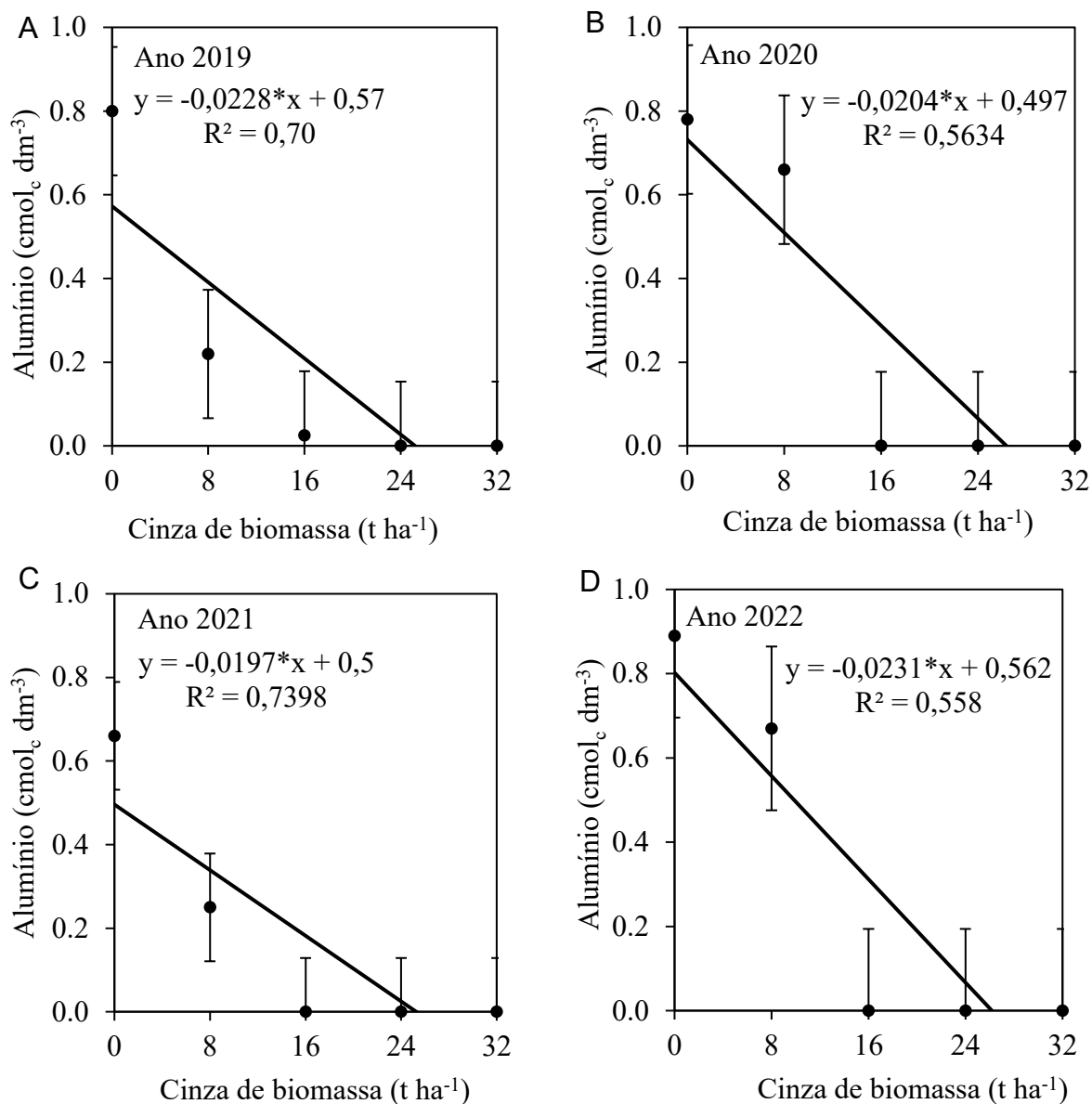
PRNT= Poder relativo de neutralização; PN = Poder de neutralização; N = Nitrogênio total; P₂O₅ = Fósforo; K₂O = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; MgO = óxido de magnésio; SO₄ = Enxofre; CaO = Óxido de cálcio; Fe = Ferro; Cu = Cobre; Mn = Manganês; B = Boro; Zn = Zinco

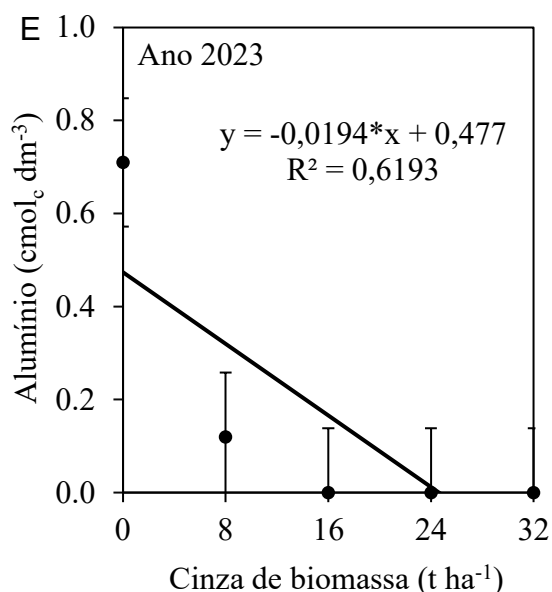
As coletas de solo para análise das variáveis ocorreram na profundidade de 0-0,20 m durante o terceiro corte do capim (mês de março) e posteriormente enviada as amostras para um laboratório de solos especializados da região. Foram analisados o Alumínio extraído com KCl 1 N e a saturação por Alumínio (m%). Os dados foram validados pelos testes de Shapiro-Wilk, Bartlett e Levene, e posteriormente submetidos à análise de regressão para as doses e ao teste de Tukey para as formas de aplicação, utilizando o software SISVAR, versão 5.8 (Ferreira, 2019).

Resultados e discussões

A aplicação de doses crescentes de cinza de biomassa reduziu linearmente os teores de alumínio trocável (Al^{3+}) na camada de 0–0,20 m ao longo de todos os cinco anos agrícolas avaliados (Figura 1). Não foram observadas interações significativas entre as doses de cinza e as formas de aplicação ($p > 0,05$).

Figura 1 – Alumínio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em função das doses de cinza de biomassa (t ha^{-1}) no ano de 2019 (A); 2020 (B), 2021 (C), 2022 (D) e 2023 (E).





Já no primeiro ano (2018/2019), verificou-se redução imediata do teor de Al^{3+} em função das doses de cinza de biomassa (Figura 1A). Esse efeito corretivo rápido é atribuído à composição do resíduo vegetal, rico em óxidos de cálcio e magnésio (Tabela 2). Ao reagirem na solução do solo, esses compostos liberam hidroxilas, elevando o pH e promovendo a neutralização do alumínio (Baloch *et al.*, 2024; Demeyer; Veloso *et al.*, 1992).

No segundo (Figura 1B), terceiro (Figura 1C), quarto (Figura 1D) e quinto (Figura 1E) ano de condução, houve diferença estatística somente para doses de cinza de biomassa de forma isolada, ajustando-se ao modelo linear decrescente, com decréscimo de 100%. Com isso, nota-se que, em todos os anos, as parcelas que receberam a aplicação de cinza de biomassa inibiram a toxidez de alumínio no solo, independente da forma de aplicação.

Além disso, a cinza de biomassa aplicada ao solo manteve esse efeito de neutralizar a toxidez de alumínio a médio prazo, visto que em 2023, após cinco anos de aplicação desse resíduo, não há presença de toxidez de alumínio nas parcelas com doses mais elevadas (24 t ha⁻¹ e 32 t ha⁻¹), conforme visto na Figura 1E.

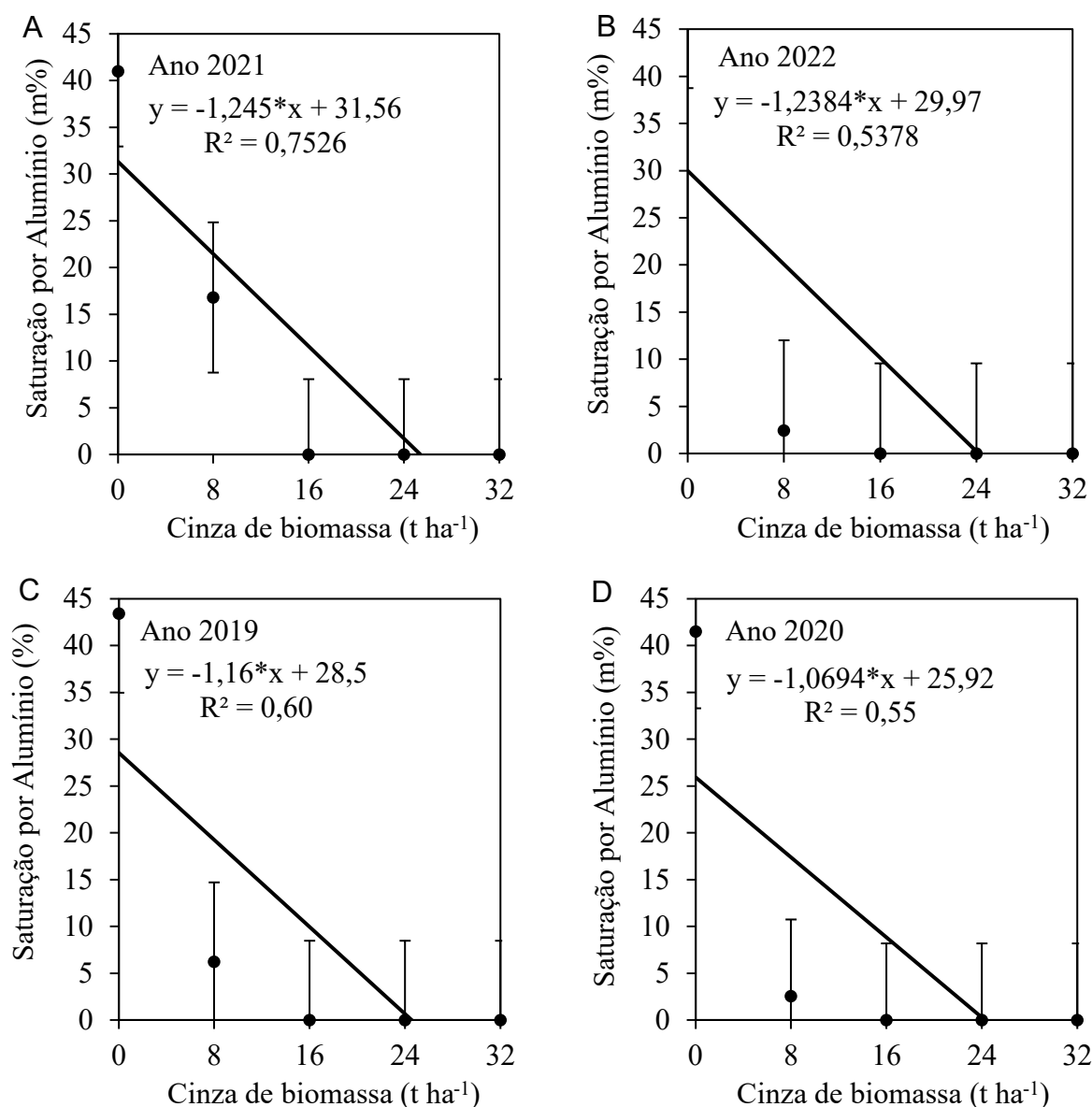
A toxidez de alumínio é prejudicial para a produção agrícola, visto que a presença desse elemento em excesso no solo afeta principalmente o sistema radicular das culturas, restringindo a absorção de água e nutrientes, e, consequentemente, diminuindo sua produção (Rahman; Upadhyaya, 2021; Ryan; Delhaize, 2017).

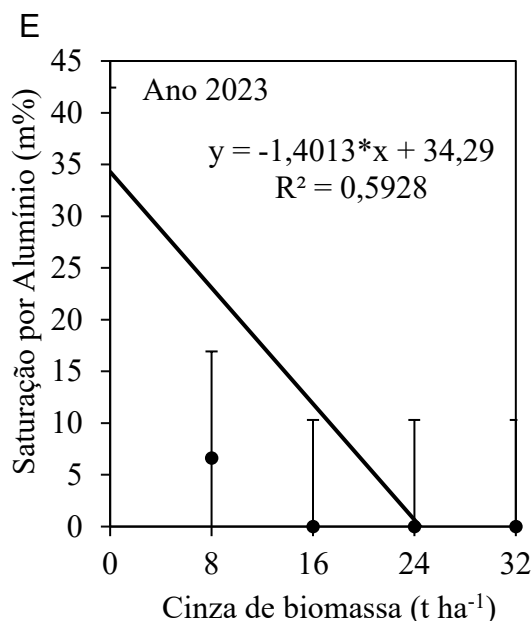
A aplicação da cinza de biomassa corrige a acidez do solo, inibindo a toxidez por alumínio (Baloch *et al.*, 2024; Demeyer; Voundi Nkana; Verloo, 2001). Isso justifica os resultados, pois, conforme houve a aplicação da cinza, reduziu o alumínio no solo, além disso, esse efeito de neutralizar a toxidez desse elemento pode ser observado a médio prazo, visto que, no último ano de condução, o manejo com cinza ainda manteve o solo corrigido (Tabela 3) e com a toxidez de alumínio neutralizada (Figura 1).

Em relação às formas de aplicação, independentemente do manejo de aplicação utilizado, a cinza proporcionou o mesmo efeito, neutralizando a médio prazo a toxidez de alumínio no solo em doses mais elevadas. Dessa forma, nota-se que esse resíduo é uma alternativa sustentável para melhorar a qualidade do solo.

A saturação por alumínio (m%) apresentou comportamento semelhante ao teor de alumínio trocável, com decréscimo linear em função das doses de cinza de biomassa em todos os anos avaliados (Figura 2). A forma de aplicação da cinza (incorporada ou não incorporada) também não influenciou significativamente essa variável ($p>0,05$). No primeiro ano, o fator doses de cinza de biomassa ajustou-se ao modelo linear decrescente, com decréscimo de 100% (Figura 2A); ou seja, em todas as parcelas em que a cinza de biomassa foi aplicada houve a redução da saturação por alumínio no solo.

Figura 2 – Saturação por Alumínio (%) em função das doses de cinza de biomassa ($t\ ha^{-1}$) no ano de 2019 (A); 2020 (B), 2021 (C), 2022 (D) e 2023 (E).





A manutenção do efeito residual da cinza de biomassa sobre a saturação por alumínio estendeu-se ao longo do segundo, terceiro, quarto e quinto ano de condução (Figuras 2B, 2C, 2D e 2E), ajustando-se ao modelo linear decrescente. Comportamento também observado na variável Alumínio (Figura 1), em que se notou, nas parcelas que receberam a aplicação de cinza de biomassa, em todos os anos de condução, a inibição da toxidez de alumínio no solo, independente da forma de aplicação.

A disponibilidade de bases trocáveis (Ca^{2+} e Mg^{2+}) provenientes do resíduo aumentou a soma de bases do solo e, simultaneamente, mitigou a toxidez do Al^{3+} no complexo de troca, reduzindo diretamente o índice m% (Abreu Junior *et al.*, 2000; Freitas *et al.*, 2015). Isso justifica os resultados encontrados, pois houve a neutralização do alumínio (Figura 1), da saturação por alumínio (Figura 2), e esse efeito foi ainda mantido a médio prazo.

Vale ressaltar que a neutralização total da saturação por alumínio foi observada nas doses mais elevadas (24 t ha⁻¹ e 32 t ha⁻¹), e essa diminuição da saturação por alumínio é fundamental, visto que esse elemento causa muitos danos às culturas, como por exemplo alteração nas atividades fotossintéticas, inibição do desenvolvimento das raízes e a divisão e respiração celular, danos morfofisiológicos e outros (Kisnerienê; Lapeikaitê, 2015; Seneviratne *et al.*, 2019).

A aplicação em superfície (não incorporada) apresentou o mesmo desempenho do manejo incorporado na redução da saturação por alumínio, neutralizando essa toxidez no solo em doses mais elevadas a médio prazo.

Considerações finais

A cinza de biomassa como fertilizante neutraliza a toxidez de alumínio em Latossolo Vermelho distrófico mantendo o efeito em cinco anos de condução experimental.

Independentemente do manejo de aplicação utilizado, a cinza proporcionou o mesmo efeito, neutralizando o alumínio tóxico no solo em doses mais elevadas a médio prazo. Estudos a longo prazo são necessários para determinar esse efeito residual da cinza de biomassa.

Referências

- ABREU JUNIOR, C. H.; MURAOKA, T.; LAVORANTE, A. F.; V., F. C. A. Condutividade elétrica, reação do solo e acidez potencial em solos adubados com composto de lixo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 3, p. 635–647, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832000000300016>. Acesso em: 05 fev. 2026.
- ALBUQUERQUE, A. R. L. *et al.* Recycling nutrients contained in biomass bottom ash from industrial waste to enhance the fertility of an Amazonian acidic soil. **Agriculture**, v. 12, n. 12, p. 2093, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture12122093>. Acesso em: 05 fev. 2026.
- BALOGH, S. B. *et al.* Wood ash application for crop production, amelioration of soil acidity and contaminated environments. **Chemosphere**, v. 357, p. 141865, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141865>. Acesso em: 05 fev. 2026.
- BONFIM-SILVA, E. M.; SCHLICHTING, A. F.; JOSÉ, J. V. Cinza vegetal como corretivo e fertilizante. In: BONFIM-SILVA, E. M. (org.). **Cinza vegetal e biochar na agricultura**. Maringá, PR: Uniedusul Editora, 2020. p. 07–30. Disponível em: <https://doi.org/10.29327/524552>. Acesso em: 11 fev. 2026.
- DAROLT, M. R.; BIANCO NETO, V.; ZAMBON, F. R. A. Cinza vegetal como fonte de nutrientes e corretivo de solos na cultura de alface. **Horticultura Brasileira**, v. 11, n. 1, p. 38–40, 1993. Disponível em: http://horticulturabrasileira.com.br/images/stories/11_1/199311112.pdf. Acesso em: 09 fev. 2026.
- DE OLIVEIRA, N. P. R. *et al.* Effects of Fertilization Types and Base Saturation on the Growth and Water Productivity in *Panicum maximum* cv. BRS Zuri. **Agriculture**, v. 13, n. 10, p. 1872, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture13101872>. Acesso em: 05 fev. 2026.
- DEMEYER, A.; VOUNDI NKANA, J. C.; VERLOO, M. G. Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. **Bioresource Technology**, v. 77, n. 3, p. 287–295, 2001. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00043-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00043-2). Acesso em: 11 fev. 2026.
- DUARTE, T. F. *et al.* Physical-hydric properties of Oxisol and Quartzipsamment associated with the application of wood ash. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, n. 3, p. 188–194, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n3p188-194>. Acesso em: 05 fev. 2026.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA - CNPS, 1997. *E-book*. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/330804>. Acesso em: 11 fev. 2026.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529–535, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>. Acesso em: 01 fev. 2026.

FREITAS, G. A. *et al.* Resíduo orgânico bovino enriquecido com fontes de cálcio como corretivo da acidez do solo. **Global Science and Technology**, v. 8, n. 3, p. 1–11, 2015. Acesso em: 11 fev. 2026.

KISNERIENË, V.; LAPEIKAITË, I. When chemistry meets biology: the case of aluminium – a review. **Chemija**, v. 26, n. 3, p. 148–158, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.6001/chemija.2015.26.3.2>. Acesso em: 08 fev. 2026.

LAÇO, A. *et al.* Mitigating soil acidity: Impact of aglime (CaCO₃) particle size and application rate on exchangeable aluminium and base cations dynamics. **Sustainability**, v. 17, n. 18, p. 8135, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su17188135>. Acesso em: 11 fev. 2026.

LEITE, O. *et al.* Influência de dosagens de calcário em um latossolo vermelho-amarelo distrófico no sul do Tocantins, Brasil. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, n. 28, p. 640, 2018. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2018B/AGRAR/influencia%20de%20dosagens.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2026.

LEITE, Olavo da Costa *et al.* Mapeamento dos solos plínticos e latossolos no estado do Tocantins e seus potenciais agricultáveis. **Revista Sítio Novo**, Palmas, v. 8, n. 1, p. 34–43, 2024. DOI: 10.47236/2594-7036.2024.v8.i1.34-43p. Disponível em: <https://sitionovo.iftto.edu.br/index.php/sitionovo/article/view/1394>. Acesso em: 14 ago. 2026.

MENEGHETTI, L. A. M. *et al.* Biomass and water use efficiency of chrysanthemum under organic, mineral, and organomineral fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, n. 7, p. 505–511, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n7p505-511>. Acesso em: 05 fev. 2026.

RAHMAN, R.; UPADHYAYA, H. Aluminium Toxicity and Its Tolerance in Plant: A Review. **Journal of Plant Biology**, v. 64, n. 2, p. 101–121, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12374-020-09280-4>. Acesso em: 11 fev. 2026.

ROCHA, R. A. da S. *et al.* Cultivation of *Urochloa brizantha* under different soil densities and doses of wood ash. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, n. 3, p. 230–238, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n3p230-238>. Acesso em: 05 fev. 2026.

RYAN, P. R.; DELHAIZE, E. Adaptations to aluminium toxicity. In: **Plant stress physiology**. UK: CABI, 2017. p. 178–200. Disponível em: <https://doi.org/10.1079/9781780647296.0178>. Acesso em: 05 fev. 2026.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 6. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2025. *E-book*. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1176834>. Acesso em: 05 fev. 2026.

SENEVIRATNE, M. *et al.* Heavy metal-induced oxidative stress on seed germination and seedling development: a critical review. **Environmental Geochemistry and Health**, v. 41, n. 4, p. 1813–1831, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10653-017-0005-8>. Acesso em: 11 fev. 2026.

SILVA FILHO, A. S. *et al.* Productive characteristics and structure of Paiaguás grass pasture fertilized with wood ash in the Brazilian Cerrado. **Australian Journal of Crop Science**, v. 17, n. 04, p. 377–384, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.21475/ajcs.23.17.04.p3725>. Acesso em: 11 fev. 2026.

SILVA FILHO, A. S. *et al.* Wood ash as a liming material for production of paiaguás grass pasture in the brazilian Cerrado. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 55, n. 9, p. 1289–1301, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00103624.2024.2304064>. Acesso em: 11 fev. 2026.

VELOSO, C.A.C. *et al.* Efeito de diferentes materiais no pH do solo. *Scientia Agricola*, v. 49, n. 1, p. 123-128, 1992. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sa/a/4wVcP9t5mHJnkGbGqCwvnJk/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 14 ago. 2026.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo financiamento da bolsa processo número: 88887.675555/2022-00.

Informações complementares

Descrição		Declaração
Financiamento		Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), com financiamento da bolsa processo número: 88887.675555/2022-00.
Aprovação ética		Não se aplica.
Conflito de interesses		Não há.
Disponibilidade dos dados de pesquisa subjacentes		Este trabalho não é um <i>preprint</i> e os conteúdos subjacentes ao texto da pesquisa estão disponíveis neste artigo.
Uso de Inteligência Artificial		Não há. (especificar conforme declarado)
CrediT	Luana Aparecida Menegaz Meneghetti	Funções: conceitualização, curadoria de dados, análise formal, investigação, metodologia, escrita – rascunho original e escrita – revisão e edição.
	Edna Maria Bonfim-Silva	Funções: conceitualização, análise formal, metodologia, administração do projeto, supervisão e escrita – revisão e edição.
	Niclene Ponce Rodrigues de Oliveira	Funções: investigação, visualização e escrita – revisão e edição.
	Danielly Aparecida Pereira	Funções: investigação, visualização e escrita – rascunho original.
	Tonny José Araújo da Silva	Funções: análise formal, metodologia, administração do projeto, supervisão e escrita – revisão e edição.

Avaliadores: Os avaliadores optaram pela avaliação fechada e pelo anonimato.

Revisor do texto em português: Marco Aurélio Mello.

Revisora do texto em inglês: Patrícia Luciano de Farias Teixeira Vidal.

Revisora do texto em espanhol: Graziani França Claudino de Anicézio.

Como citar (ABNT):

MENEGHETTI, Luana Aparecida Menegaz *et. al.* Impacto a médio prazo da aplicação de cinzas de biomassa na neutralização da toxidez do alumínio em Latossolo cultivado com capim Paiaguás. **Revista Sítio Novo**, Palmas, v. 10, p. e2070, 2026. DOI: 10.47236/2594-7036.2026.v10.2070. Disponível em:

<https://sitionovo.ifto.edu.br/index.php/sitionovo/article/view/2070>.