

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor,
o texto completo deste
documento será
disponibilizado somente a
partir de 25/08/2027

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITO RESIDUAL DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO
E FERTILIZANTES MINERAIS POR 28 ANOS NA
SUCESSÃO *Urochloa ruziziensis*-MILHO**

Fabício da Silva Vasconcelos
Engenheiro Agrônomo

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITO RESIDUAL DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO
E FERTILIZANTES MINERAIS POR 28 ANOS NA
SUCESSÃO *Urochloa ruziziensis*-MILHO**

Fabício da Silva Vasconcelos
Orientador: Prof. Dr. Thiago Assis Rodrigues Nogueira

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

V331e	Vasconcelos, Fabrício da Silva Efeito Residual da aplicação de lodo de esgoto e fertilizantes minerais por 28 anos na sucessão <i>Urochloa ruziziensis</i>-milho / Fabrício da Silva Vasconcelos. -- Jaboticabal, 2026 68 p. : tabs., mapas Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal Orientador: Thiago Assis Rodrigues Nogueira 1. Matéria Orgânica. 2. Agricultura sustentável. 3. Resíduos Orgânicos. I. Título.
-------	--

IMPACTOS POTENCIAL DESTA PESQUISA

Espera-se, com este estudo, consolidar o entendimento sobre a aplicação contínua de lodo de esgoto (LE) em solos tropicais. Visando demonstrar a substituição parcial da adubação mineral por LE, que, por sua vez, mantém alta produtividade do sistema *U. ruziziensis*-Milho, em resposta à boa nutrição das culturas. Desta forma, o trabalho contribuirá para a formulação de políticas públicas de destinação de resíduos e para a redução de custos na produção de grãos e pastagens, conforme as diretrizes da Organização das Nações Unidas (ODS).

POTENTIAL IMPACTS OF THIS RESEARCH

This study is expected to consolidate the understanding of the continuous application of sewage sludge (SS) in tropical soils. It aims to demonstrate the partial replacement of mineral fertilization with SS, which, in turn, maintains high productivity of the *U. ruziziensis*-corn system, in response to good crop nutrition. In this way, the work will contribute to the formulation of public policies for waste disposal and to the reduction of costs in grain and pasture production, in accordance with the guidelines of the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs).

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: EFEITO RESIDUAL DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO E FERTILIZANTES MINERAIS POR 28 ANOS NA SUCESSÃO *Urochloa ruziziensis*-MILHO

AUTOR: FABRÍCIO DA SILVA VASCONCELOS

ORIENTADOR: THIAGO ASSIS RODRIGUES NOGUEIRA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo), pela Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **THIAGO ASSIS RODRIGUES NOGUEIRA**
Data: 02/03/2026 19:13:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. THIAGO ASSIS RODRIGUES NOGUEIRA (Participação Presencial)
Departamento de Ciência do Solo / UNESP / Câmpus de Jaboticabal - FCAV

Documento assinado digitalmente
 **CASSIO HAMILTON ABREU JUNIOR**
Data: 05/03/2026 08:54:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. CÁSSIO HAMILTON ABREU-JUNIOR (Participação Virtual)
Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas / CENA USP Piracicaba/SP

Documento assinado digitalmente
 **VAGNER DO NASCIMENTO**
Data: 03/03/2026 11:33:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. VAGNER DO NASCIMENTO (Participação Virtual)
Departamento de Produção Vegetal / UNESP / Câmpus de Dracena - FCAT

Jaboticabal, 25 de fevereiro de 2026.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Fabício da Silva Vasconcelos, nascido em Fortaleza – CE, em 12 de maio de 1996, é bacharel em Agronomia pela Universidade Federal do Ceará (UFC), concluído em 2024, onde atuou como bolsista de iniciação acadêmica pela Pró-Reitoria de Assuntos Estudantis (PRAE). Foi bolsista de iniciação à docência pelo (PIBID) na disciplina “Manejo e Conservação do Solo e da Água”. Durante três anos da graduação participou ativamente dos projetos de pesquisa “Gepe Solo” e “Solo na Escola”. Em 2022, realizou estágio no Instituto de Pesquisa Phytus/Staphyt, no município de Formosa, GO. Em março de 2024, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo) na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (FCAV/Unesp – Câmpus de Jaboticabal), sob orientação do Prof. Dr. Thiago Assis Rodrigues Nogueira, com bolsa da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Durante o mestrado, realizou estágio à docência na disciplina “Corretivos, Fertilizantes e Adubação de Culturas”, ministrada no curso de Engenharia Agrônômica da Unesp/FCAV. Foi membro do Grupo de extensão “Bonequinhas da Terra” e “Solo na Escola” vinculados ao Departamento de Ciência do Solo da FCAV/Unesp. É autor de resumos simples e expandidos apresentados em congressos regionais, nacionais e internacionais. Durante o mestrado, contribuiu para a organização dos eventos “Venha nos conhecer” e “Escola de Inverno”.

“Do Senhor é a Terra e tudo o que nela existe, o mundo e os que nele vivem.”
(Salmos 24:1)

“O conhecimento só é válido quando gera transformação.”
(Paulo Freire)

*A minha família, amigos, professores
e funcionários que contribuíram para a minha formação.*

DEDICO

*A todos que acreditam na força
transformadora do conhecimento.*

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me guiar com sabedoria, justiça e equilíbrio, sendo minha fonte constante de proteção e luz.

Aos meus pais, Jacqueline da Silva Vasconcelos e José Flávio Vasconcelos, minha eterna gratidão pelos princípios de honestidade e fé e pelo apoio incondicional que fundamentou todas as minhas vitórias.

À Universidade Federal do Ceará (UFC), agradeço pela base construída durante a graduação, à Universidade Estadual Paulista (UNESP), pela oportunidade de aperfeiçoamento no mestrado, à Fundação Agrissus pelo suporte financeiro da pesquisa. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Ao meu orientador, Prof. Thiago Assis Rodrigues Nogueira, obrigado pela orientação deste trabalho. Agradeço, também, aos professores Aline Coscione, Leidivan Frazão, Cassio H. Abreu-Junior, Gian Franco Capra, Wanderley José de Melo, Arun Jani e Ricardo Bordonal, pelas inestimáveis contribuições científicas. Estendo os agradecimentos às instituições parceiras (ESALQ/USP, IAC, Unesp Ilha Solteira), Antônio, Denise e aos funcionários da FEPE, pelo suporte infraestrutural.

Aos amigos de mestrado: Leiliane Dutra, Daniel Machado, Luana Corrêa, Deysiele Alves, Alex Novais e Vinícius, obrigado pela troca de conhecimentos e pela amizade. À Rosa e aos moradores da República Cana Brava, agradeço a acolhida na minha chegada a Jaboticabal. A todos que fizeram parte desta caminhada, deixo minha sincera gratidão.

Sumário

RESUMO	I
ABSTRACT	II
1 INTRODUÇÃO	3
2 REVISÃO DE LITERATURA	6
2.1 <i>GESTÃO E VALORIZAÇÃO AGRÍCOLA DO LE: PERSPECTIVA INTERNACIONAL E O CENÁRIO BRASILEIRO.....</i>	6
2.2 <i>ACÚMULO DE NUTRIENTES EM PLANTAS DE COBERTURA SOB DOSES DE LE</i>	8
2.3 <i>EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DO LE NA NUTRIÇÃO E PRODUTIVIDADE DO MILHO.....</i>	11
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	13
3.1 <i>DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL</i>	13
3.2 <i>HISTÓRICO E INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO</i>	17
3.3 <i>DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS.....</i>	18
3.4 <i>OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTO.....</i>	19
3.5 <i>DESENVOLVIMENTO DOS EXPERIMENTOS.....</i>	21
3.6 <i>VARIÁVEIS AVALIADAS NA PLANTA DE COBERTURA</i>	22
3.7 <i>VARIÁVEIS AVALIADAS NA CULTURA DO MILHO</i>	22
3.8 <i>ANÁLISE ESTATÍSTICA</i>	23
4 RESULTADOS	24
4.1 <i>ACÚMULO DE NUTRIENTES, PRODUÇÃO DE BIOMASSA, ICF NA U. RUZIZIENSIS.....</i>	24
4.2 <i>ESTADO NUTRICIONAL, PRODUTIVIDADE E COMPONENTE DE PRODUÇÃO DO MILHO</i>	26
4.3 <i>CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS QUÍMICAS DO SOLO, ACÚMULO DE NUTRIENTES NA U. RUZIZIENSIS E PRODUTIVIDADE DO MILHO.</i>	29
5 DISCUSSÃO.....	32
5.1 <i>PRODUÇÃO DE BIOMASSA, ICF E ACÚMULO DE NUTRIENTES DA U. RUZIZIENSIS.....</i>	32
5.2 <i>ESTADO NUTRICIONAL DA CULTURA DO MILHO</i>	34
5.3 <i>PRODUTIVIDADE E BIOMETRIA DO MILHO</i>	37
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
REFERÊNCIAS	40
APÊNDICES	54
APÊNDICE A – TABELAS DE DADOS COLETADOS.....	55

EFEITO RESIDUAL DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO E FERTILIZANTES MINERAIS POR 28 ANOS NA SUCESSÃO *Urochloa ruziziensis*-MILHO

RESUMO

A gestão de lodo de esgoto (LE) continua sendo um desafio social e ambiental, especialmente em áreas urbanas sobrecarregadas pelo crescimento populacional, associado ao aumento das águas residuárias. Embora seu uso agrícola já tenha sido muito pesquisado, ainda são incipientes estudos que avaliaram os impactos de aplicações prolongadas em solos de regiões tropicais. Objetivamos, com isso, avaliar o efeito residual de doses de LE após 28 anos de aplicação e seus impactos na nutrição e na produtividade da cultura do milho cultivada em sucessão à *Urochloa ruziziensis*. Os experimentos foram instalados em 1997 em um Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e um Latossolo Vermelho Eutroférico (LVef), no município de Jaboticabal, São Paulo, Brasil. Adotou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com cinco repetições e quatro tratamentos: adubação mineral convencional (AMC) e doses acumuladas de LE (base seca), com complementação de K, sendo 120, 240 e 427 Mg ha⁻¹ para o LVd e 125, 250 e 477 Mg ha⁻¹ para o LVef. No ano agrícola de 2024/25, avaliaram-se a produção de matéria seca e o acúmulo de nutrientes na parte aérea da *U. ruziziensis*, além do estado nutricional, da biometria, dos componentes de produção e da produtividade de grãos de milho. No LVef, a maior dose de LE proporcionou uma produção de matéria seca da planta de cobertura 24% superior à do tratamento AMC. Os resultados revelaram que a adubação com LE influenciou o acúmulo de nutrientes no capim, com resposta mais acentuada para P e Mg no LVef, cujos teores na maior dose acumulada superaram os do AMC em 96% e 120%, respectivamente. No LVd, a resposta à adubação foi mais pontual, com destaque para o Mg e Ca que exibiram aumento de 85% e 71%, nas doses mínima e intermediária, respectivamente, em comparação ao AMC. Quanto à produtividade de milho, os valores máximos atingiram 8257 kg ha⁻¹ no LVd (dose mínima) e 7835 kg ha⁻¹ no LVef (dose intermediária), representando um aumento de 23% e 18%, respectivamente, em relação à AMC. Nos teores nutricionais na folha diagnose do milho, o LVef apresentou um aumento de 19% para o P e 156% para o Zn, na maior dose de LE em comparação ao AMC. Já no LVd, o P apresentou resultado semelhante ao LVef e o Zn destacou-se com um aumento expressivo de 174% em relação ao AMC. Nossos resultados evidenciam que o fornecimento do LE a longo prazo, além de proporcionar desempenho agrônomo adequado na sucessão *U. ruziziensis*-milho, tem potencial para substituir parcialmente os fertilizantes minerais, desde que haja manejo adequado da adubação potássica.

Palavras-chave: Agricultura regenerativa, Economia circular, Nutrição de plantas, Resíduos urbanos, Segurança alimentar.

RESIDUAL EFFECT OF 28 YEARS OF SEWAGE SLUDGE AND MINERAL FERTILIZER APPLICATION IN A *Urochloa ruziziensis*–MAIZE CROPPING SUCCESSION

ABSTRACT

Sewage sludge (SS) management remains a social and environmental challenge, especially in urban areas overwhelmed by population growth and the resulting increase in wastewater. Although its agricultural use has been extensively researched, studies evaluating the impacts of long-term SS application on tropical soils are still incipient. Thus, we aimed to evaluate the residual effect of SS rates after 28 years of application and their impacts on the nutrition and yield of maize cultivated in succession with *Urochloa ruziziensis*. Two field experiments have been conducted since 1997 on a Typic Hapludox (TH) and a Typic Eutrudox (TE), located in the municipality of Jaboticabal, São Paulo, Brazil. The experimental design was a randomized complete block with five replications and four treatments: conventional mineral fertilization (CMF) and cumulative SS rates (dry basis) with K supplementation, being 120, 240, and 427 Mg ha⁻¹ for the LVd, and 125, 250, and 477 Mg ha⁻¹ for the LVef. During the 2024/25 crop year, we evaluated dry matter production and nutrient accumulation in the shoot of *U. ruziziensis*, as well as the nutritional status, biometry, yield components, and grain yield of maize. In the LVef soil, the highest SS rate resulted in a dry matter production of the cover crop 24% higher than the CMF treatment. The results revealed that SS fertilization influenced nutrient accumulation in the grass, with a more pronounced response for P and Mg in the LVef soil, whose levels at the highest accumulated rate exceeded those of the CMF by 96% and 120%, respectively. In the LVd, the response to fertilization was more specific, highlighting Mg and Ca, which exhibited increases of 85% and 71% at the minimum and intermediate rates, respectively, compared to the CMF. Regarding maize yield, maximum values reached 8257 kg ha⁻¹ in the LVd (minimum rate) and 7835 kg ha⁻¹ in the LVef (intermediate rate), representing an increase of 23% and 18%, respectively, compared to the CMF. Regarding nutrient concentrations in the diagnostic leaf of maize, the LVef showed an increase of 19% for P and 156% for Zn at the highest SS rate compared to the CMF. In the LVd, P showed a similar result to the LVef, and Zn stood out with a significant increase of 174% compared to the CMF. Our results demonstrate that the long-term supply of SS, in addition to providing adequate agronomic performance in the *U. ruziziensis*-maize cropping succession, has the potential to partially replace mineral fertilizers, provided there is proper management of potassium fertilization.

Keywords: Circular economy, Plant nutrition, Regenerative agriculture, Sustainability, Urban waste.

1 INTRODUÇÃO

A adoção de novas tecnologias na agricultura resulta no aumento da produção de alimentos, fibra e energia, para atender à população que cresce progressivamente. Ao mesmo tempo, aumenta-se a necessidade de práticas agrícolas sustentáveis que busquem a proteção dos solos e outros recursos naturais, evitando quaisquer tipos de degradação (Beilicce et al., 2023). Essa preocupação é relevante considerando a magnitude da agricultura moderna, na qual anualmente cerca de 4 bilhões de toneladas de alimentos são produzidas no mundo (ONU, 2023). Entretanto, esse volume precisará aumentar, pois segundo as estimativas do *Department of Economic and Social Affairs Population* da Organização das Nações Unidas (ONU), em 2050, a população mundial deve alcançar cerca de nove bilhões de pessoas, intensificando-se as pressões sobre os recursos naturais, tais como expansão de áreas de produção e uso intensivo de fertilizantes minerais, tornando-se necessário um plano de manejo para suprir a demanda de alimentos em meio ao aumento populacional (PNF, 2022).

Vale ressaltar que esse crescimento demográfico ocorre principalmente nos grandes centros urbanos, o que acarreta sérios problemas socioambientais. Tal cenário já é realidade em muitas cidades, e melhorar as condições de vida dessas pessoas é o foco das discussões das autoridades em todo o mundo, visando encontrar soluções sustentáveis para reduzir os danos causados (Ribeiro et al., 2019).

Dentre os danos gerados pelo crescimento demográfico, estão a produção e o descarte inadequado de resíduos sólidos (e.g., lodo de esgoto sanitário), que podem ser provenientes de esgotos domésticos e industriais, que, por sua vez, são constituídos por matéria orgânica (MO) (Nascimento et al., 2020). O LE é muito rico em proteínas, lipídios e carboidratos, além de substâncias húmicas formadas pela decomposição destes materiais pelos microrganismos, servindo como condicionadores do solo, além de fonte de macro e micronutrientes para as plantas (Pedroza et al., 2019).

O Brasil é o quarto país que mais importa fertilizante mineral do mundo, ficando atrás da China, da Índia e dos EUA, correspondendo a um consumo global de 8,5% de fertilizantes (Caligaris et al., 2022). A reciclagem do LE na agricultura poderá auxiliar na redução das importações desses fertilizantes, bem como na preservação das jazidas de minerais utilizados na fabricação de fertilizantes, uma vez que a

substituição total ou parcial via LE pode reduzir a demanda por esses insumos, contribuindo para o desenvolvimento sustentável na agricultura (Hao et al., 2024). Tal demanda vai ao encontro do propósito do Plano Nacional de Fertilizantes (PNF, 2022), que trata do desenvolvimento de novos produtos e da utilização agrícola de fontes alternativas de nutrientes visando à redução da dependência nacional de importação de fertilizantes.

No entanto, o Brasil possui baixa capacidade de produzir fertilizantes minerais, devido à baixa reserva natural, necessitando de importações para atender à demanda interna, tornando-se um dos países que mais importam fertilizantes no mundo (~85%), sendo o quarto maior consumidor mundial, totalizando 43 milhões de toneladas de fertilizantes por ano (PNF, 2022). Nota-se que a agricultura brasileira é altamente vulnerável às oscilações do mercado internacional de fertilizantes. As importações de adubos minerais no Brasil servem para atender à produção das principais *commodities*, tais como soja, milho e cana-de-açúcar (Caldeira e Serrano, 2022), que juntas correspondem a 73% do consumo de fertilizantes no país, necessitando de uma agricultura regenerativa, com base nos princípios da economia circular (PNF, 2022).

O aproveitamento do LE em áreas cultivadas com cultura do milho já foi bastante estudado, sendo notados efeitos positivos na nutrição, no desenvolvimento e na produtividade (Rodrigues et al., 2017; Costa et al., 2018; Breda et al., 2020; Griou et al., 2023). No Brasil, os critérios para a destinação de LE na agricultura são regulamentados pela Resolução nº 498 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (Brasil, 2020).

A maior parte da produção brasileira de LE (2,5 milhões de toneladas de matéria seca por ano) ainda é destinada a aterros sanitários (Regitano; Rodrigues; Martins, 2021; Feng et al., 2023). O crescente aumento do volume de LE preocupa as autoridades brasileiras quanto à destinação adequada deste resíduo, sendo a agricultura uma alternativa viável (Costa et al., 2019).

Sabe-se que o LE pode melhorar o fornecimento de nitrogênio (N), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) e micronutrientes, tais como: bório (B), cobre (Cu), manganês (Mn), ferro (Fe) e zinco (Zn), aumentando a produção das culturas (Lucia et al., 2023).

Embora muitas pesquisas já tenham sido realizadas comprovando o potencial de reciclagem do LE na agricultura, ainda se nota a carência de informações sobre o fornecimento prolongado desse resíduo, especialmente em solos de regiões tropicais. Com isso, buscou-se testar as seguintes hipóteses: a aplicação contínua de LE em solos tropicais cultivados com milho em sucessão à *U. ruziziensis* supre a demanda nutricional do milho, resultando em componentes de produção e produtividade equivalentes ou superiores aos observados apenas com a adubação mineral convencional. Para tal, objetivou-se, com o presente estudo, avaliar o efeito residual/cumulativo das doses de LE após 28 anos de aplicação e seus impactos na nutrição e na produtividade da cultura do milho, cultivada em sucessão à *U. ruziziensis* em solos tropicais.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos nesse experimento de longa duração permitem concluir que a aplicação de LE por 28 anos é uma estratégia eficiente para suprir a demanda nutricional e elevar a produtividade do milho em sucessão a *U. ruziziensis*. Em ambos os solos, a produtividade média superou a média nacional, e os tratamentos com AMC, com destaque para o fornecimento de N e P.

Entretanto, a análise histórica do sistema evidencia que as maiores doses acumuladas resultaram em desequilíbrios nutricionais. O acúmulo de Zn e Cu provocaram antagonismo iônico, tendo como consequência restrições de K e Mg. Portanto, embora tenha sido observado aumento na produtividade do milho, seu manejo exige monitoramento rigoroso para mitigar os efeitos antagônicos entre metais e cátions básicos do solo.

Embora haja necessidade de complementação potássica, o LE pode ser considerado uma fonte alternativa de nutrientes para a fertilização da cultura do milho em sistema agrícola de alto rendimento.

REFERÊNCIAS

- Abbas, H.; Maboud, A.; Alshami, A.; Rashed, H.; Zahra, W. Soil Fertility and its Relationship to Soil Mineralogy of some Areas in Southwest Sinai, Egypt. **Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering**, 2021. DOI: <https://doi.org/10.21608/jssae.2022.107489.1038>.
- Abd Elsalam, H. E.; El-Efky, S. A.; El-Sayed, S. M.; Ottai, M. E. S.; Ibrahim, M. S. Effect of sewage sludge compost usage on corn and faba bean growth, carbon and nitrogen forms in plants and soil. **Agronomy**, Basel, v. 11, n. 4, art. 628, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11040628>.
- Abdala, Dalton Belchior; Silva, I. R.; Almeida, V. C.; Vergütz, L.; Silva, L. C. S. Long-term manure application effects on phosphorus speciation, kinetics and distribution in highly weathered agricultural soils. **Chemosphere**, v. 119, p. 504-514, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.08.016>.
- Abdelrahman, A. M.; Al-qodah, Z.; Al-Shannag, M.; Bani-Melhem, K.; Qasaimeh, A. Impact of primary treatment methods on sludge characteristics and digestibility, and wastewater treatment plant-wide economics. **Water Research**, Oxford, v. 235, p. 119920, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.119920>.
- Abreu-Junior, C. H.; Bontempi, R. M.; Firme, L. P.; Galdos, M. V.; Oliveira, F. C.; Coscione, A. R. Aplicação de lodo de esgoto em plantações de *Eucalyptus urograndis*: disponibilidade de fósforo no solo e produção de madeira. **Frontiers in Environmental Science**, Lausanne, v. 8, p. 116, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00116>.
- Abreu-Junior, C. H.; Firme, L. P.; Maldonado, C. A.; Moraes Neto, S. P.; Alves, M. C.; Muraoka, T. Efeitos da aplicação de lodo de esgoto em solos tropicais inférteis avaliados por múltiplas abordagens: um experimento de campo em uma plantação comercial de eucalipto. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 655, n. 1, p. 1457–1467, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.275>.
- Adetunji, A. T.; Ncube, B.; Mulidzi, R.; Lewu, F. B. Soil β -glucosidase activity, organic carbon and nutrients in plant tissue in response to cover crop species and management practices. **South African Journal of Plant and Soil**, Pretoria, v. 37, n. 3, p. 223–231, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/02571862.2020.1764673>.
- Agim, L. C.; Arinzechukwu, I. O.; Osis, A. F.; Chris-Emenyonu, C. M. Effect of organic amendment on properties and nutrient loss of soils of selected parent material. **Eurasian Journal of Soil Science**, Istanbul, v. 9, n. 4, p. 329-338, 2020. DOI: <https://doi.org/10.18393/ejss.783119>.
- Agrocere. **Manual do Produtor: Híbrido AG 8606**. São Paulo: Bayer Crop Science, 2024. Acesso em: 13 mar. 2026.

Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. de M.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

Araújo, G. C.; Araujo, L. C. Sewage sludge as an alternative for soil fertilization and *Urochloa ruziziensis* establishment for straw formation in no-till planting. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, Curitiba, v. 8, n. 1, p. 1–14, 2025. DOI: <https://doi.org/10.34188/bjaerv8n1-059>.

Arrobas, M.; Carvalho, J. T. N.; Raimundo, S.; Poggere, G.; Rodrigues, M. A. O uso seguro de composto derivado de resíduos sólidos urbanos depende de sua composição e condições de aplicação. **Soil Use and Management**, v. 38, p. 917–928, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/sum.12737>.

Balidakis, A.; Matsi, T.; Ipsilantis, I. Sewage sludge treated with bentonite, vermiculite or biochar can improve soil properties and enhance growth of grasses. **Soil Use and Management**, Oxford, v. 39, n. 4, p. 1403–1421, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1111/sum.12931>.

Baptistella, J. L. C.; Andrade, S. A. L.; Favarin, J. L.; dos Anjos, L. H. C.; Mazzafera, P.; Azevedo, R. A. *Urochloa* in Tropical Agroecosystems. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, Lausanne, v. 4, p. 119, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00119>.

Baptistella, J. L.; Llerena, J. P.; Domingues-junior, A. P.; Fernie, A. R.; Favarin, J. L.; Mazzafera, P. Differential responses of three *Urochloa* species to low phosphorus availability. **Annals of Applied Biology**, Warwick, v. 179, n. 1, p. 84-98, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/aab.12694>.

Bashir, A.; Khan, Q.; Alem, A.; Hendi, A.; Zaman, U.; Khan, S.; Rehman, K.; Khan, A.; Ullah, I.; Anwar, Y.; Abdelrahman, E. Zinc and Potassium Fertilizer Synergizes Plant Nutrient Availability and Affects Growth, Yield, and Quality of Wheat Genotypes. **Plants**, v. 12, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12122241>.

Bauer, T.; Burgman, L.; Andreas, L.; Lagerkvist, A. Effects of the different implementation of legislation relating to sewage sludge disposal in the EU. **Detritus**, [s. l.], 2020. DOI: <https://doi.org/10.31025/2611-4135/2020.13944>.

Beilicci, E.; Beilicci, R.; Stafanescu, C. The influence of land fertilization with fertilizers from animal manure on hydric soil erosion. **Scientific Papers Animal Science and Biotechnologies**, Timisoara, v. 56, n. 2, p. 54–59, 2023.

Beinabaj, S. de; Heydariyan, H.; Aleii, H.; Hosseinzadeh, A. Concentration of heavy metals in leachate, soil, and plants in Tehran's landfill: Investigation of the effect of landfill age on the intensity of pollution. **Heliyon**, v. 9, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13017>.

Bertoncini, E. I.; Mattiazzo, M. E.; Rossetto, R. Sugarcane yield and heavy metal availability in two latosols amended with sewage sludge. **Scientia Agricola**,

Piracicaba, v. 61, n. 4, p. 388-393, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162004000400006>.

Bhanwaria, R.; Singh, B.; Musarella, C. M. Efeito do adubo orgânico e dos regimes de umidade nas propriedades físico-químicas do solo, na renovação da biomassa microbiana e na produtividade de grãos de mostarda em clima árido. **Plants**, v. 11, n. 722, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11060722>.

Boeira, R. C.; Ligo, M. A. V.; Dynia, J. F. Mineralização de nitrogênio em solo tropical tratado com lodos de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 1639-1647, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002001100014>.

Borém, A.; Galvão, J. C. C.; Pimentel, M. A. (org.). **Milho: do plantio à colheita**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2017. 365 p.

Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006**. Brasília, DF: CONAMA, 2006.

Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 498, de 19 de agosto de 2020**. Brasília, DF: CONAMA, 2020.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Nacional de Fertilizantes 2050**: uma estratégia para os fertilizantes no Brasil. Brasília, DF: MAPA, 2022.

Breda, C. C.; Ferreira, M. E.; Seben Junior, G. F.; Andrade, C. A. Successive sewage sludge fertilization: Recycling for sustainable agriculture. **Waste Management**, New York, v. 109, p. 38–50, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.04.045>.

Brennan, R.; Penrose, B.; Bell, R. Micronutrients limiting pasture production in Australia. **Crop and Pasture Science**, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1071/cp19087>.

Caldeira, C.; Serrano, L. R. O Brasil tem capacidade de ser autossuficiente na produção de fertilizantes. **Jornal da USP**, São Paulo, 2022.

Caligaris, B. S. A.; Polidoro, J. C.; Carvalho, M. T. M.; Motta, P. E. F.; Naime, J. M. A importância do Plano Nacional de Fertilizantes para o futuro do agronegócio e do Brasil. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2022. (Documentos, 203).

Calonego, J. C.; Borghi, E.; Crusciol, C. A. C. Intervalo hídrico ótimo e compactação do solo com cultivo consorciado de milho e braquiária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 6, p. 2183-2190, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000600033>.

Calzone, Antonella; Sorrentino, M. C.; Capasso, G.; Pansini, A.; MEO, F.; Esposito, S. Rice fertilization with sewage sludge as a potential alternative to mineral fertilizers: Analyses of physiological, biochemical and molecular mechanisms of plant response. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 209, p. 108527, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108527>.

Cantarella, H.; Quaggio, J. A.; Mattos Junior, D.; Boaretto, R. M.; Raij, B. van (ed.). **Boletim 100: recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2022. 498 p.

Castoldi, G.; Pivetta, L. A.; Rosolem, C. A. Soil nitrogen dynamics after *Brachiaria*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 6, p. 1620-1627, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000600018>.

Chamhum-silva, L.; Bressani-ribeiro, T.; Azevedo, L.; Matos, A.; Chernicharo, C.; Filho, C. Spatial multicriteria analysis to select suitable sites for sewage sludge use in agriculture. **Environment, Development and Sustainability**, v. 26, p. 23175 - 23191, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03746-9>.

Chen, Z.; Wang, L.; Cardoso, J.; Zhu, S.; Liu, G.; Rao, I.; Lin, Y. Improving phosphorus acquisition efficiency through modification of root growth responses to phosphate starvation in legumes. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1094157>.

Chi, G.; Zeng, F.; Wang, Y.; Chen, X. Phosphorus dynamics in litter–soil systems during litter decomposition in larch plantations across the chronosequence. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1010458>.

Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: Safra 2023/24**. Brasília, DF: CONAB, v. 11, n. 9, 2024.

Cordeiro, C. F. S.; Echer, F. R.; Rosolem, C. A. Cover crops and controlled-release urea decrease nitrogen mobility and increase cotton yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 46, e0210113, 2022. DOI: <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20210113>.

Corrêa, R. S.; Figueiredo, C. C.; Rein, T. A.; Rovira, P. Grain and foliar nutritional responses of corn (*Zea mays* L.) to sewage sludge soil application. **Waste and Biomass Valorization**, Dordrecht, v. 14, n. 8, p. 2629–2641, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-023-02058-2>.

Costa, T. G. A.; Silva, E. F.; Silva, P. S. L. Avaliação do crescimento de milho (*Zea mays*) sob o efeito de diferentes doses de biossólido em Latossolo Vermelho-Amarelo no Cerrado piauiense. **Multi-Science Journal**, Urutaí, v. 2, n. 1, p. 1–6, 2019. DOI: <https://doi.org/10.33837/msj.v2i1.921>.

Costa, T. G. A.; Silva, E. F.; Silva, P. S. L. Tratamento alcalino de lodo de esgoto no preparo do biossólido como alternativa de adubo orgânico. **Multi-Science Journal**, Urutaí, v. 1, n. 13, p. 374–377, 2018. DOI: <https://doi.org/10.33837/msj.v1i13.619>

COSTA, V.; MARIA, I.; CAMARGO, O.; GREGO, C.; MELO, L. Distribuição espacial de fósforo em Latossolo tratado com lodo de esgoto e adubação mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 287-293, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1415-43662014000300007>.

Da Silva, M.; Abreu, J.; Weber, O.; Barros, L.; Silva, E.; Damasceno, A.; Oliveira, W. Cultivation of ruziziensis grass (*Urochloa ruziziensis*) using swine liquid manure fertilization. **Australian Journal of Crop Science**, p. 377-386, 2021. DOI: <https://doi.org/10.21475/ajcs.21.15.03.p2751>.

Dhanker, R.; Chaudhary, S.; Goyal, S.; Garg, V. K. Influência da aplicação de lodo de esgoto urbano nos parâmetros do solo agrícola. **Environmental Technology & Innovation**, v. 23, p. 101642, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101642>.

Dimande, P.; Arrobas, M.; Rodrigues, M. A. Em clima tropical e em solos arenosos, o guano de morcego mineraliza-se muito rapidamente, comportando-se mais como um fertilizante mineral do que como um esterco convencional. **Agronomy**, v. 13, n. 1367, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13051367>.

Falker automação agrícola. **Manual do medidor eletrônico de teor de clorofila (ClorofilLOG / CFL 1030)**. Porto Alegre: Falker, 2008. 33 p.

Feng, J.; Liu, J.; Geng, Y.; Li, X.; Wang, C.; Wang, Z. Assessing metal contamination and speciation in sewage sludge: Implications for soil application and environmental risk. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11157-023-09664-5>.

Fernandes, A. M.; Rosolem, C. A. Exchangeable basic cations and nitrogen distribution in soil as affected by crop residues and nitrogen. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 54, n. 3, p. 571-580, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-89132011000300018>.

Fernandes, S.; Amaral, A.; Zanetti, W.; Putti, F.; Góes, B. Reuse of water and sludge in agriculture: new technologies for the treatment. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 1, 2023. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v12i1.39803>.

Ferraz, A.; Momentel, L. T.; Poggiani, F. Fertilidade do solo, crescimento e nutrição mineral em plantação de *Eucalyptus grandis* fertilizada com diferentes tipos de lodo de esgoto. **New Forests**, Dordrecht, v. 47, p. 861–876, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-016-9549-y>.

Figueiredo, C. C. de; Chagas, J. K. M.; da Silva, J.; Paz-Ferreiro, J. Short-term effects of a sewage sludge biochar amendment on total and available heavy metal content of a tropical soil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 344, p. 31-39, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.02.035>.

Fresne, M.; Jordan, P.; Fenton, O.; Mellander, P.; Daly, K. Soil chemical and fertilizer influences on soluble and medium-sized colloidal phosphorus in agricultural soils. **The Science of the Total Environment**, v. 754, p. 142112, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142112>.

Fu, Y.; Gao, T.; Wu, Q.; Qi, M.; Wang, Z.; Liu, C. Mechanism of zinc stress on magnesium deficiency in rice plants (*Oryza sativa* L.): Insights from magnesium

isotopes. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 912, p. 171463, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171463>.

Galdos, M. V.; Brown, L. K.; Rosolem, C. A.; George, T. S. Brachiaria species influence nitrate transport in soil by modifying soil structure with their root system. **Scientific Reports**, London, v. 10, art. 5072, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61923-5>.

Gebretsadkan, A.; Belete, Y.; Krounbi, L.; Gelfand, I.; Bernstein, R.; Gross, A. Soil application of activated hydrochar derived from sewage sludge enhances plant growth and reduces nitrogen loss. **The Science of the Total Environment**, p. 174965, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174965>.

Geisseler, D.; Miller, K.; Santiago, S.; Najm, M. The multi-faceted relationship between nitrogen mineralization and soil texture. **Soil Science Society of America Journal**, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1002/saj2.20728>.

Glab, T.; Zaleski, T.; Erhart, E.; Hartl, W. Effects of fertilization with compost produced from maize, sewage sludge and biochar on soil water traits and chemical properties. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 197, n. 1, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104493>.

Goberna, M.; Verdú, M. Predicting microbial traits with phylogenies. **The ISME Journal**, London, v. 12, n. 1, p. 346–355, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/ismej.2017.171>.

Gomes, S., Nascimento, C., & Biondi, C. Produtividade e composição mineral de plantas de milho em solo adubado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 11, 459-465, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1415-43662007000500002>.

Griou, H.; El Hassani, F. Z.; Afilal, M. E. The study of the fertilising power of urban sludge from the Dar Gueddari Wastewater Treatment Plant: Case of maize (*Zea mays*). **Journal of Water and Land Development**, n. 57, p. 37–44, 2023. DOI: <https://doi.org/10.24425/jwld.2023.145335>.

Guedes, M. C.; Andrade, C. A.; Pires, A. M. M.; Mattiazzo, M. E. Manganês, ferro, zinco e cobre em bio sólido e em Latossolo tratado com lodo de esgoto e cultivado com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000300019>.

Hao, J.; Zhang, Y.; Li, Y.; Liu, J. Double advantages of nutrients and biostimulants derived from sewage sludge by alkaline thermal hydrolysis process for agricultural use. **Advanced Science**, Weinheim, v. 11, n. 14, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1002/advs.202306788>.

Helmecke, M.; Fries, E.; Schulte, C. Regulating water reuse for agricultural irrigation: risks related to organic micro-contaminants. **Environmental Sciences Europe**, Heidelberg, v. 32, p. 1-10, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12302-019-0283-0>.

Hu, Y.; Zhu, B. Effects of Organic Amendments with Different C/N Ratios and Application Rates on N Mineralization–Immobilization in Calcareous Cropland Soil. **Agronomy**, v. 15, n. 122795, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy15122795>.

Jamil, M.; Qasim, M.; Umar, M. Utilization of sewage sludge as organic fertiliser in sustainable agriculture. **Journal of Applied Sciences**, v. 6, n. 3, p. 531–535, 2006. DOI: <https://doi.org/10.3923/jas.2006.531.535>.

Jindo, K.; Audette, Y.; Olivares, F. L.; Canellas, L. P.; Smith, D.; Voroney, P. Biotic and abiotic effects of soil organic matter on the phytoavailable phosphorus in soils: a review. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40538-023-00384-x>.

Johan, P. D.; Ahmed, O. H.; Omar, L.; Hasbullah, N. A. Phosphorus transformation in soils following co-application of charcoal and wood ash. **Agronomy**, Basel, v. 11, n. 10, p. 2010, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11102010>.

Kandil, E. E.; Abdelsalam, N. R.; Mansour, M. A.; Ali, H. M.; Siddiqui, M. H. Potencial do adubo orgânico e das formas de potássio no crescimento e produção do milho (*Zea mays* L.). **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 1–11, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-65749-9>.

Khan, A.; Ali, S.; Shah, T.; Baba, G. A.; Mursalin, A. Impact of integrated nutrient management on soil properties, nutrient availability, and maize productivity. **Scientific Reports**, London, v. 14, art. 2895, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-53096-6>.

Khangura, K. S.; Manhas, S. S.; Dheri, G. S. Effect of different rice residue management practices on productivity and economics of wheat. **Agricultural Research Journal**, Ludhiana, v. 60, n. 1, p. 55-60, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5958/2395-146X.2023.00008.2>.

Kharytonov, M.; Martynova, N.; Babenko, M.; Rula, I. Biomassa de sorgo sacarino produzida em tecnossolo utilizando lodo de esgoto municipal tratado com floculante, na Ucrânia. **Agriculture**, Basel, v. 13, n. 6, p. 1129, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13061129>.

Koumoulidis, D.; Varvaris, I.; Pittaki, Z.; Hadjimitsis, D. Sewage Sludge in Agricultural Lands: The Legislative Framework in EU-28. **Sustainability**, v. 16, n. 24, 10946, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/su162410946>.

Koutroubas, S.; Antoniadis, V.; Damalas, C.; Fotiadis, S. Municipal Sewage Sludge Effects on Maize Yield, Nitrogen Use Efficiency, and Soil Properties. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 23, p. 1209-1221, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42729-022-01115-0>.

Kovačić, Đ.; Lončarić, Z.; Jović, J.; Samac, D.; Popović, B.; Tišma, M. Digestate Management and Processing Practices: A Review. **Applied Sciences**, v. 12, n. 18, 9216, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12189216>.

Lindsay, W. L. Iron oxide solubilization by organic matter and its effect on iron availability. **Plant and Soil**, v. 130, n. 1, p. 27-34, 1991. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00011851>.

Lu, J.; Xu, S. Post-treatment of food waste digestate towards land application: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 303, 127033, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127033>.

Lucia, C.; Badalucco, L.; Corsino, S. F.; Galati, A.; Iovino, M. From waste to resources: sewage sludges from the citrus processing industry to improve soil fertility and performance of lettuce. **Agriculture**, Basel, v. 13, n. 4, p. 913, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13040913>.

Lucia, C.; Badalucco, L.; Corsino, S. F.; Galati, A.; Iovino, M. Ten years of application of sewage sludge on tropical soil: A balance sheet. **International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences**, v. 9, 2025. DOI: <https://doi.org/10.31015/jaefs.2025.x>.

Madhupriya, D.; Baskar, M.; Sherene, T.; Rajammal, J.; Kuppusamy, S.; Rathika, S.; Umamaheswari, T.; Sriramachandrasekaran, M.; Mohanapragash, A. Efficacy of chelated micronutrients in plant nutrition. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103624.2024.2319083>.

Majaule, U.; Dikinya, O.; Glaser, B. Interactive effects of biochar and sewage sludge on bioavailability and plant uptake of Cu, Fe, and Zn. **Agronomy**, Basel, v. 10, n. 12, p. 1901, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10121901>.

Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

Melo, W. J.; Delarica, B. K.; Guedes, M. C.; Lolis, A.; Mendes, W. S.; Melo, G. M. P. Ten years of application of sewage sludge on tropical soil: A balance sheet on agricultural crops and environmental quality. **Science of the Total Environment**, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.254>.

Miguel, F.; Bárbaro-Torneli, I.; Gonçalves, E.; da Silva, A. A. J.; de Faria, M. Custos de produção: silagem de milho na região norte do Estado de São Paulo. **Nucleus**, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3738/1982.2278.4069>.

Mininni, G.; Blanch, A. R.; Lucena, F.; Berselli, S. EU policy on sewage sludge utilization and perspectives on new approaches of sludge management. **Environmental Science and Pollution Research**, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3496-4>.

Moreira, R. S.; Costa, G. G.; Silva, C. S.; Souza, M. E. P.; Guimarães, S. L. Estado nutricional e parâmetros fisiológicos de milho cultivado com lodo de esgoto. **Ciência**

e Agrotecnologia, Lavras, v. 44, e029919, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-7054202044029919>.

Morsch, L.; Marques, A.; Trentin, E.; Andreolli, T.; De Oliveira, F.; Ferreira, M.; Moura-Bueno, J.; Grando, D.; Tassinari, A.; Welter, P.; Tabaldi, L.; Comin, J.; Loss, A.; Lourenzi, C.; Brunetto, G. Phytostabilization potential and tolerance mechanisms of native species from the Pampa biome in vineyard soil with high levels of Cu, Zn and Mn. **Environmental Science and Pollution Research International**, v. 33, p. 2727-2743, 2026. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-026-37426-3>.

Namdari, M.; Zanganeh, S.; Mohammadi, E. Effect of biological sewage sludge and its derived biochar on accumulation of potentially toxic elements by corn (*Zea mays* L.). **Scientific Reports**, London, v. 14, art. 2788, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-52643-5>.

Nascimento, A. L.; Ajayi, A. E.; Silva, D. J.; Araújo Júnior, C. F.; Souza, Z. M. Atributos químicos de lodos de esgoto: relações com fontes e tratamentos e implicações para o uso de lodo na agricultura. **Journal of Cleaner Production**, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121083>.

Nobile, F. O. de.; Tittoto, A. C.; Costa, J. A.; Silva, L. H.; Anunciação, M. P. C. Capacidade máxima de adsorção de fósforo em Latossolo com diferentes composições mineralógicas. **Ciência e Cultura**, Barretos, v. 16, n. 1, p. 20-25, 2020. DOI: <https://doi.org/10.4322/2175-4470.2020.16.01.03>.

Novais, R. F.; Smyth, T. J. Fósforo. In: Novais, R. F.; Alvarez V., V. H.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L. (ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471-550.

Oliveira, F. A. de; Oliveira Júnior, A. de; Castro, C. de; Nunes, J. R. S. **Tecnologias de manejo da fertilidade do solo e avaliação do estado nutricional da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2023. 75 p. (Documentos, 458).

Oliveira, S. M. de; Almeida, R. E. M.; Pierozan Júnior, C.; Taveira, L. R.; Souza, R. A.; Costa, N. R.; Machado, F. H. Contribuição do milho consorciado com espécies de *Brachiaria* para a ciclagem de nutrientes. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 49, e55018, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-40632019v4955018>.

Osmolovskaya, N.; Dung, V.; Kuchaeva, L. The role of organic acids in heavy metal tolerance in plants. **Biological Communications**, v. 63, p. 9-16, 2018. DOI: <https://doi.org/10.21638/spbu03.2018.103>.

Pacheco, L. P.; Leandro, W. M.; Machado, P. L. O. A.; Assis, R. L.; Cobucci, T.; Madari, B. E.; Petter, F. A. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra no sistema de plantio direto. **Bioscience Journal**, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000300021>.

Pacheco, L.; Fonseca, W.; Menezes, C.; Leandro, W.; Assis, R.; Petter, F. Phytomass production and micronutrient cycling by cover crops in the Brazilian cerrado of Goiás. **Comunicata Scientiae**, v. 9, n. 1, 2018. DOI: <https://doi.org/10.14295/cs.v9i1.1094>.

Paimel, A.; Rodrigues, N.; Fernandes, J.; Mota, L.; Cabral, C.; Duarte, C.; Cabral, C. Nitrogen and potassium fertilization of Marandu grass. **Scientific Electronic Archives**, 2025. DOI: <https://doi.org/10.36560/18520252101>.

Pastor, K., Nastić, N., Ilić, M., Skendi, A., Stefanou, S., Ačanski, M., Rocha, J., & Papageorgiou, M. (2024). A screening study of elemental composition in legume (Fabaceae sp.) cultivar from Serbia: Nutrient accumulation and risk assessment. **Journal of Food Composition and Analysis**. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106127>.

Pedroza, M. M.; Vieira, G. E. G.; Sousa, J. F.; Pickler, A. C.; Leite, J. C. Domestic sewage sludge: physical, chemical and biological characteristics. **Revista Multidebates**, Palmas, v. 3, n. 2, p. 206–218, 2019.

Peng, J.; Niu, Y.; Song, Y.; Li, Z.; Li, N.; Xie, G. Long-term organic substitution improves phosphorus availability by reducing adsorption and promoting desorption in acidic soil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 235, art. 105898, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105898>.

Pereira, N. S.; Pacheco, L. P.; Chagas, J. K. M.; Silva, G. F.; Carvalho, J. J.; Almeida, D. S. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura em sistema de sucessão com soja e milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n11p734-740>.

Pires, A. M. M.; Andrade, C. A.; Melo, W. J. Disponibilidade e mineralização do nitrogênio após aplicações sucessivas de lodo de esgoto no solo, estimadas por meio de incubação anaeróbica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2015000900001>.

Pinheiro, G.; Araújo, P.; Marques, R.; Souza, R.; Silva, I.; Marchi, S. Interference of weeds in ruziziensis grass pastures. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, 2022. DOI: <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v44i1.54135>.

Popoola, L., Olawale, T., & Salami, L. (2023). A review on the fate and effects of contaminants in biosolids applied on land: Hazards and government regulatory policies. *Heliyon*, 9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19788>.

Portugal, J. R. **Coberturas vegetais e doses de nitrogênio, associadas à inoculação com Azospirillum brasilense, no cultivo do milho na região de Cerrado**. 2015. 89 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – UNESP, Ilha Solteira, 2015.

R core team. R: **A language and environment for statistical computing**. Boston: RStudio, 2023.

Raij, B. van; Andrade, J. C.; Cantarella, H.; Quaggio, J. A. (ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. 1. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

Regitano, J. B.; Rodrigues, M. M.; Martins, G. L. Vantagens do uso de fertilizantes organominerais à base de lodo de esgoto em condições tropicais. In: **Anuário Brasileiro de Tecnologia em Nutrição Vegetal**. São Paulo: Abisolo, 2021. p. 94.

Ren, L.; Zhang, X.; Reis, S.; Sun, Q.; Gu, B. Short-term effects of cover crops and tillage methods on soil physical properties and maize growth in a semi-arid region. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 192, p. 76-86, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.04.021>.

Ribeiro, M. S.; Silva, D. P.; Santos, A. C. Desafios gerados pelo crescimento populacional urbano no contexto das cidades inteligentes. **Revista Observatório**, Palmas, v. 5, n. 6, p. 667–696, 2019. DOI: <https://doi.org/10.20873/uft.2447-4266.2019v5n6p667>.

Rocha, J. H. T.; Menegale, M. L. C.; James, A. S.; Santos, L. F.; Borgo, P. V.; Toledo, F. H. S. F. Lodo de esgoto: diretrizes e o seu uso como fertilizante, condicionador de solo e substrato florestal. **Vértices**, 2017. DOI: <https://doi.org/10.19180/1809-2667.v19n22017p101-118>.

Rocha, J. R. da; Peres, S. T.; Rolim, G. S. Época de semeadura para produção de milho safrinha em diferentes densidades populacionais no Sudoeste de Goiás. **Global Science and Technology**, 2011. DOI: <https://doi.org/10.14688/1984-3801/gst.v4n3p134-143>.

Rodrigues, M. N.; Marimon Júnior, B. H.; Marimon, B. S.; Oliveira, B.; Moresco, G. G. Nutrients and heavy metals in maize crop fertilized with rock phosphate and biosolid. **Revista Engenharia na Agricultura**, 2017. DOI: <https://doi.org/10.13083/reveng.v25i1.737>.

Ronzani, B. **Dinâmica do fósforo em solos subtropicais: formas, adsorção e disponibilidade para as plantas**. 2023. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – UFSM, Santa Maria, 2023.

Rosolem, C. A.; Pace, F. T.; Crusciol, C. A. C. Nitrogen immobilization by Congo grass roots impairs cotton initial growth. **The Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 150, n. 6, p. 735-745, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1017/S002185961200010X>.

Santiani, L.; Simon, C. A.; Gava, G. J. C.; Kolln, O. T.; Araujo, L. S.; Duarte, A. P. Consórcio de milho com forrageiras: atributos físicos do solo e produtividade de massa seca. **Colloquium Agrariae**, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5747/ca.2020.v16.n1.a344>.

Sardans, J.; Peñuelas, J. Potassium Control of Plant Functions: Ecological and Agricultura Implications. **Plants**, V. 10, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10020419>.

Santos, H. G. dos; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C. dos; Oliveira, V. A. de; Lumberras, J. F.; Coelho, M. R.; Almeida, J. A. de; Araujo filho, J. C. de; Lima, H. N.; Marques, F. A.; Oliveira, J. B. de; Cunha, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 6. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2025.

Shahbazi, F.; Kianpoor, M.; Ebrahimi, M. O efeito do lodo de esgoto nas concentrações de metais pesados em plantas de trigo (*Triticum aestivum* L.). **Environmental Science and Pollution Research**, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8622-6>.

Shelton, R. E.; Sarver, J. M.; Tubbs, R. S.; Monfort, W. S. Cover crop management options and impacts on soil health and weed suppression. In: **Beltwide Cotton Conferences**, 2018, San Antonio. Proceedings.

Silva Junior, S. A. da; Costa, J. P. V.; Siqueira, G. M.; Souza, K. R. D. Evidences on the application of biosolids and the effects on chemical characteristics in infertile tropical sandy soils. **Cleaner Engineering and Technology**, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100102>.

Silva, M. B.; Nogueira, M. A.; Mendes, I. C.; Reis, A. F. B.; Hungria, M. Efeitos residuais do lodo de esgoto compostado no ciclo do nitrogênio e no metabolismo vegetal. **Frontiers in Plant Science**, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1160356>.

Silva, V. F. da; Costa, C. A.; Silva, G. L.; Santos, M. A. Lodo de esgoto como fonte de nutrientes para a cultura do milho e *Urochloa ruziziensis* em sistema de consórcio. **Brazilian Journal of Development**, 2021. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n1-325>.

Stumpf, L., Pauletto, E., Pinto, L., Garcia, G., Ambus, J., Silva, T., Pinto, M., & Tuchtenhagen, I. Condição física e desenvolvimento radicular de gramíneas em solo construído após mineração de carvão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 51, 1078-1087, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900007>.

Subbarao, G. V.; Rondon, T.; Ito, O.; Ishikawa, T.; Rao, I. M.; Nakahara, K.; Lascano, C.; Berry, W. L. Biological nitrification inhibition (BNI) is it a widespread phenomenon? **Plant and Soil**, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-006-9159-0>.

Sugurbekova, G.; Nagyzbekkyzy, E.; Sarsenova, A.; Danlybayeva, G.; Anuarbekova, S.; Kudaibergenova, R.; Frochot, C.; Acherar, S.; Zhatkanbayev, Y.; Moldagulova, N. Sewage Sludge Management and Application in the Form of Sustainable Fertilizer. **Sustainability**, v. 15, n. 7, 6112, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15076112>.

Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. (org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2017. 574 p.

Thomas, C.; Darch, T.; Harris, P.; Beaumont, D.; Haefele, S. The Distribution of Soil Micro-Nutrients and the Effects on Herbage Micro-Nutrient Uptake and Yield in Three Different Pasture Systems. **Agronomy**, v. 11, n. 9, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11091731>.

Torri, S. I.; Valenzuela, F.; Urricariet, S. Is sewage sludge biochar capable of replacing inorganic fertilizers for corn production? Evidence from a two-year field experiment. **Archives of Agronomy and Soil Science**, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/03650340.2016.1245362>.

Tsadilas, C.; Samaras, V.; Evangelou, E. Influence of fly ash and sewage sludge application on wheat biomass production, nutrients availability, and soil properties. **International Journal of Coal Science & Technology**, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40789-014-0012-7>.

Tutor, L.; Béres, A.; Barcsi, A.; Horváth, M.; Géczi, G. Monitoring of Potassium Content in Wastewater Treatment Plants. **Journal of Central European Green Innovation**, 2024. DOI: <https://doi.org/10.33038/jcegi.6439>.

United States Environmental Protection Agency. **Method 3050B: acid digestion of sediments, sludges, and soils**. Revision 2. Washington, DC: USEPA, 1996.

Vaca, R.; Lugo, J.; Martinez, R.; Esteller, M. V.; Zavaleta, H. Effects of sewage sludge and sewage sludge compost amendment on soil properties and *Zea mays* L. plants. **Revista Internacional de Contaminación Ambiental**, 2011. DOI: <https://doi.org/10.20937/rica.2011.27.04.05>.

Valadão, F. C. de A.; Valadão Júnior, D. D.; Tieppo, R. C.; Silva, K. S. da; Santiani, L. Fontes e formas de aplicação da adubação fosfatada na cultura do girassol. **Nativa**, Sinop, v. 8, n. 5, p. 650-657, 2020. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v8i5.10519>.

Villegas, D.; Velásquez, J.; Arango, J.; Obregón, K.; Rao, I.; Rosas, G.; Oberson, A. Urochloa grasses swap nitrogen source when grown in association with legumes in tropical pastures. **Diversity**, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/d12030106>.

Volf, M.; Rosolem, C. A.; Crusciol, C. A. C.; Borgo, E. Potassium dynamics in Ruzigrass rhizosphere. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 42, e0170370, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20170370>.

Wang, J.; Moeen-Ud-Din, M.; Yang, S. Dose-dependent responses of Arabidopsis thaliana to zinc are mediated by auxin homeostasis and transport. **Environmental and Experimental Botany**, v. 189, p. 104554, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104554>.

Wystalska, K.; Grosser, A. Sewage sludge-derived biochar and its potential for removal of ammonium nitrogen and phosphorus. **Energies**, Basel, v. 17, p. 1310, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/en17061310>.

Yada, M.; Melo, W.; Mingotte, F.; Melo, V.; Melo, G. Chemical and Biochemical Properties of Oxisols after Sewage Sludge Application for 16 Years. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1303-1310, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20140728>.

Yang, F.; Sui, L.; Tang, C.; Li, J.; Cheng, K.; Xue, Q. Sustainable advances on phosphorus utilization in soil via addition of biochar and humic substances. **Science of the Total Environment**, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145100>.

Zandvakili, O. R.; Barker, A. V.; Hashemi, M. Etmadi, F. Biomassa e concentração de nutrientes da alface cultivada com fertilizantes orgânicos. **Journal of Plant Nutrition**, v. 42, n. 5, p. 444–457, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1567778>.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Tabelas de dados coletados

1A. Efeito dos tratamentos no acúmulo de macronutrientes na *U. ruziziensis* no Latossolo Vermelho Eutroférico (LVef) e Latossolo Vermelho Distrófico (LVd).

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
kg ha ⁻¹						
LVef						
AMC ⁽¹⁾	110.09 ab	12.58 c	108.84 a	22.32 ab	8.50 b	15.77 b
125 Mg ha ⁻¹ de LE ⁽²⁾	100.30 b	13.40 bc	93.43 a	21.85 ab	14.97 a	14.99 b
250 Mg ha ⁻¹ de LE	120.19 ab	17.62 b	115.77 a	19.51 b	14.02 a	20.78 ab
447 Mg ha ⁻¹ de LE	135.93 a	24.66 a	126.63 a	25.45 a	18.77 a	23.65 a
Teste F						
A	4.52*	26.07**	2.91 ^{NS}	3.01 ^{NS}	11.20**	8.46**
Média geral						
CV (%)	13.72	14.17	16.38	14.12	20.12	16.87
Bartlett	0.40	0.15	0.07	0.66	0.07	0.62
Shapiro-wilk	0.41	0.14	0.13	0.02	0.64	0.07
LVd						
AMC	61.30 a	13.03 b	67.79 a	16.90 b	5.88 c	9.41 a
120 Mg ha ⁻¹ de LE ⁽²⁾	79.80 a	14.27 ab	64.81 a	18.93 ab	10.89 a	10.27 a
240 Mg ha ⁻¹ de LE	89.78 a	16.93 a	74.26 a	28.88 a	9.38 ab	12.50 a
427 Mg ha ⁻¹ de LE	85.59 a	7.33 c	65.82 a	14.72 b	6.80 bc	11.83 a
Teste F						
A	2.90 ^{NS}	21.38**	0.68 ^{NS}	5.79*	8.60**	2.11 ^{NS}
Média geral						
CV (%)	20.84	15.17	16.88	29.28	21.30	19.72
Bartlett	0.08	0.85	0.26	0.19	0.16	0.02
Shapiro-wilk	0.05	0.42	0.88	0.24	0.56	0.87

**, * e ^{NS} – significativo nos níveis de probabilidade de 1% e 5% e não significativo, respectivamente. CV%: coeficiente de variação; Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) de probabilidade; Teste de Bartlett e Shapiro-wilk: valores de P para os testes de homocedasticidade e normalidade. AMC: adubação mineral convencional. LE: Doses de lodo de esgoto acumuladas (Mg ha⁻¹, base seca) após 24 e 25 aplicações no LVef (125, 250 e 447) e no LVd (120, 240 e 427).

2A. Efeito dos tratamentos no acúmulo de micronutrientes, índice de clorofila Falker (ICF) e matéria seca (MS) na *U. ruziziensis* no Latossolo Vermelho Eutroférico (LVef) e Latossolo Vermelho Distrófico (LVd).

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn	ICF	MS
	g kg ⁻¹					-	kg ha ⁻¹
	LVef						
AMC ⁽¹⁾	71.35 a	178.03 ab	2002.49 bc	519.68 b	287.33 b	37.52 b	4896 b
125 Mg ha ⁻¹ de LE ⁽²⁾	41.78 b	103.65 c	1192.24 c	506.53 b	342.14 b	38.96 ab	4828 b
250 Mg ha ⁻¹ de LE	58.18 ab	133.63 bc	2705.92 ab	704.76 b	446.09 b	40.36 a	5244 ab
447 Mg ha ⁻¹ de LE	66.66 a	202.87 a	3517.24 a	1278,43 a	932.47 a	40.52 a	6068 a
Teste F							
A	7.92**	13.14**	15.72**	47.86**	42.37**	4.34*	4.86*
Média Geral							
CV (%)	17.37	17.71	23.75	15.56	20.14	3.82	10.97
Bartlett	0.64	0,54	0.06	0.02	0.05	0.12	0.51
Shapiro-wilk	0.54	0.31	0.74	0.006	0.003	0.24	0.75
	LVd						
AMC ⁽¹⁾	33.77 a	131.48 a	965.04 a	302.58 b	101.99 b	31.13 a	3888 a
120 Mg ha ⁻¹ de LE ⁽²⁾	44.00 a	121.29 a	1236.91 a	418.17 b	448.12 a	32.70 a	4120 a
240 Mg ha ⁻¹ de LE	30.68 a	131.18 a	1094.51 a	401.80 b	746.58 a	31.11 a	4360 a
427 Mg ha ⁻¹ de LE	44.16 a	90.45 a	1277.88 a	629.20 a	756.04 a	33.36 a	3512 a
Teste F							
A	2.29 ^{NS}	3.82*	0.79 ^{NS}	7.77**	16.71**	0.84 ^{NS}	1.27 ^{NS}
Média Geral							
CV (%)	26.92	18.67	31.35	25.16	32.95	8.61	18.05
Bartlett	0.31	0.94	0.32	0.04	0.0008	0.42	0.46
Shapiro-wilk	0.24	0.33	0.05	0.01	0.24	0.91	0.46

**, * e ^{NS} – significativo nos níveis de probabilidade de 1% e 5% e não significativo, respectivamente. CV%: coeficiente de variação; Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05) de probabilidade; Teste de Bartlett e Shapiro-wilk: valores de P para os testes de homocedasticidade e normalidade. AMC: adubação mineral convencional. Doses cumulativas (Mg ha⁻¹, base seca) após 24 e 25 aplicações de lodo de esgoto em LVef (125, 250 e 447) e em LVd (120, 240 e 427).

3A. Efeito dos tratamentos no índice de clorofila Falker (ICF), altura de plantas (AP), altura da primeira espiga (APE), diâmetro do colmo (DC), número de grãos por espiga (NGE), massa de 1.000 grãos (MMG) e produtividade de milho cultivado no Latossolo Vermelho Eutroférico (LVef) e no Latossolo Vermelho Distrófico (LVd).

Tratamentos	ICF	AP	APE	DC	NGE	MMG	Produtividade
	-	m	m	mm	-	g	kg ha ⁻¹
LVef							
AMC ⁽¹⁾	75.01 a	2.65 bc	162.35 a	24.36 b	657.84 a	309.28 ab	6661 b
125 Mg ha ⁻¹ de LE ⁽²⁾	74.39 a	2.62 c	161.62 a	25.31 ab	654.32 a	269.25 c	7110 ab
250 Mg ha ⁻¹ de LE	76.53 a	2.73 ab	164.50 a	25.82 a	662.52 a	297.58 b	7835 a
447 Mg ha ⁻¹ de LE	75.94 a	2.80 a	171.00 a	25.72 a	657.80 a	319.70 a	6749 b
Teste F							
A	1.39 ^{ns}	13.08 ^{**}	3.18 ^{ns}	7.73 ^{**}	0.09 ^{ns}	47.36 ^{**}	5.22 [*]
Média geral							
CV (%)	2.39	1.83	3.24	2.11	3.92	2.36	7.37
Bartlett	2.39	0.24	0.03	0.74	0.36	0.49	0.48
Shapiro-wilk	2.39	0.20	0.66	0.78	0.14	0.09	0.66
LVd							
AMC ⁽¹⁾	67.83 b	2.24 b	1.39 a	23.41 a	625.55 a	295.00 a	6722 b
120 Mg ha ⁻¹ de LE ⁽²⁾	74.46 a	2.20 b	1.41 a	23.59 a	649.92 a	318.24 a	8257 a
240 Mg ha ⁻¹ de LE	73.01 a	2.43 a	1.44 a	23.62 a	630.77 a	306.12 a	7687 ab
427 Mg ha ⁻¹ de LE	74.54 a	2.43 a	1.41 a	23.51 a	641.80 a	313.24 a	7525 ab
Teste F							
A	15.01 ^{**}	38.85 ^{**}	0.93 ^{ns}	0.10 ^{ns}	3.14 ^{ns}	0.75 ^{ns}	0.06 [*]
Média geral							
CV (%)	2.52	1.90	3.50	2.91	2.16	8.45	10.66
Bartlett	0.85	0.02	0.64	0.88	0.004	0.84	0.81
Shapiro-wilk	0.04	0.08	0.33	0.12	0.48	0.72	0.35

^{**}, ^{*} e ^{ns} – significativo nos níveis de probabilidade de 1% e 5% e não significativo, respectivamente. CV%: coeficiente de variação; Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) de probabilidade; Teste de Bartlett e Shapiro-wilk: valores de P para os testes de homocedasticidade e normalidade. AMC: adubação mineral convencional. Doses cumulativas (Mg ha⁻¹, base seca) após 24 e 25 aplicações de lodo de esgoto em LVef (125, 250 e 447) e em LVd (120, 240 e 427).

4A. Efeito dos tratamentos nos teores de macronutrientes nas folhas do milho no Latossolo Vermelho Eutroférrico (LVef) e Latossolo Vermelho Distrófico (LVd).

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
g kg ⁻¹						
LVef						
AMC ⁽¹⁾	36.12 a	3.32 b	11.60 a	4.75 a	0.77 c	2.84 a
125 Mg ha ⁻¹ de LE ⁽²⁾	38.76 a	3.76 a	9.10 b	4.43 a	1.15 a	2.80 a
250 Mg ha ⁻¹ de LE	38.30 a	3.82 a	11.66 a	5.06 a	0.90 bc	2.68 a
447 Mg ha ⁻¹ de LE	39.27 a	3.94 a	11.25 a	3.86 a	1.00 ab	2.92 a
Teste F						
A	2.50 ^{ns}	9.31 ^{**}	11.19 ^{**}	2.46 ^{ns}	9.65 ^{**}	1.52 ^{ns}
Média geral						
CV (%)	5.14	5.34	7.45	16.23	11.90	6.45
Bartlett	0.39	0.04	0.13	0.73	0.20	0.03
Shapiro-wilk	0.05	0.14	0.83	0.55	0.19	0.001
LVd						
AMC ⁽¹⁾	36.78 b	3.15 c	10.50 a	5.65 a	0.95 b	2.98 b
120 Mg ha ⁻¹ de LE ⁽²⁾	37.48 ab	3.46 b	10.26 a	5.17 a	1.42 a	2.94 b
240 Mg ha ⁻¹ de LE	36.05 b	3.52 b	10.50 a	4.80 a	1.12 b	2.90 b
427 Mg ha ⁻¹ de LE	38.68 a	3.75 a	10.42 a	5.62 a	1.42 a	3.38 a
Teste F						
A	8.46 ^{**}	61.74 ^{**}	0.07 ^{ns}	1.64 ^{ns}	13.01 ^{**}	7.18 ^{**}
Média geral						
CV (%)	2.30	2.02	8.59	13.32	11.83	6.08
Bartlett	0.29	0.22	0.31	0.56	0.96	0.38
Shapiro-wilk	0.18	0.37	0.36	0.87	0.47	0.009

^{**}, ^{*} e ^{ns} – significativo nos níveis de probabilidade de 1% e 5% e não significativo, respectivamente. CV%: coeficiente de variação; Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05) de probabilidade; Teste de Bartlett e Shapiro-wilk: valores de P para os testes de homocedasticidade e normalidade. AMC: adubação mineral convencional. Doses cumulativas (Mg ha⁻¹, base seca) após 24 e 25 aplicações de lodo de esgoto em LVef (125, 250 e 447) e em LVd (120, 240 e 427).

5A. Efeito dos tratamentos nos teores de micronutrientes nas folhas do milho no Latossolo Vermelho Eutroférico (LVef) e no Latossolo Vermelho Distrófico (LVd).

Tratamentos	Cu	Fe	Mn	Zn	B
mg kg ⁻¹					
LVef					
AMC ⁽¹⁾	29.00 b	152.00	41.80 c	41.80 c	6.50 b
125 Mg ha ⁻¹ de LE ⁽²⁾	49.50 a	154.80	53.60 bc	53.60 bc	8.60 a
250 Mg ha ⁻¹ de LE	56.00 a	169.60	54.80 b	54.80 b	9.25 a
447 Mg ha ⁻¹ de LE	33.80 b	156.00	70.20 a	70.20 a	9.50 a
Teste F					
A	12.09**	2.13 ^{ns}	16.96**	50.56**	15.17**
Média Geral					
CV (%)	19.49	7.60	11.48	14.69	9.24
Bartlett	0.89	0.74	0.09	0.008	0.82
Shapiro-wilk	0.42	0.29	0.10	0.06	0.03
LVd					
AMC ⁽¹⁾	26.5 a	155.25 a	37.60 b	24.00 b	10.33 a
120 Mg ha ⁻¹ de LE ⁽²⁾	22.0 a	156.50 a	35.60 b	28.75 b	9.60 a
240 Mg ha ⁻¹ de LE	20.0 a	154.50 a	32.80 b	34.35 b	10.93 a
427 Mg ha ⁻¹ de LE	33.0 a	157.50 a	55.25 a	66.00 a	9.75 a
Teste F					
A	2.98 ^{ns}	0.18 ^{ns}	12.99**	41.26**	1.27 ^{ns}
Média Geral					
CV (%)	29.39	4.48	15.61	17.24	11.84
Bartlett	0.58	0.28	0.03	0.003	0.20
Shapiro-wilk	0.27	0.17	0.001	0.0008	0.14

**, * e ^{ns} – significativo nos níveis de probabilidade de 1% e 5% e não significativo, respectivamente. CV%: coeficiente de variação; Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05) de probabilidade; Teste de Bartlett e Shapiro-wilk: valores de P para os testes de homocedasticidade e normalidade. AMC: adubação mineral convencional. Doses cumulativas (Mg ha⁻¹, base seca) após 24 e 25 aplicações de lodo de esgoto em LVef (125, 250 e 447) e em LVd (120, 240 e 427).