



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE BIOCÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO
BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS COM ÊNFASE EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS

JOÃO GABRIEL SILVA SOARES

**USO DE DIGESTATO E REMINERALIZADOR COMO FERTILIZANTES NA
CULTURA DO MILHO (*Zea mays L.*)**

Recife

2025

JOÃO GABRIEL SILVA SOARES

**USO DE DIGESTATO E REMINERALIZADOR COMO FERTILIZANTES NA
CULTURA DO MILHO (*Zea mays L.*)**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado ao Bacharelado em Ciências Biológicas com ênfase em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel.

Orientador (a): Paula Renata Muniz Araújo

Coorientador (a): Maria Helena de Sousa

Recife

2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Soares, João Gabriel Silva.

Uso do digestato e remineralizador como fertilizantes na cultura do milho
(*Zea mays* L.) / João Gabriel Silva Soares. - Recife, 2025.

52 p. : il., tab.

Orientador(a): Paula Renata Muniz Araújo

Coorientador(a): Maria Helena de Sousa

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro de Biociências, Ciências Biológicas /Ciências
Ambientais - Bacharelado, 2025.

1. Biodigestão anaeróbia. 2. Fertilizantes. 3. Nitrogênio. 4. Rochagem. 5.
Solos. 6. *Zea mays* L.. I. Araújo, Paula Renata Muniz. (Orientação). II. Sousa,
Maria Helena de . (Coorientação). IV. Título.

570 CDD (22.ed.)

JOÃO GABRIEL SILVA SOARES

**USO DE DIGESTATO E REMINERALIZADOR COMO FERTILIZANTES
NA CULTURA DO MILHO (*Zea mays L.*)**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado ao Bacharelado em Ciências
Biológicas com ênfase em Ciências
Ambientais da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel.

Aprovada em: 26 / 03 / 2025

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dra. Paula Renata Muniz Araújo (Orientador)

Departamento de Energia Nuclear/Universidade Federal de Pernambuco

Dr. Fernando Bruno Vieira da Silva (Examinador externo)

Departamento de Energia Nuclear/Universidade Federal de Pernambuco

Dra. Joyce Gueiros Wanderley Siqueira (Examinador externo)

Departamento de Energia Nuclear/Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Em toda a minha trajetória, nunca pensei que fosse chegar onde estou hoje. Houve noites, principalmente durante a pandemia, em que fiquei acordado pensando: “Acho que não sou inteligente o suficiente para isso”. Continuamente, vinha o pensamento de que não seria possível algum dia fazer parte da UFPE. E, por incrível que pareça, nunca fui tão feliz em estar errado.

Embora ser aprovado fosse apenas o início de um sonho, fazer parte desse mundo acadêmico abriu minha mente para o que de fato, é se dedicar. Toda a ansiedade por boas notas, todas as noites montando slides para seminários, todos os fins de semana perdidos para concluir um trabalho de iniciação científica, no final das contas, valeram a pena a cada segundo. Estar nessa reta final foi o principal indicativo de tudo o que ralei para conquistar e de toda a minha evolução como pessoa.

Além disso, fico feliz por não ter passado por essa jornada sozinho. Por isso, agradeço principalmente a **Deus**, em toda a sua magnificência, por me abençoar em cada momento da minha vida, por me conduzir a cada passo que dou, a cada ação mínima minha. Agradeço a **Deus** por todo o discernimento que me é fornecido, por ser minha fortaleza e meu abrigo nos momentos mais tortuosos. Agradeço a **Deus** por ser meu ouvinte e meu conselheiro de todas as horas. Também sou grato pela minha saúde e vitalidade. Obrigado, **Deus**, por nunca me abandonar.

Em homenagem à minha maravilhosa família, gostaria de agradecer aos **meus pais, Adriana e João**, por me desejarem bênçãos todos os dias, por sempre terem me dado o melhor nesta vida, por cada puxão de orelha e por me fazerem o homem que sou. Ao **meu irmão Davi**, agradeço por ser minha dupla dinâmica, pelo apoio que você me dá, por ser meu fiel escudeiro e por ser meu player 2. À **minha segunda mãe, Deuzamar**, agradeço por todo o carinho que você tem por mim e por sempre ter me zelado. **Obrigado minha família**, por serem os pilares que sustentam minha vida.

Sou grato a todas as pessoas que conheci durante minha trajetória e que quero levar pelo resto da minha vida. A **minha mulher Beatryz**, obrigado por ser meu par, por ser minha companheira, por nunca duvidar de mim, por me tornar uma pessoa melhor e, principalmente, por me amar. Agradeço pelos meus irmãos de outras mães, **meus melhores amigos, Sandro, Saboia e Pako**. Agradeço a todos os meus amigos que estiveram ao meu lado nesses últimos

anos. Obrigado a **Suely, Roberto, Graça, Vinicius, Augusto, Sofia, Breno, Diego, Marlon, Flora, Babi, Elisa, Clara, Malu e Júlia.**

Também sou grato a toda equipe da Berso. Agradeço aos ensinamentos e suporte da **orientadora Paula** e da **coorientadora Helena**. Obrigado aos **meus amigos e colegas de laboratório, Ariane, Inaldo, Lucas, João e demais.**

Por fim, gostaria de dizer que apesar de saber que concluir a faculdade é apenas um dos muitos passos que vou dar em minha vida, pretendo continuar evoluindo, aprendendo e amadurecendo, para construir um **João Gabriel** que fará a diferença nesse mundo.

RESUMO

A insegurança alimentar afeta 700 milhões de pessoas no mundo e, apesar dos esforços para erradicar a fome até 2030, ainda existem grandes desafios econômicos, sociais e ambientais, como a promoção de práticas agrícolas sustentáveis. A agricultura desempenha um papel crucial na economia global. No Brasil, o setor agrícola tem evoluído, com destaque para a produção e exportação de commodities, como o milho, e a predominância de operações agrícolas familiares. Para garantir a produtividade, são usados fertilizantes minerais, mas seu uso excessivo pode causar danos ao ambiente. Como alternativas, os fertilizantes compostos principalmente por material orgânico e os remineralizadores feitos com pó de rocha oferecem soluções sustentáveis. Desse modo, o estudo teve como objetivos avaliar o uso do digestato oriundo de resíduos alimentares do Restaurante Universitário (RU) da UFPE como fertilizante orgânico e o pó de rocha (tremolita/actinolita xisto) como alternativa à fertilização mineral na cultura do milho. O digestato foi obtido a partir de um reator de biodigestão anaeróbica em operação nas instalações da Biorrefinaria Experimental de Resíduos Sólidos Orgânicos (BERSO) da UFPE. Foi feita uma caracterização físico-química do digestato, contemplando a determinação de nitrogênio total (N - NTK), nitrito (N - NO⁻²), nitrato (N - NO⁻³), amônia (NH₃), fosfato (P - PO₄⁻³), íon sulfato (S - SO⁻²), íons cloreto (Cl⁻), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), potássio (K) e pH. Após a caracterização, foi conduzido um experimento em casa de vegetação de 45 dias para testar o potencial do digestato (D100%) e do remineralizador pó de rocha (300%) como fertilizantes para plantas de milho (*Zea mays L.*) em diferentes tipos de solo (Espodossolo e Latossolo). Foi possível verificar que a aplicação do digestato aumentou significativamente a altura da planta e o diâmetro médio do caule, em comparação com o controle. Já a utilização do remineralizador contribuiu como uma importante fonte de K para as plantas, indicando que, para essa variável, o uso do pó de rocha (300%) pode substituir o fertilizante mineral. Entre os solos, as médias das variáveis avaliadas foram maiores nos vasos com Latossolo. A utilização de digestato, remineralizador e Latossolo foram significativamente proveitosos para o cultivo sustentável da cultura do milho.

Palavras-chave: Biofertilizante; Nitrogênio; Rochagem; *Zea mays L.*

ABSTRACT

Food insecurity affects 700 million people worldwide, and despite efforts to eradicate hunger by 2030, significant economic, social, and environmental challenges remain, such as promoting sustainable agricultural practices. Agriculture plays a crucial role in the global economy. In Brazil, the agricultural sector has evolved, with notable contributions from the production and export of commodities, such as corn, and the predominance of family farming operations. To ensure productivity, mineral fertilizers are used, but their excessive use can cause environmental damage. As alternatives, biofertilizers composed mainly of organic material and remineralizers made from rock dust offer a sustainable solution. Thus, the study aimed to evaluate the use of digestate derived from food waste from UFPE's university restaurant as a biofertilizer and rock dust (tremolita/actinolita xisto) as alternative fertilizer for corn cultivation. The digestate was obtained from an anaerobic biodigestion reactor operating at the UFPE Experimental Biorefinery of Organic Solid Waste (BERSO). A physicochemical characterization of the digestate was performed, including the determination of total nitrogen (N - NTK), nitrite (N - NO⁻²), nitrate (N - NO⁻³), ammonia (NH³), phosphate (P - PO₄⁻³), sulfate ion (S - SO₄⁻²), chloride ions (Cl⁻), calcium (Ca), magnesium (Mg), sodium (Na), potassium (K), and pH. After characterization, a 45-day greenhouse experiment was conducted to test the potential of the digestate (D100%) and the remineralizer rock dust (300%) as fertilizers for corn plants (*Zea mays* L.). Additionally, different soil types (Spodosol and Oxisol) were evaluated. It was found that the application of digestate significantly increased plant height and average stem diameter compared to the control. The use of the remineralizer contributed as an important source of K for the plants, indicating that, for this variable, the use of rock dust (300%) can replace mineral fertilizer. Among the soils, the averages of the evaluated variables were higher in the pots with Oxisol. The use of digestate, remineralizer, and Oxisol proved significantly beneficial for the sustainable cultivation of maize.

Keywords: Biofertilizer; Nitrogen; Rocking; *Zea mays* L.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Gráfico de gravimetria realizado no Brasil.....	16
Figura 2 –	Estatística de disposição final adequada e inadequada.....	17
Figura 3 –	Dados sobre área cultivada, produtividade e produção de milho no Brasil.....	21
Figura 4–	Fluxograma de atividades executadas no experimento.....	22
Figura 5 –	Coleta de digestato.....	23
Figura 6 –	Material e procedimento utilizado na filtragem da amostra de digestato.....	24
Figura 7 –	Teste de capacidade de pote.....	26
Figura 8 –	Semeio do milho e aplicação do digestato.....	26
Figura 9 –	Retirada das amostras extras dos vasos.....	27
Figura 10 –	Materiais utilizados na peneiragem de solos.....	28
Figura 11 –	Médias de massa fresca de plantas de milho cultivadas em Espodossolo e Latossolo com a aplicação de digestato.....	32
Figura 12 –	Médias de massa seca de plantas de milho cultivadas em Espodossolo e Latossolo com a aplicação de digestato.....	33
Figura 13 –	Médias de K trocável em Espodossolo e Latossolo com a aplicação de remineralizador.....	35
Figura 14 –	Médias de carbono orgânico do solo em Espodossolo e Latossolo com a aplicação de remineralizador.....	36
Figura 15 –	Médias de N total em Espodossolo e Latossolo com a aplicação de remineralizador.....	37
Figura 16 –	Médias de K total das plantas de milho com a aplicação de remineralizador.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Destinação final dos RSU no Brasil em 2015.....	17
Tabela 2 –	Caracterização química dos solos utilizados no experimento.....	25
Tabela 3 –	Composição granulométrica dos solos utilizados no experimento..	25
Tabela 4 –	Dados da caracterização do digestato de resíduos de alimento gerado na UFPE.....	29
Tabela 5 –	Valores médios para altura e diâmetro do caule de plantas de milho cultivadas em diferentes tipos de solo e doses de digestato..	30
Tabela 6 –	Valores médios para pH nos solos com a aplicação de remineralizador.....	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Berso	Biorrefinaria Experimental de Resíduos Sólidos e Orgânico
C	Carbono
°C	Graus celsius
Ca	Cálcio
CH ₄	Metano
Cl-	Íons cloreto
CO ₂	Dióxido de Carbono
cm	Centímetros
CMS 36	Variedade do Milho para a Chapada do Araripe
Cu	Cobre
DEN	Departamento de Energia Nuclear
DMC	Diâmetro médio do caule
D0%	Ausência de biofertilizant
D100%	Presença de biofertilizante
Fe	Ferro
FMX	Remineralizador
g	Gramas
IPA	Instituto Agronômico de Pernambuco
K	Potássio
KVB-K	Pó de micaxisto
KCL 100%	Cloreto de potássio
Kg	Quilograma
L	Litros
LSA	Laboratório de Saneamento Ambiental
MAPA	Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Mg	Magnésio
mg	Micrograma
mm	Milímetros
Mn	Mn
N	Nitrogênio
Na	Sódio
NH ³	Amônia
N - NTK	Nitrogênio total
N – NO ⁻²	Nitrito
N – NO ⁻³	Nitrato
ODS	Objetivo de Desenvolvimento Sustentável
P	Fósforo
P – PO ₄ ⁻³	Fosfato
PE	Pernambuco
pH	Potencial Hidrogeniônico
Planares	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
RU	Restaurante Universitário
S - SO ₄ ⁻²	Íon sulfato
TRH	Tempo de Retenção Hidráulica
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
XVI	Século dezesseis
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivo geral.....	14
1.2	Objetivos específicos.....	14
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Rsu no Brasil e as imperfeições da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).....	15
2.2	Biodigestão e sua utilização no tratamento de resíduos orgânicos....	17
2.2.1	Biogás.....	18
2.2.2	Digestato.....	18
2.3	Remineralizadores.....	19
2.4	A cultura do milho (<i>Zea mays</i> L.).....	20
2.4.1	Produção no Brasil.....	20
2.4.2	Benefícios agronômicos e nutricionais.....	21
2.4.3	Biocombustíveis.....	21
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	22
3.1	Local de experimento.....	22
3.2	Biodigestor anaeróbico da Berso.....	22
3.3	Caracterização e determinação da dose de digestato.....	23
3.4	Caracterização dos solos.....	24
3.5	Montagem e condução do experimento com milhos em vasos.....	25
3.5.1	Determinação da capacidade de pote.....	25
3.5.2	Avaliações biométricas, coleta e análises químicas das plantas de milho..	27
3.6	Análise e fertilidade dos solos.....	28
3.6.1	Coleta e preparo das amostras.....	28
3.6.2	Análises químicas.....	29
3.7	Análise de dados.....	29
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1	Teores de nutrientes analisados no digestato.....	29
4.2	Parâmetros biométricos das plantas de milho.....	30
4.3	Parâmetros químicos dos solos.....	34
4.4	Parâmetros químicos das plantas.....	37
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

1. INTRODUÇÃO

A insegurança alimentar ainda atinge 700 milhões de pessoas em todo o mundo (Dallari, 2023). Embora o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 2 vise extinguir a fome até o ano de 2030, ainda são inúmeros os desafios econômicos, sociais e ambientais a serem enfrentados. Entre estes desafios está a promoção de práticas agrícolas sustentáveis.

A agricultura é um dos meios de produção que fornece matéria prima para a produção e venda de produtos agropecuários. Seu papel na economia global representa o sustento de bilhões de pessoas, em destaque para a geração de empregos (Mourão, 2020). No Brasil, o setor agrícola apresentou mudanças significativas desde o século XVI, apresentando uma expansão de 4,4% no início de 2024, e alcançou níveis recordes de exportação (Governo Federal, 2024). O Brasil se posiciona como o oitavo maior produtor de alimentos no mundo (Lima *et al.*, 2019), com mais de 80% das operações agrícolas de natureza familiar. No entanto, para que a eficiência de produção dos meios de cultura nos campos ou lavouras seja assegurada, é preciso adotar o uso de fertilizantes que auxiliem no crescimento das culturas agrícolas.

O Brasil tem como um de seus pilares econômicos as exportações de produtos agrícolas; o milho é um dos exemplos de produtos de alto valor para o contexto comercial de commodities. Os Estados Unidos é o maior produtor mundial de milho, no entanto, para o quesito de exportações de milho, o Brasil lidera o ranking como o maior exportador (Colussi *et al.*, 2023). Dados apresentados por Colussi *et al.* (2024) sugerem que, por consequência do aumento no número de exportações, o nível de áreas de plantio, produtividade e logística de transporte de grãos seja impulsionada nos próximos anos.

A fim de garantir a produtividade agrícola, os trabalhadores rurais fazem a utilização de fertilizantes minerais como um procedimento usual na maior parte do setor agrícola (Ogino *et al.*, 2020). Os fertilizantes químicos utilizados no âmbito agrícola são fabricados a partir de fontes não renováveis. Embora sejam eficazes para aumentar a produtividade agrícola, o uso dos fertilizantes industriais em excesso pode ocasionar desequilíbrios no solo, ao contaminar camadas mais profundas por meio da lixiviação e atingir lençóis freáticos (Ogino *et al.*, 2023). Todavia, os biofertilizantes e remineralizadores, demonstram ser alternativas ambientalmente sustentáveis, uma vez que os seus respectivos conteúdos são formados fundamentalmente por material orgânico e detritos sedimentos de rochas esfaceladas.

O digestato (fertilizante orgânico) é um efluente líquido, rico em nutrientes, constituído de biomassa microbiana e preparado a partir da fermentação de restos orgânicos

(Simon *et al.*, 2020). Ele contribui para a reciclagem de nutrientes e a proteção contra pragas, além de atender as necessidades de fertilização das plantas (Lapicciarella *et al.*, 2022). No Brasil, há uma prática comum de estudar o digestato proveniente de dejetos de animais (Bortolini, 2016; De Moraes, 2017; Mandlate, 2024).

Já os remineralizadores podem ser definidos como rochas ou outros materiais de origem mineral que sofreram redução de tamanho por processos mecânicos e que contém nutrientes essenciais para as plantas. Resultados da aplicação de remineralizadores têm evidenciado que os solos apresentam melhores condições de fertilidade e interações de microrganismos benéficos (Batista *et al.*, 2018).

Diante disso, a pesquisa busca promover a adoção de digestato como biofertilizantes e entender o potencial de remineralizadores como substitutos a fertilizantes industriais. Entendendo isso, será possível aumentar a utilização de tecnologias sustentáveis e auxiliar na produção de culturas. Além disso, o uso do digestato e remineralizadores na agricultura apresenta um cenário revolucionário para o setor agrícola.

1.1 Objetivo geral

Identificar se o digestato de resíduos orgânicos do Restaurante Universitário (RU) da UFPE e o pó de rocha (tremolita/actinolita/xisto) são alternativas viáveis para a substituição de fertilizantes químicos na adubação.

1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar o digestato, os solos e as plantas, comparando os resultados encontrados com outros na literatura;
- Formular uma dose de aplicação de digestato a partir da determinação de nitrogênio;
- Determinar de forma estatística, se a aplicação do digestato e remineralizador foram pertinentes para a cultura do milho;
- Identificar se há diferenças significativas entre os tipos de solo, mediante os tratamentos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 RSU no Brasil e as imperfeições da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)

Graças ao elevado número populacional que o Brasil possui, há consigo o fator que contribui para essa realidade, é a cultura consumista que está enraizada na sociedade brasileira, que causa o desperdício excessivo de alimentos (Da Silva *et al.*, 2020). A presença do sistema capitalista reflete um cenário de facilidade na aquisição de alimentos, à medida que o Brasil se classifica como um dos maiores produtores alimentícios do mundo (Schuster *et al.*, 2019). Apesar da alta geração, o desperdício de comida sobrecarrega o sistema de coleta, triagem e destinação final dos resíduos (Dutra *et al.*, 2020).

Segundo o último levantamento da Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (Abrema), o percentual gravimétrico de resíduos orgânicos equivaleu a 45,3% dos 79 milhões de toneladas de RSU gerados no Brasil (Abrema, 2020). Através de processos como compostagem, biodigestão e incineração é possível transformar uma parcela dos resíduos orgânicos em recursos valiosos, reduzindo o quantitativo que seria destinado à aterros sanitários e contribuindo na minimização de impactos ambientais (Maiello *et al.*, 2018; Rodrigues *et al.*, 2024).

O objetivo da promulgação da Lei nº 12.305/2010 parte do princípio de garantir o cumprimento das atividades de controle, redução, logística reversa, aproveitamento energético e destinação final adequada dos resíduos sólidos urbanos (RSU). No entanto, a realidade apresentada na totalidade do território brasileiro, a respeito do gerenciamento de RSU, demonstra uma deficiência no quesito da regulamentação pública, em realizar o que está sendo promulgado na legislação (Bezerra, 2020).

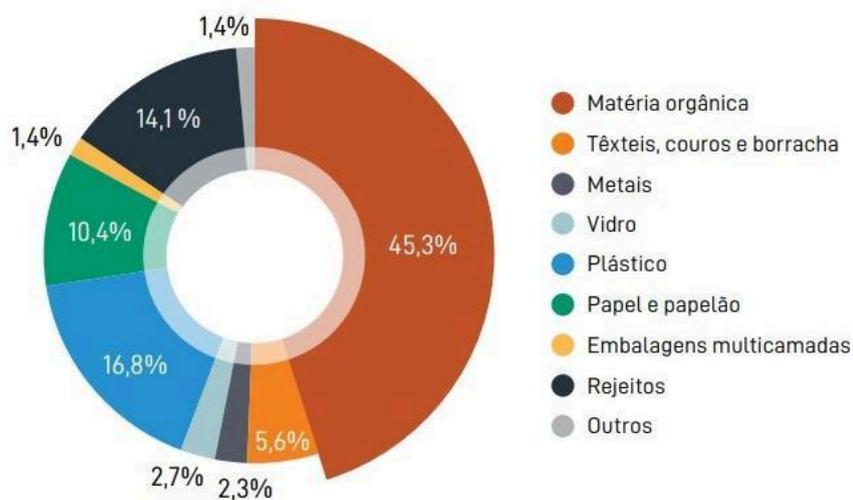
Em 2010, quando a PNRS foi implementada, foi estimado um total de 60.868.080 de toneladas de RSU no ano (Abrema, 2010). Após 14 anos de vigência, pode-se observar uma taxa de crescimento dos RSU em 33% (Abrema, 2024). Ou seja, uma década depois, a quantidade de lixo gerado aumentou aproximadamente 2,3% a cada ano.

O aumento na quantidade de lixo gerado contribui consideravelmente para o agravamento da poluição mundial (Souza *et al.*, 2024). Em longo prazo, a destinação inadequada de RSU reflete as deficiências presentes no sistema de triagem de resíduos nos municípios brasileiro (Dutell, 2020). Também demonstra o desconhecimento da população frente a segregação apropriada de resíduos, e as problemáticas ambientais que isso pode gerar. Assim, resultando em um ciclo vicioso de desperdícios de recursos naturais, demonstrando e reforçando uma infraestrutura falha no gerenciamento de resíduos proposto na lei.

Em 2022, foi elaborado, por meio do Decreto N° 11.043, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares) com objetivo de agregar no conjunto de estratégias e propósitos, previstos na PNRS. Devido às consequências ambientais que o RSU gera, se torna imprescindível procurar alternativas que objetivem mitigar ou resolver os impactos negativos (Brasil, 2022).

Figura 1: Gráfico de gravimetria realizado no Brasil.

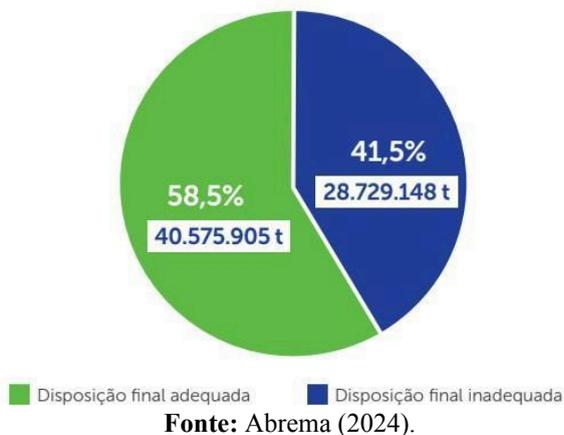
GRÁFICO 26. GRAVIMETRIA DOS RSU NO BRASIL



Fonte: Abrema (2020).

Os dados da figura 1, referem-se a uma análise gravimétrica realizada no ano de 2020. É possível observar que o percentual de matéria orgânica produzida equivale a 45,3% do total de RSU gerado (Abrema, 2020). Devido a esse acúmulo de matéria orgânica, têm-se uma grande quantidade de Gases do Efeito Estufa gerados, que provocam o aquecimento global. Desse modo, se faz necessário utilizar de tecnologias como a biodigestão, para suprir as problemáticas ambientais relacionadas à geração de gases.

A disposição final de resíduos no Brasil não é completamente eficaz. Contudo, como pode-se observar na figura 2, a disposição final adequada se sobrepõe às destinações inadequadas, indicando um avanço com relação à coleta seletiva no país.

Figura 2: Estatística de disposição final adequada e inadequada.**Figura 3.8.** Disposição final adequada x inadequada de RSU no Brasil em 2023

Além disso, a disposição final dos RSU se concentra, em sua maioria, nos aterros sanitários. Na tabela 1 é possível observar as diferenças exorbitantes das destinações finais dos resíduos, dando ênfase à destinação de aterros sanitários. Embora os aterros sanitários representem uma alternativa viável para o acúmulo de resíduos, há controvérsias quanto ao processo de instalação e utilização desse processo, pois consigo podem ser gerados problemas ambientais como: contaminação dos solos e do ar (Porciuncula, 2014).

Tabela 1: Destinação final dos RSU no Brasil em 2015.

Unidade de processamento	Quantidade (t.ano-1)	%
Lixão	7.170.885	11,4
Aterro Controlado	10.332.434	16,5
Aterro Sanitário	41.575.591	66,3
Unidades de Triagem	2.417.285	3,9
Unidades de Compostagem	283.203	0,5
Unidades de Incineração	16.225	0,03
Outros	911.491	1,5
Total	62.707.114	100

Fonte: Schuster, 2019.

2.2 Biodigestão e sua utilização no tratamento de resíduos orgânicos

Em 2022, foi elaborado, por meio do Decreto N° 11.043, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares) com objetivo de agregar no conjunto de estratégias e propósitos, previstos na PNRS. Devido às consequências ambientais que o RSU gera, se torna imprescindível procurar alternativas que objetivem mitigar ou resolver os impactos negativos (Brasil, 2022).

O reator de biodigestão anaeróbia é uma importante ferramenta no combate aos problemas ambientais causados pela disposição inadequada, pois trata-se de uma tecnologia de valor sustentável baseada em utilizar ou reutilizar determinado tipo de matéria orgânica (Morais, 2017).

Após os resíduos orgânicos serem depositados no biodigestor anaeróbio, eles passarão por um processo de fermentação, que contará com a atividade de microrganismos anaeróbios e facultativos (Cavaleiro *et al.* 2020). E por fim, será gerado o biogás e o digestato, que são considerados como produtos de valor energético e agrícola, respectivamente (Buligon, 2021).

2.2.1 Biogás

O biogás representa os gases que são expelidos dos restos orgânicos no processo de fermentação que ocorre dentro do biodigestor, composto majoritariamente por metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂) (De Oliveira Silva *et al.*, 2020). A utilização do biogás contribui na redução da dependência de combustíveis fósseis, promove a diminuição das emissões de gases de efeito estufa e oferece uma alternativa sustentável para o tratamento de resíduos, destacando, assim, seu potencial como uma fonte de energia renovável e sua eficiência no aproveitamento energético.

2.2.2 Digestato

A instrução normativa N° 61 prevista pelo Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e referido na Lei N° 6894, estabelece padrões de produção, metodologia, teor nutricional e número mínimo de patógenos que os fertilizantes devem atender para sua comercialização. No entanto, torna-se isento de aplicação legislativa aos biofertilizantes que foram testados para fins de experimentação científica.

O digestato é um dos subprodutos da biodigestão anaeróbia, ele é produzido a partir da degradação da matéria orgânica que passou pelos processos de: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. Ele é descrito como um líquido escuro que possui uma fração de biomassa particulada e apresenta elementos essenciais para o desenvolvimento de espécies vegetais, aumentando a resistência das plantas ao ataque de pragas, melhorando a fertilidade

do solo e sendo eficaz no combate a doenças relacionadas às plantas. Dentre os nutrientes que podem ser encontrados na composição do digestato e relatados na literatura, tem-se:

- Macronutrientes: Nitrogênio (N), Fósforo (P), Carbono (C) e Potássio (K) (Machado *et al.*, 2023.) (Corsini, 2021; Soares, 2022).
- Micronutrientes: Ferro (Fe), Cobre (Cu), Manganês (Mn) e Zinco (Zn) (Xavier *et al.*, 2019).

Além disso, as concentrações de nutrientes nos digestatos pode variar muito, a depender do resíduo orgânico que está sendo utilizado para formá-lo, sendo os mais comuns: restos de alimentos, fezes de animais e fibras vegetais (Corsini, 2021).

2.3 Remineralizador

Na agricultura é comum a utilização de produtos minerais que auxiliam na manutenção dos índices de produtividade de uma cultura (Alovisi *et al.*, 2020). Uma dessas ferramentas trata-se do pó de rocha, que tem um cunho sustentável e de baixo custo, além de ser explorado no âmbito agrícola por diversos agricultores do meio rural (Lajús *et al.*, 2021).

Atualmente, a legislação brasileira não apresenta parâmetros que indiquem uma dose ideal para a utilização do pó de rocha para o uso próprio. A Lei nº 12.890/2013 e a Instrução Normativa MAPA nº 5/2016 apenas instituem critérios de produção do remineralizador para que ele possa ser comercializado.

A rochagem é o processo de trituração e moagem de variados tipos de fragmentos geológicos em grânulos extremamente finos. Os elementos minerais que constituem o particulado presente nas formações rochosas servem como fonte de elementos nutricionalmente essenciais para tornar um solo saudável e atuam como estimuladores para a interação de fungos micorrízicos com as culturas vegetais (Brito *et al.*, 2019).

Apesar de benéfico, o pó de rocha não é o principal agente de fertilização aplicado por agricultores (Malagolli, 2024). Isso se deve ao seu efeito de liberação de nutrientes lento e gradativo, podendo levar vários ciclos de cultivo até seu efeito começar a se refletir no desenvolvimento das plantas em lavouras (Alovisi *et al.*, 2021).

A solubilidade torna o pó de rocha dependente de fatores naturais para conseguir se manifestar adequadamente. Essa característica implica em o pó de rocha ser um insumo mais apto para estratégias de longo prazo, como em tratamento de solos degradados por lixiviação ou queimadas (Teixeira *et al.*, 2021).

Piloneto (2022) afirma que os remineralizadores não substituem por completo os fertilizantes químicos convencionais ou biofertilizantes. Porém a aplicabilidade de remineralizadores como o pó de rocha pode ser contemplado como um suplemento mineral, agregando na absorção de macro e micronutrientes pelas plantas (Machado, 2023).

2.4 A cultura do milho (*Zea mays L.*)

Embora não seja tradicionalmente o alimento mais popular mundialmente, o milho tem seu destaque no contexto alimentício histórico que moldou a humanidade (Dória, 2021). Ao longo de anos de adaptação, sobrevivência e tradições, diversas civilizações usufruíram dos grãos da planta para fins gastronômicos e religiosos (Pinheiro *et al.*, 2021).

Apesar das diferenças culturais que permeiam a cultura do milho entre as muitas civilizações ao longo dos séculos, é perceptível que, através do avanço e desenvolvimento da sociedade, se tornou comum a presença do milho entre todos os âmbitos sociais, quebrando desse modo, o tabu relacionado a sua utilização como ração animal, e passou a ser incorporado em diversos meios e se tornando-se de forma globalizada, um insumo básico, versátil e lucrativo (Garcia *et al.*, 2006).

2.4.1 Produção no Brasil

O milho está tradicionalmente estabelecido na alimentação cotidiana de países orientais e ocidentais, servindo como componente culinário base, na dieta mundial. Consequentemente existe um enfoque maior para os produtores agrícolas em usufruir do milho para o autoconsumo ou em sua comercialização (Contini *et al.*, 2021).

De acordo com o estudo de Coêlho (2021), os dados da figura 3 descrevem a realidade brasileira quanto ao cultivo do milho. É possível observar que o Brasil, com todas as regiões incluídas, teve um crescimento equivalente a 12,5% de produção de milho por (mil t) e uma expansão de 11,6% da área (mil ha), referente aos anos de 2019, 2020 e 2021. Esses números sugerem a expansão do território destinado à produção de milho, para atender à crescente demanda pela cultura, consequência do seu alto consumo. A região centro-oeste concentra 45% da produção de milho no país, ocupando a maior área destinada à produção de milho. A região nordeste é a quarta maior produtora de milho do país, com 8,7% da produção nacional.

Figura 3: Dados sobre área cultivada, produtividade e produção de milho no Brasil.

Unidade geográfica	Área (mil ha)			Produtividade (kg/ha)			Produção (mil t)		
	2019/20	2020/21	2021/22(1)	2019/20	2020/21	2021/22(1)	2019/20	2020/21	2021/22(1)
Norte	804,8	895,2	962,0	4.372	3.928	4.156	3.518,7	3.516,0	3.998,3
Nordeste	2.627,3	2.889,6	2.926,6	3.351	3.027	3.226	8.804,6	8.747,2	9.441,3
Centro-Oeste	9.283,5	9.908,8	10.524,1	6.122	4.892	6.109	56.836,0	48.470,1	64.294,1
Sudeste	2.054,5	2.212,5	2.270,9	5.726	4.670	5.707	11.764,0	10.331,9	12.959,9
Sul	3.757,2	4.025,8	4.255,7	5.766	3.971	6.224	21.663,1	15.984,7	26.487,9
Brasil	18.527,3	19.931,9	20.939,3	5.537	4.367	5.596	102.586,4	87.049,9	117.181,5

Fonte: Coêlho (2021).

2.4.2 Benefícios agronômicos e nutricionais

A cultura do milho apresenta características morfológicas que a tornam uma das poaceae mais versáteis. Sua estrutura corpórea provém atributos de absorção de sais minerais que promovem o seu crescimento vegetativo e que transforma os grãos do milho em um insumo nutricionalmente rico em aminoácidos e carboidratos (Silva *et al.*, 2021). Nesse sentido, a versatilidade dos nutrientes da planta de milho auxilia no combate à insegurança alimentar em escala mundial, por justamente ser alimento nutritivo para a saúde dos seres vivos (Chennakrishnan *et al.*, 2012). Os grãos de milho apresentam características potencialmente bioativas e fitoquímicas que agregam ao fortalecimento do sistema imunológico, e diminuem a probabilidade do aparecimento de doenças crônicas (Sheng *et al.*, 2018).

2.4.3 Biocombustível

O impacto do milho também está presente no mercado de combustíveis, por conta do seu valor como matéria-prima na produção de biocombustíveis. Grandes potências, como Estados Unidos, já demonstraram a usabilidade do etanol, feito a base de milho, como um possível substituto à combustíveis produzidos com base na matriz fóssil (Pinheiro, 2020).

Além disso, o Brasil se destaca como um dos maiores produtores e consumidores de etanol do mundo (Vidal, 2020). A consequência da utilização do etanol reflete-se principalmente na revitalização do cenário de matrizes energéticas, visto que, a intenção dos

biocombustíveis seja substituir os combustíveis petrolíferos nos próximos anos (Haroldo *et al.*, 2020).

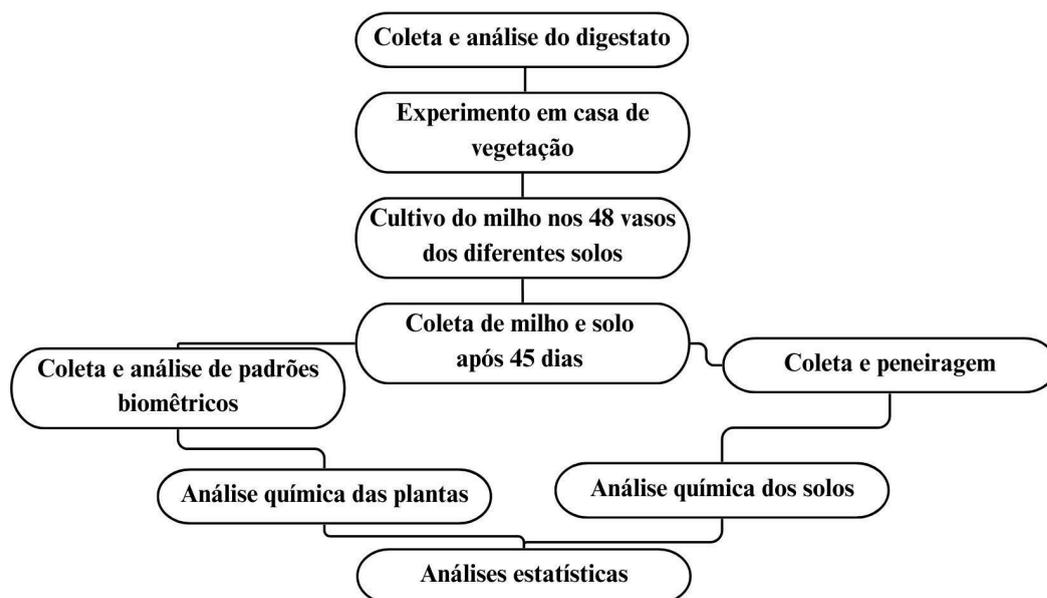
3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Local do experimento

O experimento foi conduzido nas instalações da Biorrefinaria Experimental de Resíduos Sólidos e Orgânicos (Berso), localizada no Departamento de Energia Nuclear (DEN) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Campus Recife (-8.057589085724691,-34.95536470446628).

Os procedimentos metodológicos do trabalho estão esquematizados na figura 4:

Figura 4: Fluxograma de atividades executadas no experimento.



Fonte: O autor (2025).

3.2 Biodigestor anaeróbio da Berso

A Berso possui um biodigestor anaeróbio do tipo lagoa coberta, que recebe parte dos resíduos de alimentos gerados pelo Restaurante Universitário (RU) do campus Recife. Para o quesito de abastecimento do reator anaeróbio, é necessário utilizar uma parcela de matéria orgânica e água dentro do reator. Após o material ser depositado no biodigestor, é estimado o Tempo de Retenção Hidráulica (TRH), que significa o período no qual uma mesma

quantidade de matéria orgânica irá permanecer no interior do reator até o final do seu ciclo de introdução da próxima quantidade de resíduos.

3.3 Caracterização e determinação da dose do digestato

Para quantificar o total de macronutrientes presentes no digestato, foi feita uma coleta no dia 30/05/2024 da carga 1,2 (kgSV/m³d) (Figura 4).

Figura 5: Coleta de digestato.



Fonte: O autor (2024).

Após a coleta, o biofertilizante foi conduzido ao Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA), e então passou por um processo de filtragem para retirar a biomassa remanescente da fração líquida (Figura 5). Não foram realizados outros pré-tratamentos na amostra.

Figura 6: Material e procedimento utilizado na filtração da amostra de digestato.



Fonte: O autor (2024).

Posteriormente, o digestato foi analisado em um cromatógrafo, onde foram quantificados os seguintes elementos: nitrogênio total (N - NTK), nitrito (N – NO⁻²), nitrato (N – NO⁻³), amônia (NH₃), fosfato (P – PO₄⁻³), íon sulfato (S - SO⁻²), íons cloreto (Cl⁻), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), potássio (K) e pH.

A dose de digestato foi definida considerando-se a quantidade necessária de nitrogênio para atender a demanda da cultura do milho (100 kg ha⁻¹), de acordo com o Manual de Recomendação de adubação para o estado de Pernambuco (Cavalcanti, 2009). Para equivaler a dose recomendada de N para o milho, foi aplicado 24,8 ml de digestato em cada vaso de 2

L. A dose de digestato foi parcelada, sendo aplicada metade da dose no primeiro dia e a outra metade no vigésimo dia após o semeio.

3.4 Caracterização dos solos

Os solos utilizados para preencher os vasos foram coletados de lugares distintos do estado de Pernambuco, sendo um Espodossolo proveniente do município de Goiana/PE (coletado na estação experimental de Itapirema- IPA- Rod. Governador Mário Covas, 7885-8897- Goiana, PE, 55900-000), e o Latossolo que foi retirado do município de Paudalho/PE (coletado em propriedade particular). Foi coletado cerca de 8 kg de ambos os solos na profundidade de 0-20 cm (camada superficial).

Tabela 2: Caracterização química dos solos utilizados no experimento.

Tipo de solo	P	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ³⁺	H ⁺	S	CT C	V	m
	mg/dm ³	H ₂ O	-----cmolc/dm ³ -----						-----%-----			
Espodossolo	4,0	4,5	0,35	0,65	0,0 2	0,0 3	0,9 0	5, 4	1, 1	7,4	14	46
Latossolo	4,0	5,2	5,57	2,20	0,0 5	0,1 0	0,0 5	4, 6	8, 1	12,8	63	1

Fonte: dados não publicados.

Tabela 3: Composição granulométrica dos solos utilizados no experimento.

Tipo de solo	Composição granulométrica (%)			
	Classe textural	Areia	Silte	Argila
Espodossolo	Areia	90	2	8
Latossolo	Franco-arenoso	74	8	18

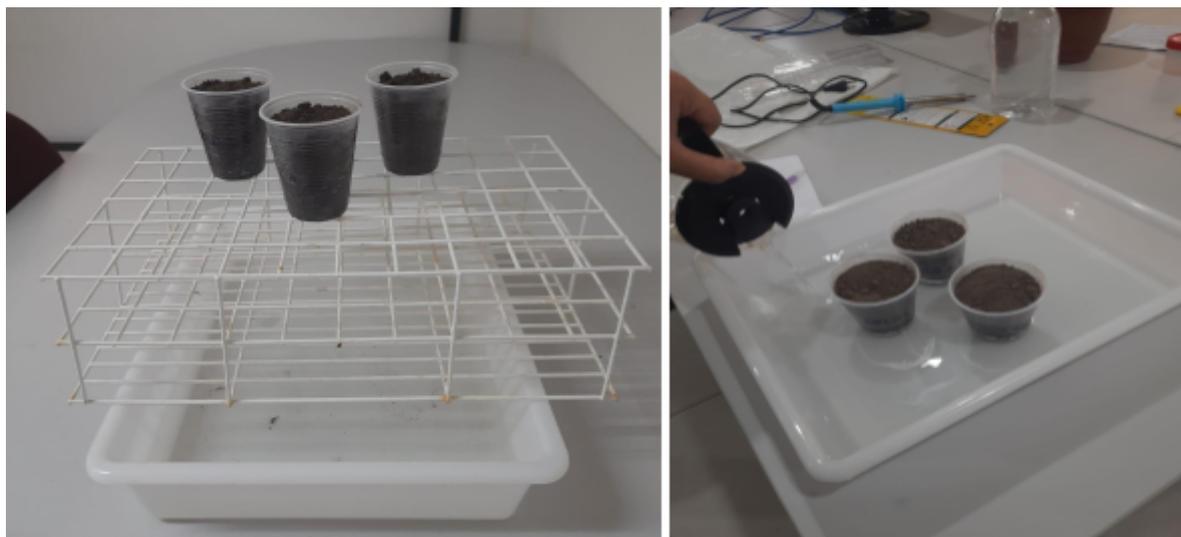
Fonte: dados não publicados.

3.5 Montagem e condução do experimento com milho em vasos

3.5.1 Determinação da capacidade de pote

A fim de determinar o volume utilizado para irrigação das amostras, foi determinada a capacidade de pote para cada tipo de solo (Figura 6). Ambos os solos foram pesados com seu material ainda seco, e, na sequência, foi adicionada a água.

Figura 7: Teste de capacidade de pote.



Fonte: O autor (2024).

Após 48 horas, os recipientes que estavam armazenando o solo úmido foram pesados novamente, e foi possível estimar a capacidade de pote do solo. Posteriormente, os 48 vasos foram divididos, sendo do 1 ao 24 utilizando o solo de Goiana (Espodosolo) e do 25 ao 48 utilizando o solo de Paudalho (Latosolo). E por fim, foi realizada a irrigação, com água destilada e digestato, considerando 60% da capacidade de pote.

Foi realizado um experimento em casa de vegetação durante um período de 45 dias, de 03/07/24 a 16/08/24. Foram utilizados 48 vasos, com 4 repetições para cada tratamento, para garantir a precisão dos resultados e permitir a obtenção de uma média confiável ao final do estudo. Para o cultivo, foram utilizadas 144 sementes de milho (*Zea mays L.*), variedade CMS 36, onde foram semeados 3 grãos por vaso (Figura 7).

Figura 8: Semeio do milho e aplicação do digestato.



Fonte: O autor (2024).

No experimento de casa de vegetação, foram considerados 3 fatores:

- Tipo de solo: Espodossolo e Latossolo;
- Dose de digestato: doses D0% (ausência de digestato) e D100% (100% da dose a partir da caracterização dos teores de N para a cultura do milho);
- Remineralizador: Doses 0% (ausência de remineralizador), 10,73 g (300% da dose de tremolita/actinolita xisto com base nos aspectos nutricionais do solo para o experimento) e como tratamento controle, foi utilizado fertilizante mineral KCl (0,35 g) de cloreto de potássio (KCl 100%).

Após 15 dias do semeio, foi realizado o desbaste, mantendo, apenas, 1 planta por vaso (Figura 8).

Figura 9: Retirada das amostras extras dos vasos.



Fonte: O autor (2024).

3.5.2 Avaliações biométricas, coleta e análises químicas das plantas de milho

Após 45 dias do semeio, foram avaliados: 1) altura da planta (medida da superfície do solo até o colarinho da folha mais jovem) medida com o auxílio de uma trena; 2) diâmetro médio do caule (diâmetro do terço médio do caule) medido com o auxílio de um paquímetro; 3) massa fresca (massa úmida da parte aérea da planta) e 4) massa seca (massa seca da parte aérea da planta).

As amostras da parte aérea das plantas (caule + folhas) foram coletadas e pesadas em balança semi-analítica para determinação das massas frescas (g). Em seguida, as amostras foram submetidas à tríplice lavagem com água corrente e água destilada. Na sequência foram secas em estufa a uma temperatura de 65° C por aproximadamente até peso constante. Posteriormente foram pesadas numa balança para determinação da massa seca em gramas (g).

Para fins de análises químicas, as plantas foram trituradas em um moinho de facas, para que sua granulometria estivesse a nível de pó. Os procedimentos de determinação das concentrações de K e N totais foram realizados com base em Teixeira *et al.* (2017).

3.6 Análise de fertilidade dos solos

3.6.1 Coleta e preparo das amostras

A coleta dos solos foi realizada após o cultivo do milho. Os solos foram devidamente homogeneizados, misturando sua porção superficial com a camada interna que preenchia o vaso. A coleta da amostra foi feita a uma profundidade de 20 cm na parte interna do vaso.

Após serem coletados e secados, os solos foram peneirados numa peneira que possuía aberturas de 2 mm (ABNT 10) (Figura 9).

Figura 10: Materiais utilizados na peneiragem de solos.



Fonte: O autor (2024).

3.6.2 Análises químicas

O teor de K trocável foi extraído a partir da solução Mehlich 1 e determinado em fotômetro de chama (Silva, 2009). O N total foi obtido por meio do método de destilação Kjeldahl, que abrange digestão por H_2SO_4 , destilação da amônia e titulação (Gonçalves, 2007). O pH foi determinado utilizando um eletrodo combinado imerso a mistura do solo e solução, obedecendo a relação 1:2,5 (Teixeira *et al.*, 2017). Para determinar os teores de carbono orgânico do solo, foi utilizado o método de Walkley-Black descrito (Teixeira *et al.*, 2017).

3.7 Análise de dados

Foram calculados valores médios, mínimos e máximos para todas as variáveis avaliadas. Após verificação prévia da normalidade, os dados foram submetidos ao teste Tukey, ao nível de 5% de significância.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Teores de nutrientes analisados no digestato

Após o digestato ter sido analisado por cromatografia, observou-se os seguintes resultados da caracterização de nutrientes na Tabela 2.

Tabela 4: Dados da caracterização do digestato de resíduos de alimento gerado na UFPE.

Elementos*	Quantificação (mg/L)
N - NTK	3107,9
N - NO^{-2}	3173,4
N - NO^{-3}	1,5
NH_3	583,2
P - PO_4^{-3}	86,9
S - SO_4^{-2}	49,9
Cl-	2139,2
Ca	124,5
Mg	26,2
Na	1348,7

K	1041,2
pH	7,5

Fonte: O autor (2024).*Carga de sólidos: 1,2 kgSV/m³d.

O pH e NTK que foram encontrados são semelhantes aos apresentados por Tagima (2023), sendo o pH com característica neutra, com tendência a ser básica. O teor de nitrogênio total também está dentro do intervalo encontrado por Singh *et al.*, (2022) e Peng e Pivato (2019), que analisaram o digestato a base de restos de alimentos. Já os dados de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na) encontrados se assemelham aos de Simon *et al.*, (2020) e Machado (2022) que também utilizaram resíduos orgânicos (restos de alimento) para a produção do digestato. O teor de nitrogênio encontrado foi de 3107,972 mg/L, dentro do intervalo reportado por Singh *et al.*, (2022). A partir deste valor, e considerando a necessidade de uma dose de 77 mg de nitrogênio para cada vaso, chegou-se a uma dose de 24,8 mL de digestato.

4.2 Parâmetros biométricos das plantas de milho

Na tabela 5, nota-se que para a altura da planta (cm), as plantas desenvolvidas em Espodossolo apresentaram diferença significativa em comparação às plantas crescidas em Latossolo; essa diferença entre solos foi, em média, de 22%. A partir dos resultados, é possível verificar que o Latossolo é um solo mais adequado para o crescimento do milho em comparação ao Espodossolo.

Tabela 5: Valores médios para altura e diâmetro do caule de plantas de milho cultivadas em diferentes tipos de solo e doses de digestato.

Tratamento	Altura planta	Diâmetro caule
	cm	mm
Tipos de solo		
Espodossolo	16,69A	5,93A
Latossolo	21,37B	7,60B
Dose de digestato		
D0%	15,48A	5,10A

D100%	22,58B	8,44B
Médias das colunas do mesmo solo seguidas de mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias das colunas com a mesma dose de digestato seguidas de mesma letra minúscula não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.		

Fonte: O autor (2025).

Para o fator dose do digestato, a média de D100% foi 32% maior que D0%, sendo essa diferença significativa (Tabela 3). Esse resultado era esperado e indica que a aplicação do digestato como fertilizante orgânico garantiu o maior crescimento das plantas de milho em comparação ao controle. Não houve interação significativa entre a dose de digestato e o tipo de solo.

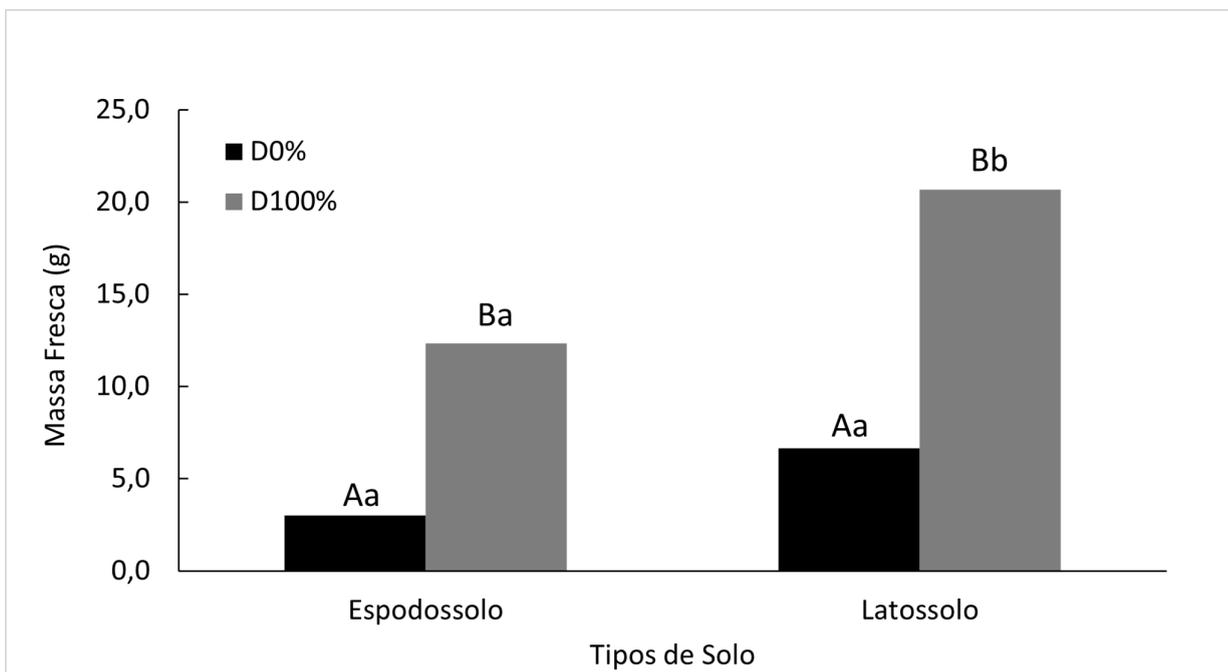
Ainda na tabela 5, os dados referentes ao diâmetro médio do caule (DMC) indicaram que as plantas cultivadas em Latossolo apresentaram média 22% maior quando comparado às plantas em Espodossolo, sendo a diferença significativa. Além disso, também foi observado que a dose D100% de digestato aumentou significativamente o DMC em comparação ao controle. Portanto, o uso de digestato e o tipo de solo interferem diretamente no DMC.

Xistuli *et al.* (2024) observaram que a aplicação de digestato de resíduos alimentares não surtiu efeito para os parâmetros de diâmetro médio do caule e altura das plantas de milho. No entanto, Lopes *et al.* (2022) que também utilizou de resíduos alimentares para testagem do digestato, observou em seus resultados que as doses de digestato aplicadas nas plantas de milho surtiu um efeito linear, aumentando o tamanho da planta e o seu diâmetro de seu caule.

Na figura 10, é possível afirmar que o D100% obteve um percentual 75% maior de massa fresca em relação a D0% no Espodossolo. Essa condição se repete para o Latossolo, onde a média D100% é 68% maior que D0% no Latossolo. Comparando a média de massa fresca do tratamento D100% em Latossolo com o D100% em Espodossolo, nota-se uma diferença 40%. Esses fatores comprovam a eficiência do digestato no acúmulo de material orgânico na planta, além de inferir que a ação do Latossolo com o digestato foi mais proveitosa.

Ainda na figura 10, é observado que no tratamento D0% dos dois solos, não se diferiram estatisticamente. Ao comparar a aplicação da dose D100% nos dois tipos de solo, observou-se diferenças estatísticas, visto que a massa fresca é significativamente maior nas plantas que foram cultivadas com o Latossolo.

Figura 11: Médias de massa fresca de plantas de milho cultivadas em Espodossolo e Latossolo com a aplicação de digestato.



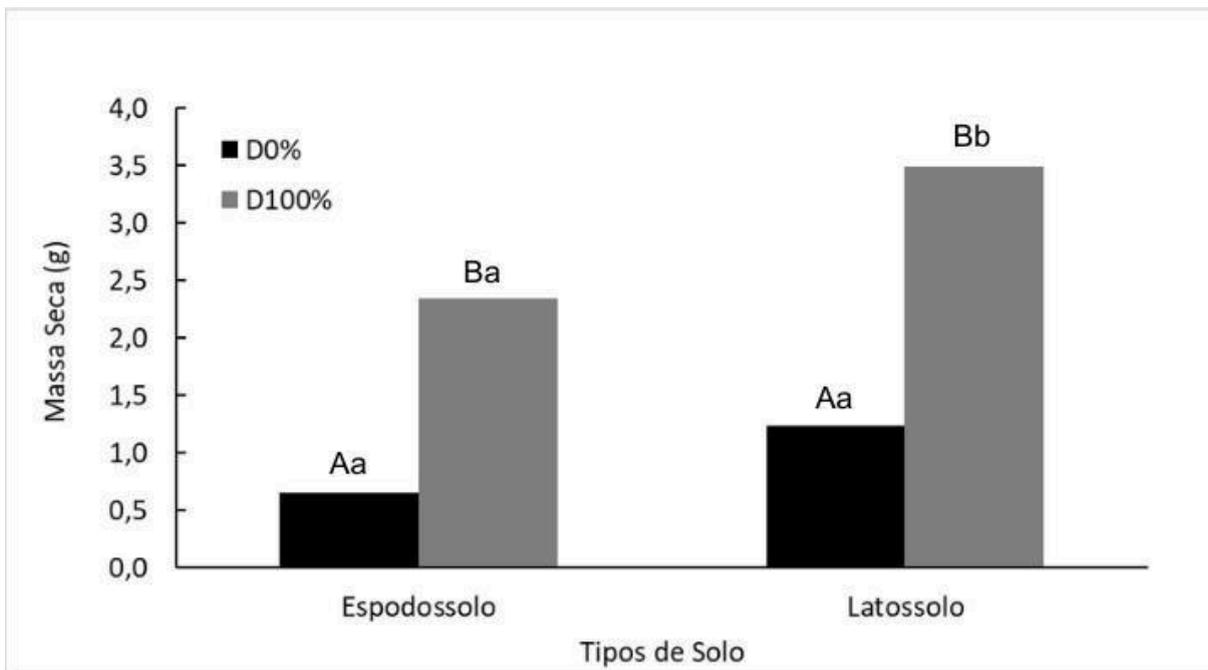
Médias das colunas do mesmo solo seguidas de mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias das colunas com a mesma dose de digestato seguidas de mesma letra minúscula não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: O autor (2025).

Ao introduzir o digestato feito à base de manipueira na cultura do milho, Araújo *et al.* (2024) observou que o parâmetro de massa fresca das amostras do seu experimento, tiveram diferenças estatísticas significativas apenas na utilização de 20, 30 e 40% da dose do digestato. O efeito após utilizar mais de 40% da dose, não apresentou diferenças significativas em comparação à testemunha absoluta (0%). Isso revela que aumentar a dose do digestato pode não surtir um efeito positivo, e que é preciso mensurar o quanto irá ser aplicado.

Na Figura 11, a aplicação da dose D100% aumentou significativamente a massa seca em comparação ao controle (D0%) nos dois tipos de solo. Contudo, a diferença entre o D100% e o D0% foi maior no Espodossolo, onde a média de massa seca de D100% foi 73% maior que a média do D0%. Através desses dados, é possível afirmar que a dose de digestato no Espodossolo apresenta um efeito mais relevante que no Latossolo, para o parâmetro de massa seca.

Figura 12: Médias de massa seca de plantas de milho cultivadas em Espodossolo e Latossolo com a aplicação de digestato.



Médias das colunas do mesmo solo seguidas de mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias das colunas com a mesma dose de digestato seguidas de mesma letra minúscula não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: O autor (2025).

É possível afirmar que D0% não teve uma diferença estatística para o parâmetro de massa seca das plantas nos dois tipos de solo. O tratamento D100% apresentou valores estatisticamente diferentes quando comparados aos fatores de solo e de dose. O D100% se difere estatisticamente quando comparada a D0% no Espodossolo. Como também se difere estatisticamente Espodossolo e Latossolo.

Os resultados de Araújo *et al.*, 2024 para massa seca ($p < 0,05$) demonstram que a utilização do digestato de manipueira não proporciona diferenças significativas. Já, Pereira (2022) que utilizou o digestato de dejetos animais e adubos químicos em culturas de marandu (*Brachiaria brizantha* cv). Observou através do teste de Dunnett a 5% de probabilidade, que a massa seca da parte aérea das plantas, apresentou condições mais proveitosas quando utilizado o digestato feito à base de fezes animais. Isso revela que as condições de massa seca da planta, podem ser influenciadas pelo tipo de digestato que está sendo utilizado para cultivo.

4.3 Parâmetros químicos dos solos

Na tabela 6, a média de pH do Latossolo foi 16% maior em relação à média de pH do Espodossolo. Com relação às doses do remineralizador é notável afirmar que não houve diferença entre a dose de 300% e o controle positivo (KCl) no valor de pH. Houve diferença estatística entre a dose 0% do remineralizador e o tratamento com KCl. Esse resultado não era esperado visto que o KCl não é um fertilizante com potencial para alcalinizar o meio.

Tabela 6. Valores médios para pH nos solos com a aplicação de remineralizador.

Tratamento	pH
Tipos de solos	
Espodossolo	5,37A
Latossolo	6,38B
Doses de remineralizador	
0%	5,75A
300%	5,90AB
KCl (100%)	5,98B

Médias das colunas do mesmo solo seguidas de mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias das colunas com a mesma dose de digestato seguidas de mesma letra minúscula não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

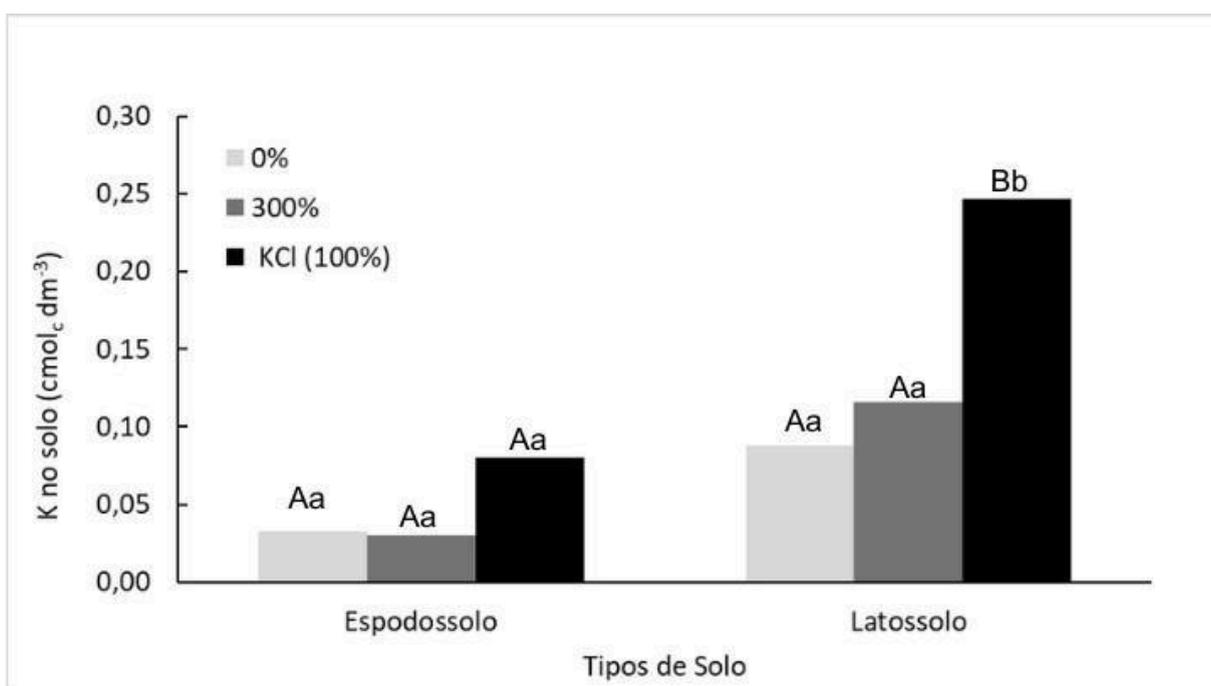
Fonte: O autor (2025).

No trabalho de Lepchak (2021), ela testou o pó de rocha feito a partir do diabásio no Latossolo, com objetivo de investigar a dissolução e precipitação dos minerais após 5 anos de aplicação do remineralizador. O pH encontrado antes da aplicação era de 5,5 e mesmo após 5 anos de aplicação, não apresentou mudanças significativas. Na perspectiva do trabalho de Rocha Neto (2020) que aplicou de pó de fonolito no Latossolo e realizou o cultivo de uma Poaceae por 70 dias, é observado que seus resultados de pH não mudaram significativamente, mesmo após a aplicação do remineralizador. Esses resultados contrastam com os encontrados no presente estudo.

O K no solo não diferiu estatisticamente entre os tratamentos aplicados no Espodossolo (Figura 12). No Latossolo, observou-se que K no solo foi estatisticamente superior no controle positivo (KCl) quando comparado às doses de remineralizador (0% e

300%). Esse resultado pode ser explicado pelo fato do remineralizador, neste caso o pó de rocha, ser um fertilizante de liberação lenta e, por isso, liberar lentamente o K no solo, resultando em teores mais baixos. Já o KCl, por ser um fertilizante mineral muito solúvel, libera mais rapidamente o K no meio.

Figura 13: Médias de K trocável em Espodossolo e Latossolo com a aplicação de remineralizador.



Médias das colunas do mesmo solo seguidas de mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias das colunas com a mesma dose de digestato seguidas de mesma letra minúscula não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: O autor (2025).

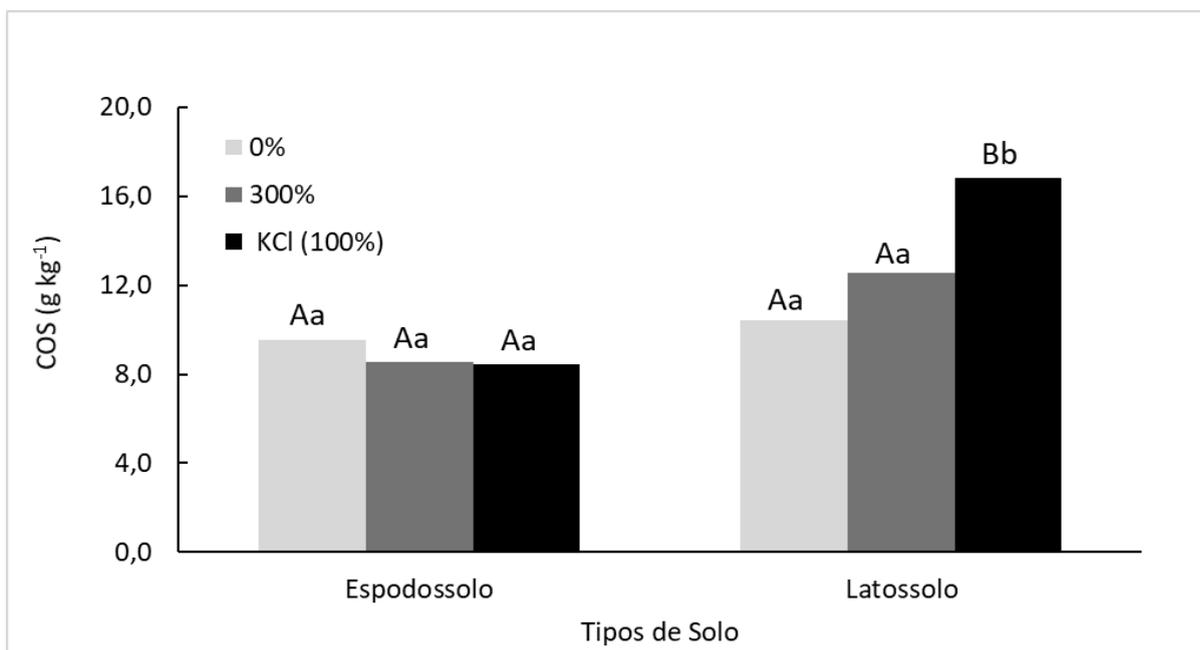
Ainda na figura 12, o tratamento com KCl (100%) no Latossolo foi significativamente distinto do mesmo tratamento no Espodossolo. Porém, no trabalho de Castro *et al.*, (2022) utilizou-se de dois tipos de remineralizadores (KVB-K e FMX), feitos a partir de rocha de micaxisto, e KCl em culturas de milho e soja. Após a aplicação e cultivo das plantas, foram feitas análises físico-químicas para determinar o percentual de K do Latossolo. Os resultados indicaram que os dois pós de rocha utilizados tiveram concentrações de K no solo mais altas que o tratamento com KCl, diferindo do resultado encontrado no presente trabalho.

Isso indica que apesar dos resultados do presente trabalho apontarem o tratamento com KCl como mais indicado para aumento de K no solo, não significa que a aplicação do cloreto de potássio será um fator determinante para esse aumento. E que a utilização de

remineralizadores a base da rocha de micaxisto, pode ser mais produtivo agronomicamente falando.

Não foi observada diferença estatística para a média de carbono orgânico do solo (COS) no Espodossolo, considerando as doses do remineralizador (0% e 300%) e o controle positivo (KCl). Já em Latossolo, observa-se que o COS nos solos que receberam KCl (100%) foi superior aos tratamentos com remineralizador (0 e 300%).

Figura 14: Médias de carbono orgânico do solo em Espodossolo e Latossolo com a aplicação de remineralizador.



Médias das colunas do mesmo solo seguidas de mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias das colunas com a mesma dose de digestato seguidas de mesma letra minúscula não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

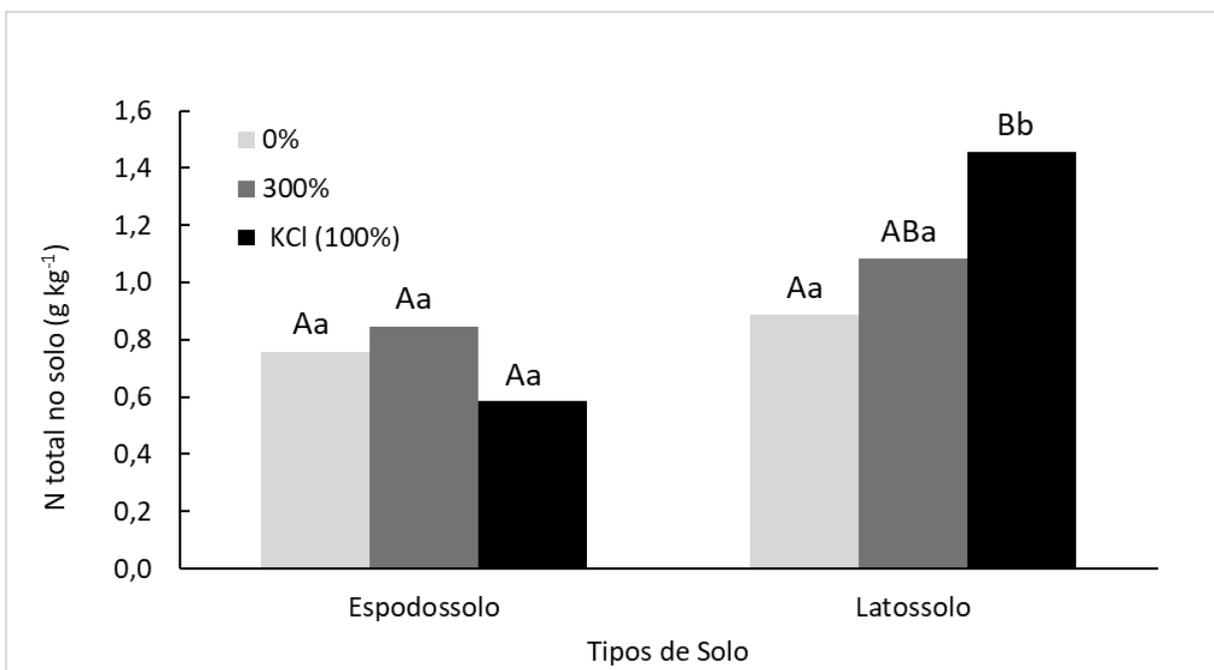
Fonte: O autor (2025).

No trabalho de Moraes (2023), os autores afirmam que o aumento na concentração de COS no Latossolo só foi possível graças à aplicação em conjunto do Monoânionio Fosfato (MAP), pó de rocha basáltica e KCl, indicando que, apenas a junção dos três componentes gera um efeito positivo. No entanto, após aplicar KCl no Latossolo, Sales *et al.* (2018) obteve níveis de concentração de COS significativos entre suas amostras de solo.

O efeito da aplicação de KCl e remineralizador nas culturas de milho foram pertinentes no presente estudo e em outros. Porém, esse efeito não era esperado, visto que o pó de rocha e o cloreto de potássio não são fontes orgânicas.

Para N total no solo, é possível observar que a aplicação do remineralizador no Espodossolo apresentou diferença estatística significativa em comparação com o controle (Figura 14).

Figura 15: Médias de N total em Espodossolo e Latossolo com a aplicação de remineralizador.



Médias das colunas do mesmo solo seguidas de mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias das colunas com a mesma dose de digestato seguidas de mesma letra minúscula não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

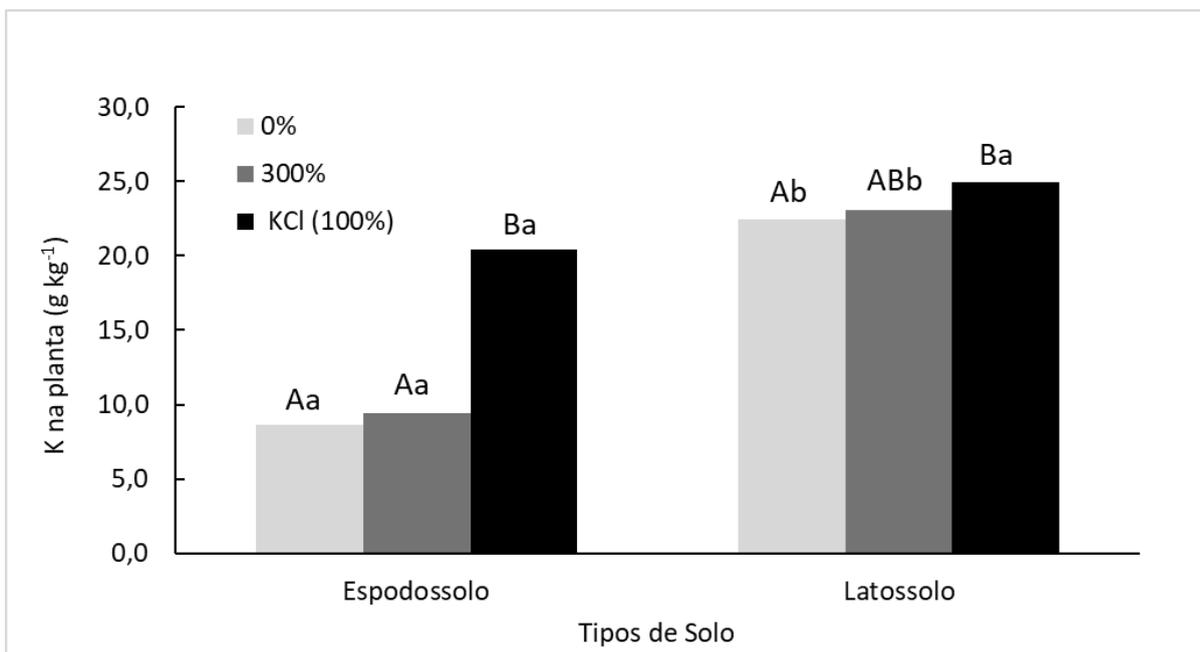
Fonte: O autor (2025).

Quando se observa os dados de Latossolo, pode-se inferir que a dose de 0% se difere significativamente do tratamento KCl (100%). O pó de rocha 300% não demonstra diferença estatística significativa em relação ao KCl.

4.4 Parâmetros químicos das plantas

Para K na planta, verificou-se que o tratamento com KCl apresentou estatisticamente superior às doses de remineralizador no Espodossolo (Figura 15). Nas plantas cultivadas em Latossolo, a dose de 300% não diferiu do controle positivo (KCl), indicando que a aplicação do remineralizador na dose de 300% é equivalente ao fertilizante mineral no que tange aos teores de K na planta.

Figura 16: Médias de K total das plantas de milho com a aplicação de remineralizador.



Médias das colunas do mesmo solo seguidas de mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Médias das colunas com a mesma dose de digestato seguidas de mesma letra minúscula não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: O autor (2025).

Verificou-se também que a dose do remineralizador (300%) foi mais efetiva no acúmulo de K nas plantas cultivadas no Latossolo em comparação ao Espodossolo, com diferença estatística entre as médias (Figura 15). De acordo com o trabalho de Lima (2024), em Latossolo Vermelho, a adição de remineralizadores contribui significativamente para o aumento de concentração do K nas plantas.

Os dados de N na planta não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos e, por isso, não foram apresentados.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação do digestato no solo demonstrou um efeito positivo para o desenvolvimento morfológico de altura e espessura de caule das plantas. Já a utilização do remineralizador contribuiu como uma importante fonte de K para as plantas, indicando que, para essa variável, o uso do pó de rocha (300%) pode substituir o fertilizante industrial. Foi possível observar também que o tipo de solo pode interferir diretamente em todos os

parâmetros estudados, sendo o Latossolo o mais apropriado para o cultivo da cultura de milho em comparação ao Espodossolo.

Além do potencial agronômico, o presente estudo constata pontos pertinentes para a solução da insegurança alimentar, ao investigar alternativas sustentáveis para aumentar a produtividade das culturas sem comprometer os recursos naturais. A utilização do digestato e do pó de rocha como fontes nutricionais pode garantir maior autonomia para os produtores rurais, minimizando custos e tornando o setor agrícola menos vulnerável a oscilações do mercado internacional de fertilizantes.

Na perspectiva dos biocombustíveis, o digestato e pó de rocha podem contribuir como estratégias agronômicas fundamentais na contínua produção de milho. Utilizando dessa estratégia, o Brasil pode se manter no ranking de maiores produtores de milho, de forma mais sustentável.

O reaproveitamento de resíduos orgânicos serviu de base para o desenvolvimento da pesquisa. A valorização do digestato demonstra que a fração orgânica dos RSU pode ser transformada em um produto agrícola de alto valor, o que reforça a importância da economia circular na agricultura.

Por fim, vale ressaltar a importância de trabalhos científicos nesse campo para que investiguem a 1) viabilidade do digestato de resíduos alimentares como biofertilizante em experimentos de campo; e 2) o potencial de remineralizadores a base de xisto como substitutos de fertilizantes químicos no cultivo de lavouras. Dessa forma, mais evidências científicas poderão fortalecer a adoção do digestato e/ou de remineralizadores como alternativas eficientes e sustentáveis no setor agrícola.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREMA. **Panorama Geral de Resíduos Sólidos no Brasil**. 2010. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/panorama/>. Acesso em: 21 fev 2025.

ABREMA. **Panorama Geral de Resíduos Sólidos no Brasil**. 2020. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/panorama/>. Acesso em: 21 fev 2025.

ABREMA. **Panorama Geral de Resíduos Sólidos no Brasil**. 2014. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/panorama/>. Acesso em: 21 fev 2025.

ALOVISI, Alessandra Mayumi Tokura *et al.* Rochagem como alternativa sustentável para a fertilização de solos. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, p. 918-932, 2020. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/114494962/5118.pdf>. Acesso em: 08 mar 2025.

ALOVISI, A. M. T.; RODRIGUES, R. B.; ALOVISI, A. A.; TEBAR, M. M. .; VILLALBA, L. A.; MUGLIA , G. R. P. .; SOARES, M. S. P. .; TOKURA, L. K. .; CASSOL, C. J.; SILVA, R. S. da; TOKURA, W. I.; GNING, A. .; KAI, P. M. . Use of basalt rock powder as an alternative fertilizer culture of soybean. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 6, p. e33710615599, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i6.15599. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/15599>. Acesso em: 8 mar. 2025.

ARAÚJO, Narcísio Cabral *et al.* Crescimento inicial de milho fertilizado com biofertilizante de manipueira. **REVISTA DELOS**, v. 17, n. 55, p. e1454-e1454, 2024. Disponível em: <https://ojs.revistadelos.com/ojs/index.php/delos/article/view/1454>. Acesso em: 28 fev 2025.

BARROS, José. **Fertilidade do solo e Nutrição das plantas**. 2020. Disponível em: <https://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/28120>. Acesso em: 26 fev 2025.

BATISTA, Marcelo Augusto *et al.* **Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral**. 2018. Disponível em: <https://backoffice.books.scielo.org/id/bv3jx/pdf/brandao-9786586383010-06.pdf>. Acesso em: 08 mar 2025.

BORTOLINI, Joseane. **Use of different inocula at poultry litter anaerobic digestion**. 2016. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Estadual do Oeste do Parana, Cascavel, 2016.

BRASIL. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos - Planares**. 2022. Disponível em: <https://portal-api.sinir.gov.br/wp-content/uploads/2022/07/Planares-B.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2025.

BRITO, RYCHAELLEN SILVA DE; BATISTA, Josimar Ferreira; MOREIRA, José Genivaldo do Vale; MORAES, Keilyson Naazio Oliveira; SILVA, Samara Oliveira da. ROCHAGEM NA AGRICULTURA: IMPORTÂNCIA E VANTAGENS PARA ADUBAÇÃO SUPLEMENTAR. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological** , [S. l.], v. 6, n. 1, 2019. Disponível em:

<https://teste-periodicos.ufac.br/index.php/SAJEBTT/article/view/2331>. Acesso em: 8 mar. 2025.

BULIGON, Eduardo Luiz. **Valorização agronômica da água residuária de suinocultura: uso de biofertilizante na cultura do milho de segunda safra**. Orientador: Mônica Sarolli Silva de Mendonça Costa. 2021. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, [S. l.], 2021. f. 58. Disponível em: <https://tede.unioeste.br/handle/tede/5638>. Acesso em: 18 fev. 2025.

CAVALCANTI, Francisco José de Albuquerque. **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco : 2. aproximação**. 3. ed. [S. l.]: IPA, 2009. 212 p. Disponível em: <https://acervo.ufrn.br/Record/oai:localhost:123456789-8126/Similar>. Acesso em: 21 fev. 2025.

CAVALEIRO, Ana Júlia *et al.* Digestão anaeróbia. **Revista de Ciência Elementar**. mar 2020. DOI 10.24927/rce2020.009. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/75717>. Acesso em: 18 fev. 2025.

CASTRO, J. P. V. de; LEANDRO, W. M. .; BRAIL, E. P. F.; FERREIRA, K. R. S. .; OLIVEIRA, C. B. A. de .; PASSOS, P. B. Agronomic Efficiency of Micaxisto Soil Remineralizer in Mileet-Soya Succession. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 14, p. e76111435864, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i14.35864. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/35864>. Acesso em: 10 mar. 2025.

CHENNAKRISHNAN, P; RAJA, K. **Maize production in India: fighting hunger and malnutrition**. v. 163, n. 823,965, p. 168,408, 2012.

COÊLHO, Jackson Dantas. **Milho: produção e mercados**. 2021. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/handle/123456789/1115>. Acesso em 21 fev 2025.

COLUSSI, Joana *et al.* **US dominance in corn exports on the wane due to Brazilian competition**. *Farmdoc daily*, v. 14, n. 50, Department of Agricultural and Consumer Economics, University of Illinois at Urbana-Champaign, 12 março 2024. Disponível em: <https://farmdocdaily.illinois.edu/2024/03/us-dominance-in-corn-exports-on-the-wane-due-to-brazilian-competition.html>. Acesso em 26 fev 2025.

COLUSSI, J.; SCHNITKEY, G.; PAULSON, N. “Will Brazil Emerge as the Number One Corn Exporting Nation?” **Farmdoc daily** (13):48, Department of Agricultural and Consumer Economics, University of Illinois at Urbana-Champaign, 16 março, 2023. Disponível em: <https://farmdocdaily.illinois.edu/2023/03/will-brazil-emerges-as-the-number-one-corn-exporting-nation.html/>. Acesso em 26 fev 2025.

CONTINI, Elisio; ARAGÃO, Adalberto. **O Agro Brasileiro alimenta 800 milhões de pessoas**. Brasília: Embrapa, 2021. Disponível em: <https://agroemdia.com.br/wp-content/uploads/2021/03/Populacao-alimentada-pelo-Brasil.pdf>. Acesso em: 05 mar 2025.

CORSINI, Vanessa Elisângela de Souza. **Uso de digestato como biofertilizante: abordagem teórica**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

DALLARI, Pedro. **Fome no mundo compromete objetivos da ONU para 2030: Relatório da FAO indica que objetivo de acabar com a fome e com todas as formas de desnutrição não será mais alcançado**. São Paulo, 26 jul. 2023. Disponível em: <https://jornal.usp.br/radiusp/fome-no-mundo-compromete-objetivos-da-onu-para-2030/#:~:text=Atualmente%2C%20mais%20de%20700%20milhões,aumentou%20significativamente%20nos%20últimos%20anos>. Acesso em: 18 fev. 2024.

DA SILVA, Cristine Santos de S.; BOLL, Natália; ZANIN, Gabrielle Brehm; PERETTI, Gabriela; DE SOUZA, Denise Santos. Análise histórica da geração, coleta e destinação dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. **Revista Tecnologia e Sociedade**, Curitiba, v. 20, ed. 61, p. 125-138, 2020. Disponível em: <https://revistas.utfpr.edu.br/rts/index>. Acesso em: 13 fev. 2025.

DA SILVA, Nicole Príncipe Carneiro *et al.* Avaliação da relação entre precipitação e evapotranspiração nos municípios da região dos Tabuleiros Costeiros. **Anais do XII Encontro de Recursos Hídricos em Sergipe-18 a**, v. 22, 2019. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/100/ENREHSE0056-1-20190315-122235.pdf>. Acesso em 27 fev 2019.

DE MORAES, Renata Espíndola. **Suinocultura e o Meio-ambiente. Revisão de Literatura**. REDVET, [s. l.], v. 18, n. 10, p. 1-17, 10 out. 2017. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/636/63653470003.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2025.

DE OLIVEIRA SILVA, Claudionor et al. Resíduos sólidos orgânicos domésticos como substrato potencial para produção de biogás. **Revista Ibero-Americana De Ciências Ambientais**, v. 11, n. 2, p. 204-212, 2020. Disponível em:

<http://www.sustenere.inf.br/index.php/rica/article/view/CBPC2179-6858.2020.002.0022>. Acesso em: 18 fev 2025.

DE TOLEDO, Maria Cristina Motta. **Intemperismo e pedogênese**. In: Geologia. USP/UNIVESP/EDUSP. 2014. Disponível em:

https://midia.atp.usp.br/impressos/lic/modulo02/geologia_PLC0011/geologia_top07.pdf. Acesso em: 27 fev 2025.

DÓRIA, Carlos Alberto. **O milho na alimentação brasileira**. Alameda Casa Editorial. 2021. Disponível em:

<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=o7UgEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT5&dq=o+milho+na+alimenta%C3%A7%C3%A3o+brasileira&ots=U6yMkucG0P&sig=y4fQSNZUs1x19zKRSRjXHaQLSE>. Acesso em: 17 fev 2025.

DUTELL, Djeniffer Granella. **ESTUDO DA CONCEPÇÃO E INSTALAÇÃO DE UMA CENTRAL DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM UM MUNICÍPIO DE PEQUENO PORTE**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), [S. l.], 25/08/2020. p. 1-66. Disponível em:

<https://repositorio.ufsm.br/handle/1/20193>. Acesso em: 13 fev. 2025.

DUTRA, Ana Regina de Aguiar; VIEIRA, Anelise Leal; BROUQUET, Julien; MIRANDA, Rejane Mara. GESTÃO E TRATAMENTO DE RESÍDUOS: ESTUDOS EM PADARIAS CONFEITARIAS DE FLORIANÓPOLIS (SC). **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 9, p. 606-625, 1 fev. 2020.

DOI <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v9e02020606-625>. Disponível em:

<https://www.academia.edu/download/67765048/4872.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2025.

GARCIA, João Carlos *et al.* Aspectos econômicos da produção e utilização do milho. Embrapa Milho e Sorgo. **Circular Técnica**, v. 74, 2006. Disponível em:

<https://agris.fao.org/search/en/providers/122419/records/6473560953aa8c896306763c>. Acesso em: 28 fev 2025.

GOMES, Thaís *et al.* Spodosols: characteristics, limitations and potential. **Revista**

Ambientale, v. 12, n. 2, p. 1-7, 2020. Disponível em:

<https://periodicosuneal.emnuvens.com.br/ambientale/article/view/196>. Acesso em: 28 fev. 2025.

GONÇALVES, Rosana Simões dos Santos; MONTEIRO, Maria Inês Couto; CARNEIRO, Manuel Castro. **Determinação de nitrogênio em solos utilizando Método Kjeldahl e cromatografia iônica**. 2007. Disponível: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/189>.

Acesso em 25 fev. 2025.

GOVERNO FEDERAL (BRASIL). **Exportações do agronegócio brasileiro batem recorde no primeiro trimestre de 2024 e atingem US\$ 37,44 bilhões**. [S. l.], 11 abr. 2024.

Disponível em:

<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/exportacoes-doagronegocio-brasileiro-batem-recorde-no-primeiro-trimestre-de-2024-e-atingem-us-37-44-bilhoes>. Acesso em: 12 set. 2024.

HOLANDA, M. A. C. R. de; SOARES, W. de A. Estudo da transferência de calor em solos do nordeste brasileiro/Study of heat transfer in soils of northeast Brazil. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 6, n. 7, p. 49095–49104, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n7-525.

Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/13599>.

Acesso em: 27 fev. 2025.

KÖLLN, Oriel Tiago *et al.* **O SOLO: A BASE PARA A PRODUÇÃO VEGETAL**. Oriel Tiago Kölln, p. 15, 2023. Disponível em:

https://www.researchgate.net/profile/Oriel-Koelln/publication/367044294_O_solo_a_base_para_a_producao_vegetal/links/6445dfbb017bc07902d4451a/O-solo-a-base-para-a-producao-vegetal.pdf#page=15. Acesso em 27 fev 2025.

LAJÚS, C. R.; LUZ, G. L. da; SILVA, C. G. da; DALCANTON, F.; BARICHELLO, R.; SAUER, A. V.; PIAIA, T. A.; PIVA, A. J. D. Aspectos qualitativos e quantitativos de variedades de alface submetidas a concentrações de pó de rocha em cultivo orgânico /

Qualitative and quantitative aspects of lettuce varieties submitted to rock powder

concentrations in organic cultivation. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 7, n. 5, p.

49489–49512, 2021. DOI: 10.34117/bjdv.v7i5.29933. Disponível em:

<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/29933>. Acesso em: 8 mar. 2025.

LANI, João Luiz *et al.* PLANEJAMENTO DO USO DA TERRA NO PLANTIO DA TOONA. **Revista Ensino, Educação & Ciências Exatas**, [S. l.], v. 1, 2022. Disponível em: <https://revista.grupofaveni.com.br/index.php/ensinoeducacaoociencias/article/view/534..> Acesso em: 27 fev. 2025.

LAPICCIRELLA, Júlia do Nascimento; JÚNIOR, Dener Cássio Ferreira Carneiro; ROCHA, Cássia Helena; ARAUJO, Ícaro Simão Alves; MATOSO, Aline de Oliveira. O uso de Biofertilizantes na Agricultura Orgânica. Associação brasileira de agroecologia, Dourados/MS, p. 1-11, 21 mar. 2022. **Congresso Online Internacional de Sementes Crioulas e Agrobiodiversidade**. Disponível em: <http://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/6965>. Acesso em: 27 fev 2025.

LEPCHAK, Jacqueline Kochan. **Dissolução e precipitação de minerais em um Latossolo após 5 anos de aplicação de pó de diabásio**. 2021. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-07042021-141935/en.php>. Acesso em: 10 mar 2025.

LEPSCH, Igo F. **Formação e conservação dos solos**. Oficina de textos, 2016. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=NH8LDAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT4&dq=Solos:+forma%C3%A7%C3%A3o+e+classifica%C3%A7%C3%A3o&ots=V517YewxDF&sig=qM5cLPbwize3QW1cLdpBisD4VvQ>. Acesso em: 27 fev 2025.

LIMA, A. F., Silva, E. G. de A., & Iwata, B. de F. **Agriculturas e agricultura familiar no Brasil: uma revisão de literatura**. (2019) Retratos De Assentamentos, 22(1), 50-68. <https://doi.org/10.25059/2527-2594/retratosdeassentamentos/2019.v22i1.332>. Acesso em: set. 2025.

LIMA, João Paulo Rodrigues Corrêa. **Remineralizador como fonte de potássio na cultura do milho**. 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/41960>. Acesso em: 28 fev. 2025.

LOPES, Francisca Gleiciane Nascimento *et al.* **Avaliação de biocomposto sobre o crescimento inicial de milho**. 2022. Disponível em:

https://agrariacad.com/2023/02/03/avaliacao-de-biocomposto-sobre-o-crescimento-inicial-de-milho/?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 05 mar 2025.

MACHADO, Helena Maria Alves. **Rochagem como uma técnica suplementar aos fertilizantes convencionais: uma revisão**. 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/75392>. Acesso em: 08 mar 2025.

MACHADO, LETÍCIA THÁLIA *et al.* CARACTERIZAÇÃO DE DIGESTATO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS RESIDENCIAIS E VIABILIDADE DE USO NA AGRICULTURA IRRIGADA. **Revista IRRIGA-Brazilian Journal of Irrigation & Drainage**, v. 28, n. 1, 2023.

MACHADO, Letícia Thália Silva. **Aproveitamento de efluente gerado na biodigestão anaeróbia de resíduos orgânicos de origem doméstica na agricultura irrigada**. Orientador: Rodrigo Máximo Sánchez Román. 28/07/2022. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, [S. l.], 2022. f. 101. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/56fa06bf-efc0-4c80-8c7a0eda837b1e95/content>. Acesso em: 23 fev 2025.

MAIELLO, Antonella *et al.* Implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, p. 1-52, 2018. DOI <https://doi.org/10.1590/0034-7612155117>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rap/a/tn3MvKggXHXHfgxw7xZD9Xy/>. Acesso em: 13 fev. 2025.]

MANDLATE, Daniela Lucília. **Avaliação da eficiência e viabilidade da biodigestão anaeróbica em escala agrícola: estudo de caso da instalação e monitoramento de um biodigestor para produção de biogás**. 01/04/2024. TCC (Licenciatura em Engenharia Química) - Universidade Eduardo Mondlane, [S. l.], 01/04/2024. f. 51. Disponível em: <http://196.3.97.28/handle/123456789/3714>. Acesso em: 13 fev. 2025.

MALAGOLLI, Luiz Henrique. **A influência do uso de pó de rocha na estabilidade dos agregados**. 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/43068>. Acesso em: 08 mar 2025.

MORAIS, Fabiana Terezinha Leal de. **Biodigestor: uma tecnologia sustentável**. Orientador: Tiago Gonçalves Pereira Araújo. 2017. TCC (Bacharelado em Engenharia de Biosistemas) - Universidade Federal de Campina Grande, Sumé, PB, 2017. p. 51. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/4993>. Acesso em: 18 fev. 2025.

MOURÃO, Isabel. Agricultura familiar e agricultura biológica: conceitos. **Pontes entre agricultura familiar e agricultura biológica**, p. 33, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Cecilia-Delgado-4/publication/339830731_Uma_estrategia_alimentar_sem_territorio/links/5e67e349299bf1744f72903e/Uma-estrategia-alimentar-sem-territorio.pdf#page=33. Acesso em 21 fev 2025.

OGINO, Cristiane Mitie; COSTA JUNIOR, Geraldo; POPOVA, Nataliya Dimitrova; MARTINEZ FILHO, João Gomes. Poder de compra, preço e consumo de fertilizantes minerais: uma análise para o centro-oeste brasileiro. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília - DF - Brasil, p. 1-19, 31 jul. 2020. DOI <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.220367>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/resr/a/YRXYFYCdQnYcqqBzRVxnn5Zd/?lang=pt>. Acesso em: 10 fev. 2025.

OGINO, Cristiane Mitie; GASQUES, José Garcia; VIEIRA FILHO, José Eustáquio Ribeiro. Relação dinâmica: fertilizantes minerais e agricultura brasileira. **EcoStorn**, Brasília, DF : Ipea, out. 2023. 40 p. : il. (Texto para Discussão, n. 2928). DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/td2928-port>. Disponível em: <https://www.econstor.eu/handle/10419/285050>. Acesso em: 10 fev. 2025.

PAVINATO, Paulo Sérgio; ROSOLEM, Ciro Antonio. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 32, p. 911-920, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/4hh4VFLnCGwvBB6PcQfHXhw/>. Acesso em: 26 fev 2025.

PENG, Wei; PIVATO, Alberto. Sustainable Management of Digestate from the Organic Fraction of Municipal Solid Waste and Food Waste Under the Concepts of Back to Earth Alternatives and Circular Economy. **Waste and Biomass Valorization**, [s. l.], 4 maio 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12649-017-0071-2>. Acesso em: 2 out. 2024.

PEREIRA, Marcos Gervasio *et al.* **Formação e caracterização de solos**. 2019. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/232894288.pdf>. Acesso em: 26 fev 2025.

EREIRA, Flávia Elaine de Andrade. **Co-digestão anaeróbia de dejetos de suínos e de galinhas poedeiras para geração de biogás e biofertilizante**. 2022. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/29936/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 09 mar 2025.

PILONETO, Guilherme Luis. **Fertilizantes orgânicos, minerais e remineralizadores do solo no sistema de plantio direto orgânico de grãos**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Agronomia. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/31007>. Acesso em: 08 mar 2025.

PINHEIRO, Luana da Silva *et al.* Características agro econômicas do milho: uma revisão. **Natural Resources**, v. 11, n. 2, p. 13-21, 2021. Disponível em: <https://sustenere.inf.br/index.php/naturalresources/article/view/CBPC2237-9290.2021.002.003>. Acesso em: 05 mar 2025.

PORCIUNCULA, Luciana. **Identificação e avaliação de impactos ambientais associados a aterros sanitários**. Orientador: Marivane Vestena Rossato. 16/07/2014. Dissertação (Mestrado em Gestão de Organizações Públicas) - Universidade Federal de Santa Maria (UFMS), Santa Maria, RS, Brasil, 16/07/2014. f. 86. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/4715>. Acesso em: 18 fev. 2025.

ROCHA NETO, Alaor Ribeiro da. **Solubilização de pó de fonolito em Latossolo Vermelho distroférico por ação de poáceas cultivadas como plantas de cobertura**. 2020. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/3234923b-be4d-432c-a0d3-fa8a69ad3e66>. Acesso em: 10 mar 2025.

RODRIGUES, Melquizedec Arcos *et al.* **Gestão dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Manaus-AM. Caracterização térmica visando geração de energia e fim dos aterros e lixões a céu aberto**. Seven, [S. l.], p. 1-27, 8 maio 2024. DOI <https://doi.org/10.56238/sevenEngineering-043>. Disponível em: <https://sevenpublicacoes.com.br/index.php/anais7/article/view/4351>. Acesso em: 13 fev. 2025.

SALES, Agust *et al.* Carbono orgânico e atributos físicos do solo sob manejo agropecuário sustentável na Amazônia Legal. In: **Colloquium Agrariae**. ISSN: 1809-8215. 2018. p. 01-15. Disponível em: <http://revistas.unoeste.br/index.php/ca/article/view/1989/0>. Acesso em: 28 fev 2025.

SANTINI, Leonardo. Consórcio de milho com forrageiras: atributos físicos do solo e produtividade de massa seca. **Colloquium Agrariae**. ISSN: 1809-8215, [S. l.], v. 16, n. 6, p. 36–46, 2021. Disponível em: <https://journal.unoeste.br/index.php/ca/article/view/3520>. Acesso em: 17 fev. 2025.

SCHUSTER, Bruna Schmitt; TABONI JUNIOR, Luiz Roberto; SOARES, Ana Cláudia Valério; VIOTTO, Hugo Gabriel Fernandes; MAZZUCO, Augusto. **UMA REVISÃO ACERCA DO TRATAMENTO DA MATÉRIA ORGÂNICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS. In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL FORTALEZA/CE, 2019, Fortaleza/CE. Atas [...]. [S. l.: s. n.], 07/11/2019. p. 1-8.** Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2019/III-098.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2025.

SHENG, Siyuan *et al.* Corn phytochemicals and their health benefits. **Food Science and Human Wellness**, [S. l.], v. 7, n. 3, p. 185-195, set. 2018. DOI <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2018.09.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213453018301009>. Acesso em: 18 fev. 2025.

SILVA, D. F. da .; GARCIA, P. H. de M. .; SANTOS, G. C. de L. .; FARIAS, I. M. S. C. de .; PÁDUA, G. V. G. de .; PEREIRA, P. H. B. .; SILVA, F. E. da .; BATISTA, R. F. .; GONZAGA NETO, S. .; CABRAL, A. M. D. **Morphological characteristics, genetic improvement and planting density of sorghum and corn crops: a review.** Research, Society and Development, 2021.[S. l.], v. 10, n. 3, p. e12310313172, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i3.13172. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/13172>. Acesso em: 17 fev. 2025.

SILVA, Fernando Cesar da. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** 2009. Disponível em: <https://www.sidalc.net/search/Record/dig-infoteca-e-doc-330496/Description>. Acesso em: 20 fev 2025.

SILVA, Haroldo José Torres da et al. Aspectos técnicos e econômicos da produção de etanol de milho no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, v. 29, n. 4, p. 142-159, 2020. Disponível em:

<https://repositorio.usp.br/directbitstream/1491c37e-5d88-44f7-8b93-9f969887c982/3065179-Aspectos+T%C3%A9cnicos+e+Econ%C3%B4micos+da+produ%C3%A7%C3%A3o+de+etanol+de+milho+no+Brasil.pdf>. Acesso em: 01 abr 2025

SIMON, Flora Würth; CASTILHOS JUNIOR, Armando Borges. Avaliação de digestato proveniente de resíduos alimentares por meio de ensaio de germinação. **Revista gestão & sustentabilidade ambiental**, Florianópolis, v. 9, p. 1-16, 1 fev. 2020. Disponível em:

https://www.researchgate.net/profile/Armando-Junior/publication/339810791_AVALIACAO_DE_DIGESTATO_PROVENIENTE_DE_RESIDUOS_ALIMENTARES_POR_MEIO_DE_ENSAIO_DE_GERMINACAO/links/5ecd18b392851c9c5e5b8d20/AVALIACAO-DE-DIGESTATO-PROVENIENTE-DE-RESIDUOS-ALIMENTARES-POR-MEIO-DE-ENSAIO-DE-GERMINACAO.pdf. Acesso em: 12 fev. 2025.

SINGH, Puneet; BEHERA, Himadri Tanaya; MISHRA, Snehashis; RAY, Lopamudra.

Biofertilização de biogás digerido: Uma visão sobre o manejo de nutrientes, diversidade microbiana do solo e emissão de gases de efeito estufa. 2022 [S. l.: s. n.], 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780323855792000022>. Acesso em: 22 set. 2024.

SOARES, Izabella Aline Ferreira. **A biodigestão anaeróbia com uso da manipueira: alternativa energética e sustentável em uma farinheira no município de Cianorte-PR.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

SOUZA, Juliana Araújo *et al.* A importância da reciclagem como gerador de renda a partir da compra de resíduos sólidos pela empresa Terra Limpa. **Cenários emergentes em Administração e Ciências Contábeis**, p. 9. 2025. Disponível em:

https://pesquisa.fametro.edu.br/wp-content/uploads/2024/06/Cenarios_Adm_Contabeis.pdf#page=9.

SOUZA, Valéria Santos de. **Formas de aplicação de fertilizante potássico no desempenho de soja e milho.** 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/256037>. Acesso em: 10 mar 2025.

STUCHI, Júlia Franco. **Biofertilizante: um adubo líquido de qualidade que você pode fazer**. 2015. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1046948/1/CPAFAP2015CartilhaBiofertilizantefinal.pdf>. Acesso em: 07 fev 2025.

TEIXEIRA, Paulo César *et al.* **Manual de métodos de análise de solo**. 2017. Disponível em: https://www.academia.edu/download/60186734/MANUAL_DE_METODOS_DE_ANALISE_DO_SOLO_-_EMBRAPA_1-Cap-4-Retencao-de-agua-no-solo20190802-80747-jpfz24.pdf.

Acesso em 25 fev 2025.

TEIXEIRA, Thyanne Barbosa *et al.* **Pó de rochas basálticas para utilização como remineralizador de solo em cultivo de *Zea mays* L.** 2021. Disponível em:

<https://dspace.unipampa.edu.br/handle/rii/6114>. Acesso em: 08 mar 2025.

TULLIO, Leonardo *et al.* **Formação, classificação e cartografia dos solos**. Ponta Grossa, PR, 2019. Disponível em:

https://www.researchgate.net/profile/Paula-Sete/publication/336037880_TEORES_DE_NITROGENIO_NO_SOLO_E_NA_AGUA_EM_PROPRIEDADE_SUINICOLA_DE_BRACOD

[O_NORTESC/links/5d98864ea6fdccfd0e78615d/TEORES-DE-NITROGENIO-NO-SOLO-E-NA-AGUA-EM-PROPRIEDADE-SUINICOLA-DE-BRACO-DO-NORTE-SC.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Paula-Sete/publication/336037880_TEORES_DE_NITROGENIO_NO_SOLO_E_NA_AGUA_EM_PROPRIEDADE_SUINICOLA_DE_BRACOD). Acesso em 27 fev 2025.

VIDAL, Maria de Fátima. Produção e mercado de etanol. 2020. Caderno Setorial ETENE. **Banco do Nordeste**. Disponível em:

https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/630/1/2019_CDS_79.pdf. Acesso em: 01 abr 2025.

XAVIER, Cristiane Almeida Neves *et al.* **TEORES DE MACRO E MICRONUTRIENTES EM BIOFERTILIZANTES DE DEJETOS BOVINOS DE CORTE ALIMENTADOS COM DIFERENTES NÍVEIS DE CONCENTRADO**. 2019.

XISTULI, MET *et al.* **Adubação com digestato de restos de comida e seu efeito no crescimento inicial do milho**. 2024. Disponível: <https://smcs.ufv.br/>. Acesso em: 27 fev 2025.