

INSTITUTO FEDERAL
GOIANO
Câmpus Rio Verde

BACHARELADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA DE MINHOCAS E
ENQUITREÍDEOS EM SOLOS ADUBADOS COM DEJETO
LÍQUIDO SUÍNO**

LORRAYNA SILVA DA CRUZ

Rio Verde, GO

2025

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CÂMPUS RIO VERDE
BACHARELADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA DE MINHOCAS E
ENQUITREÍDEOS EM SOLOS ADUBADOS COM DEJETO LÍQUIDO
SUÍNO**

LORRAYNA SILVA DA CRUZ

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Marques Pereira Leal

Coorientador: Me. Luiz Ricardo Guimarães Rezende de Oliveira

Rio Verde – GO

Agosto, 2025

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

C957 Cruz, Lorryna Silva da
Avaliação Ecotoxicológica de Minhocas e Enquitreídeos em Solos Adubados com Dejetos Líquidos Suínos / Lorryna Silva da Cruz. Rio Verde 2025.

61f. il.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Marques Pereira Leal.
Coorientador: Prof. Me. Luiz Ricardo Guimarães Rezende de Oliveira.

Tcc (Bacharel) - Instituto Federal Goiano, curso de 0220074 - Bacharelado em Engenharia Ambiental - Integral - Rio Verde (Campus Rio Verde).

1. Fertilizantes orgânicos. 2. Monitoramento ambiental. 3. Ecotoxicologia. 4. Qualidade do solo. I. Título.

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES
TÉCNICO- CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico- científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: | _____ |

Nome Completo do Autor: Lorryna Silva da Cruz

Matrícula: 2017102200740580

Título do Trabalho: AVALIAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA DE MINHOCAS E ENQUITREÍDEOS EM SOLOS ADUBADOS COM DEJETO LÍQUIDO SUÍNO

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 30/08/2025

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

A referida autora declara que:

1. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
2. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
3. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde, 29/08/2025.

Documento assinado digitalmente
 LORRAYNA SILVA DA CRUZ
Data: 29/08/2025 14:36:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Documento assinado digitalmente
 RAFAEL MARQUES PEREIRA LEAL
Data: 01/09/2025 13:39:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Ciente e de acordo: _____

Assinatura do(a) orientador(a) _____

Regulamento de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – IF Goiano - Campus Rio Verde

ANEXO V - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos 29 dias do mês de agosto de dois mil e vinte e cinco às 10:00 horas, reuniu-se a Banca Examinadora composta por: Prof. Rafael Marques Pereira Leal (orientador), Prof. Edio Damasio da Silva Junior (membro interno) e Doutoranda Adriana Bernardes de Jesus (membro externo), para examinar o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “**Avaliação ecotoxicológica de minhocas e enquitreídeos em solos adubados com dejetos líquido suíno**” de **Lorrayna Silva da Cruz**, estudante do curso de Engenharia Ambiental do IF Goiano – Campus Rio Verde, sob Matrícula nº **2017102200740580**. A palavra foi concedida a estudante para a apresentação oral do TC, em seguida houve arguição da candidata pelos membros da Banca Examinadora. Após tal etapa, a Banca Examinadora decidiu pela **APROVAÇÃO** da estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata, que, após apresentação da versão corrigida do TC, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Rio Verde, 29 de agosto de 2025.

(Assinado eletronicamente)

Rafael Marques Pereira Leal

Orientador

(Assinado eletronicamente)

Edio Damasio da Silva Junior

Membro da Banca Examinadora

(Assinado eletronicamente)

Adriana Bernardes de Jesus

Membro da Banca Examinadora

Documento assinado eletronicamente por:

- **Rafael Marques Pereira Leal, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 29/08/2025 11:42:14.
- **Adriana Bernardes de Jesus, 2024202320340001 - Discente**, em 29/08/2025 11:46:07.
- **Edio Damasio da Silva Junior, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 29/08/2025 11:48:43.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 27/08/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 737291

Código de Autenticação: 0afd69aa24



DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe, Rosilei, cujo amor incondicional e apoio foram fundamentais para que eu chegasse até aqui, e à minha irmã e meu padrasto, pelo constante incentivo e suporte ao longo do caminho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por me dar forças, sabedoria e resiliência para chegar até aqui. Sem Sua graça e amparo, esta caminhada teria sido ainda mais desafiadora.

Aos professores da faculdade, minha sincera gratidão pelos ensinamentos compartilhados ao longo dessa jornada. Cada aula, conselho e orientação foram fundamentais para minha formação acadêmica e pessoal.

Aos meus colegas de faculdade, Marcos Gabriel, Lauriane, Gabrielle, Micaele e Iza Layane que tornaram essa jornada mais leve e especial. O companheirismo, as risadas e o apoio mútuo fizeram toda a diferença nessa caminhada.

À minha mãe, Rosilei, meu maior exemplo de amor e dedicação. Seu carinho, incentivo e força me impulsionaram a nunca desistir. Ao meu padrasto Rodney e à minha irmã Lorranna e a minha querida avó Faustina, por estarem sempre ao meu lado, torcendo por mim e me dando apoio incondicional.

Ao meu coorientador Luiz Ricardo, que com tanta generosidade compartilhou seu conhecimento e me ajudou nessa jornada, meu muito obrigada.

À professora Júlia Niemeyer, ao Laboratório de Ecologia da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) sob sua coordenação e a toda a equipe, pela calorosa recepção e pelo apoio na execução da parte prática deste trabalho, minha profunda gratidão.

É um agradecimento mais que especial ao meu orientador, Prof. Dr. Rafael Marques Pereira Leal, pela paciência, pelos conselhos valiosos e por acreditar no meu potencial. Sua orientação foi essencial para a realização deste trabalho.

A todos vocês, meu coração transborda gratidão. Muito obrigada por fazerem parte dessa conquista!

RESUMO

CRUZ, L.S. **Avaliação ecotoxicológica de minhocas (*Eisenia andrei*) e enquitreídeos (*Enchytraeus crypticus*) em solos adubados com dejetos suínos.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde. Rio Verde, GO, 61 p. 2025.

A intensificação das atividades suínolas tem se desenvolvido mundialmente e, com isso, a preocupação com a destinação sustentável dos dejetos vem crescendo. Quando adequadamente dosados e estabilizados antes de sua utilização, esses dejetos podem substituir, ao menos parcialmente, a utilização de fertilizantes químicos, fornecendo nutrientes e matéria orgânica ao solo. No entanto, se aplicados de forma excessiva ou sem critérios técnicos adequados, dado o seu potencial poluidor, podem causar a contaminação do solo e da água, trazendo riscos ao ambiente, tais como efeitos adversos à fauna edáfica. Porém, ainda existem poucos trabalhos avaliando os seus impactos ambientais, especialmente a longo prazo. O presente estudo teve como objetivo avaliar a ecotoxicidade ao enquitreídeo *Enchytraeus crypticus* e a minhoca *Eisenia andrei* oriunda de solos com histórico de aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS). Para tal, foram realizados ensaios de reprodução (toxicidade crônica) e fuga (toxicidade aguda), respectivamente, em solos de duas propriedades rurais do município de Rio Verde- GO, com e sem histórico de aplicação de DLS. Na Propriedade 1, a aplicação de dejetos influenciou positivamente a reprodução dos enquitreídeos, enquanto na Propriedade 2 não houve efeito significativo em nenhum tratamento avaliado. Essa diferença sugere que as características do solo e fatores ambientais desempenham um papel essencial na resposta dos organismos à aplicação de DLS. O teste de fuga com *Eisenia andrei* demonstrou uma preferência das minhocas pelos solos tratados com DLS em ambas as propriedades, evidenciando o potencial desses resíduos como fonte de matéria orgânica e nutrientes. Dessa forma, os resultados ressaltam a importância do monitoramento ambiental contínuo da aplicação de DLS, bem como a necessidade de estudos sobre tempo de exposição, composição química e efeitos crônicos na fauna edáfica.

Palavras-chave: Fertilizantes orgânicos, monitoramento ambiental, ecotoxicologia, qualidade do solo.

ABSTRACT

CRUZ, L.S. **Ecotoxicological assessment of earthworms (*Eisenia andrei*) and enchytraeids (*Enchytraeus crypticus*) in soils fertilized with swine manure.** Undergraduate Thesis (Bachelor's Degree in Environmental Engineering), Federal Institute of Education, Science and Technology Goiano – Rio Verde Campus. Rio Verde, GO, 61 p. 2025.

The intensification of swine farming has developed worldwide, and with it, concerns about the sustainable disposal of manure have increased. When properly dosed and stabilized prior to use, this waste can partially replace chemical fertilizers, providing nutrients and organic matter to the soil. However, if applied excessively or without appropriate technical criteria, given its polluting potential, it may contaminate soil and water, posing environmental risks such as adverse effects on soil fauna. Nevertheless, few studies have evaluated its environmental impacts, particularly in the long term. The present study aimed to assess the ecotoxicity of swine liquid manure (SLM) to the enchytraeid *Enchytraeus crypticus* and the earthworm *Eisenia andrei* in soils with a history of SLM application. For this purpose, reproduction (chronic toxicity) and avoidance (acute toxicity) assays were conducted in soils from two rural properties in the municipality of Rio Verde, GO, with and without a history of SLM application. On Property 1, manure application positively influenced enchytraeid reproduction, whereas on Property 2 no significant effect was observed in any of the treatments. This difference suggests that soil characteristics and environmental factors play an essential role in the response of organisms to SLM application. The avoidance test with *Eisenia andrei* demonstrated a preference of earthworms for SLM-treated soils in both properties, highlighting the potential of this residue as a source of organic matter and nutrients. Thus, the results emphasize the importance of continuous environmental monitoring of SLM application, as well as the need for further studies on exposure time, chemical composition, and chronic effects on soil fauna.

Keywords: Organic fertilizers, environmental monitoring, ecotoxicology, soil quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mercado Mundial de Carne Suína (mil ton)	15
Figura 2 - Valor Bruto da Produção (VBP) (Bilhões)	16
Figura 3 - Consumo per Capita de Carne Suína (kg/hab).....	16
Figura 4 - Evolução da suinocultura em Goiás e Rio Verde	18
Figura 5 - Localização do município de Rio Verde.....	26
Figura 6 - Representação das áreas que foram coletadas na propriedade 1.	27
Figura 7 - Representação das áreas que foram coletadas na propriedade 2.	28
Figura 8 - Componentes que constituem o Solo Artificial Tropical.....	33
Figura 9 - Aspectos morfológicos da <i>Eisenia Andrei</i>	35
Figura 10 - Criação de enquitreídeos da espécie <i>Enchytraeus crypticus</i> mantida na UFSC....	36
Figura 11 - Recipiente dividido ao meio, onde em cada lado são colocados 500 g de solo	37
Figura 12 - Organismos adicionados ao solo.....	37
Figura 13 - Enquitreídeos coloridos com rosa de bengala na fase de contagem.	39
Figura 14 - Comportamento de minhocas (<i>Eisenia andrei</i>) no teste de fuga em solos com e sem aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS), referente a propriedade 1	40
Figura 15 - Comportamento de minhocas (<i>Eisenia andrei</i>) no teste de fuga em solos com e sem aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS), referente a propriedade 2	41
Figura 16 - Número de juvenis de enquitreídeos (<i>Enchytraeus crypticus</i>) (média \pm desvio padrão) em ensaio de reprodução na propriedade 1	43
Figura 17 - Número de juvenis de enquitreídeos (<i>Enchytraeus crypticus</i>) (média \pm desvio padrão) em ensaio de reprodução na propriedade 2	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais Destinos das Exportações Brasileiras de Carne Suína (ton).....	17
Tabela 2 - Composição química dos dejetos de suínos em função do sistema de manejo utilizado.	19
Tabela 3 - Composição físico-química média dos dejetos suínos obtida na unidade de tratamento de dejetos suínos da Embrapa.....	19
Tabela 4 - Características físico-químicas dos solos avaliados sob diferentes históricos de aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS).....	29
Tabela 5 - Análises químicas dos metais presentes no solo.	31
Tabela 6 - Número médio de enquitreídeos reproduzidos em cada amostra de solo por propriedade.	45

LISTA DE SIMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACOES E UNIDADES

%	Porcentagem
µm	Micrmetro
‰	Por mil
ABCS	Associação Brasileira dos Criadores de Suínos
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABPA	Associação Brasileira de Proteína Animal
BOD	Biochemical Oxygen Demand (Demanda Bioquímica de Oxignio)
Ca	Cálcio
CaCO₃	Carbonato de cálcio
Cd	Cádmio
CEC / CTC	Capacidade de Troca de Cátions
cmolc/dm³	Centimol de carga por decmetro cúbico
Co	Cobalto
Cr	Cromo
Cu	Cobre
DBO₅	Demanda Bioquímica de Oxignio em 5 dias
DLS	Dejetos Líquidos de Suínos
DQO	Demanda Química de Oxignio
DS	Dejetos Suínos
Fe	Ferro
g/dm³	grama por decmetro cúbico
Hg	Mercúrio
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISO	International Organization for Standardization
K ou K⁺	Potássio
kg/hab	Quilograma por habitante
MC	Milho Controle (sem aplicação de DLS)
Mg	Magnésio

mg/kg	miligrama por quilograma
Mo	Molibdênio
N	Nitrogênio
Ni	Níquel
P	Fósforo
P0.5	Pastagem com aplicação recente de DLS, há 6 meses, antes da data da coleta.
P14	Pastagem com aplicação contínua de DLS há 14 anos.
P20-0	Pastagem com 20 anos de aplicação de DLS, com aplicação realizada no ano da coleta.
P20-1	Pastagem com 20 anos de aplicação de dejetos líquidos suínos (DLS), com última aplicação realizada há 1 ano.
P₂O₅	Pentóxido de fósforo
P5	Pastagem com poucas aplicações de DLS, sendo a última há 5 anos.
P7	Pastagem com aplicação contínua de DLS há 7 anos.
Pb	Chumbo
PC	Pastagem controle, sem aplicação de DLS.
pH	Potencial hidrogeniônico (índice de acidez/alcalinidade)
SAT	Solo Artificial Tropical
Se	Selênio
T°C	Temperatura em graus Celsius
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
USDA	United States Department of Agriculture
V%	Saturação por bases (% de bases em relação à CTC)
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVO GERAL.....	14
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1. Suinocultura no Brasil.....	15
3.2. Características e composição dos Dejetos Líquidos de Suínos (DLS).....	18
3.3. Efeitos da aplicação de DLS no solo.....	21
3.4. Ecotoxicologia.....	24
4. METODOLOGIA.....	25
4.1. Caracterização da área de estudo.....	26
4.2. Coletas de amostras de solo.....	28
4.3. Caracterização físico-química dos solos.....	29
4.4. Análise química dos metais pesados presentes nos solos.....	31
4.5. Solo artificial tropical (SAT).....	32
4.6. Organismos-testes.....	34
4.6.1. Minhocas (<i>Eisenia andrei</i>).....	34
4.6.2. Enquitreídeos (<i>Enchytraeus crypticus</i>).....	35
4.7. Ensaio Ecotoxicológicos.....	36
4.7.1. Ensaio de Fuga com minhocas – <i>E. andrei</i>	36
4.7.2. Ensaio de reprodução com enquitreídeos – <i>E. crypticus</i>	38
4.8. Análise Estatística.....	39
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
5.1. Teste de Fuga.....	40
5.2. Teste de Reprodução com <i>Enchytraeus crypticus</i>	43
6. CONCLUSÃO.....	47
7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	48

1. INTRODUÇÃO

A suinocultura brasileira vem crescendo rapidamente, consolidando-se como uma das principais atividades econômicas do país (VASCONCELLOS, 2024). Em 2023 e 2024, o setor alcançou marcas históricas em produção, exportação e consumo, impulsionado por avanços tecnológicos e estratégias comerciais eficazes (GUGISCH, 2025). Em 2024, a produção nacional chegou a 5,35 milhões de toneladas, com aumento de 3,8% em relação ao ano anterior, e o consumo atingiu 19 kg per capita (ABPA, 2024). O número de abates superou 56 milhões de cabeças, e as exportações totalizaram 1,35 milhão de toneladas, com receita superior a US\$ 3 bilhões (ABPA, 2025). As projeções para 2025 permanecem otimistas, com expectativa de produção de 5,45 milhões de toneladas e exportações estimadas em 1,45 milhão de toneladas (ABCS, 2024).

No cenário regional, o estado de Goiás se destaca como um dos principais polos suínicos do país. Em 2023, segundo a Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM), o rebanho suíno estadual foi estimado em 1,54 milhão de cabeças, sendo que o município de Rio Verde contribuiu com 397 mil cabeças, o que representa cerca de 26% da produção estadual (IBGE, 2023). Esse dado posiciona o município como o sexto maior rebanho de suínos no Centro-Oeste, sendo um polo estratégico da agropecuária nacional (PPM, 2023).

Embora a suinocultura traga benefícios econômicos e sociais, seu crescimento intensivo gera grandes impactos ambientais, especialmente relacionados ao manejo e tratamento dos resíduos gerados (GOTARDO, 2015; PASINI, 2019). Com o aumento da adoção de sistemas de confinamento e novas tecnologias, cresce a densidade de cabeças de suínos e produção de dejetos líquidos de suínos (DLS) por área, o qual contém elevado teor de matéria orgânica, odor desagradável e características físicas, químicas e biológicas muito variáveis (D'AQUINO, 2019; TAVARES, 2016).

Devido ao grande volume de resíduos produzidos pela suinocultura, os produtores têm como principal alternativa de disposição o lançamento desses no solo, muitas vezes sem critério e sem tratamento prévio, tornando-se uma fonte de alto potencial poluidor, visto que os DLS provenientes de animais possuem uma composição química variável, enquanto os fertilizantes minerais apresentam formulação com concentrações fixas e controladas de nutrientes (KUNZ, 2024). Por essa razão, dada a composição heterogênea dos dejetos, torna-se difícil realizar uma recomendação de doses padronizadas para sua aplicação no solo (FERREIRA, 2018). Deste modo, torna-se necessário que os produtores tenham uma atenção especial na aplicação desses resíduos como biofertilizantes, podendo assim haver risco de ser adicionado nutrientes fora do

balanço adequado de cada cultura nos diferentes tipos de solos (CASSOL, 2011; NICOLOSO et. al, 2019).

Com manejo técnico adequado, incluindo dosagem, estabilização e aplicação conforme as características do solo, os DLS podem atuar como biofertilizantes, substituindo parcialmente os adubos minerais e promovendo melhorias nas propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo (OLIVEIRA, 2006). O manejo correto na produção rural pode representar um diferencial na cadeia produtiva, conservando o equilíbrio entre o processo produtivo e a preservação ambiental, promovendo assim a sustentabilidade no meio rural (ARAÚJO, 2016; NICOLOSO et. al, 2019). Assim, o gerenciamento dos dejetos líquidos de suínos compreende seis etapas importantes: produção, coleta, armazenagem, tratamento, distribuição e reaproveitamento, em sua forma líquida, pastosa ou sólida (OLIVEIRA, 2018).

Estudos têm evidenciado os benefícios do uso agrícola dos dejetos, como o aumento da matéria orgânica, oferta de macro e micronutrientes e melhora na fertilidade do solo (KUNZ, 2024; SILVA, 2019; PESSOTO, 2018). No entanto, aplicações inadequadas podem ocasionar problemas como a contaminação do lençol freático, acúmulo de elementos tóxicos (Cu, Zn, antibióticos), salinização e desequilíbrio nutricional (CARDOSO, 2015; BONASSA et al., 2024). Além disso, o manejo incorreto pode causar efeitos como mau cheiro, proliferação de moscas, aumento de amônia e nitrato na água subterrânea, e disseminação de contaminantes em terrenos inclinados (SCHWANTES, 2013).

A fauna edáfica, composta por invertebrados que se desenvolvem e vivem no solo pode ser diretamente afetada pela presença de resíduos orgânicos (MORINO, 2021). Essa comunidade é classificada em microfauna (4 µm e 100 µm), formada por protozoários, bactérias e nematoides; mesofauna (100 µm a 2 mm), como ácaros e colêmbolos; e macrofauna (2 mm a 20mm), que inclui minhocas, formigas e besouros (MANUIAMA, 2024). Esses organismos desempenham funções ecológicas essenciais, como decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e proteção contra patógenos (BONFIM, 2024).

A literatura científica apresenta um número considerável de estudos avaliando os efeitos da adição de resíduos orgânicos sobre a fauna edáfica, com resultados que variam conforme o tipo de manejo adotado. De acordo com Demetrio et. al (2020), sistemas convencionais (como adubação química) e com preparo intenso tendem a reduzir a abundância e a diversidade de organismos, especialmente minhocas, formigas e aranhas. Já práticas como fertilização orgânica, ausência de pesticidas e preparo reduzido favorecem o aumento de diferentes grupos, como minhocas, ácaros e enquitreídeos, evidenciando o impacto positivo de práticas com resíduos orgânicos na biota do solo.

No entanto, o efeito pode variar conforme o tipo de resíduo, sua composição química e o tempo de exposição no solo. Há também registros de impactos negativos, por exemplo, Alves et al. (2018) observaram que o uso de DLS pode reduzir a abundância de colêmbolos e de outros grupos da fauna edáfica, efeito que se intensifica com o aumento das doses aplicadas. Essa redução pode estar associada à adição excessiva de nitrogênio na forma amoniacal e à presença de metais pesados, como cobre (Cu) e zinco (Zn), conforme apontado por Maccari et al. (2016). Ainda assim, a maior parte dos trabalhos aponta para um potencial benéfico na utilização controlada desses materiais como forma de enriquecer a qualidade biológica do solo.

A utilização contínua de DLS pode beneficiar essas comunidades ao aumentar a disponibilidade de nutrientes, mas também causar toxicidade por acúmulo de metais pesados, como cobre e zinco (SILVA, 2015). Alterações como mortalidade, redução da reprodução e inatividade indicam perda de qualidade ambiental. A ecotoxicologia terrestre avalia esses impactos com bioensaios que medem os efeitos de contaminantes na diversidade e funcionalidade do solo (SEGAT, 2012).

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi analisar o impacto de diferentes tempos de aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS) na reprodução e no comportamento de fuga de minhocas da espécie *Eisenia andrei* e enquitreídeos da espécie *Enchytraeus crypticus*.

2. OBJETIVO GERAL

Avaliar os efeitos ecotoxicológicos da aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS) em solos, comparando áreas com e sem histórico de aplicação, sobre organismos-teste representantes da fauna edáfica (minhocas e enquitreídeos), avaliando efeitos agudos (comportamento de fuga) e efeitos crônicos (reprodução), a partir de amostras de solo coletadas em duas propriedades rurais do município de Rio Verde – GO.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

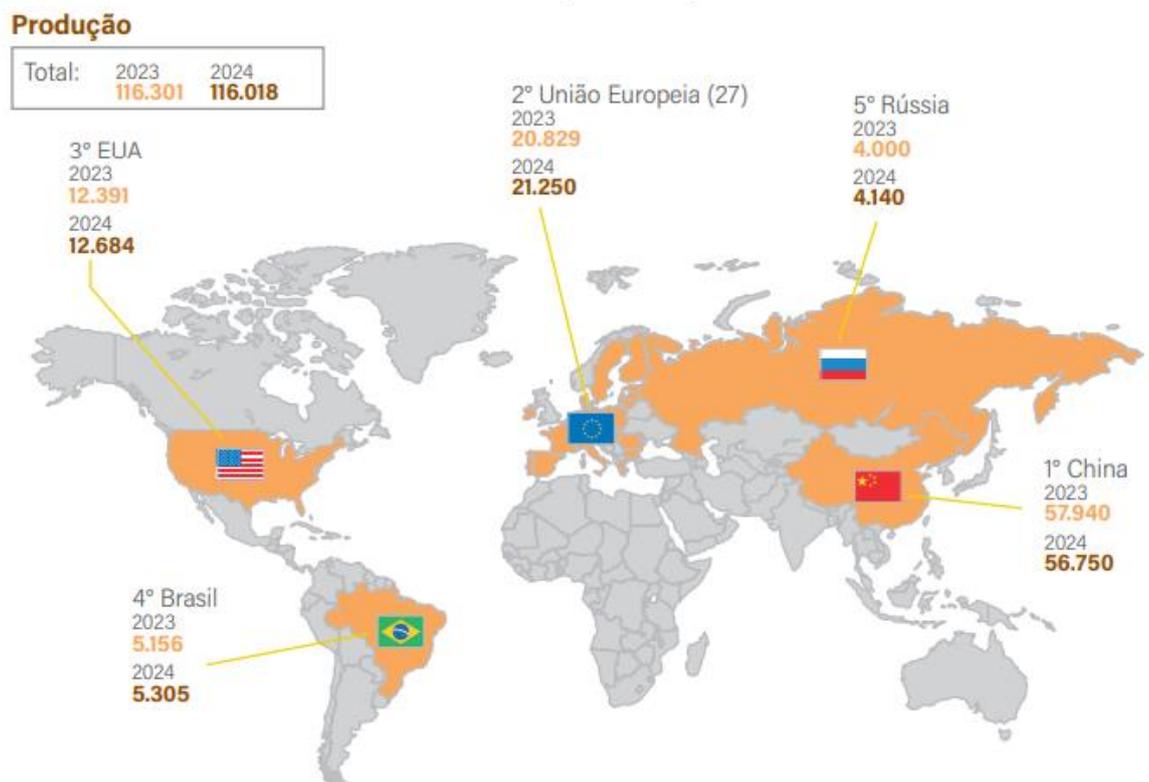
- I. Avaliar o comportamento de fuga de minhocas da espécie *Eisenia andrei* quando expostas a solos adubados com dejetos líquidos de suínos,
- II. Avaliar os efeitos da aplicação de dejetos líquidos de suínos sobre a reprodução de enquitreídeos da espécie *Enchytraeus crypticus*,
- III. Investigar a influência do histórico de aplicação de dejetos líquidos de suínos e das características físico-químicas do solo na resposta ecotoxicológica dos organismos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Suinocultura no Brasil

A suinocultura no Brasil tem se firmado como uma das principais fontes de proteína animal do país, com grande presença tanto no mercado interno quanto nas exportações. Em 2024, o país produziu cerca de 5,3 milhões de toneladas de carne suína, seguindo a tendência de crescimento dos últimos anos. Esse resultado posicionou o Brasil como o quarto maior produtor mundial (Figura 1), ficando atrás apenas da China, União Europeia e Estados Unidos (USDA/ABPA,2025).

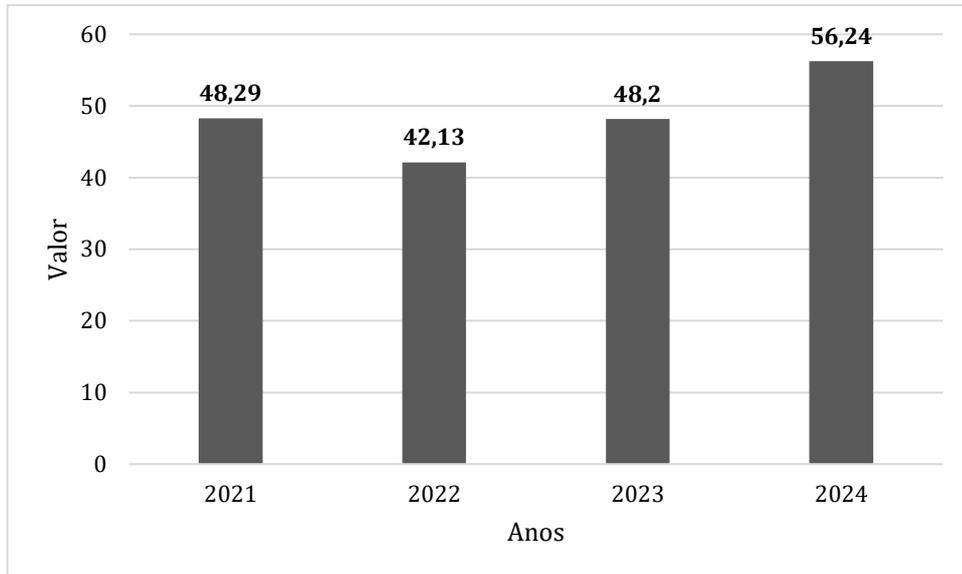
Figura 1 - Mercado Mundial de Carne Suína (mil ton)



Fonte: USDA/ABPA (2025).

O Valor Bruto da Produção (VBP) da suinocultura brasileira atingiu R\$ 56,24 bilhões em 2024, o maior registrado desde 2021, quando era de R\$ 48,29 bilhões (Figura 2). Esse crescimento significativo é resultado da expansão da atividade, impulsionada pelo aumento da produtividade, pela valorização dos preços no mercado e pela adoção de tecnologias mais modernas e eficientes no manejo das granjas (MAPA, 2024).

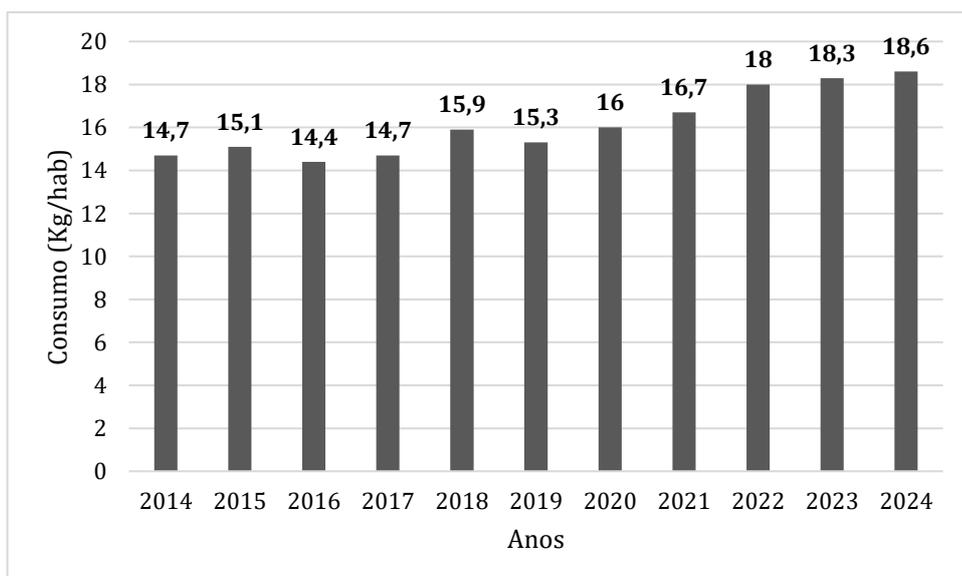
Figura 2 - Valor Bruto da Produção (VBP) (Bilhões)



Fonte: Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA, 2024)

Em relação ao consumo interno, houve também um crescimento constante. O consumo per capita de carne suína passou de 14,7 kg/hab em 2014 para 18,6 kg/hab em 2024 (Figura 3), indicando que a carne suína vem ganhando espaço e preferência na alimentação dos brasileiros (ABPA, 2025). Apesar desse avanço, 74,5% da carne suína produzida ainda é destinada ao mercado interno, enquanto 25,5% é exportada (ABPA, 2025).

Figura 3 - Consumo per Capita de Carne Suína (kg/hab)



Fonte: ABPA (2025).

Nas exportações, o Brasil alcançou um volume recorde em 2024, com 1,34 milhão de toneladas exportadas e receita de US\$ 3,03 bilhões. Os principais destinos foram Filipinas (19%), China (18,01%) e Chile (8,44%), com destaque para o expressivo crescimento nas exportações para as Filipinas (Tabela 1), que mais que dobraram em relação ao volume registrado em 2023 (SECEX, 2025).

Tabela 1 - Principais Destinos das Exportações Brasileiras de Carne Suína (ton)

Ranking	Destino	2023	2024	Part. (%)	Var. (%)
1º	Filipinas	126.005	254.331	19,00	101,84
2º	China	388.655	241.008	18,01	-37,99
3º	Chile	87.517	113.011	8,44	29,13
4º	Hong Kong	126.647	106.983	7,99	-15,53
5º	Japão	40.360	93.479	6,98	131,61
6º	Singapura	64.340	79.138	5,91	23,00
7º	Vietnã	47.845	52.509	3,92	9,75
8º	Uruguai	49.155	46.616	3,48	-5,17
9º	México	28.601	42.862	3,20	49,86
10º	Estados Unidos	19.549	29.932	2,24	53,11

Fonte: SECEX (2025)

O estado de Santa Catarina lidera o abate de suínos no país, com 15,4 milhões de cabeças (32,94%), seguido pelo Rio Grande do Sul com 9,1 milhões (19,57%) e o Paraná com 9,6 milhões (20,62%) (MAPA, 2025). Juntos, esses três estados do Sul são responsáveis por 90,4% das exportações brasileiras de carne suína (SECEX, 2025).

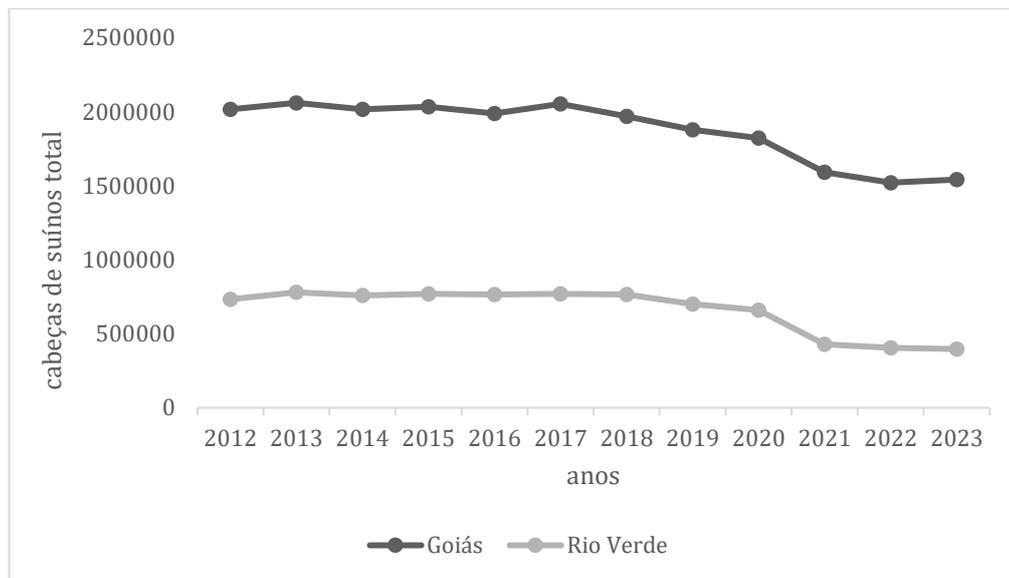
Embora a região sul concentre a maior parte da produção e das exportações, outras regiões também possuem relevância na suinocultura nacional, ainda que enfrentem dinâmicas distintas. Em Goiás, a suinocultura apresentou uma trajetória marcada por oscilações nos últimos anos. A partir de 2018, o rebanho suíno em Goiás passou por uma redução significativa, atribuída principalmente à suspensão das exportações para a Rússia em 2017 um dos maiores mercados consumidores da carne suína goiana, motivada pela presença de ractopamina (aditivo alimentar utilizado para o ganho de peso de forma mais eficiente) nas rações utilizadas na alimentação animal (SEAPA, 2024). Contudo, nos anos seguintes observou-se um movimento de recuperação, de modo que em 2024 o rebanho voltou a crescer, atingindo 2.041.740 cabeças (AGRODEFESA, 2024).

No município de Rio Verde, a suinocultura acompanhou a tendência estadual, apresentando redução do rebanho de 765 mil cabeças em 2018 para 397 mil em 2023 (IBGE, 2023). Entretanto, em 2024 os dados da Prefeitura de Rio Verde apontaram um aumento para

404 mil cabeças, representando o primeiro crescimento após um período de queda e indicando uma possível retomada da atividade no município. Esse cenário indica que, após um período de redução, a geração de dejetos líquidos de suínos (DLS) no estado tende novamente a se intensificar, reforçando a necessidade de estratégias adequadas de manejo e destinação.

Na figura 4 pode-se observar a evolução da suinocultura ao longo dos anos no estado de Goiás, como também Rio Verde -GO.

Figura 4 - Evolução da suinocultura em Goiás e Rio Verde



Fonte: IBGE (2023)

Diante desse contexto, é possível observar que a suinocultura brasileira não apenas se consolidou como uma atividade de destaque, mas também continua em processo de expansão. Esse avanço tem sido favorecido por melhorias constantes na produtividade, nas práticas de manejo e na inserção em mercados internacionais. A tendência é que, com o fortalecimento da cadeia produtiva e o aumento da competitividade global, o setor continue evoluindo nos próximos anos.

3.2. Características e composição dos Dejetos Líquidos de Suínos (DLS)

Os dejetos líquidos de suínos (DLS) são compostos por aproximadamente 60% de urina, 40% de fezes, resíduos de ração, cerdas, poeira e material particulado, água (proveniente do desperdício dos bebedouros, limpeza, chuva) e outros materiais gerados no processo produtivo (MALLMANN, 2019). Fisicamente, apresentam coloração escura e consistência que pode

variar entre líquida, pastosa ou sólida. Apresentam altas concentrações de matéria orgânica, odor intenso e características físicas, químicas e biológicas variáveis (SACOMORI, 2016).

A composição química dos DLS está diretamente relacionada ao tipo de sistema de manejo adotado nas granjas, a qual pode apresentar variações nas concentrações dos nutrientes dependendo da diluição, do método de manuseio e armazenamento, da alimentação ofertada aos animais, como também do aproveitamento de nutrientes através do sistema digestivo dos mesmos, a qual varia conforme a fase de criação (BARROS et al, 2019). A Tabela 2 apresenta o teor de matéria seca e a quantidade de alguns nutrientes em uma tonelada de dejetos de suínos, de acordo com o tipo de manejo.

Tabela 2 - Composição química dos dejetos de suínos em função do sistema de manejo utilizado.

Sistema de manejo	Matéria seca (%)	kg/ tonelada de dejetos		
		N Total (Nitrogênio Total)	P2O5 (Pentóxido de fosforo)	K2O (óxido de potássio)
Esterco sem cama	18	4,54	4,08	3,63
Esterco com cama	18	3,63	3,17	3,63
Liquame de fossa de retenção	4	4,08	3,06	2,15
Liquame de tanque oxidação	2,5	2,72	3,06	2,15
Líquido de lagoa	1	0,45	0,23	0,45

Fonte: OLIVEIRA, 1993.

Na tabela 3, é possível observar a composição físico-química média dos dejetos suínos obtida na unidade de tratamento de dejetos suínos da Embrapa.

Tabela 3 - Composição físico-química média dos dejetos suínos obtida na unidade de tratamento de dejetos suínos da Embrapa.

Variável	Mínimo (kg m ³)	Máximo (kg m ³)	Média (kg m ³)
DQO	11,53	38,45	25,54
Sólidos totais	12,69	49,43	23,40
Sólidos voláteis	8,42	39,02	16,39
Sólidos fixos	4,27	10,41	6,01
Nitrogênio total	1,66	3,71	2,37
Fósforo total	0,32	1,18	0,58
Potássio total	0,26	1,14	0,54

Fonte: KUNZ, 2024.

A composição físico-química do dejetos líquido de suínos (DLS) apresenta elevada variabilidade em função de fatores como a dieta dos animais, o sistema de criação e a forma de

armazenamento (KUNZ et al., 2024; VEDOVATO et al., 2019). De acordo com Kunz et al. (2024), como visto na tabela 3, valores médios encontrados para DLS fresco incluem 2,37 kg m⁻³ de nitrogênio total (N), 0,58 kg m⁻³ de fósforo (P) e 0,54 kg m⁻³ de potássio (K). Outros autores, como Vedovato et al. (2019), reportaram teores médios de 3,75 kg m⁻³ de N, 3,49 kg m⁻³ de P e 2,97 kg m⁻³ de K, evidenciando variações significativas entre propriedades. Além dos macronutrientes, o DLS contém micronutrientes como ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e cobre (Cu) em concentrações variáveis, que, quando manejados adequadamente, podem contribuir para a redução do uso de fertilizantes minerais. Essa variabilidade, entretanto, representa um desafio para seu uso agrícola, pois dificulta a aplicação de doses precisas em comparação aos fertilizantes minerais, cuja composição é padronizada.

O manejo do fósforo (P) no solo é particularmente importante, uma vez que seu acúmulo pode resultar em perdas para corpos d'água, causando eutrofização. Em Santa Catarina, o limite de P disponível no solo é estabelecido por normas estaduais, onde o teor máximo de P disponível no solo é definido pelo Limite Crítico Ambiental de Fósforo (LCA-P), calculado pela equação LCA-P (mg dm⁻³) = 40 + % Argila (GATIBONI, 2015). Sendo recomendado que áreas agrícolas não recebam doses adicionais de fertilizantes ou dejetos quando esse limite é atingido, pois o P excedente tende a ser mais mobilizado pelas águas superficiais e subterrâneas, representando risco à qualidade hídrica (FATMA, 2014; EPAGRI, 2020). Assim, o uso de dejetos suínos deve considerar não apenas os nutrientes fornecidos, mas também os limites máximos de fósforo disponível, evitando impactos ambientais decorrentes do excesso desse elemento.

De acordo com a Empresa de Pesquisa e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), a poluição ambiental nas regiões produtoras de suínos é elevada. Enquanto a DBO típica para esgoto doméstico é cerca de 200 mg·L⁻¹, a DBO dos dejetos suínos varia entre 30.000 e 52.000 mg·L⁻¹, apresentando níveis aproximadamente 260 vezes superiores (ASSIS, 2004). Desse modo, o lançamento de grandes volumes de dejetos suínos em rios e lagos poderia provocar sérios desequilíbrios ecológicos devido à elevada carga orgânica presente, intensificando a poluição e comprometendo a qualidade dos ecossistemas aquáticos (ASSIS, 2004).

O uso contínuo de dejetos líquidos de suínos (DLS) em áreas agrícolas pode levar ao acúmulo de metais pesados no solo, especialmente cobre (Cu) e zinco (Zn), que são adicionados em altas concentrações nas dietas animais e, conseqüentemente, excretados nos dejetos. Basso et al. (2012) demonstraram que os teores de Zn aumentaram significativamente em áreas que receberam esse resíduo repetidamente, atribuídos à alta concentração do elemento nos suplementos minerais e à baixa mobilidade do elemento no solo.

Matias (2010) ressalta ainda que o Cu, mais rapidamente que o Zn, pode atingir concentrações totais acima de valores críticos, e que o tipo de solo influencia nesse processo, sendo os Cambissolos mais propensos a contaminações, já que atingem níveis críticos de Cu de forma mais acelerada. Brunetto et al. (2020) observaram que, após sucessivas aplicações de esterco suíno, Cu e Zn se acumulam preferencialmente nas frações húmicas do solo, como os ácidos húmicos e a humina, reforçando o caráter persistente desses elementos e o risco de impactos ambientais a longo prazo.

Além disso, a aplicação de dejetos suínos como fertilizante pode introduzir resíduos de antibióticos, genes de resistência (ARGs) e elementos genéticos móveis no solo, os quais têm potencial de se propagar na microbiota ambiental, ampliando o risco de contaminação do solo, da água e da cadeia alimentar, representando sérias implicações para a saúde ambiental e pública (FREY, 2022; ZALEWSKA et al., 2023). Embora nenhum método elimine totalmente o risco, a compostagem reduz de forma mais rápida e eficiente os elementos genéticos móveis que carregam genes de resistência a antibióticos, incluindo aqueles responsáveis pela resistência a múltiplos medicamentos, contribuindo para minimizar sua disseminação no ambiente e seu potencial de transferência para plantas e cadeia alimentar, ao mesmo tempo que fornece nutrientes ao solo (ZALEWSKA et al., 2023).

Considerando a variabilidade da composição físico-química dos dejetos suínos e seu elevado potencial poluidor, torna-se fundamental adotar práticas de manejo adequadas para garantir sua correta destinação. A aplicação correta e controlada desses resíduos no solo pode contribuir para a melhoria das propriedades biológicas, estimulando o desenvolvimento da flora microbiana (QUADRO et al., 2011) e da fauna edáfica (ALVES, 2008), promovendo maior atividade enzimática e contribuindo para a qualidade e fertilidade do solo, potencializando os benefícios agrônômicos do DLS sem comprometer o ambiente.

3.3. Efeitos da aplicação de DLS no solo

A utilização de DLS como biofertilizante é uma alternativa viável à destinação desses resíduos, pois a sua aplicação no solo é capaz de manter os níveis de produtividade agrícola semelhantes aos alcançados com o uso de fertilizantes químicos (SEIDEL et al., 2010). No entanto, quando aplicado em excesso, os dejetos podem comprometer a produção agrícola e a qualidade ambiental, devido ao acúmulo excessivo de nutrientes e metais no solo, como também ao volume utilizado (MORINO, 2021).

Junior et al. (2019) observaram que aplicação sucessiva de cama sobreposta de suínos (CSS) aumenta os teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) no solo, além de favorecer a formação de agregados biogênicos, efeitos considerados benéficos por melhorarem a fertilidade e a estrutura do solo. O dejetos líquido de suínos (DLS), por sua vez, não apresentou aumento de COT e NT, contribuindo principalmente como fonte de nutrientes minerais como Ca, P e K.

Entretanto, além dos benefícios nutricionais, a aplicação contínua de DLS pode levar ao acúmulo de cobre (Cu) e zinco (Zn) no solo. Embora sejam micronutrientes essenciais para as plantas, sua demanda é relativamente baixa. Como os dejetos frequentemente apresentam quantidades significativas desses metais, a aplicação sucessiva pode superar a demanda das culturas e levar ao acúmulo no solo, resultando em concentrações elevadas que representam risco potencial para a saúde das plantas e dos consumidores (GIROTTI, 2010). Em excesso, podem ainda tornar-se potencialmente tóxicos à fauna e à flora, causando impactos indesejáveis nos organismos edáficos (SILVA, 2015). Diferentemente do Cu e do Zn, que são micronutrientes essenciais, elementos como cádmio (Cd), chumbo (Pb), arsênio (As) e mercúrio (Hg) não possuem função nutricional e são classificados apenas como contaminantes tóxicos (EDELSTEIN, 2018).

Lourenzi (2016), ao estudar os atributos químicos de um Latossolo após sucessivas aplicações de dejetos líquido de suíno, verificou que a adubação promoveu um aumento do pH do solo, como também promoveu um aumento dos teores de P (fósforo), K (potássio), Cu (cobre) e Zn (zinco). Esses acréscimos contribuem para a fertilidade quando mantidos dentro de faixas adequadas, mas, em situações de excesso, podem comprometer o equilíbrio nutricional e a qualidade ambiental.

De forma semelhante Moraes et al. (2014), avaliaram diferentes doses de dejetos de suínos (DS) como alternativa à adubação mineral na cultura do milho, em um Latossolo Vermelho muito argiloso. As doses testadas foram 25, 50, 75 e 100 m³/ha, além de um tratamento com adubação mineral recomendada e um controle sem adubação. Os resultados indicaram que doses de 50 a 100 m³/ha de DS proporcionaram produtividades comparáveis à adubação mineral, permitindo a substituição parcial ou total, sem comprometer a produtividade do milho. Menezes (2018) também relatou aumento na produtividade de grãos de milho adubado com dejetos de suínos, cultivado em Latossolo Vermelho Distroférico de textura argilosa, atribuída à maior extração e exportação de N (nitrogênio), P (fosforo) e K (potássio).

Em um estudo conduzido por Paiva (2019), foi observado que após três anos de aplicação de ARS (água residuária de suínos) em área de plantio de mudas de *Urochloa*

decumbens e *Corymbia citriodora*, houve um aumento na concentração de micronutrientes nas profundidades de 0 a 20 cm, além do aumento nos teores de potássio (K), magnésio (Mg) e cálcio (Ca). Além disso, o autor destacou que as doses de 400 e 800 m³/ha ao ano podem promover o aumento de cobre (Cu) no solo.

Em relação aos organismos do solo, Segat (2016) realizou uma avaliação ecotoxicológica da aplicação de dejetos líquidos de suínos em áreas com e sem histórico de uso. Constatou que nas áreas sem histórico houve alterações na composição das comunidades edáficas, como alterações na abundância, estrutura de famílias e grupos tróficos de nematóides, indicando sensibilidade do sistema à entrada de resíduos, enquanto que nas áreas com 20 anos de uso contínuo, os efeitos foram mínimos. Esse autor ainda ressalta que o uso contínuo de dejetos líquidos de suínos ao longo de 20 anos favoreceu o desenvolvimento de organismos mais adaptados a esse tipo de fertilização, uma vez que alterações na estrutura da comunidade edáfica foram observadas apenas nas áreas sem histórico de aplicação.

Alves (2018) analisou os efeitos de diferentes formas de adubação (dejetos de suíno, adubação organomineral e adubação mineral) sobre a fauna edáfica. Foi verificado que a densidade e a diversidade da fauna edáfica foram influenciadas pelas diferentes doses de dejetos líquidos de suíno e da adubação mineral, sendo que a maior diversidade foi encontrada no tratamento onde se utilizou a adubação orgânica com mineral (AOM) com aplicação de 25 m³ ha⁻¹ de DLS, enquanto que a menor diversidade foi observada no tratamento que recebeu a maior dosagem de dejetos líquidos de suínos (200 m³ ha⁻¹), sendo que a sua alta dosagem pode ter prejudicado a fauna edáfica, devido ao acréscimo de nutrientes e metais que ocorreu no solo.

Maccari (2014) realizou a avaliação ambiental do uso de dejetos de suínos por meio de ensaios ecotoxicológicos em solos do estado de Santa Catarina (Latosolo Vermelho Distrófico e Neossolo Quartzarênico Órtico Típico), estudando a sobrevivência e a reprodução de minhocas (*Eisenia andrei*) e colêmbolos (*Folsomia candida*). Nos resultados obtidos com *E. andrei* e *F. Candida*, houve redução na taxa de sobrevivência e no número de juvenis gerados com aumento da dose de dejetos de suíno aplicada, que variou entre 10 a 120 m³/ha. A taxa de sobrevivência no Latossolo foi afetada apenas na maior dose de dejetos de suínos testada (120 m³/ha), enquanto que no Neossolo houve um decréscimo na taxa de sobrevivência de *F. candida* já na menor dose de dejetos aplicada (10 m³/ha), evidenciando que as características do solo são um fator modulador importante dos efeitos ecotoxicológicos esperados.

A literatura aponta que a aplicação de dejetos de suínos no campo costuma variar entre 50 e 100 m³/ha ao ano, intervalo considerado eficiente para substituir parcialmente ou

totalmente a adubação mineral em culturas como o milho, sem comprometer a produtividade (Moraes et al., 2014).

3.4. Ecotoxicologia

A ecotoxicologia terrestre busca compreender como contaminantes afetam organismos edáficos, utilizando ensaios específicos capazes de indicar alterações na função ecológica do ambiente (SILVA, 2015). Entre os bioensaios aplicados, destacam-se o teste de fuga e o teste de reprodução, ambos padronizados por normas internacionais como a ISO 17512-1 (2008) e a ISO 16387 (2023), que garantem comparabilidade e confiabilidade dos resultados.

O teste de fuga consiste em um ensaio de curta duração, geralmente 48 horas, no qual os organismos são expostos simultaneamente a uma amostra de solo controle e a uma amostra de solo contaminado, dispostas em compartimentos distintos dentro do mesmo recipiente. Em seguida, realiza-se a contagem dos indivíduos presentes em cada solo, a fim de avaliar seu comportamento de fuga (NIEMEYER et al., 2010). Considera-se a amostra tóxica quando mais de 80% dos organismos permanecem no solo controle, indicando limitação da função de habitat (SISINNO et al., 2006).

Esse ensaio tem a vantagem de fornecer uma triagem inicial rápida e de baixo custo, sendo eficiente para detectar a presença de compostos tóxicos em solos, mesmo antes que seus efeitos se manifestem em longo prazo. Por isso, é amplamente empregado em programas de monitoramento ambiental, servindo como ferramenta diagnóstica precoce da qualidade do solo (SISINNO et al., 2006; NIVA, 2019).

Já o teste de reprodução é um ensaio de longa duração, geralmente com até seis semanas, desenvolvido para avaliar os efeitos crônicos de contaminantes sobre o ciclo de vida dos organismos do solo, tendo como principal ponto a produção de descendentes. Esse tipo de ensaio permite identificar efeitos subletais que, embora não causem mortalidade imediata, podem comprometer a viabilidade populacional e, conseqüentemente, os serviços ecológicos prestados pelos organismos do solo (OECD, 2016; CAM, 2012).

Diferentemente dos testes de fuga, que indicam principalmente efeitos letais ou respostas comportamentais rápidas, os testes de reprodução fornecem uma avaliação mais abrangente do risco ecológico (a longo prazo), pois revelam impactos sutis, mas relevantes, como a redução no número de descendentes, sendo amplamente aplicados em organismos como minhocas e outros invertebrados edáficos, como enquitreídeos (CAM, 2012).

Através dos testes ecotoxicológicos é possível identificar a toxicidade da amostra por diversas fontes de poluição, avaliando assim os efeitos combinados das variedades das substâncias disponíveis em uma única amostra e seus efeitos nos organismos vivos (LISBÔA, 2017; CAIXETA, 2021). Para a realização de testes ecotoxicológicos, são utilizados organismos indicadores, que em função de suas características possuem limites de tolerância ecológica muito pequenos e, portanto, manifestam alterações fisiológicas, morfológicas e/ou comportamentais quando expostos a determinados poluentes (MAGALHÃES, 2008; FERREIRA et al., 2017).

Entre os organismos mais utilizados, destacam-se as minhocas, consideradas “engenheiras do ecossistema” por sua importância ecológica. Elas promovem a aeração do solo, aumentam a disponibilidade de nutrientes e participam ativamente da decomposição da matéria orgânica. Essas características, associadas à facilidade de cultivo em laboratório e à capacidade de bioacumular contaminantes em seus tecidos, justificam seu amplo uso em testes ecotoxicológicos (CAIXETA, 2021). Para testes ecotoxicológicos, as espécies *E. fetida* e *E. andrei* são utilizadas globalmente com protocolos padronizados ISO para solos em regiões temperadas e tropicais (RIBEIRO, 2016).

Outros organismos relevantes são os enquitreídeos, parentes próximos das minhocas, que desempenham papel essencial na ciclagem de nutrientes e apresentam rápido ciclo de vida, o que possibilita ensaios de reprodução em menor tempo (NIVA, et al., 2010). Embora menos conhecidos, eles também vêm sendo empregados em estudos ecotoxicológicos internacionais devido à sua sensibilidade a poluentes (NIVA, 2019).

Sendo assim, os testes de fuga e reprodução com minhocas e enquitreídeos representam ferramentas complementares: enquanto o primeiro identifica rapidamente a presença de contaminantes, o segundo permite avaliar os efeitos crônicos sobre a biota edáfica. A combinação de ambos proporciona uma visão abrangente dos riscos ambientais associados a contaminantes presentes no solo.

4. METODOLOGIA

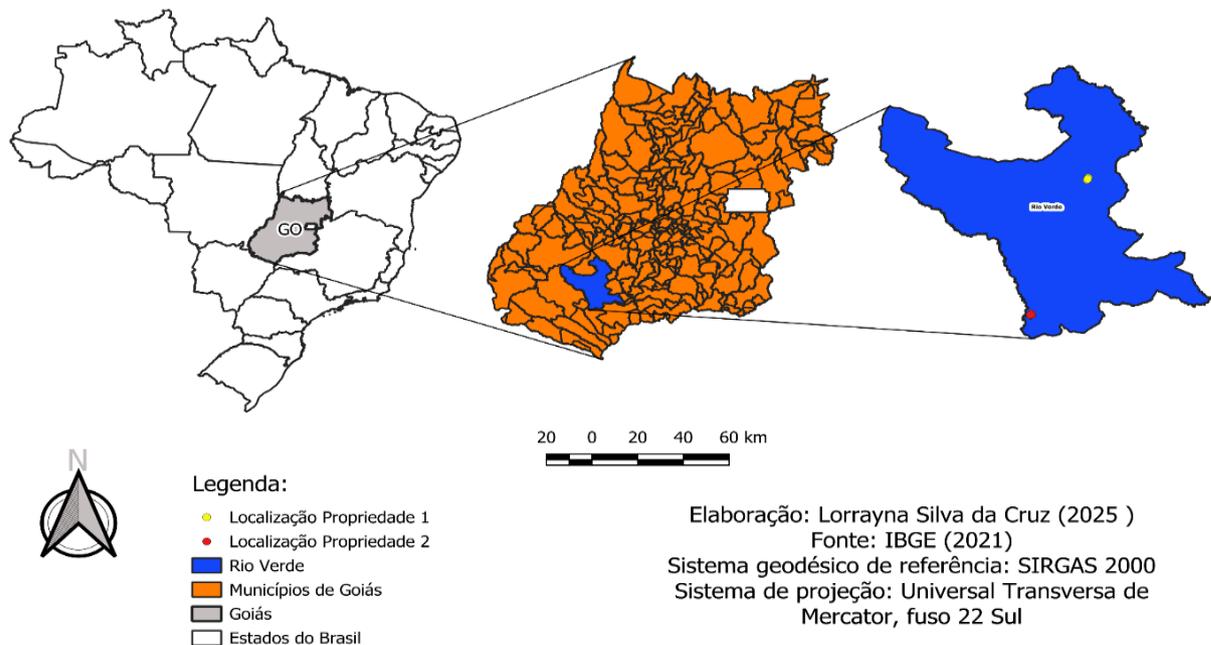
Os ensaios ecotoxicológicos foram realizados no Laboratório de Ecologia da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), no campus de Curitibanos, nos meses de junho e julho de 2022. Para a realização dos ensaios foram utilizados solos (camada de 0-20 cm) provenientes de duas propriedades rurais do município de Rio Verde – GO, e o solo artificial tropical (SAT), produzido nas dependências da UFSC.

4.1. Caracterização da área de estudo

A área de estudo abrange o município de Rio Verde (GO), que está localizado na microrregião Sudoeste do estado de Goiás, com latitude $17^{\circ} 47' 53''$ S e longitude $51^{\circ} 55' 53''$ W (Prefeitura Municipal de Rio Verde, 2025), com área territorial de 8.374,255 km² (IBGE, 2024). Possui uma população estimada de 238.025 habitantes, com uma densidade demográfica de 26,95 hab./km² (IBGE, 2024). A topografia da região é plana a levemente ondulada com 5% de declividade, com altitude média de 748 m (Prefeitura Municipal de Rio Verde, 2025).

As coletas foram realizadas em duas propriedades rurais, sendo uma localizada às margens da rodovia GO 422, nas proximidades do Km 10, e outra às margens da rodovia BR 060, próximo ao Km 368 (Figura 5).

Figura 5 - Localização do município de Rio Verde.



Fonte: A autora (2025).

Neste estudo, foram utilizados solos com e sem histórico de aplicação de dejetos líquidos de suíno, tendo-se preferência por solos com histórico de aplicação de longo prazo (mais de 10 anos). Para a propriedade 1 foram definidos quatro cenários, sendo eles:

- 1) Cenário 1: Pastagem com aplicação de DLS há aproximadamente 20 anos, sendo que a última aplicação ocorreu por volta de um ano antes da data de coleta.
- 2) Cenário 2: Pastagem com aplicação de DLS há aproximadamente 20 anos, tendo recebido uma aplicação no ano da coleta.
- 3) Cenário 3: Pastagem que recebeu poucas aplicações de DLS, sendo a última realizada há aproximadamente 5 anos antes da data da coleta.

- 4) Cenário 4: Plantação de milho, que não recebeu nenhuma adubação com DLS, sendo considerada como solo controle.

Todas as áreas de coleta possuíam cobertura vegetal de pastagem *Cynodon nlemfuensis* (Cultivares de grama-estrela), com exceção do Cenário 4, que correspondia a uma plantação de milho (Figura 6).

Figura 6 - Representação das áreas que foram coletadas na propriedade 1.



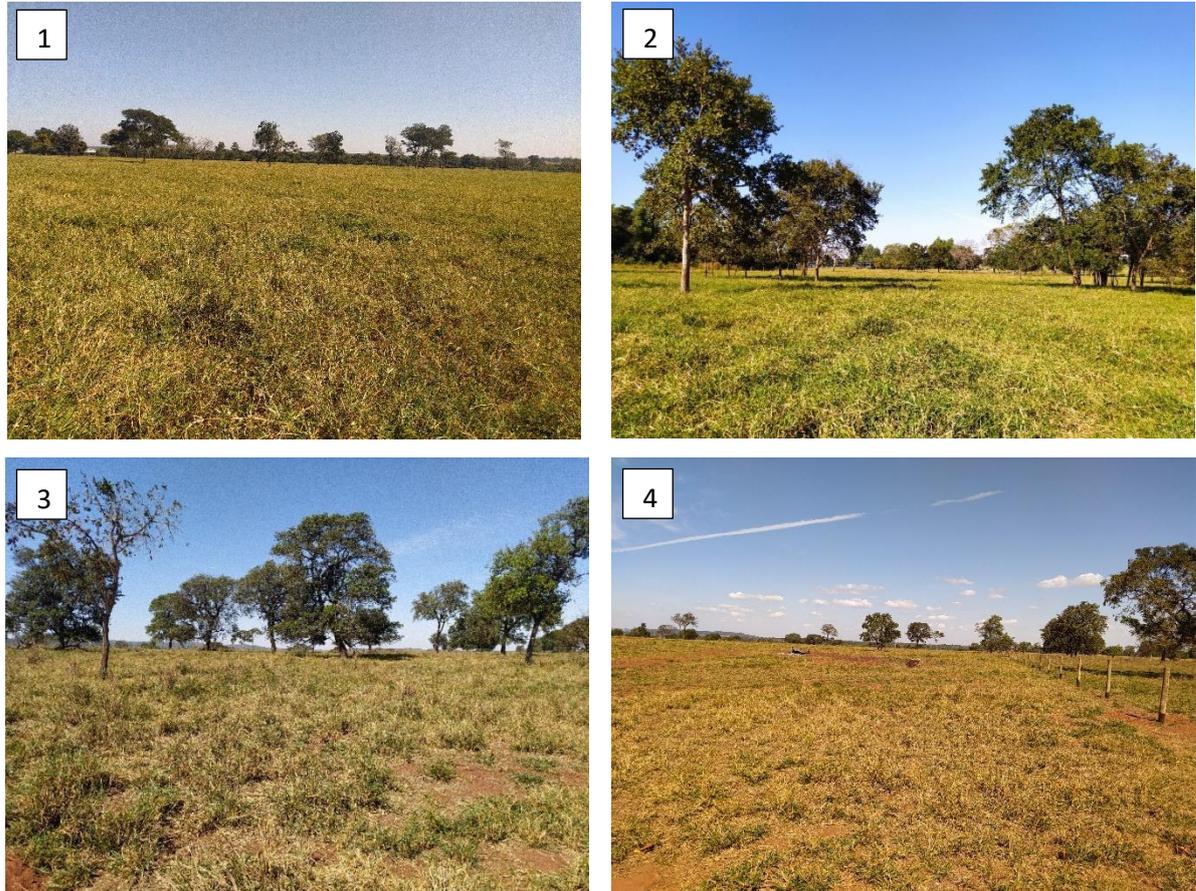
Fonte: A autora (2022).

Para a propriedade 2 os cenários foram os seguintes:

- 1) Cenário 1: Pastagem com aplicação de DLS há aproximadamente 14 anos, com aplicações anuais consecutivas desde o início do manejo.
- 2) Cenário 2: Pastagem com aplicação de DLS há aproximadamente 7 anos, mantendo um regime contínuo de aplicações anuais.
- 3) Cenário 3: Pastagem com aplicação de DLS tendo iniciado a aproximadamente 6 meses antes da data da coleta.
- 4) Cenário 4: Pastagem utilizada como solo controle, sem aplicação de DLS.

As áreas 1 e 2 de coleta possuíam cobertura vegetal de pastagem *Cynodon nlemfuensis* (Cultivares de grama-estrela), enquanto que as áreas 3 e 4 possuem cobertura vegetal com pastagem *Brachiaria* (Figura 7).

Figura 7 - Representação das áreas que foram coletadas na propriedade 2.



Fonte: A autora (2022).

4.2 Coletas de amostras de solo

As amostras de solo foram coletadas com o auxílio de um trado caneco e holandês na camada de 0-20 cm de profundidade. Em cada cenário de coleta, foram retiradas aproximadamente quinze subamostras em zigue-zague, as quais foram devidamente homogeneizadas, resultando em uma amostra composta representativa de cada cenário avaliado.

Após a coleta, o solo foi seco e posteriormente destorroado, sendo peneirado em peneira de 2,0 mm de malha e seco ao ar. Em seguida, foi retirada uma amostra para a caracterização físico-química (pH, matéria orgânica, teores de macro e micro nutrientes, saturação de base e características físicas (textura)), conforme metodologia de Embrapa (2011). As amostras de

solo foram transportadas para a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), campus Curitibanos-SC, para serem realizados os testes de ecotoxicidade com organismos da fauna edáfica.

Antes dos testes, o solo foi submetido a um processo de defaunação, para eliminar organismos previamente presentes e garantir que os efeitos observados fossem causados apenas pela substância-teste. Para tal, o solo foi congelado a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 48 horas. Após esse preparo, os bioensaios foram iniciados com a introdução de organismos-teste, como *Eisenia andrei* (minhocas) e *Enchytraeus crypticus* (enquitreídeos), conforme as metodologias descritas nas normas ISO 11268-2 e ISO 16387.

4.3. Caracterização físico-química dos solos

As análises físico-químicas dos solos estudados são apresentadas na tabela 4.

Tabela 4 - Características físico-químicas dos solos avaliados sob diferentes históricos de aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS).

Amostras	pH	M.O	Mn	Fe	Zn	P	Cu	Mag	Potás	Cálcio	H+	CTC	V	Areia	Silte	Argila
			(Man	(Ferro)	(Zin	(Fósfo	(Co	nésio	sio	(Ca)	Al					
		(g	gânes		co)	ro)	bre	(Mg)	(K)	(cmol _c						
		dm ⁻³))	(Mg	dm ⁻³)					(%)						
P20-1	4,4	38,5	47,43	52,67	85,63	34,26	5,36	0,58	0,40	0,87	3,79	5,65	32,9	56	12	32
P20-0	4,5	34,4	32,40	60,88	15,46	3,45	1,75	0,33	0,42	1,18	3,21	5,21	38,4	64	8	28
P5	4,6	23,1	35,55	63,98	10,36	2,98	1,47	0,4	0,18	0,80	2,47	3,85	35,8	83	4	13
MC	5,1	22,0	30,13	61,93	0,68	7,49	0,48	0,21	0,06	0,59	1,57	2,43	35,4	79	4	17
P14	4,7	19,7	20,35	62,14	9,44	41,36	0,72	0,24	0,39	1,23	1,90	3,78	49,7	87	2	11
P7	4,6	30,7	22,11	59,38	8,91	246,4 9	0,82	0,26	0,35	0,72	2,68	4,04	33,7	88	2	10
P0.5	4,3	19,7	17,55	89,59	1,77	42,30	1,42	0,25	0,38	0,85	2,17	3,68	41,0	87	2	11
PC	4,3	16,6	23,60	74,30	1,04	26,27	0,50	0,64	0,06	1,00	1,94	3,67	46,7	87	2	11

Legenda:

P20-1 – Pastagem com 20 anos de aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS), com última aplicação realizada há 1 ano.

P20-0 – Pastagem com 20 anos de aplicação de DLS, com aplicação realizada no ano da coleta.

P5 – Pastagem com poucas aplicações de DLS, sendo a última há 5 anos.

MC – Milho controle, sem aplicação de DLS.

P14 – Pastagem com aplicação contínua de DLS há 14 anos.

P7 – Pastagem com aplicação contínua de DLS há 7 anos.

P0.5 – Pastagem com aplicação recente de DLS, há 6 meses, antes da data da coleta.

PC – Pastagem controle, sem aplicação de DLS.

Os dados físico-químicos das amostras de solo apresentados na Tabela 4 indicam que os solos analisados são predominantemente ácidos, com pH variando de 4,3 a 5,1. Essa acidez pode reduzir a atividade microbiana, afetando a mineralização da matéria orgânica e a

disponibilidade de nutrientes essenciais para as plantas, como fósforo, cálcio e magnésio, além de aumentar a toxicidade por alumínio (HAVLIN et al., 2014). Já os teores de matéria orgânica (M.O) variam entre 16,6 e 38,5 g/dm³, indicando uma boa fertilidade do solo, pois a M.O contribui para a retenção de umidade e a estruturação do solo (BRADY, 2016).

Os teores de cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) variaram de 0,59 a 1,23 cmolc/dm³ e 0,21 a 0,64 cmolc/dm³, onde esses valores indicam baixa disponibilidade desses nutrientes em algumas amostras. Os teores de potássio (K⁺) variam entre 0,06 e 0,42 cmolc/dm³, mostrando uma variação significativa na disponibilidade desse nutriente.

A acidez potencial (H⁺Al) apresentou valores entre 1,57 e 3,79 cmolc/dm³, refletindo uma reserva de acidez moderada a alta, especialmente nas amostras com menor saturação por bases. A presença elevada de alumínio trocável pode prejudicar a absorção de nutrientes e restringir o crescimento radicular, tornando a aplicação de corretivos agrícolas uma estratégia essencial para equilibrar o pH do solo (RAIJ, 2011). A Capacidade de Troca de Cátions (CTC) varia de 2,43 a 5,65 cmolc/dm³, demonstrando uma moderada capacidade do solo em reter nutrientes essenciais. A saturação por bases (V%), entre 32,9% e 49,7%, sugere uma disponibilidade relativamente baixa de cátions básicos, exigindo manejo adequado para melhorar a fertilidade (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 2016).

Os teores de fósforo (P), variaram amplamente entre as amostras, de 2,98 a 246,49 mg/dm³. As áreas com aplicação de dejetos suínos apresentaram, em geral, valores mais elevados (por exemplo, P20-1 = 34,26; P0.5 = 42,30; P14 = 41,36 mg/dm³), enquanto áreas sem DLS mostraram valores baixos a moderados (MC = 7,49 mg/dm³; A0 = 26,27 mg/dm³). Em contraste, a área P7 apresentou concentração extremamente elevada (246,49 mg/dm³), evidenciando forte acúmulo e risco de perdas para o ambiente. Esses resultados confirmam o aporte de P proveniente dos dejetos e reforçam a necessidade de monitoramento e manejo criterioso para evitar excedentes e impactos ambientais.

Além dos macronutrientes, a aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS) também influenciou significativamente os teores de micronutrientes no solo. Observa-se que as áreas com aplicação contínua de DLS apresentaram concentrações mais elevadas de cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) em comparação aos solos controle. Por exemplo, o tratamento P20-1 apresentou valores de Cu (5,36 cmolc/dm³), Mn (47,43 cmolc/dm³) e Zn (85,63 cmolc/dm³), enquanto o solo controle (PC) apresentou valores bastante inferiores de Cu (0,50 cmolc/dm³), Mn (26,00 cmolc/dm³) e Zn (1,04 cmolc/dm³). Esse incremento está diretamente relacionado ao aporte contínuo de nutrientes provenientes dos dejetos, reforçando o potencial do DLS como fonte complementar de micronutrientes.

Com base nos dados apresentados, observa-se que os solos que receberam dejetos líquidos de suínos (DLS), especialmente aqueles com aplicação contínua por vários anos (P20-1, P20-0, P14 e P7), apresentam maiores teores de matéria orgânica (M.O), potássio (K^+) e capacidade de troca de cátions (CTC) em comparação com os solos controle (PC e MC), que não receberam DLS. Esses atributos indicam uma melhora na fertilidade do solo, pois estão associados à maior disponibilidade de nutrientes, maior retenção de água e melhor estrutura física.

Por outro lado, os solos controle apresentaram menor CTC, além de teores mais baixos de cálcio, magnésio e potássio, evidenciando menor fertilidade química e, portanto, menor potencial produtivo.

4.4. Análise química dos metais presentes nos solos

As análises de metais foram realizadas segundo o método EPA 3050B (USEPA, 1996), que consiste em uma digestão ácida quase total com sucessivas adições de ácido nítrico (HNO_3) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2), sob aquecimento controlado. Esse procedimento não promove a digestão completa da amostra, mas solubiliza a maior parte dos elementos considerados ambientalmente disponíveis. Após a digestão, os extratos foram filtrados e analisados por espectrometria de absorção atômica (EAA), conforme protocolo.

Na tabela 5, são apresentados os resultados das análises químicas dos metais pesados presente nas amostras dos solos estudados.

Tabela 5 - Análises químicas dos metais presentes no solo.

Amostras de solo	As (Arsênio)*	Cd (Cádmio)	Co (Cobalto)	Cr (Cromo)	Hg (Mercúrio)	Mo (Molibdênio)	Ni (Níquel)	Pb (Chumbo)	Se (Selênio)*
	mg/kg								
MC	0	0,84	2,43	63,55	0,32	0,40	10,35	6,84	0
P20-1	0	4,57	2,94	129,51	1,95	0,95	17,53	11,72	3,42
P20-0	0	3,52	2,56	97,84	0,68	0,68	12,51	7,55	2,64
P-5	0	1,11	2,14	53,43	0,63	1,55	7,34	5,63	0
PC	0	0,76	1,04	14,27	0,64	0,76	2,27	3,75	0
P14	0	0,24	0,88	16,87	0,52	0,48	6,47	2,79	1,99
P7	0	0,20	0,84	28,30	0,56	0,64	4,84	2,63	0,56
P0.5	0	0,64	1,11	24,41	0,24	0,52	4,34	2,99	0
VP	15	1,3	25	75	0,5	5	30	72	1,2
VI Agrícola	35	3,6	35	150	1,2	11	190	150	24

Legenda:

VP - Valor de Prevenção

VI - Valor de Intervenção

P20-1 – Pastagem com 20 anos de aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS), com última aplicação realizada há 1 ano.

P20-0 – Pastagem com 20 anos de aplicação de DLS, com aplicação realizada no ano da coleta.

P5 – Pastagem com poucas aplicações de DLS, sendo a última há 5 anos.

MC – Milho controle, sem aplicação de DLS.

P14 – Pastagem com aplicação contínua de DLS há 14 anos.

P7 – Pastagem com aplicação contínua de DLS há 7 anos.

P0.5 – Pastagem com aplicação recente de DLS, há 6 meses, antes da data da coleta.

PC – Pastagem controle, sem aplicação de DLS.

A análise dos metais nas amostras de solo demonstrou variações significativas nas concentrações de alguns elementos em função do tratamento com dejetos líquidos de suínos (DLS). Observou-se que a amostra P20-1, com maior histórico de adubação com DLS, apresentou os maiores teores de Cd (4,57 mg/kg), Cr (129,51 mg/kg), superando inclusive os valores das demais amostras.

Conforme os valores orientadores da CETESB (2021), o teor de Cd ultrapassou o Valor de Intervenção para uso agrícola (3,6 mg/kg), indicando contaminação relevante que requer atenção. O Cr apresentou valor entre o Valor de Prevenção (75mg/kg) e o Valor de Intervenção (150 mg/kg), caracterizando alteração da qualidade do solo. Esses elementos possuem potencial para redução da biomassa microbiana do solo e prejudicam a fixação de nitrogênio e a atividade enzimática (GONÇALVES, 2013).

A amostra controle (MC, sem aplicação de DLS) apresentou teores consideravelmente inferiores para a maioria desses elementos, como por exemplo: Cd (0,84 mg/kg), e Cr (63,55 mg/kg). Isso reforça a hipótese de que a adição de dejetos líquidos de suínos pode contribuir para o aumento da concentração de metais no solo.

Além disso, metais como Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Chumbo (Pb) também mostraram tendência de aumento nas amostras tratadas com DLS, embora em menor magnitude. Por exemplo, a amostra P20-1 apresentou Ni = 15,73 mg/kg e Pb = 11,72 mg/kg, contrastando com valores menores em amostras como a P0,5 (Ni = 4,34 mg/kg; Pb = 2,99 mg/kg), indicando acúmulo progressivo com o aumento da dose. Arsênio (As) e Selênio (Se) estavam abaixo do limite de quantificação, não sendo considerados relevantes neste contexto.

4.5. Solo artificial tropical (SAT)

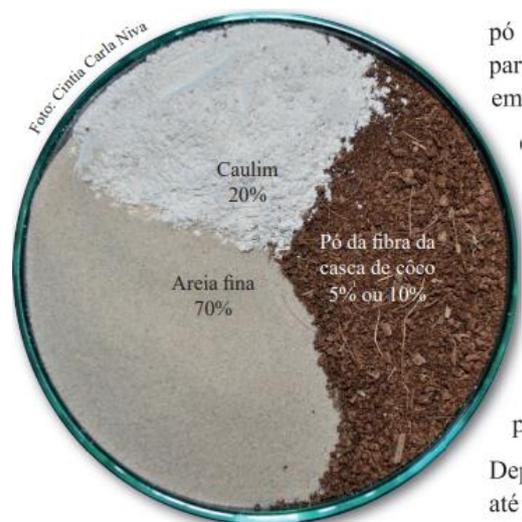
O solo artificial tropical (SAT), composto por 70% de areia fina, 20% de caulim e 10% de pó de fibra de coco, é uma adaptação proposta por Garcia (2004) do substrato padrão, recomendado pelas normas OECD (1984) e ISO (1993), para a realização de testes

ecotoxicológicos em condições ambientais brasileiras (Figura 8). Nele, a fonte de matéria orgânica utilizada é o pó de fibra de casca de coco em substituição à turfa devido à sua maior disponibilidade (NIEMEYER et al., 2019).

Para execução dos ensaios foi utilizado SAT (Solo artificial tropical), produzido no laboratório de ecologia da UFSC, em Curitiba, SC. Dentro deste contexto, para a preparação do SAT, a areia utilizada foi lavada com água destilada para remover materiais orgânicos e, em seguida, seca em estufa a 110°C por um período de dois a três dias, até a completa eliminação da umidade. Após a secagem, a areia é peneirada em malha de 0,05 mm de diâmetro. O pó de fibra de coco também passa por um processo de secagem em estufa a 40°C por um período de dois a quatro dias, sendo posteriormente peneirado em malha de 2 mm. Já o caulim deve, preferencialmente, apresentar um teor de caulinita superior a 30%.

Após a preparação dos componentes, os mesmos foram misturados manualmente em um recipiente de plástico, até a homogeneização. Em seguida, retirou-se uma amostra do SAT para fazer a avaliação do pH. Dentro deste estudo, observou-se que é necessário que o pH do SAT esteja na faixa entre 5,5 e 6,5. Caso se encontre abaixo da faixa recomendada, deverá ser feita a correção através da adição de carbonato de cálcio (CaCO_3) até atingir a faixa adequada, não sendo observada a necessidade nesse caso.

Figura 8 - Componentes que constituem o Solo Artificial Tropical.



Fonte: Niva e Brown (2019).

O SAT foi adotado como condição de referência utilizado nos ensaios para validar o teste. A ausência de reprodução adequada nesse substrato indicaria potenciais falhas experimentais, como condições ambientais inadequadas ou organismos estressados, resultando na invalidação dos resultados. Por outro lado, a reprodução obtida no SAT assegura que os

efeitos observados no fator em avaliação (DLS) são confiáveis e que não houve falhas no procedimento.

O teste de reprodução de enquitreídeos em SAT foi conduzido com cinco réplicas, contendo 10 organismos em cada uma. O número de indivíduos reproduzidos variou entre 729 e 1244, resultando em uma média de 996,8 indivíduos (DP = 219), demonstrando desempenho reprodutivo relativamente consistente, reforçando a confiabilidade do ensaio para avaliação ecotoxicológica.

4.6. Organismos-testes

Os ensaios de ecotoxicidade foram conduzidos utilizando enquitreídeos da espécie *Enchytraeus crypticus* e minhocas da espécie *Eisenia andrei*. Os organismos utilizados nos testes foram obtidos da criação já estabelecida no laboratório de Ecologia da Universidade Federal de Santa Catarina, os quais seguem os critérios das normas da ISO (International Organization for Standardization), traduzidas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

4.6.1. Minhocas (*Eisenia andrei*)

Os critérios utilizados para cultivo das minhocas foram realizados de acordo com a norma ISO 11268-2 (ISO, 2011). O meio de cultivo foi preparado previamente por alunos do Laboratório de Ecologia da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), utilizando esterco bovino desfaunado e pó de casca de coco, os quais foram adicionados em proporções iguais (50:50). O esterco utilizado foi proveniente de animais que não receberam tratamento medicamentoso, pois o resquício de resíduos de medicamentos poderia influenciar a sensibilidade dos organismos. O pH do meio de cultivo apresentou valores entre 6 a 7.

Os cultivos foram mantidos em caixas plásticas com capacidade entre 10 e 15 litros, acondicionadas em câmara climatizada com temperatura de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$, com o fornecimento semanal de esterco desfaunado. Nessas condições, as minhocas atingem a fase adulta no período de 2 a 3 meses, podendo ser consideradas saudáveis quando apresentam mobilidade no substrato, ausência de fuga e se reprodução frequente.

De acordo com a ISO 11268-2 (ISO, 1998), os organismos utilizados nos testes precisam obedecer a alguns critérios, como apresentar clitelo desenvolvido, ter peso corporal entre 250 mg e 600 mg e apresentar idade entre dois a doze meses (Figura 9). Para que houvesse

organismos com idade e tamanhos padronizados para a realização dos testes, os cultivos se iniciaram a partir de casulos, adicionando-se alimento semanalmente, com a troca de substrato mensalmente.

Figura 9 - Aspectos morfológicos da *Eisenia Andrei*.



Fonte: Niva e Brown (2019).

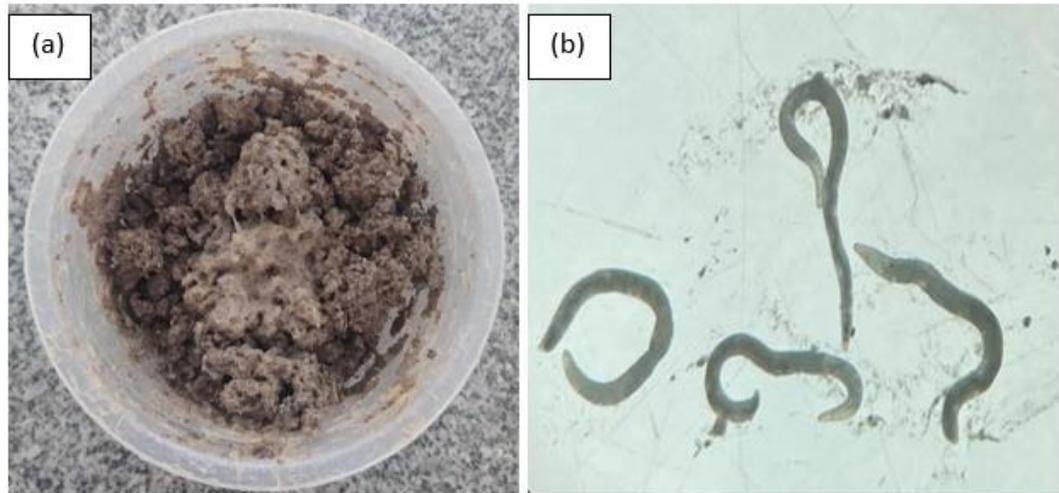
4.6.2. Enquitreídeos (*Enchytraeus crypticus*)

Para este estudo, o cultivo dos enquitreídeos seguiu as recomendações da norma ABNT NBR/ISO 16387 (ABNT, 2012). O meio de cultivo para a espécie foi o solo artificial tropical (SAT), umedecido com água destilada até 50% da sua capacidade de retenção de água. O pH do substrato prevaleceu entre 6 e 6,5, e a umidade foi mantida com água destilada. Os organismos foram cultivados em recipientes plásticos de 125 ml, com tampas perfuradas, de modo a permitir que houvesse troca gasosa com o meio externo (Figura 10).

Em relação ao cultivo, as caixas foram mantidas em câmara de incubação (BOD) com temperatura entre $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e fotoperíodo de 12/12 h de claro/escuro. Os organismos foram alimentados com farinha de aveia três vezes por semana.

Logo após, os enquitreídeos foram transferidos para um novo substrato de cultivo a cada três meses, a fim de evitar a contaminação do cultivo com fungos e outros organismos. Os cultivos permitem a obtenção de organismos clitelados para os ensaios, conforme as recomendações da Norma ABNT NBR/ISO 16387 (ABNT, 2012).

Figura 10 - Criação de enquitreídeos da espécie *Enchytraeus crypticus* mantida na UFSC.



Legenda: (a) Organismos no meio de cultivo; (b) Organismos visto através do estereomicroscópio (lupa).
Fonte: A autora (2022).

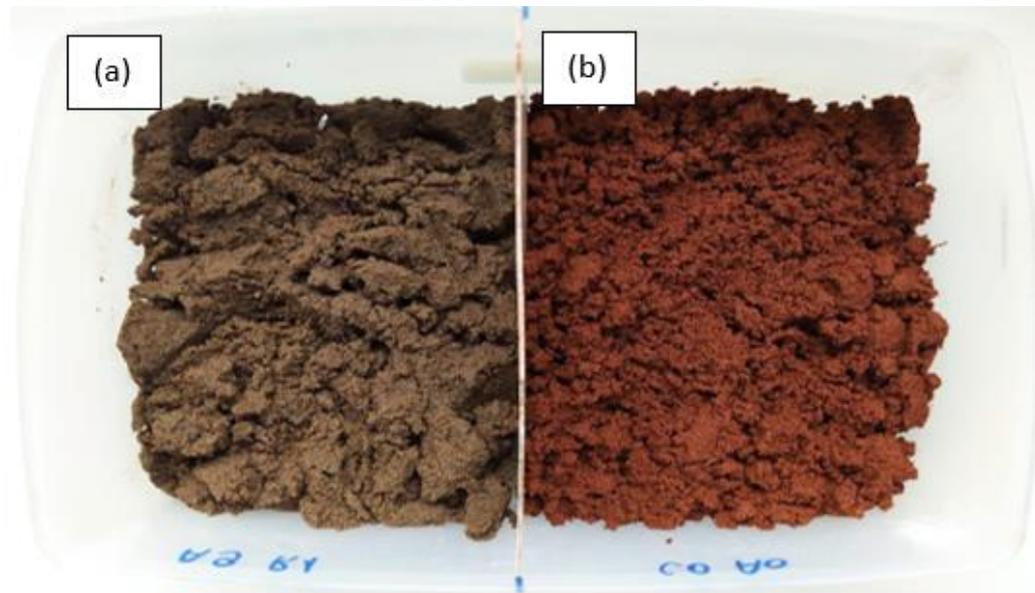
4.7. Ensaio Ecotoxicológicos

4.7.1. Ensaio de Fuga com minhocas – *E. andrei*

Para a realização do ensaio de fuga, este seguiu os critérios estabelecidos pela norma ABNT NBR/ISO 17512-1 (ABNT, 2011). Para realização do ensaio foram utilizados recipientes plásticos com dimensões de 20 x 12 x 5 cm, com tampas perfuradas, de modo a permitir a troca gasosa com o meio externo.

Esses recipientes foram divididos em dois lados iguais por uma divisória removível de plástico introduzida verticalmente de modo que o lado (a) recebeu 500 g de solo adubado com dejetos, e o lado (b) recebeu 500g de solo controle, o qual não teve adubação com dejetos líquidos de suínos (Figura 11). A camada de solo teve uma espessura aproximada de 5 cm, contendo no total 1000 gramas de solo por recipiente-teste, a fim de permitir a mobilidade dos organismos. Para este ensaio foram realizadas 5 réplicas de cada tratamento.

Figura 11 - Recipiente dividido ao meio, onde em cada lado são colocados 500 g de solo



Legenda: (a) Solo com DLS; (b) Solo controle.
Fonte: A autora (2022).

Após a adição do solo no recipiente, a divisória foi removida e sobre a linha de separação formada foram adicionadas 10 minhocas adultas (cliteladas) da espécie *Eisenia andrei* pesando em média 400 a 600 mg (Figura 12).

Figura 12 - Organismos adicionados ao solo.



Fonte: A autora (2022).

Os recipientes permaneceram em sala climatizada com temperatura controlada de $20 \pm 2^\circ\text{C}$, onde foram mantidos no escuro, para que não houvesse interferência da luminosidade

no comportamento dos organismos. O teste teve duração de 48h, durante esse período os organismos não receberam alimentação.

Após 48 h a divisória foi inserida novamente no meio do recipiente dividindo-o em duas seções (solo adubado com dejetos de suínos e solo controle), e foi contabilizado o número de organismos em cada seção, onde cada parte foi transferida para outro recipiente, a fim de facilitar a quantificação dos organismos.

Visto que o teste de fuga tem como objetivo verificar os efeitos subletais, não deve ocorrer morte dos organismos neste ensaio. Portanto, os ensaios de fuga com minhocas são considerados válidos quando a taxa de mortalidade dos organismos é menor que 10% por tratamento.

Além disso, para validação deste ensaio é necessário verificar a homogeneidade da distribuição das minhocas no recipiente-teste. A fim de verificar essa homogeneidade realiza-se um teste paralelo com os tratamentos, no qual cada lado do recipiente-teste recebe o mesmo solo nas duas seções. No final do ensaio, a distribuição dos organismos no solo-controle deverá estar na faixa de 40 a 60%, demonstrando que a distribuição é homogênea, ou seja, que não houve preferência significativa por um dos lados de cada recipiente-teste.

4.7.2. Ensaio de reprodução com enquitreídeos – *E. crypticus*

O ensaio seguiu os critérios estabelecidos pela norma ABNT NBR/ISO 16387 (ABNT, 2012). Para a realização do ensaio foram utilizados recipientes plásticos com capacidade de 125 ml, sem perfurações nas tampas, o qual foi adicionado 30 g de solo com dejetos líquidos de suínos ou 30 g de solo controle (sem presença de DLS), além de 10 organismos-teste (adultos clitelados). Para cada tratamento foram realizadas 5 réplicas contendo organismos, e 1 réplica sem os organismos para realização da leitura de parâmetros (pH e umidade) ao final do ensaio.

As réplicas foram distribuídas de forma aleatória mantidas em câmara climatizada. Durante o período do ensaio, foram realizadas manutenções uma vez por semana, com o fornecimento de alimento. Inicialmente foi fornecido 50 mg de aveia em flocos finos por recipiente, e posteriormente 25 mg semanais. Com o objetivo de verificar a perda de massa de cada amostra, os recipientes tiveram seu peso anotado no início e uma vez na semana, sendo o peso perdido reestabelecido com água destilada. Ao final de 28 dias desde o início do ensaio, foi realizado a leitura do teste.

Os enquitreídeos juvenis são difíceis de serem visualizados pois não possuem pigmentação conspícua, devido a isso foi adicionado álcool 70% e algumas gotas de corante

Rosa de Bengala a 1% em etanol (sendo 100 ml de álcool para 1g de rosa de bengala), para fixação e coloração dos organismos, para auxiliar na visualização dos mesmos durante a contagem (Figura 13). Após o período de 24 h depois desse procedimento, iniciou-se a contagem dos organismos com o estereomicroscópio da marca Physis (aumento de 40x).

Para que os ensaios de reprodução com os enquitreídeos sejam considerados válidos, a taxa de reprodução dos juvenis deve ser maior que 25 organismos por recipiente-teste, e o coeficiente de variação não pode exceder 50% e a letalidade dos organismos adultos deve ser inferior a 20%.

Figura 13 - Enquitreídeos coloridos com rosa de bengala na fase de contagem.



Fonte: A autora (2022).

4.8. Análises Estatísticas

Todos os ensaios foram realizados através de delineamento inteiramente casualizado (DIC), visto que as réplicas ficaram distribuídas aleatoriamente dentro das incubadoras. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software de modelo estatístico R e a validação dos testes de ecotoxicidade foi feita de acordo com os critérios estabelecidos nas normas ABNT.

Os ensaios de reprodução foram analisados com a Análise de Variância (ANOVA), seguida do teste de comparações de média de Tukey, onde foi comparado o número de juvenis no solo-teste com o número de juvenis gerados no solo controle. Os dados foram testados em relação aos critérios de normalidade e homogeneidade das variâncias mediante os testes de Shapiro-Wilk, e Bartlett.

As análises de dados dos ensaios de fuga foram realizadas através do teste exato de Fisher ($p < 0,05$), onde foi comparada a distribuição esperada (aleatória) nas réplicas que continham o solo controle em ambos os lados do recipiente com a distribuição observada nas réplicas com combinações de solo controle *versus* solo adubado com dejetos líquidos de suínos.

Quando houver um número médio significativamente menor de organismos no solo-teste quando comparado ao solo controle, significa que houve fuga do solo-teste. Portanto, é necessário calcular a porcentagem do efeito do tratamento utilizando a seguinte equação:

$$X = \left(\frac{N_c - N_t}{N} \right) \times 100$$

Onde:

X = fuga, expressa em porcentagem;

N_c = número de minhocas no solo controle;

N_t = número de minhocas no solo-teste;

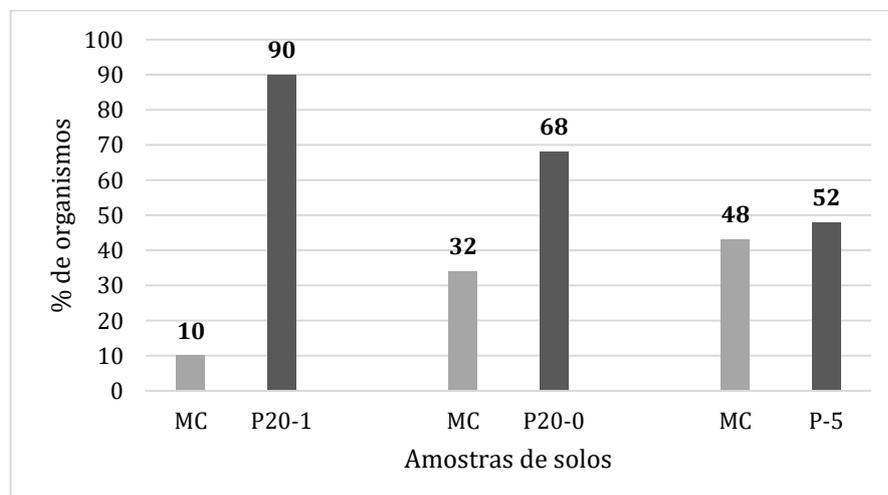
N = número total de minhocas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Teste de Fuga

Após 48 horas de exposição das minhocas (*E. andrei*), ao solo adubado com dejetos líquidos de suínos, os critérios de validação do ensaio foram alcançados, segundo as normas ABNT NBR ISO 17512- 1 (ABNT, 2011). Os resultados do teste comportamental das minhocas são apresentados nas figuras 14 e 15.

Figura 14 - Comportamento de minhocas (*Eisenia andrei*) no teste de fuga em solos com e sem aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS), referente a propriedade 1



Legenda:

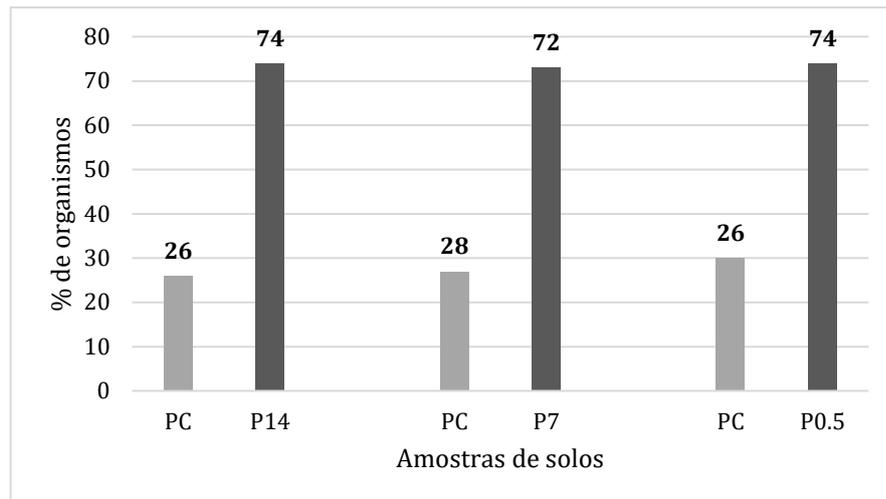
MC – Milho controle, sem aplicação de DLS.

P20-1 – Pastagem com 20 anos de aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS), com última aplicação realizada há 1 ano.

P20-0 – Pastagem com 20 anos de aplicação de DLS, com aplicação realizada no ano da coleta.

P5 – Pastagem com poucas aplicações de DLS, sendo a última há 5 anos.

Figura 15 - Comportamento de minhocas (*Eisenia andrei*) no teste de fuga em solos com e sem aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS), referente a propriedade 2



As barras cinza-clara representam o solo que não recebeu aplicação de dejetos líquidos de suínos, e as barras cinza-escura, representam o solo com aplicação.

Legenda:

PC – Pastagem controle, sem aplicação de DLS.

P14 – Pastagem com aplicação contínua de DLS há 14 anos.

P7 – Pastagem com aplicação contínua de DLS há 7 anos.

P0.5 – Pastagem com aplicação recente de DLS, há 6 meses, antes da data da coleta.

Os resultados dos ensaios de fuga com minhocas indicam que tanto para a propriedade 1 quanto a propriedade 2 não houve fuga dos solos tratados com dejetos líquidos de suínos ao controle. Foi possível verificar a preferência das minhocas pelos solos contendo DLS.

Para a primeira propriedade, observou-se que, na primeira comparação entre o solo controle e a amostra P20-0, 45 minhocas (90%) migraram para o lado com DLS, enquanto apenas 5 (10%) permaneceram no solo controle. Na segunda amostra, 34 minhocas (68%) foram encontradas no solo contendo DLS, enquanto 16 (32%) permaneceram no solo controle. Por fim, na terceira amostra (P-5), a distribuição das minhocas foi mais equilibrada, com 26 indivíduos (52%) no solo contendo DLS e 24 (48%) no solo controle, sugerindo que, nesse cenário, a atratividade do substrato tratado foi menos evidente.

Para a segunda propriedade, verificou-se que, na primeira comparação, 13 minhocas (26%) permaneceram no solo controle, enquanto 37 (74%) migraram para o solo adubado com

DLS. No segundo teste, 36 minhocas (72%) foram encontradas no solo adubado, enquanto 14 (28%) permaneceram no solo controle. Já na terceira amostra, 37 indivíduos (74%) migraram para o solo com DLS, enquanto 13 (26%) permaneceram no controle, mantendo a tendência observada nos testes anteriores.

Stalbert et al. (2023) verificaram que as minhocas da espécie *Eisenia andrei* apresentaram preferência pelos solos tratados com dejetos líquidos de suínos (DLS), principalmente em dosagens de até 100 m³ ha⁻¹. Essa preferência foi atribuída à alta concentração de matéria orgânica e nutrientes presentes nos DLS, os quais enriqueceram o solo, sem causar efeitos tóxicos agudos durante o período de 48 horas de exposição. Os autores destacaram que a atratividade dos solos tratados se deve à melhoria nas condições químicas do ambiente, tornando-o mais adequado à permanência e atividade biológica desses organismos.

Resultados semelhantes foram observados por Natal-da-Luz et al. (2008), que verificaram o deslocamento de minhocas para solos com maiores teores de matéria orgânica, reforçando a ideia de que a disponibilidade de nutrientes influencia sua distribuição no ambiente. No entanto, conforme destacado por Serpa Filho et al. (2013), o dejetos suíno também contém diversos elementos químicos, como nitrogênio, fósforo, manganês, ferro, zinco e cobre, que são incorporados à dieta dos suínos. Quando esses elementos estão em concentrações excessivas no solo, podem provocar alterações nas atividades enzimáticas das minhocas, um efeito que não foi avaliado no presente estudo, mas que pode ter implicações para a qualidade do ambiente edáfico a longo prazo.

Além disso, Segat (2012) realizou testes de fuga com minhocas da espécie *Eisenia andrei* para avaliar a atratividade dos solos tratados com diferentes doses de dejetos líquidos de suínos. Os resultados indicaram uma clara preferência das minhocas por solos contendo esses dejetos, principalmente em doses moderadas, o que reforça a hipótese de que a matéria orgânica e os nutrientes presentes nos dejetos melhoram as condições do solo para a fauna edáfica. No entanto, o estudo também evidenciou que, em doses elevadas, especialmente acima de 75 m³ ha⁻¹, pode ocorrer toxicidade, como observado pela mortalidade total das minhocas em alguns tipos de solo, sinalizando a necessidade de manejo cuidadoso das aplicações para evitar efeitos adversos.

Os resultados obtidos reforçam a importância de avaliar os impactos da aplicação de DLS no solo, especialmente no que diz respeito à bioindicação ambiental, que é o uso de seres vivos (bioindicadores), que refletem diferentes níveis de contaminação ambiental tanto em ecossistemas naturais, como em condições laboratoriais, sendo importantes para avaliar a qualidade do ambiente e monitorar mudanças (RODRIGUES et al., 2023).

Além disso, a ausência de fuga significativa das minhocas nos tratamentos avaliados indica que, nas condições do experimento, os DLS aplicados não apresentaram efeitos tóxicos agudos para *E. andrei*. Contudo, estudos futuros devem considerar exposições prolongadas para avaliar impactos crônicos.

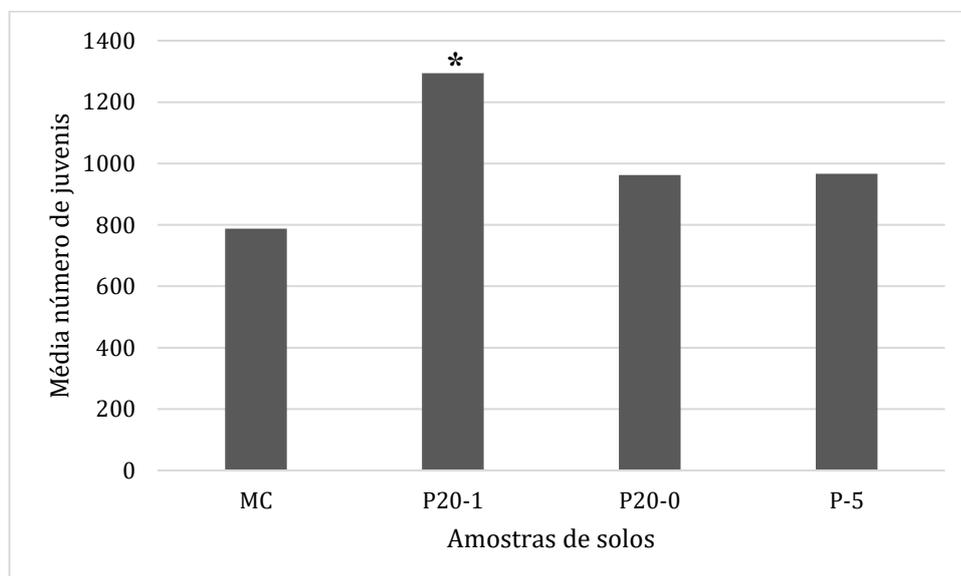
5.2. Teste de Reprodução com *Enchytraeus crypticus*

Após o período de exposição determinado pelas normas ABNT NBR ISO 16387 para enquitreídeos, os critérios de validação dos ensaios foram alcançados, apresentando mortalidade dos adultos parentais inferior a 20%, reprodução mínima de 25 enquitreídeos por unidade experimental e coeficiente de variação nos controles abaixo de 50%, garantindo a precisão e a confiabilidade dos dados experimentais.

A análise estatística dos dados foi realizada por meio de ANOVA one-way, seguida pelos testes de comparações múltiplas de Dunnett e Tukey-Kramer, a fim de verificar diferenças estatísticas entre os grupos avaliados.

Os resultados obtidos para a primeira propriedade podem ser observados na figura 16.

Figura 16 - Número de juvenis de enquitreídeos (*Enchytraeus crypticus*) (média \pm desvio padrão) em ensaio de reprodução na propriedade 1



As barras cinzas representam a média do número de juvenis, com solo com aplicação de dejetos líquidos de suínos. Asteriscos (*) indicam diferenças significativas em relação ao controle segundo o teste de Dunnett ($p < 0,05$).

Legenda:

MC – Milho controle, sem aplicação de DLS.

P20-1 – Pastagem com 20 anos de aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS), com última aplicação realizada há 1 ano.

P20-0 – Pastagem com 20 anos de aplicação de DLS, com aplicação realizada no ano da coleta.

P5 – Pastagem com poucas aplicações de DLS, sendo a última há 5 anos.

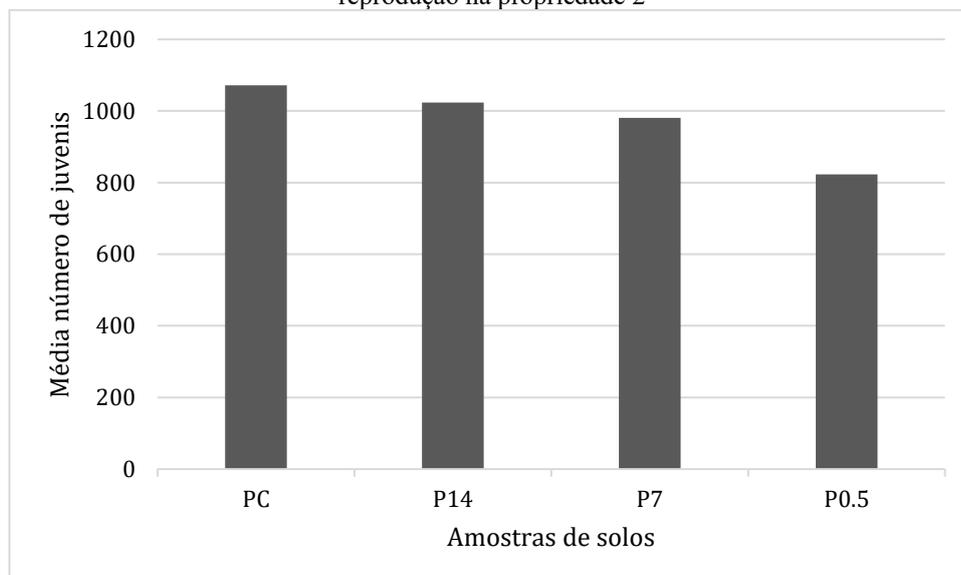
A análise de variância (ANOVA) para a propriedade 1, revelou um valor de P de 0,0144, indicando que há diferença estatisticamente significativa entre os grupos analisados. Esse resultado demonstra que, ao menos um dos grupos difere dos demais quanto ao parâmetro avaliado. Para identificar quais tratamentos diferiram significativamente do controle (MC), foi aplicado o teste de Dunnett, considerando MC como referência.

Os resultados demonstraram que apenas o grupo P20-1 apresentou uma diferença estatisticamente significativa em relação a MC ($P < 0,01$), enquanto os grupos P20-0 e P-5 não diferiram significativamente ($P > 0,05$). Em seguida, o teste de Tukey-Kramer foi utilizado para comparações múltiplas entre todos os grupos. Os resultados reforçaram que a única diferença estatisticamente significativa ocorreu entre MC e P20-1 ($P < 0,01$). As demais comparações entre os grupos (MC vs. P20-0, MC vs. P-5, P20-1 vs. P20-0, P20-1 vs. P-5 e P20-0 vs. P-5) não foram significativas ($P > 0,05$).

Além disso, o teste de homogeneidade de variâncias de Bartlett apresentou um valor de $P = 0,9494$, indicando que as variâncias dos grupos são homogêneas. Esse resultado confirma que o pressuposto da ANOVA foi atendido, validando a sua aplicação neste conjunto de dados.

Os resultados obtidos para a segunda propriedade podem ser observados na figura 17.

Figura 17 - Número de juvenis de enquitreídeos (*Enchytraeus crypticus*) (média \pm desvio padrão) em ensaio de reprodução na propriedade 2



As barras cinzas representam a média do número de juvenis, com solo com aplicação de dejetos líquidos de suínos.

Legenda:

PC – Pastagem controle, sem aplicação de DLS.

P14 – Pastagem com aplicação contínua de DLS há 14 anos.

P7 – Pastagem com aplicação contínua de DLS há 7 anos.

P0.5 – Pastagem com aplicação recente de DLS, há 6 meses, antes da data da coleta.

A análise estatística realizada para a propriedade 2 indicou que não houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos testados e o controle (PC). A análise de variância (ANOVA) revelou um valor de $P = 0,2560$, superior ao nível de significância de 0,05, demonstrando que os tratamentos aplicados não influenciaram significativamente os parâmetros avaliados nos enquitreídeos.

O teste de Dunnett, utilizado para comparações entre os grupos experimentais e o controle (PC), confirmou essa tendência, uma vez que todas as comparações apresentaram valores de P superiores a 0,05, indicando a ausência de efeito significativo dos tratamentos. Além disso, os intervalos de confiança para as diferenças das médias incluíram o zero, reforçando essa conclusão. Os valores obtidos para cada comparação foram:

- PC vs P14: diferença média de 48,0 ($P > 0,05$);
- PC vs P7: diferença média de 91,4 ($P > 0,05$);
- PC vs P0.5: diferença média de 249,4 ($P > 0,05$).

Além disso, o teste de Bartlett, que verifica a homogeneidade das variâncias, apresentou um valor de $P = 0,5178$, indicando que as variâncias dos grupos são homogêneas, validando a aplicação da ANOVA.

Dessa forma, os resultados indicam que, para a propriedade 1, o grupo P20-1 diferiu significativamente do grupo controle (MC), enquanto os demais grupos não apresentaram diferenças estatisticamente significativas. Já na propriedade 2, os tratamentos aplicados não resultaram em efeitos significativos nos parâmetros analisados. Na tabela 6, podemos observar o número de juvenis que foram reproduzidos em cada solo analisado.

Tabela 6 - Número médio de enquitreídeos reproduzidos em cada amostra de solo por propriedade.

Propriedades	Amostras de solos	Média de juvenis	Desvio padrão (σ)
1	MC	788	197
	P20-1	1294	200
	P20-0	962	204
	P-5	966	256
	PC	1072	226
2	P14	1024	115
	P7	981	173
	P0.5	823	252

As variações observadas podem ser atribuídas a diferenças nas características do solo ou à influência de fatores ambientais. De forma geral, a reprodução dos enquitreídeos, conforme demonstrado na tabela acima, não foi significativamente afetada pela aplicação de DLS nas concentrações avaliadas, o que sugere que, nas condições dos solos avaliados, a aplicação de DLS pode ter fornecido aporte de matéria orgânica e nutrientes em concentrações que não atingiram níveis tóxicos, o que pode explicar a ausência de efeito adverso. No entanto, a literatura mostra que efeitos adversos emergem em doses mais elevadas.

Um estudo ecotoxicológico conduzido por Segat et al. (2020) avaliou os efeitos da aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS) sobre a reprodução de *Enchytraeus crypticus* em dois solos subtropicais (Entisol e Nitosol). No Entisol, os efeitos negativos surgiram já na menor dose testada ($10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), resultando em uma redução de 32% no número de juvenis, enquanto no Nitosol os impactos foram evidentes apenas a partir de $35 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, com redução de 45% nos indivíduos da geração. Essa diferença refletiu-se nos valores de EC_{50} , que foram de $17,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ para o Entisol e $45,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ para o Nitosol, além da completa inibição da reprodução nas doses de $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, respectivamente. Os autores ressaltam que avaliações realizadas com matrizes orgânicas são complexas devido à sua composição, que geralmente inclui diferentes contaminantes, o que dificulta a identificação do agente principal responsável pela toxicidade observada.

Poucos estudos foram conduzidos para avaliar a utilização de dejetos líquidos de suínos sobre organismos edáficos e os resultados encontrados são variáveis. Segat et al. (2015) avaliaram a aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS) em Latossolo e Argissolo e verificaram que *Eisenia andrei* se reproduziu normalmente, sem redução significativa no número de juvenis, mesmo em doses de até $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Os autores atribuíram esse resultado à melhoria das condições do solo promovida pelo aporte de matéria orgânica, que pode ter favorecido a reprodução dos organismos.

Em contraste, Maccari et al. (2016) observaram que a reprodução de *E. andrei* foi negativamente afetada por doses crescentes de DLS provenientes de quatro diferentes dietas de suínos, obtendo valores de EC_{50} entre 22 e $25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ em Latossolo. Essa diferença pode estar relacionada tanto às características do Latossolo que apresenta alta acidez e baixa saturação por bases, influenciando a disponibilidade e a mobilidade de contaminantes quanto à composição do dejetos, já que diferentes dietas animais resultam em variações no teor de nutrientes, metais pesados (como cobre e zinco) e compostos orgânicos. Esses fatores, somados, podem ter potencializado os efeitos negativos sobre a reprodução das minhocas, explicando a maior sensibilidade observada no estudo.

Embora haja estudos relevantes sobre o tema, ainda são escassas as investigações que abordam a reprodução de enquitreídeos em diferentes condições de solo e doses de DLS. Dessa forma, torna-se necessário realizar novas investigações são necessárias para avaliar impactos sob diferentes condições experimentais, permitindo uma compreensão mais abrangente sobre os efeitos da aplicação de dejetos líquidos de suínos na fauna edáfica.

6. CONCLUSÃO

A aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS) promoveu melhorias significativas nas propriedades químicas do solo, como o aumento de matéria orgânica, potássio e capacidade de troca de cátions (CTC), além de favorecer o comportamento da fauna edáfica. Observou-se maior reprodução de *Enchytraeus crypticus* em uma das áreas estudadas, enquanto o teste de fuga com *Eisenia andrei* evidenciou maior atração pelos solos tratados em ambas as propriedades, reforçando o potencial dos DLS como fonte de nutrientes e matéria orgânica.

Por outro lado, as análises químicas revelaram acúmulo de metais pesados em áreas com maior tempo de aplicação, representando risco potencial de contaminação ambiental. Assim, conclui-se que o uso de DLS pode ser uma estratégia eficiente para melhorar a fertilidade do solo e estimular a fauna edáfica, desde que seja acompanhado de critérios técnicos, manejo sustentável e monitoramento contínuo para equilibrar benefícios agronômicos e riscos ambientais.

Embora a aplicação de dejetos líquidos de suínos como fertilizantes apresente benefícios, ainda existem poucos estudos que trazem conclusões claras sobre os impactos ambientais. Estudos futuros devem investigar a influência de variáveis como tempo de exposição, composição química e possíveis efeitos crônicos, garantindo um uso sustentável desses resíduos na agricultura.

7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15537: Ecotoxicologia terrestre — Ecotoxicidade aguda — Método de ensaio com minhocas**. Rio de Janeiro, 2007. 11 p.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 16387: Qualidade do solo — Efeitos de poluentes em *Enchytraeidae* (*Enchytraeus* sp.) — Determinação de efeitos sobre reprodução e sobrevivência**. Rio de Janeiro, 2012.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 17512-1: Qualidade do solo — Ensaio de fuga para avaliar a qualidade de solos e efeitos de substâncias químicas no comportamento — Parte 1: Ensaio com minhocas (*Eisenia fetida* e *Eisenia andrei*)**. Rio de Janeiro, 2011.
- ABPA – Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório Anual 2025**. São Paulo: ABPA, 2025. Disponível em: <https://abpa-br.org>. Acesso em: 22 jun. 2025.
- ABPA, Associação Brasileira de Proteína Animal (2019). **Relatório Anual de 2019**.
- ABPA. Associação Brasileira de Proteína Animal. Relatório anual de 2022. [internet] 2022 [acesso em 17 ago 2025]. Disponível em: <https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2023/01/abpa-relatorioanual-2022.pdf>.
- AGÊNCIA GOIANA DE DEFESA AGROPECUÁRIA – Agrodefesa. *Goiás contabilizou mais de 22 milhões de cabeças de bovinos, em 2024, segundo a Agrodefesa*. [Goiás]: Agrodefesa, 7 fev. 2025. Disponível em: <https://goias.gov.br/agrodefesa/goias-contabilizou-mais-de-22-milhoes-de-cabeças-de-bovinos-em-2024-segundo-a-agrodefesa/>. Acesso em: 17 ago. 2025.
- AGNE, S. AA; KLEIN, V. A. Matéria orgânica e atributos físicos de um Latossolo Vermelho após aplicações de dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 720-726, 2014.
- AGRO EM DADOS. Suínos. **Revista Agro em Dados**. Goiânia: Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2025.
- ALVES, M. V. et al. Influência de fertilizantes químicos e dejetos líquidos de suínos na fauna do solo. **Agrarian**, v. 11, n. 41, p. 219-229, 2018.
- ALVES, M.V. et al. Macrofauna do solo influenciada pelo uso de fertilizantes químicos e dejetos de suínos no oeste de Santa Catarina. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p.589-598, 2008.
- ALVES, P. R. L.; CASSOL, P. B.; SEGANFREDO, M. A.; SPAGNOLLO, E. Contribuição da fauna do solo para os serviços ambientais. **São Paulo: Embrapa**, 2022.
- ANDREAZZA, R.; OKEKE, B. C.; LAMBAIS, M. R.; BORTOLON, L.; MELO, G. W. B.; CAMARGO, F. A. O. Bacterial stimulation of copper phytoaccumulation by bioaugmentation with rhizosphere bacteria. **Chemosphere**, v. 81, n. 9, p. 1149-1154, 2010.
- ANTONELI, V.; MOSELE, A. C.; BEDNARZ, J. A.; PULIDO-FERNÁNDEZ, M.; LOZANO-PARRA, J.; KEESSTRA, S. D.; RODRIGO-COMINO, J. Effects of applying liquid swine manure on soil quality and yield production in tropical soybean crops (Paraná, Brazil). **Sustainability**, v. 11, p. 3898, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11143898>.
- AQUINO, A.M.; ASSIS, R.L. Agroecologia: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável. **1. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica**, 2005.

ARAÚJO, N. S.; MONTENEGRO, R. C.; MARANGUAPE, J. S. Uso de tecnologias no tratamento de dejetos de suínos para redução dos impactos ambientais. **In: VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**. 2016. p. 8.

AREZI, A. **Tratamento de dejetos suínos visando ao reaproveitamento do efluente tratado, avaliação da produção de biogás e recuperação de nutrientes**. Dissertação (Bacharel em Engenharia Química)- UNIVATES (Universidade do Vale do Taquari), Lajeado, 2020.

ASSIS, F. O. Bacia hidrográfica do Rio Quilombo: dejetos de suínos e impactos ambientais. **RAEGA - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 8, 2004. DOI: <https://doi.org/10.5380/raega.v8i0.3386>.

ASSMANN, J. M. et al. Produção de matéria seca de forragem e acúmulo de nutrientes em pastagem anual de inverno tratada com esterco líquido de suínos. **Ciência Rural**, v. 39, p. 2408-2416, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 16387: Qualidade do solo — Efeitos de poluentes em *Enchytraeidae* (*Enchytraeus* sp.) - Determinação de efeitos sobre reprodução e sobrevivência**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL (ABPA). *Produção e exportações de carne suína impulsionam suinocultura nacional a novos patamares*. 2024. Disponível em: <https://porcinews.com/pt-br/abpa-producao-e-exportacoes-de-carne-suina-impulsionam-suinocultura-nacional-a-novos-patamares/>. Acesso em: 31 ago. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. *Aves, suínos e ovos: setores crescem em 2024 e projetam avanços em 2025*. São Paulo: **ABPA**, 2024. Disponível em: <https://abpa-br.org/noticias/aves-suinos-e-ovos-setores-crescem-em-2024-e-projetam-avancos-em-2025>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CRIADORES DE SUÍNOS (ABCS). 2021. Disponível em: <https://abcs.org.br/dados-do-setor/>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CRIADORES DE SUÍNOS (ABCS). *Retrato da Suinocultura Brasileira 2024*. Brasília: ABCS, 2024. Disponível em: <https://abcs.org.br>. Acesso em: 21 jun. 2025.

AZEVEDO, A.R.; CORONAS; M.V. : Uso de testes de fuga com minhocas *Eisenia andrei* e *Eisenia fetida* para identificação da toxicidade de agrotóxicos no Brasil: Uma breve revisão da literatura. **Revista do Centro Ciência e Natura**, Santa Maria v.40, p. 18-26, Edição Especial: II mostra de Projetos da UFSM - Campus Cachoeira do Sul, 2018.

BARILLI, J. **Atributos de um latossolo vermelho sob aplicação de resíduos de suínos**. 75 f. Tese (Doutorado em Agronomia), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu-SP, 2005

BARROS, E.C. et al. Potencial agronômico dos dejetos de suínos. **Concórdia: Embrapa Suínos e Aves**, 2019.

BASSO, C. J. et al. Teores totais de metais pesados no solo após aplicação de dejetos líquidos de suínos. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 11, n. 2, p. 178-187, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/273221982_Teores_totais_de_metal_pesados_no_solo_apos_aplicacao_de_dejeto_liquido_de_suinos. Acesso em: 16 ago. 2025.

- BETTIOL, W.; SILVA, C. A.; CERRI, C. E. P.; MARTIN-NETO, L. ANDRADE, C. A. Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical. 1 ed. Embrapa, Brasília, 2023. 788 p.
- BONASSA, G.; TAPPARO, D. C.; BOLSAN, D. C.; RODRIGUES, H. C.; HOLLAS, C. E.; VENTURIN, B.; GOLDSCHMIDT, F.; BORTOLI, M.; KUNZ, A, Remoção e recuperação de nitrogênio. In. KUNZ, A. Gestão dos resíduos da produção animal: gestão e tratamento dos dejetos na suinocultura. Brasília, DF: Embrapa; Concórdia: Sbera, 2024.
- BONFIM, J. A. Interações da microbiota do solo e o desenvolvimento das plantas. **Cadernos Macambira**, [S. l.], v. 8, n. especial2, p. 23, 2024. Disponível em: <https://revista.lapprudes.net/CM/article/view/1317>. Acesso em: 18 jul. 2024.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. Elements of the Nature and Properties of Soils. **3. ed. Upper Saddle River: Pearson**, 2016.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. The Nature and Properties of Soils. **15th ed. Pearson**, 2016.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Valor Bruto da Produção Agropecuária – VBP*. Brasília: **MAPA**, [2024]. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/valor-bruto-da-producao-agropecuaria-vbp>. Acesso em: 21 jun. 2025.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. Secretaria de Comércio Exterior. *ComexStat – Estatísticas de Comércio Exterior do Brasil*. **Brasília: Secex**, 2025. Disponível em: <https://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral>. Acesso em: 21 jun. 2025.
- BRUNETTO, G. et al. Long-term pig slurry application and its effect on Cu and Zn distribution in soil organic matter fractions. *Environmental Geochemistry and Health*, v. 42, p. 3999–4011, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10653-020-00572-9>. Acesso em: 16 ago. 2025.
- CAIXETA, P. C. F. **Minhocas da espécie *Eisenia fetida* como bioindicador de solo contaminado com óleo de motor remediado por bioestimulação**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021.
- CAM, V. G. Soil ecotoxicology: state of the art and future directions. In: Štrus J, Taiti S, Sfenthourakis S (Eds) *Advances in Terrestrial Isopod Biology*. ZooKeys, n. 176, p. 275, 2012, doi: 10.3897/zookeys.176.2275.
- CANEPELLE, E. et al. Fauna edáfica afetada pelas diferentes formas de ocupação do solo no noroeste gaúcho. **XXVI Seminário de Iniciação Científica**. Salão do Conhecimento, 2018.
- CARDOSO, B. F.; OYAMADA, G. C.; SILVA, C. M. Produção, Tratamento e Uso dos Dejetos Suínos no Brasil. **Desenvolvimento em Questão**, vol. 13, núm. 32, outubro-diciembre, 2015, pp. 127-145. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul Ijuí, Brasil.
- CARMO, A. H. B. **Atributos da fertilidade do solo em casos campeões de produtividade de soja no Brasil**. 2024. 27 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia 2024.
- CASSOL, P. C.; SILVA, D. C. P.; ERNANI, P. R.; FILHO, O. K.; LUCRÉCIO, W. Atributos químicos em Latossolo Vermelho fertilizado com dejetos suínos e adubo solúvel. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.10, n.2, p.103-112, 2011.

- CAVALETTI, L. B. **Avaliação do sistema de compostagem mecanizada para dejetos suínos**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental)-UNIVATES, Lajeado, 2014.
- CERETTA, C. A. et al. Frações de fósforo no solo após sucessivas aplicações de dejetos de suínos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 593-602, 2010.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 11. ed. **Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul**, 2016.
- CORIOLETTI, N. S. D. et al. Processos, tipos e usos de biodigestores, no tratamento de resíduos de origem animal: Processes, types and uses of biodigestors, in the treatment of waste of animal origin. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 7, p. 53775-53805, 2022.
- COSTA, C. H. **Estudo ecotoxicológico para valorização do resíduo produzido no processo de polimento de piso porcelanato na indústria cerâmica**. 2010. 153 f. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.
- COSTA, R. S.; QUADRA, G. R.; O., H. S. Química, Ecotoxicologia e Escola: propostas interdisciplinares. **Ecotoxicology and Environmental Contamination**, v. 17, n. 1, 2022.
- D'AQUINO, C. A.; MELLO, T. C.; JÚNIOR, L. C. Efeito da variação da carga orgânica volumétrica natural na produção de biogás a partir de dejetos suínos em diferentes tempos de retenção hidráulica. **Eng Sanit Ambient**. v.24, n.3, maio/jun, 2019.
- EDELSTEIN, Menahem; BEN-HUR, Meni. Heavy metals and metalloids: Sources, risks and strategies to reduce their accumulation in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, v. 234, p. 431-444, 2018.
- EMBRAPA Suínos e Aves. **Custo de Produção de Suínos – Brasil (2024)**. **Concórdia: Embrapa**, 2025.
- EMBRAPA. **Latossolos no bioma Cerrado**. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica**, 2021.
- EPAGRI. *Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos*. 2020. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1117243/1/final9052.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2025.
- EYERKAUFER, M. L.; BRITO, A. O. Análise de viabilidade da compostagem de dejetos suínos. **REAVI-Revista Eletrônica do Alto Vale do Itajaí**, v. 1, n. 2, p. 41-52, 2012.
- FAGERIA, N. K. Níveis adequados e tóxicos de zinco na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, p. 390-395, 2000.
- FATMA – Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina. Instrução Normativa nº 11 de 2014. Florianópolis, 2014. Disponível em: <https://in.ima.sc.gov.br/instrucaoNormativa/downloadPDF/11>. Acesso em: 17 ago. 2025.
- FERNANDES, A. H. B. M. et al. Nitrificação e mineralização de carbono em solos tratados com dejetos de suínos biodigeridos. **Embrapa - Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Corumbá, MS, 2011.

FERREIRA, E. P. B; STONE, L. F; MARTIN-DIDONET, C. C. G. População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 48, n. 1, p. 22-31, 2017.

FERREIRA, G.W.. **Atributos físicos e químicos de agregados e da terra fina seca ao ar em solo sob cultivo de aveia/milho adubado com dejetos suínos e fertilizantes químicos**. Dissertação Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

FERREIRA, G.W.. **Atributos físicos e químicos de agregados e da terra fina seca ao ar em solo sob cultivo de aveia/milho adubado com dejetos suínos e fertilizantes químicos**. Dissertação Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

FOUNTAIN, M. T.; HOPKIN, S. P. *Folsomia candida (Collembola)*: a “standard” soil arthropod. **Annual review of entomology**, v. 50, p. 201–222, 2005.

FREY, L.; TANUNCHAI, B.; GLASER, B. Antibiotics residues in pig slurry and manure and its environmental contamination potential: a meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 42, n. 31, p. 1–18, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00762-y>.

GALVANI, G. N. **Impacto Ambiental e Disponibilidade de Metais Pesados na Ribeira de Portelo Devido à Presença de uma Mina de Volfrâmio Inativa**. 2022. Dissertação de Mestrado. Instituto Politecnico de Braganca (Portugal).

GARCIA, D.V.B.; CATANOZI, G. Análise de macrofauna de solo em área de mata atlântica e de reflorestamento com Pinus sp – Zona sul de São Paulo, **Revista Ibirapuera**, São Paulo, n. 2, p. 10-14, 2011.

GARCIA, M. V. B. **Effects of pesticides on soil fauna: development of ecotoxicological test methods for tropical regions**. 2004. 283 f. Thesis (Ph.D.) - University of Bonn, Bom.

GAZOLA, L. **Análise das legislações estaduais brasileiras sob ensaios ecotoxicológicos como ferramenta no controle de lançamento de efluentes industriais**. 2020. Dissertação (Mestre em Perícias Criminais Ambientais) - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2020.

GIROTTO, E. et al. Acúmulo e formas de cobre e zinco no solo após aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 955-965, 2010.

GONÇALVES JR, A. C. et al. Disponibilidade de nutrientes e elementos potencialmente tóxicos para as plantas de hissopo em solo arenoso sob adubação mineral e orgânica. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 12, n. 2, p. 105-114, 2013.

GOTARDO, R.; PINHEIRO, A.; KAUFMANN, V. Eficiência do tratamento anaeróbio na remoção de hormônios veterinários do dejetos líquidos suíno. **Evidência**, v. 15, n. 2, 2015.

GUGISCH, L. Suínos em números. **Revista XConecta Brasil**. Março de 2025.

HANSEL, F. D. et al. Nutrição mineral como aliada das plantas na tolerância a estresses ambientais. **Informações Agrônômicas NPCT** N°, 2021.

HAVLIN, J. L.; BEATON, J. D.; TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management. **8th ed. Pearson**, 2014. <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-cerrado/solo/tipos-de-solo/latossolos>. Acesso em: 28 jun. 2025.

HUBER, A. C. K.; MORSELLI, T. B. G. A. Estudo da mesofauna (ácaros e colêmbolos) no processo da vermicompostagem. **Revista da FZVA**, v. 18, n. 2, p. 12-20, 2011.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Ranking - Pecuária - Rebanhos [internet] 2021 [acesso em 17 AGO 2025]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producaoagropecuaria/go>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Produção da Pecuária Municipal. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?=&t=resultados>. Acesso em: 24 jul. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Produção da Pecuária Municipal. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?=&t=resultados>. Acesso em: 24 jul. 2025.

ISO – International Organization for Standardization. **ISO 11268-1: Soil quality — Effects of pollutants on earthworms (*Eisenia fetida*). Part 1: Determination of acute toxicity using substrate.** Genebra: ISO, 1993.

ISO – International Organization for Standardization. **ISO 11268-2: Soil quality — Effects of pollutants on earthworms (*Eisenia fetida/Eisenia andrei*). Part 2: Determination of effects on reproduction.** Genebra: ISO, 1998.

ISO – International Organization for Standardization. **ISO 11268-2: Soil quality — Effects of pollutants on earthworms — Part 2: Determination of effects on reproduction of *Eisenia fetida/Eisenia andrei*.** Genebra: ISO, 2011.

ISO – International Organization for Standardization. **ISO 16387: Soil quality — Effects of pollutants on *Enchytraeidae* (*Enchytraeus* sp.) — Determination of effects on reproduction and survival.** Genebra: ISO, 2014.

ISO – International Organization for Standardization. **ISO 16387: Soil quality — Effects of contaminants on *Enchytraeidae* (*Enchytraeus* sp.) — Determination of effects on reproduction.** Genebra: ISO, 2023.

ISO – International Organization for Standardization. **ISO 17512-1: Soil quality — Avoidance test for determining the quality of soils and effects of chemicals on behaviour — Part 1: Test with earthworms (*Eisenia fetida* and *Eisenia andrei*).** Genebra: ISO, 2008.

JEREZ-VALLE, C. et al. A simple bioindication method to discriminate olive orchard management types using the soil arthropod fauna. *Applied Soil Ecology*, v. 76, p. 42-51, 2014.

JUNIOR, C. A. M. et al. Atributos químicos em agregados biogênicos e fisiogênicos de solo submetido à aplicação com dejetos suínos. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 14, n. 1, p. 1-8, 2019.

KABATA-PENDIAS, A. Trace elements in soils and plants. CRC Press, 4 ed. Boca Raton, Florida, cap 5. 2011.

KAPANEN, A.; ITÄVAARA, M. Ecotoxicity Tests for Compost Applications. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 49: 1-16, 2001.

KASCHUK, G. et al. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 42, p. 113–121, 2010.

- KRAJESKI, A.; POVALUK, M. Alterações no solo ocasionadas pela fertirrigação dos dejetos suínos. **Saúde Meio Ambiente**. v. 3, n. 1, p. 3-18, jan./jun. 2014.
- KUNZ, A. Gestão dos resíduos da produção animal: gestão e tratamento dos dejetos na suinocultura. Brasília, **DF: Embrapa**; Concórdia: Sbera, 2024.
- KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P. A. Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no Brasil. **Área de Informação da Sede-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2007.
- LAVELLE, P. et al. Soil invertebrates and ecosystem services. **European Journal of Soil Biology**, Jersey, v. 42, n. 1, p. 3-15, 2006.
- LI, J.; XU, Y.; ZHANG, Y.; LIU, Z.; GONG, H.; FANG, W.; OUYANG, Z.; LI, W.; XU, L. Quantifying the mitigating effect of organic matter on heavy metal availability in soils with different manure applications: A geochemical modelling study. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 276, p. 116321, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116321>
- LIMA, K.R. de; RODRIGO, C.; CHAER, G.M.; PEREIRA, M.G.; RESENDE, A.S. Soil fauna as bioindicator of recovery of degraded areas in the caatinga biome. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 30, n. 2, p. 401 – 411, 2017.
- LISBÔA, R. M. et al. **Avaliação toxicológica de solo contaminado com efluente sanitário**. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2017.
- LOURENZI, C. R. **Atributos químicos aos dezenove aplicações de dejetos líquidos de suínos em argissolo sob plantio direto**. 2010. Dissertação (Mestrado) - Curso de mestrado do Programa de Pós-Graduação em ciência do solo, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), 2010.
- LOURENZI, C. R. et al. Atributos químicos de Latossolo após sucessivas aplicações de composto orgânico de dejetos líquidos de suínos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 233-242, 2016.
- LUQUE, S. et al. Possíveis impactos da presença de microplásticos em ambiente terrestre. **XV Simpósio dos programas de mestrado profissional unidade de pós-graduação, extensão e pesquisa**, 2020.
- MACCARI, A. P. et al. **Avaliação ambiental do uso de dejetos de suínos por meio de ensaios ecotoxicológicos em solos do Estado de Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, Lages, SC, 2014.
- MACHADO, D. L. et al. Fauna edáfica na dinâmica sucessional da mata atlântica em floresta estacional semidecidual na bacia do rio Paraíba do Sul-RJ. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 1, p. 91-106, 2015.
- MAGALHÃES, D. P.; FERRÃO FILHO, A. S. A ecotoxicologia como ferramenta no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos. **Oecologia brasiliensis**, v. 12, n.3, p.355-381, 2008.
- MAKI, E. S. et al. Utilização de Bioindicadores em monitoramento de poluição. **Biota Amazônia** (Biota Amazonie, Biota Amazonia, Amazonian Biota), v. 3, n. 2, p. 169-178, 2013.
- MALLMANN, P. S. **Avaliação do potencial metanogênico na codigestão do pó de tabaco com dejetos suínos**. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos-UNISINOS, São Leopoldo, 2019.

MANDELSAMAN, H.; OSTER, J. D.; KRYZANOWSKI, L. M. Management of animal waste for land application. In: **Environmental Management: Science and Engineering for Industry**. v. 2. Humana Press, 2002. p. 629-648.

MANUIAMA, A. R. et al. Uso de insetos edáficos como instrumento de qualidade ambiental para os solos amazônicos. **Educamazônia-Educação, Sociedade e Meio Ambiente**, v. 17, n. 01, p. 618-632, 2024.

MAPA – **Ministério da Agricultura e Pecuária**. Valor Bruto da Produção Agropecuária – 2025. Brasília: MAPA, 2025.

MARSCHNER, P. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. **3. ed. London: Academic Press**, 2012.

MARTINS, L. F. et al. Composição da macrofauna do solo sob diferentes usos da terra (cana-de-açúcar, eucalipto e mata nativa) em Jacutinga (MG). **Revista agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v.9, n.1, p.11-23, 2017.

MATTIAS, J. L. et al. Teores totais de metais pesados em solos adubados com dejetos líquido de suínos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, n. 2, p. 587-597, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/TDG5zg7MYtHSSsFQrK8kQzy>. Acesso em: 16 ago. 2025.

MENDES, I. C., SOUSA, D.M.G., REIS JÚNIOR, F.B. Bioindicadores de qualidade do solo: dos laboratórios de pesquisa para o campo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia** v. 32, 185203, 2015.

MENEZES, J. F. S. et al. Extração e exportação de nitrogênio, fósforo e potássio pelo milho adubado com dejetos de suínos. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 5, n. 3, p. 55-59, 2018.

MIARA, O. F. **A importância da calagem e da gessagem do solo para a produtividade da soja**. 2021. 48 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Faculdade Educacional de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2021.

MIRANDA, C. R. Produção intensiva de animais e serviços ambientais: estratégias e indicadores. **Concórdia: Embrapa Suínos e Aves**, 2020

MONTANHA, F. P.; PIMPÃO, C. T. Efeitos toxicológicos de piretróides (cipermetrina e deltametrina) em peixes-Revisão. **Revista científica eletrônica de medicina veterinária**, n. 18, p. 1-58, 2012.

MORAES, E.; SILVEIRA, R. F.; VANIEL, R. R.; PINHEIRO, C. B.; OLLÉ, L.; ALMEIDA, M.; SILVEIRA, I. N. Suinocultura e o Meio-ambiente. Revisão de Literatura. REDVET. **Revista Electrónica de Veterinaria**, v. 18, n. 10, p. 1-17, outubro, 2017.

MORAES, M. T.; ARNUTI, F. S.; SILVA, V. R.; SILVA, R. F.; BASSO, C. J.; ROS, C. O. Dejetos líquidos de suínos como alternativa a adubação mineral na cultura do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 6, p. 2945-2954, 2014. Disponível em: [https://bvs-vet.org.br/vetindex/periodicos/semina-ciencias-agrarias/35-\(2014\)-6/dejetos-liquidos-de-suinos-como-alternativa-a-adubacao-mineral-na-cult/](https://bvs-vet.org.br/vetindex/periodicos/semina-ciencias-agrarias/35-(2014)-6/dejetos-liquidos-de-suinos-como-alternativa-a-adubacao-mineral-na-cult/). Acesso em: 29 jul. 2024.

MORINO, C. C. **A aplicação de dejetos de suínos no solo como insumo agrônômico e os seus impactos ambientais**. São Paulo, 2021. 154 p. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Conformidade Ambiental) – Pós-Graduação Lato Sensu Conformidade Ambiental. Escola Superior da CETESB, São Paulo, 2021.

OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico). *Test No. 220: Enchytraeid Reproduction Test. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals*, Section 2. Paris: OECD Publishing, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/9789264264472-en>

OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P. Influência dos processos de recuperação do solo após mineração de carvão sobre a mesofauna edáfica em Lauro Müller, Santa Catarina, Brasil. **Revista Biotemas**, v. 27, n. 2, p. 69- 77, 2014.

OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M. Unidade de compostagem para o tratamento dos dejetos de suínos. **Concórdia: Embrapa Suínos e Aves**, 2006.

OLIVEIRA, D.; LIMA, R. P. de; VERBURG, E. E. J. Qualidade física do solo sob diferentes sistemas de manejo e aplicação de dejetos líquidos suíno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 280-285, 2015.

OLIVEIRA, L. G.; DE SOUZA, J. T.; DE FRANCISCO, A. C. Tratamento de dejetos suínos: oportunidades de conversão em energia. **Revista Gestão Industrial**, v. 13, n. 3, 2018.

OLIVEIRA, P. A. V. (Coord.). Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos. **Concórdia: EMBRAPA-CNPSA**, 188 p., 1993 (EMBRAPACNPSA. Documentos, 27).

OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M. Unidade de compostagem para o tratamento dos dejetos de suínos. **Concórdia: Embrapa Suínos e Aves**, 2006.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT – OECD. Guideline for testing of chemicals n. 207: **Earthworm acute toxicity test**. Paris: OECD. 1984.

PAIVA, M. M. **Aplicação de água residuária de suínos no sistema silvipastoril**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

PASINI, F.; PASSINI, A. F. C.; PIOVEZAN, A. A.; CORREA e SILVA, D.; MACHADO, G. A. Viabilidade de implantação de um biodigestor em uma granja de suínos. **Holos Environment**, v. 19, n. 1, p. 60-69, 2019.

PEREIRA, D. C. **Aplicação de dejetos líquidos suínos e seus efeitos nas propriedades físicoquímicas do solo**. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2020.

PESSOTTO, P. P. et al. Atributos químicos de um Neossolo Regolítico sob uso de dejetos de suínos. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, n. 3, p. 408-416, 2018.

PINTO, L. P.; CABRAL, A. C.; SCHNEIDER, L. T.; AZEVEDO, K. D.; FRIGO, J. P.; FRIGO, E. P. Levantamento de dados sobre os dejetos suínos e suas características. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, p. 179-187, 2014.

Prefeitura Municipal de Rio Verde. Localização e clima. Disponível em: [https://www.rioverde.go.gov.br/localizacao-e-clima/#:~:text=Sua%20topografia%20%C3%A9%20plana%20levemente,chuvosa%20\(nove mbro%20a%20abril\)..](https://www.rioverde.go.gov.br/localizacao-e-clima/#:~:text=Sua%20topografia%20%C3%A9%20plana%20levemente,chuvosa%20(nove mbro%20a%20abril)..) Acesso em: 24 jul. 2025.

QUADRO, M. S. et al. Biomassa e atividade microbiana em solo acrescido de dejetos suíno. **R. Bras. Agrociência**, Pelotas, v.17, n.1-4, p.85-93, jan-mar, 2011.

RAIJ, B. V. Fertilidade do Solo e Manejo de Nutrientes. **Piracicaba: Instituto Agrônomo**, 2011.

REZENDE, M. L. C. **Adaptação da metodologia 5220-D do standard methods para a determinação da demanda química de oxigênio (DQO) sem digestão por aquecimento artificial da amostra.** 2020. Dissertação (Mestrado) - Curso de engenharia química, Universidade

RIBEIRO, L. V. **Contribuição ao estudo do extrato pirolenhoso no ambiente: ecotoxicologia, histopatologia e análise de parâmetros espermáticos em Eisenia andrei.** 89p. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção Agrícola Familiar) – Universidade Federal de Pelotas – Pelotas/RS, 2016.

RODRIGUES, B. C. R.; GORDINHO, D. L. M. ALVES, J. P. M. F.; SANTOS, L. H. V.; SCOTTI, S. C. S.; KINOSHITA, A.; PAIVA, F. F. G.; TAMASHIRO, J. R. Bioindicadores Ambientais: a contribuição brasileira no período de 2018 a 2023. **Ciências e Tecnologia das Águas: inovações e avanços em pesquisa.** v. 1 , n. 10, 2023.

ROSA, A.. **Fertilidade do solo e acúmulo de metais pesados em latossolo adubado com dejetos de animais.** 2022. 61 f. Tese(Doutorado em Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel.

ROSA, Anderson. **Acúmulo de nutrientes, óleos e graxas em latossolos adubados com dejetos de suínos.** 2018.38 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2018 .

SACOMORI, W.; CASSOL, P. C.; ERNANI, P. R.; MIQUELLUTI, D. J.; COMIN, J. J.; GATIBONI, L. C. Concentração de nutrientes na solução do subsolo de lavoura fertilizada com dejetos suíno. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 15, n. 3, p. 245-258, 2016.

SANTI, A. L. et al. Diagnostico da variabilidade espacial e vertical da fertilidade do solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 10, n. 10, p. e73524-e73524, 2024.

SANTOS, G. O. et al. Caracterização morfométrica das bacias hidrográficas inseridas no município de Rio Verde, Goiás, como ferramenta ao planejamento urbano e agrícola. **Geografia, Ensino e Pesquisa**, Santa Maria–MS, v. 22, n. 17, p. 01-13, 2018.

SANTOS, J. H. T. **Avaliação de um sistema de aquecimento do substrato na biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos.** 2004, Minas Gerais. 2010. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. Disponível em: [http://www.ufv.br/dea/ambiagro/arquivos/Tese% 20de% 20Jos% C3% A9% 20Humberto2004.doc](http://www.ufv.br/dea/ambiagro/arquivos/Tese%20de%20Jos%20C3%A9%20Humberto2004.doc). Acesso em: 26 agosto.

SARTOR LR et al. Effect of swine residue rates on corn, common bean, soybean and wheat yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** v.36, p. :661-669, 2012.

SCHERER, Eloi Erhard; NESI, Cristiano Nunes; MASSOTTI, Zemiro. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1375-1383, 2010.

SCHWANTES, D.; COSTA. F.; GONÇALVES, E. D.V.; MATTIELLO, V.; JR, A. C. G. Impacto ambiental da suinocultura e uso de floculantes como alternativa notratamento de dejetos suínos: um estudo de caso. **Revista Cultivando o saber**, Cascavel, v.6, n.1, p.162-172, 2013.

SEAC GOIÁS. Suinocultura goiana tem aumento e abate chega a 1,9 milhão de cabeças. SEAC Goiás, 2024. Disponível em: <https://www.seacgoias.com.br/sindesp/noticias/1683-suinocultura-goiana-tem-aumento-e-abate-chega-a-19-milhao-de-cabecas>

SEAPA. Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (SEAPA). *Suinocultura goiana em destaque no Agro em Dados de junho*. Governo de Goiás, 07 jun. 2024. Disponível em: <https://goias.gov.br/agricultura/suinocultura-goiana-em-destaque-no-agro-em-dados-de-junho/>

SECEX – Secretaria de Comércio Exterior. Dados de Exportação de Carne Suína – 2025. Brasília: **Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços**, 2025.

SEGAT JC, SOUSA JP, BARETTA D, KLAUBERG-FILHO O. Increasing level of liquid pig manure reduces *Eisenia andrei* and *Enchytraeus crypticus* reproduction in subtropical soils. *Sci Rep*. 2020 Jul 1;10(1):10687. doi: 10.1038/s41598-020-67360-4. PMID: 32612105; PMCID: PMC7329886.

SEGAT, J. C. **Avaliação ecotoxicológica da aplicação de dejetos líquido de suínos em solos subtropicais**. Tese de Doutorado. Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, 2016.

SEGAT, J. C. **Avaliação ecotoxicológica do uso de dejetos de suínos em solos de Santa Catarina**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

SEIDEL, E.P. et al. Aplicação de dejetos de suínos na cultura do milho cultivado em sistema de plantio direto. **Acta Scientiarum**. Technology. Maringá, v. 32, n. 2, p. 113-117, 2010.

SERPA FILHO, R.; SEHNEM, S.; CECATO, A.; SANTOS JUNIOR, S.; FISCHER, A. Compostagem de dejetos de suínos. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 6, n. 1, p. 47-78, 2013.

SILVA, C. A. **Composição química de solo para implantação de Musa sp. no Município de Teotônio Vilela-AL**. 2022. 37f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2021.

SILVA, D. C. V. R.; POMPÊO, M.; PAIVA, T. C. B. **A ecotoxicologia no contexto atual no Brasil**. (Orgs.) Ecologia de reservatórios e interfaces. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2015.

SILVA, D. C. V. R.; POMPÊO, M.; PAIVA, T. C. B. **A ecotoxicologia no contexto atual no Brasil**. (Orgs.) Ecologia de reservatórios e interfaces. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2015.

SILVA, D. M. **Biota do solo em pastagem sob aplicação sucessiva de dejetos de suínos**. Tese de Doutorado- Universidade Federal de Santa Maria (UFMSM, RS), Santa Maria, RS, 2015.

SILVA, M. de O.; SANTOS, M. P. dos; SOUSA, A. C. da P.; SILVA, R. L. V. da; MOURA, I. A. A. de; SILVA, R. S. da; COSTA, K. D. da S.; . Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 6853-6875 Jan. 2021.

SILVA, R. F. et al. Doses de dejetos líquido de suínos na comunidade da fauna edáfica em sistema plantio direto e cultivo mínimo. **Ciência Rural**, v. 44, p. 418-424, 2014.

SILVA, T. C. **Biodigestado de dejetos de suíno e sua influência no carbono e nitrogênio em latossolo cultivado com pastagem**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) —Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

SISINNO, Cristina Lúcia Silveira et al. Ensaio de comportamento com minhocas (*Eisenia fetida*) para avaliação de áreas contaminadas: resultados preliminares para contaminação por

- hidrocarbonetos. **Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology**, v. 1, n. 2, p. 137-140, 2006.
- SOARES, K. W. P.; MARIANO, W. S.; PAULINO, M. G. Teste de fuga com minhocas (*Eisenia andrei*) em solo natural tratado com biopesticida à base de *Bacillus thuringiensis* para avaliação da qualidade do solo. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, 2020.
- SOBRAL, L. F. Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos. **Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros**, 2020.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. **Brasília: Embrapa Informação Tecnológica**, 2004.
- SOUZA, C. F.; SIQUEIRA, C. C. C.; CAMPOS, J. A.; TEIXEIRA, M. A.; PINTO, M. F. W. Caracterização de dejetos de suínos em fase de terminação **Revista Ceres**, vol. 56, núm. 2, março-abril, 2009, pp. 128-133 Universidade Federal de Viçosa Viçosa, Brasil
- SOUZA, L.; CONEGLIAN, C. Avaliação ecotoxicológica de hidrocarbonetos em solo tropical utilizando *Folsomia candida*. **Revista dos Trabalhos de Iniciação Científica da UNICAMP**, n. 27, p. 1-1, 2019.
- SPARLING, D. W. **Basics of ecotoxicology**. CRC Press, 2017.
- SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELLI, R. S.; TOMM, G. O. Atributos físicos de um Hapludox em função de sistemas de produção integração lavourapecuária (ILP), sob plantio direto pecuária. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 37-44, 2010. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v32i1.926>
- STALBERT, D. R.; BISOGNIN, R. P.; SILVA, D. M.; GUERRA, D.; SOUZA, E. L.; BOHRER, R. E. G. Análise do comportamento de *Eisenia andrei* como indicadora da qualidade de solos adubados com diferentes doses de dejetos líquidos de suínos. **Acta Ambiental Catarinense – Unochapecó**, v. 20, n. 1, p. 01-15, 2023.
- TAVARES, J. M. R. et al. **Modelagem do consumo de água, produção de dejetos e emissão de gases de efeito estufa e amônia na suinocultura**. 2016. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2016.
- TEIXEIRA, M. B.; LOPES SOBRINHO, O. P.; SANTOS, L. N. S.; SANTOS, G. O.; CUNHA, F. N.; SOARES, F. A. L. Balanço hídrico climatológico mensal e classificação climática de Köppen e Thornthwaite para o município de Rio Verde, Goiás. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, p. 151-171, 2020.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). *Method 3050B: Acid digestion of sediments, sludges, and soils*. Revision 2. Washington, DC: EPA, 1996. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/epa-3050b.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2025.
- USDA – United States Department of Agriculture. *Livestock and Poultry: World Markets and Trade*. Washington, D.C., 2025.
- VASCONCELLOS, P. Suinocultura brasileira vive evolução gradativa. Valor Econômico: **Revista do Agronegócio**. V. 14, n. 8, 2024.
- VIEIRA, A. S. **Avaliação da disposição final de dejetos líquidos de suínos no solo**. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

VIEIRA, C. R.; BOTELHO, R. A.; DA COSTA, P. P. **Dejeto de Suíno no Crescimento Inicial de Mudanças de Mogno Africano. Ensaios e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde**, v. 26, n. 2, p. 185-190, 2022.

VILLAR, M. L. P. **Manual de interpretação de análise de plantas e solos e recomendação de adubação**. Cuiabá: EMPAER-MT, 2017.

ZAGATTO, P. A.; BERTOLETTI, E. **Ecotoxicologia aquática: princípios e aplicações**. São Carlos, SP: Rima; 472p, 2006.

ZALEWSKA, M.; BŁAŻEJEWSKA, A.; CZAPKO, A.; POPOWSKA, M. Pig manure treatment strategies for mitigating the spread of antibiotic resistance. *Scientific Reports*, v. 13, n. 11999, p. 1–13, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-36808-2>.