



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - IF GOIANO CÂMPUS RIO VERDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROQUÍMICA
Rodovia Sul Goiana, km 01, Zona Rural – Rio Verde - GO
CEP: 75.901-970. Fones: (64) 3620-5643. Fax: (64) 3620-5640



LUIZ RICARDO GUIMARÃES REZENDE DE OLIVEIRA

**ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS EM SOLOS COM APLICAÇÃO DE
FERTILIZANTES ORGÂNICOS A LONGO PRAZO**

**RIO VERDE – GO
NOVEMBRO DE 2023**



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - IF GOIANO CÂMPUS RIO VERDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROQUÍMICA
Rodovia Sul Goiana, km 01, Zona Rural – Rio Verde - GO
CEP: 75.901-970. Fones: (64) 3620-5643. Fax: (64) 3620-5640



ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS EM SOLOS COM APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES ORGÂNICOS A LONGO PRAZO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroquímica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agroquímica.

Orientador: Prof. Dr. Rafael M. Pereira Leal

Coorientadores: Prof. Dr. Adriano Jakelaitis

Prof. Dr^a Veridiana C. G. Cantão

Mestrando: Luiz Ricardo Guimarães R. de Oliveira

**RIO VERDE – GO
NOVEMBRO DE 2023**

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

OOL48e Oliveira, Luiz Ricardo Guimarães Rezende de
ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS EM SOLOS COM
APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES ORGÂNICOS A LONGO PRAZO /
Luiz Ricardo Guimarães Rezende de Oliveira;
orientador Rafael Marques Pereira Leal; co-
orientador Adriano Jakelaitis. -- Rio Verde, 2023.
70 p.

Dissertação (Mestrado em Agroquímica) -- Instituto
Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2023.

1. fertilizantes orgânicos. 2. qualidade do solo.
3. metais pesados. 4. poluição.. I. Leal, Rafael
Marques Pereira, orient. II. Jakelaitis, Adriano ,
co-orient. III. 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, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, 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 (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Luiz Ricardo Guimarães Rezende de Oliveira

Matrícula:

2021202310340005

Título do trabalho:

ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS EM SOLOS COM APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES ORGÂNICOS
A LONGO PRAZO

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 01 /03 /2024

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

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que 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;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, 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;
- Que 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.

Documento assinado digitalmente
 LUIZ RICARDO GUIMARAES REZENDE DE OLIVEI
Data: 27/12/2023 22:07:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

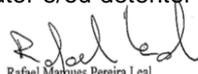
Rio Verde/Goiás

Local

20 / 12 / 2023

Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais


Rafael Marques Pereira Leal

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 88/2023 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

ELEMENTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS EM SOLOS COM APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES ORGÂNICOS A LONGO PRAZO

Autor: Luiz Ricardo Guimarães Rezende de Oliveira
Orientador: Dr. Rafael M. Pereira Leal

TITULAÇÃO: Mestre em Agroquímica - Área de Concentração Agroquímica

APROVADA em 24 de novembro de 2023.

Prof.ª Dr.ª June Faria Scherrer Menezes
Avaliadora externa
Universidade de Rio Verde - UniRV

Prof. Dr. Danilo Augusto Silvestre
Avaliador interno
IF Goiano - Campus Rio Verde

Prof. Dr. Rafael M. Pereira Leal
Presidente da Banca
IF Goiano / Rio Verde

Documento assinado eletronicamente por:

- **Rafael Marques Pereira Leal**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 27/11/2023 09:20:05.
- **DANILO AUGUSTO SILVESTRE**, **DANILO AUGUSTO SILVESTRE** - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal Goiano (1), em 27/11/2023 11:52:58.
- **June Faria Scherrer Menezes**, **June Faria Scherrer Menezes** - Professor Avaliador de Banca - Universidade de Rio Verde (01815216000178), em 27/11/2023 15:42:40.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 22/11/2023. 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: 549366
Código de Autenticação: e8059a2231



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3624-1000

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por sempre me guiar e dar forças para enfrentar todos os dias as provações mundanas e a São Francisco de Assis que é meu guia e minha inspiração diária.

Aos meus avós Adão e Maria Luzia, apesar de estarem debilitados pelo tempo, agradeço de forma emocionada, pois sempre acreditaram no meu potencial e por me ensinarem a nunca desistir dos meus sonhos e objetivos.

Agradeço aos meus pais Luiz Carlos e Neurimar, por terem proporcionado o dom da vida, contribuindo na construção do meu aprendizado moral e ético, auxiliando na minha capacidade evolutiva para que eu me tornasse um ser humano mais digno e honesto.

À minha irmã, Naessa, que deu à luz ao meu sobrinho Ravi, que trouxe alegria para nossas vidas, proporcionando a inspiração de viver e ensinar que com a educação podemos mudar pessoas, e estas o mundo.

Fazer uma dedicatória e esquecer dos meus amigos que me apoiaram e incentivaram seria uma covardia, mas quero agradecer a todos eles, em especial a minha amiga Rosely, pelo apoio moral e incentivador e ao Caio, que me acompanhou em algumas coletas e ainda disponibilizou a propriedade dos seus pais para estudo. Caio, você em especial, que comemorou comigo todas as etapas, escutou, brigou, e até quase me matar com o trado na cabeça (risos), foi um ótimo fotógrafo e companheiro de papo, meu muito obrigado!

Ao Gustavo, que de maneira incansável me apoiou e compreendeu ao longo deste último ano de atividades, expresse meu profundo agradecimento. Sua constante presença ao meu lado, incentivando-me a dar o meu melhor e a nunca desistir de um sonho que carrego há anos, merece meu reconhecimento sincero.

Agradeço ao meu orientador, professor Rafael Leal, que teve muita paciência comigo nesse último ano e fez-me crescer de forma pessoal e profissional. A todos os professores da Programa de Pós-Graduação em Agroquímica que foram fundamentais para a minha formação nesse período. Agradeço também aos meus coorientadores, que não mediram esforços para me auxiliar durante o período de coletas e análises. Seu apoio e contribuição foram fundamentais para o meu crescimento.

Ao Instituto Federal Goiano, pelo grande incentivo a pesquisa e inovação para o estado e o país e a CAPES, pela concessão de bolsa e recursos que me serviram de estímulo para continuar na pesquisa científica.

“Cabe ao homem compreender que o solo fértil, onde tudo que se planta dá, pode secar; que o chão que dá frutos e flores, pode dar ervas daninhas, que a caça se dispersa e a terra da fartura pode se transformar na terra da penúria e da destruição. O homem precisa entender, que de sua boa convivência com a natureza, depende sua subsistência e que a destruição da natureza é sua própria destruição, pois a sua essência é a natureza; a sua origem e o seu fim”.

(Elizabeth Jhin)

BIOGRAFIA DO AUTOR

Luiz Ricardo Guimarães Rezende de Oliveira, nascido no ano de 1991 na cidade de Caçu, no estado de Goiás, mudou para a cidade de Rio Verde no ano de 2002 e concluiu o ensino médio em 2009, graduou-se em Engenharia Ambiental no ano de 2013, pela Universidade de Rio Verde, possui pós-graduação (*Latu-sensu*) em Gestão e Educação Ambiental concluída no ano de 2019. Após oito anos na área de Educação Ambiental, viu uma oportunidade de aperfeiçoar-se em seus conhecimentos e, em plena pandemia da COVID-19, iniciou no mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Agroquímica pela Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, vinculado à linha de pesquisa em Agroquímica Ambiental.

ÍNDICE DE IMAGENS E GRÁFICOS

<i>Figura 1 – Localização do município de Rio Verde/GO</i>	<i>38</i>
<i>Gráfico 1 - Efetivo dos rebanhos, por tipo de rebanho.</i>	<i>18</i>
<i>Gráfico 2 - Concentrações médias de Chumbo (Pb) em relação ao VRQ e ao VP.</i>	<i>48</i>
<i>Gráfico 3 - Concentrações média de Cromo (Cr).....</i>	<i>49</i>
<i>Gráfico 4 - Concentração média de Cádmio (Cd).....</i>	<i>51</i>
<i>Gráfico 5 - Fator de Contaminação (FC) de Cádmio.</i>	<i>53</i>
<i>Gráfico 6 - Fator de Contaminação (FC) de Cromo.</i>	<i>54</i>
<i>Gráfico 7 - Índice de Geoacumulação de Cádmio.....</i>	<i>55</i>
<i>Gráfico 8 - Índice de Geoacumulação de Cromo.</i>	<i>55</i>

ÍNDICE DE TABELAS

<i>Tabela 1 - Composição média dos dejetos</i>	23
<i>Tabela 2 – Concentração de nutrientes em amostras de dejetos suínos</i>	25
<i>Tabela 3 - Conteúdo médio de nutrientes (NPK) da cama de suínos e de aves</i>	26
<i>Tabela 4 - Composição nutricional média dos dejetos bovinos</i>	27
<i>Tabela 5 - Caracterização química dos dejetos expressos em porcentagem (in natura)</i>	28
<i>Tabela 6 - Caracterização química dos dejetos expressos em porcentagem (após vermicompostagem)</i>	30
<i>Tabela 7 - Caracterização química dos dejetos expressos em porcentagem (após compostagem)</i>	30
<i>Tabela 8 - Limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo</i>	33
<i>Tabela 9 - Adições globais de alguns elementos-traço ao solo ($Gg\ ano^{-1}$)</i>	34
<i>Tabela 10 - Concentração de elementos-traço em alguns insumos agrícolas</i>	35
<i>Tabela 11 - Concentração no solo proposta em diferentes países e em diferentes anos</i>	36
<i>Tabela 12 - Valores qualidade orientadores para solos brasileiros</i>	37
<i>Tabela 13 - Índice de Geoacumulação e suas condições</i>	43
<i>Tabela 14 - Grau de poluição do solo baseados no Fator de Contaminação</i>	43
<i>Tabela 15 - Valores médios das propriedades físicas e químicas analisadas</i>	44
<i>Tabela 16 - Concentração média dos EPT dos solos pesquisados</i>	47

ÍNDICE DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ABPA - Associação Brasileira de Proteína Animal;
ABRAFRIGO - Associação Brasileira de Frigoríficos;
AGV - Ácidos Graxos Voláteis;
ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos;
As – Arsênio;
Cd – Cádmio;
CF - Cama De Frango;
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente;
Cr – Cromo;
CTC – Capacidade de Troca Catiônica;
Cu – Cobre;
DLS - Dejetos Líquidos de Suínos;
DS - Dejetos Suínos;
DSS - Dejetos Sólidos de Suínos;
EPT - Elementos Potencialmente Tóxicos;
FC - Fator de Contaminação;
Hg – Mercúrio;
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
I_{geo} - Índices de Geoacumulação;
MO – Matéria Orgânica;
NBR - Norma Brasileira de Resíduo;
Ni – Níquel;
Pb – Chumbo;
pH – Potencial Hidrogeniônico;
PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos;
SEAPA - Secretaria de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Goiás;
TFSA – Terra Fina Seca ao Ar;
VI - Valor de Investigação;
VP - Valor de Prevenção;
VRQ - Valor de Referência de Qualidade;
Zn - Zinco

RESUMO

OLIVEIRA, LUIZ RICARDO GUIMARÃES REZENDE DE. **Elementos potencialmente tóxicos em solos com aplicação de fertilizantes orgânicos a longo prazo.** 2023. Dissertação apresentada ao Instituto Federal Educação Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – GO, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agroquímica para a obtenção do título de Mestre em Agroquímica.

Fertilizantes orgânicos, à base de dejetos animais, são fonte importante de matéria orgânica e nutrientes para a agricultura. Porém, esses materiais podem conter elementos potencialmente tóxicos, podendo impactar negativamente a qualidade ambiental e a saúde pública. O objetivo com este trabalho foi avaliar, em áreas agrícolas da região de Rio Verde/GO, a concentração de elementos potencialmente tóxicos, como cádmio (Cd), cromo (Cr), mercúrio (Hg), níquel (Ni), chumbo (Pb), arsênio (As), cobre (Cu), manganês (Mn) e zinco (Zn), na camada superficial do solo (0-10 e 10-20 cm), comparando os valores obtidos com os padrões estabelecidos pela legislação ambiental. Foram selecionadas áreas representativas de diferentes sistemas de produção agrícola, com histórico de aplicação variando de seis meses a vinte anos. As análises foram realizadas conforme metodologia EPA 3051 A, sendo a quantificação realizada por espectrometria de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES). Para As, Hg, Pb, Ni, Cu e Zn, em todos os cenários avaliados, as concentrações encontradas estiveram abaixo dos respectivos valores de prevenção (VP), indicando ausência de efeitos negativos a qualidade do solo. Porém, para Cr, 62,5% das amostras avaliadas estavam acima do VP e 25% acima do VI, indicando riscos também a saúde humana. No caso do Cd, 91% das amostras avaliadas estavam acima do VP e 66% acima do VI. Os resultados encontrados demonstram a necessidade de identificação e controle das fontes de poluição para Cd e Cr, além da importância do monitoramento ambiental e possíveis estratégias de remediação nas áreas com concentrações acima do VI.

Palavras-chave: fertilizantes orgânicos; qualidade do solo; metais pesados; poluição.

ABSTRACT

OLIVEIRA, LUIZ RICARDO GUIMARÃES REZENDE. **Potentially toxic elements in soils with long-term application of organic fertilizers**. 2023. Dissertation presented to the Instituto Federal Educação Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – GO, as part of the requirements for the Master's Degree Program in Agrochemistry.

Animal-based organic fertilizers are an important source of organic matter and nutrients for agriculture. However, these materials may contain toxic elements, which may impact environmental quality and public health. The objective of this work was to evaluate, in agricultural areas of Rio Verde/GO region, the concentration of toxic elements, such as cadmium, chromium, nickel, lead, arsenic, copper, manganese and zinc, in the soil (0- 10 and 10-20 cm) surface layer, comparing the values obtained with the standards established by environmental legislation. Areas representing different agricultural production systems were selected, with application histories ranging from six months to twenty years. The analyzes were carried out according to the EPA 3051 A methodology, with quantification carried out by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES). For As, Hg, Pb, Ni, Cu and Zn, in all scenarios evaluated, the concentrations found were below the relevant prevention values, reducing the absence of negative effects on soil quality. However, for Cr, 62.5% of the samples evaluated were above the PV and 25% above the VI, which are also risks to human health. For Cd, 91% of the samples evaluated were above the VP and 66% above the VI. The results found demonstrate the need to identify and control sources of pollution for Cd and Cr, in addition to the importance of environmental monitoring and possible remediation strategies in areas with concentrations above VI.

Keywords: organic fertilizers; soil quality; heavy metals; pollution.

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	18
<u>2.1</u> Produção de suínos, aves e bovinos e a geração de resíduos	18
<u>2.2</u> Logística reversa e os resíduos agrícolas.....	20
<u>2.3</u> – A utilização de adubos orgânicos	22
<u>2.3.1</u> - <i>Dejetos de Suínos</i>	24
<u>2.3.2</u> - <i>Dejetos de aviário (cama de frango)</i>	25
<u>2.3.3</u> - <i>Dejetos Bovinos</i>	26
<u>2.4</u> Tratamentos para dissipação ou estabilização de contaminantes	27
<u>2.5</u> As propriedades químicas do solo e aplicação de dejetos	31
<u>2.6</u> Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT) no solo	32
<u>2.7</u> Valores orientadores	36
3 OBJETIVOS	37
<u>3.1</u> Objetivo Geral	37
<u>3.2</u> Objetivo Específicos.....	37
4 METODOLOGIA	38
<u>4.1</u> Caracterização geral da Área de Estudo	38
<u>4.1.2</u> <i>Seleção das propriedades e amostragem de solo</i>	39
<u>4.2</u> Coleta e processamento de amostras	41
<u>4.3</u> Caracterização físico-química do solo e determinação de EPT	41
<u>4.4</u> Análise de dados.....	42
<u>4.5</u> . Índices de poluição do solo	42
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
<u>5.1</u> Propriedades Físico-Químicas do Solo	43
<u>5.2</u> Concentrações de EPT.....	46
<u>5.3</u> Índices de Contaminação.....	53
6 CONCLUSÕES	56
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

1 - INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional eminente, a produção de alimentos é consequentemente exigida, com isso, a exploração dos recursos naturais é cada vez mais observada, visto a necessidade do uso da água e do solo (DJAGBA *et al.*, 2019). Há, atualmente, grandes preocupações em relação aos impactos que as atividades agrícolas podem ocasionar sobre o ambiente, fazendo-se necessário a utilização de práticas sustentáveis que mitiguem e reduzam a degradação ambiental. (MIELE *et al.*, 2015; DJAGBA *et al.*, 2019).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021), a produção de grãos no Brasil tem crescido ao longo dos anos por diversos fatores, como o clima favorável para a agricultura, a utilização de tecnologias avançadas de cultivo e a expansão da área plantada. Além disso, a exportação de grãos é importante setor da economia brasileira, contribuindo significativamente para a balança comercial do país.

Com o avanço na produção agrícola, a utilização de fertilizantes minerais vem crescendo significativamente, sendo que 80% dos fertilizantes consumidos no país são importados. Segundo dados da Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), em 2021, o consumo de fertilizantes no país foi a cerca de 38 milhões de toneladas, sendo a maior parte composta por fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos.

A busca por práticas de produção agrícola mais sustentáveis, econômicas e de menor dependência de insumos externos faz-se constante, principalmente no que diz respeito a adubação. Uma alternativa que vem se destacando nos últimos tempos é a utilização de adubos orgânicos provenientes de resíduos de origem animal ou vegetal, como os esterco suínos, de aviário e de bovinos, podendo disponibilizar nutrientes às plantas e influenciar positivamente em diferentes propriedades do solo, melhorando seu potencial agrícola (CARDOSO *et al.*, 2015).

O uso de fertilizantes orgânicos emerge como alternativa sustentável para aprimorar a qualidade do solo e promover eficiência agrícola. Segundo Verdonck *et al.* (2018), esses fertilizantes superam os químicos ao fornecer nutrientes de maneira lenta e constante, adaptando-se melhor às demandas das plantas. Além disso, contribuem para aprimorar a estrutura do solo, aumentando a retenção de água e reduzindo a erosão. Souza *et al.* (2019) destacam que esses fertilizantes promovem a biodiversidade do solo, ampliando a presença de organismos benéficos na decomposição e ciclagem de nutrientes.

Pesquisas de Comin *et al.* (2013), Koutsika-Sotiriou *et al.* (2017) e Morino (2021) reforçam que o uso de fertilizantes orgânicos é ambientalmente correto, reduzindo a dependência de insumos químicos e minimizando o descarte oneroso de resíduos orgânicos em aterros sanitários. Os dejetos animais, ricos em matéria orgânica e nutrientes essenciais, oferecem potencial para substituir fertilizantes minerais, contribuindo para redução de custos e possível aumento da produtividade quando manejados adequadamente (CELIK *et al.*, 2010; KONZEN, 2006; BENEGA *et al.*, 2022).

No geral, o volume de dejetos a ser aplicado no solo é calculado com base na composição do resíduo, nos teores encontrados no solo, e na necessidade do nutriente pela planta a ser cultivada. Doses excessivas podem acarretar danos ambientais, como a contaminação das águas e do solo, além da proliferação de odores desagradáveis (D'AQUINO; DE MELLO; JÚNIOR, 2019). Salienta-se ainda que o grau de poluição está relacionado a qualidade e composição do dejetos, o tipo de solo, a capacidade de extração e exportação das culturas, sendo que excesso de aplicações em curto período pode ser preocupante (BARROS, *et al.*, 2019).

Os suplementos contidos nas rações oferecidas aos animais, podem conter altas concentrações de alguns elementos, ou mesmo substâncias tóxicas indesejáveis (KAN; MEIJER, 2007 e CASELANI, 2015) que posteriormente quando aplicados ao solo podem ser fonte de contaminação, por exemplos os micronutrientes, cobre (Cu) e zinco (Zn), e os elementos potencialmente tóxicos cádmio (Cd) e chumbo (Pb) (ITO, 2016 e MORINO, 2021).

Cabe ressaltar que os metais pesados são elementos que podem apresentar toxicidade para as plantas, independentemente da concentração (quando não são essenciais) ou quando estão presentes em quantidades excessivamente altas ou desequilibradas em relação ao ambiente em que estão inseridos (quando são essencialmente necessários para o funcionamento biológico) (ALLOWAY, 1993).

Embora esses resíduos geralmente apresentem baixas concentrações de elementos traço e outros contaminantes, estudos como os de Andrade *et al.* (2008), Maciel *et al.* (2012), Pérez-Gimeno *et al.* (2016) e Balerini *et al.* (2018) destacam a necessidade de cautela pelo potencial de acúmulo desses elementos, em consequência da aplicação contínua e altas doses.

Provolo *et al.* (2018) avaliaram o efeito da aplicação de dejetos de suínos e bovinos na composição de metais pesados em milho cultivado em diferentes tipos de solo. Os resultados

indicaram que a aplicação de dejetos animais aumentou a concentração de metais pesados, como chumbo (Pb), cobre (Cu) e zinco (Zn), no solo e nas plantas de milho.

A aplicação contínua e a longo prazo de resíduos orgânicos *in natura* podem aumentar a quantidade de fósforo (P) no solo e a lixiviação de poluentes, como o nitrato (AITA & GIACOMINI, 2008), e elementos como cobre (Cu), zinco (Zn) e manganês (Mn), do solo para as águas subterrâneas (Lekfeldt *et al.*, 2017). Esse estudo ressalta a importância nutricional destes fertilizantes e de considerar a qualidade do solo e a possibilidade de contaminação de recursos hídricos ao utilizar fertilizantes orgânicos.

Xu *et al.* (2018) investigaram os efeitos das práticas de fertilização a longo prazo na acumulação de cádmio (Cd), um metal pesado tóxico, no solo e nas plantas de arroz em um sistema de cultivo duplo no sul da China. Os resultados indicaram que a aplicação contínua de fertilizantes orgânicos aumentou a acumulação de cádmio no solo e nas plantas de arroz. Esses resultados destacam a necessidade de monitorar cuidadosamente a presença de metais pesados nos sistemas de produção agrícola.

Esses estudos evidenciam a importância de considerar os efeitos da aplicação de fertilizantes orgânicos a longo prazo na concentração e na mobilidade de metais pesados no solo. Silva *et al.*, (2008) afirmam que a adoção de práticas agrícolas sustentáveis, como a gestão adequada da aplicação de fertilizantes orgânicos e o monitoramento da qualidade do solo, é fundamental para minimizar os riscos de contaminação e garantir a segurança ambiental na agricultura. Faz-se necessário ainda respeitar as leis e regulamentações ambientais relacionadas à aplicação de fertilizantes orgânicos na agricultura, garantindo a segurança e a sustentabilidade da prática.

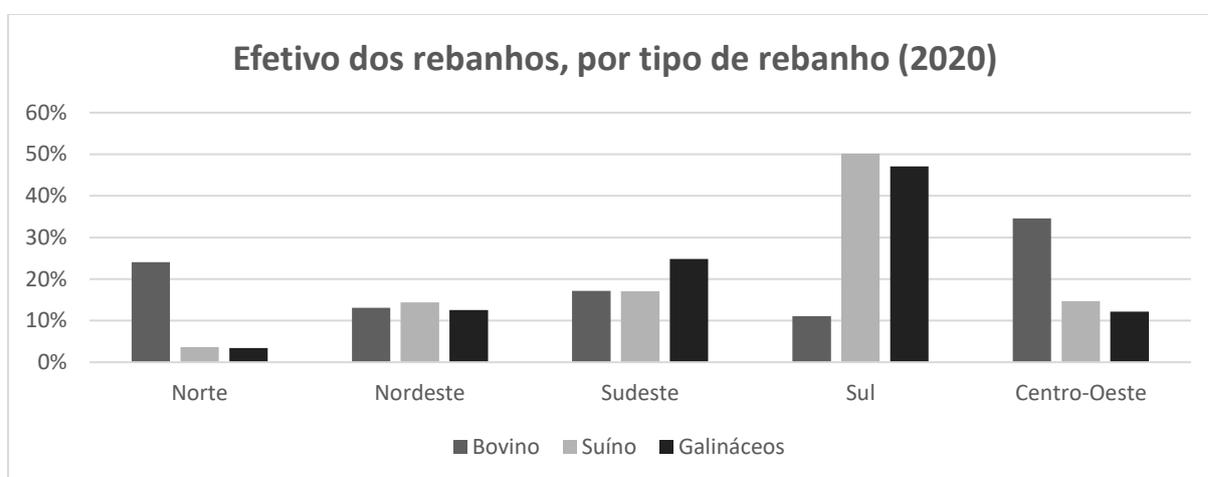
Cabe salientar que há escassez de pesquisas relacionadas às investigações sobre Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT) em solos da região sudoeste de Goiás. Apesar de existirem estudos sobre a fertilidade do solo (ACQUA *et al.*, 2013), essas investigações não exploraram a presença dos EPT em níveis de contaminação, nem seus potenciais efeitos prejudiciais nos solos destinados à agricultura e à pecuária. Essa lacuna enfatiza a importância e a originalidade do presente estudo e a necessidade de mais pesquisas referente ao tema. Diante disso, este trabalho teve como objetivo avaliar áreas agrícolas, que receberam aplicação consecutiva de fertilizantes orgânicos, buscando identificar as concentrações dos elementos potencialmente tóxicos no solo de acordo com o tempo de aplicação e comparando-as com os limites estabelecidos pela legislação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Produção de suínos, aves e bovinos e a geração de resíduos

A produção de suínos, aves e bovinos tem grande importância na economia brasileira e apresenta números expressivos nos últimos anos. Segundo dados da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA), o Brasil é o segundo maior produtor mundial de carne de frango e o quarto maior produtor de carne suína, com produção de 14,4 milhões de toneladas em 2020. Já a produção de carne bovina em 2020 foi de 8,8 milhões de toneladas, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020).

A produção de bovinos é um dos setores mais importantes da economia brasileira. De acordo com a Associação Brasileira de Frigoríficos (ABRAFRIGO), o Brasil é o maior exportador mundial de carne bovina, com mais de dois milhões de toneladas exportadas em 2020. Além disso, o país possui um rebanho de aproximadamente 215 milhões de cabeças, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021).



*Gráfico 1 - Efetivo dos rebanhos, por tipo de rebanho.
Fonte: IBGE – Pesquisa da Pecuária Municipal (2020).*

A produção animal é fundamental para a elevação da economia nacional, mas carrega a preocupação quanto ao alto potencial poluidor pela grande geração de resíduos, destacando-se a suinocultura pela alta quantidade de matéria orgânica (SILVA, 2015; BÜHRING & SILVEIRA, 2016).

A quantidade de dejetos gerados nas produções destes animais pode variar dependendo de vários fatores, como o tamanho do rebanho, o sistema de produção e as práticas de manejo.

Na produção de suínos, a quantidade de resíduos gerados pode variar de acordo com o manejo adotado na criação. Konzen (2003) afirma que a criação de suínos em ciclo completo gera em média 140 a 170 litros por dia, por fêmea, enquanto o volume de dejetos por matriz no núcleo de produção de leitões é de 35 a 40 litros. Já na fase de terminação, com leitões de 25 a 110 kg, estima-se que sejam gerados diariamente de 12 a 15 litros de dejetos.

Na produção de frango de corte, os resíduos podem ser categorizados em dois tipos principais: cama de frango e animais mortos, que incluem carcaças e penas, geralmente, por serem retiradas uma vez ao ano, pelo grande volume gerado, faz-se necessário a destinação correta (DALÓLIO *et al.*, 2017). A cama de aviário é constituída pelo substrato localizado acima do piso da granja, combinado com as excretas das aves durante o período em que estão alojadas. À medida que o substrato é utilizado por mais tempo, ele tende a escurecer, sendo a escuridão uma característica da reutilização desse material em diferentes lotes. Esse processo é particularmente notável quando a palha de arroz é utilizada como substrato. Em outros casos, como o uso de maravalha ou serragem, o escurecimento é menos pronunciado, uma vez que o próprio material já possui coloração escura. Conforme mencionado por Konzen (2003), na criação de frango de corte, a produção média de cama é de aproximadamente quatro toneladas por ano para cada 1000 aves.

A composição dos dejetos de bovinos varia de acordo com a alimentação dos animais e é composta por fezes, urina, água desperdiçada dos bebedouros, água de higienização e resíduos de alimento. A proporção desses componentes pode variar dependendo da dieta dos animais e das práticas de manejo adotadas.

Segundo Matos (2005), uma vaca leiteira saudável, com peso médio de 400 kg, produz diariamente entre 38 e 50 kg de excretas, sendo que aproximadamente 28 a 32 kg correspondem a fezes. Em relação aos resíduos líquidos, a quantidade pode variar de acordo com os diferentes manejos e sistemas de produção adotados. Durante a ordenha, o consumo de água pode variar entre 40 e 60 litros por vaca ao dia. Esses resíduos, chamados de excretas, podem ser tratados por processos anaeróbios e aeróbios, sendo transformados em adubos orgânicos e em fonte de energia e calor.

Consequências intrínsecas e inevitáveis ocorrem quando se mantêm bovinos em confinamento, uma vez que a concentração de animais em um mesmo ambiente resulta em maior disponibilidade de alimentos e água, levando ao aumento na produção de dejetos, tanto fezes quanto urina (LORIN, 2014).

2.2 Logística reversa e os resíduos agrícolas

As propriedades rurais que se dedicam à produção de animais, como aves, suínos e bovinos, enfrentam o desafio de lidar com a geração de resíduos, principalmente os dejetos provenientes dessas criações. É fundamental que esses resíduos sejam descartados de maneira adequada, levando em consideração tanto as questões ambientais quanto as sanitárias.

No Brasil, a legislação ambiental estabelece diretrizes e normas específicas para o manejo e o descarte de resíduos sólidos. O decreto nº 10.936, de janeiro de 2022, que regulamenta a Lei 12.305/2010, conhecida como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), é uma importante legislação que trata da gestão integrada e do gerenciamento dos resíduos sólidos em todo o país. Em seu artigo 6º, afirma que o Poder Público, o setor empresarial e a sociedade são responsáveis pela efetividade das ações destinadas a assegurar a observância à Política Nacional de Resíduos Sólidos conforme os seus princípios:

- I - A prevenção e a precaução;*
- II - O poluidor-pagador e o protetor-recebedor;*
- III - A visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública;*
- IV - O desenvolvimento sustentável;*
- V - A eficiência, mediante a compatibilização entre o fornecimento, a preços competitivos, de bens e serviços qualificados que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida e a redução do impacto ambiental e do consumo de recursos naturais a um nível, no mínimo, equivalente à capacidade de sustentação estimada do planeta;*
- VI - A cooperação entre as diferentes esferas do poder público, o setor empresarial e demais segmentos da sociedade;*
- VII - A responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;*
- VIII - O reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania;*
- IX - O respeito às diversidades locais e regionais;*
- X - O direito da sociedade à informação e ao controle social;*
- XI - A razoabilidade e a proporcionalidade.”*

É na Lei 12.305/2010 que é instituído a Logística Reversa, no qual é definida como:

“instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada.”

Pode-se dizer que a logística reversa na agricultura refere-se ao processo de retorno dos resíduos gerados na produção agrícola ou no consumo de produtos agrícolas para serem reaproveitados, reciclados ou adequadamente descartados, buscando garantir a sustentabilidade e a redução dos impactos ambientais ao longo de toda a cadeia produtiva agrícola.

A destinação final ambientalmente adequada também é definida por essa legislação, como:

“destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos;”

Sabendo disso, vale destacar que algumas atividades podem apresentar procedimentos exigidos pela ISO 14.000, em que são exigências de qualidade para o procedimento de exportação dos seus produtos. Esta certificação determina a gestão ambiental, sendo a Norma Brasileira de Resíduo (NBR) de número 10.004/2004 (NBR 10.004/2004) que traz consigo a definição de resíduo sólido e a sua classificação, de acordo com sua fonte, toxicidade e os seus riscos eminentes ao ambiente e à saúde pública. Define-se como resíduo sólido:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Essas normas e certificações têm o objetivo de promover uma gestão adequada dos resíduos sólidos, garantindo a proteção do meio ambiente e da saúde coletiva. Ao seguir essas diretrizes, as propriedades rurais produtoras de animais podem adotar práticas sustentáveis na gestão de seus resíduos, incluindo os dejetos dos animais, e contribuir para a redução dos impactos ambientais.

Sabendo da necessidade de destinação correta destes resíduos e das suas propriedades nutricionais valiosas para a agricultura, estes acabam tornando uma opção econômica e sustentável de fertilizantes agrícolas, proporcionando mais interesse aos produtores rurais. Estes resíduos, possuem propriedades físicas e químicas importantes para uso como

fertilizantes, e por possuir liberação lenta provoca melhoria na estrutura do solo e aumenta a retenção de água (MENEZES & SALCEDO, 2007).

Promover a reutilização dos dejetos na agricultura como biofertilizantes ou fertilizantes orgânicos não só contribui para a redução dos impactos ambientais, mas está alinhado com os princípios da economia circular, em que os resíduos são valorizados e reintegrados ao ciclo produtivo. Essa prática promove a sustentabilidade na produção agropecuária e ajuda a preservar o meio ambiente, garantindo a saúde do solo e a produção de alimentos de forma mais sustentável.

2.3 – A utilização de adubos orgânicos

A adubação orgânica desempenha papel fundamental na agricultura sustentável, oferecendo uma alternativa viável de fertilização, reduzindo os altos custos com fertilizantes minerais. Sua importância reside na promoção da saúde do solo, na preservação do meio ambiente e na produção de alimentos mais saudáveis. Ao utilizar resíduos orgânicos, como esterco animal e restos de culturas, os fertilizantes orgânicos fornecem nutrientes essenciais às plantas de forma equilibrada, melhorando a fertilidade do solo a longo prazo. Ao preservar a biodiversidade do solo e reduzir o uso de produtos químicos sintéticos, a adubação orgânica também promove a sustentabilidade ambiental e a saúde dos ecossistemas agrícolas.

É notável que os resíduos provenientes das criações de suínos, aves e bovinos possuem altas concentrações de nutrientes (Tabela 1), particularmente de nitrogênio, fósforo e potássio, que são fundamentais para a nutrição das plantas (KONZEN, 2006; CELIK *et al.*, 2010; BENEGA *et al.*, 2018).

Tabela 1 - Composição média dos dejetos

ORIGEM	RESÍDUO ORGÂNICO	N total	P ₂ O ₅ (kg t ⁻¹)	K ₂ O	Matéria Seca (%)
AVES	Cama de frangos	38	40	35	75
	Cama de peru	50	40	40	75
	Cama de poedeiras	16	49	19	72
SUINOS	Esterco sólido de suínos	21	28	29	25
	Dejeto líquido de suínos	2,8	2,4	1,5	3
	Cama sobreposta de suínos	15	16	18	40
	Composto de dejeto de suínos	16	25	23	40
BOVINOS	Esterco sólido de bovinos	15	14	15	20
	Dejeto líquido de bovinos	1,4	0,8	1,4	4
	Composto de esterco de bovinos	11	2,5	6,0	38

Fonte: Adaptado de Palhares *et al.* (2019), Nicoloso *et al.* (2016) e Russelle *et al.* (2009).

A utilização de dejetos apresenta preocupações significativas pelo potencial poluidor. Quando utilizados sem cuidados técnicos adequados, pode ocorrer o acúmulo excessivo de fertilizantes, podendo levar à poluição do solo, da água superficial e subterrânea. Em períodos chuvosos, os processos de percolação e lixiviação podem resultar na contaminação de corpos hídricos, no qual os dejetos, ao entrarem em contato com a água, contribuem para a redução do teor de oxigênio dissolvido, a proliferação de patógenos e a contaminação por substâncias como nitrogênio amoniacal (NH₄⁺), nitratos (NO₃⁻) e outros elementos poluentes. Além disso, a presença de grande quantidade de matéria orgânica, nutrientes, bactérias e sedimentos nos dejetos também contribui para a poluição, gerando odor desagradável pela evaporação de compostos voláteis como amoníaco (NH₃), metano (CH₄), ácidos graxos voláteis (AGV), sulfídrico (H₂S) e outros (SILVA; FRANÇA; OYAMADA, 2007).

Para a utilização segura e eficientes dos dejetos na agricultura, o tratamento é uma etapa importante. De acordo com as características dos resíduos e as condições locais, diversas formas de tratamento, podem ser aplicadas, tais como o uso de compostagem, biodigestores, esterqueiras, sistemas de decantação e uso de lagoas anaeróbicas e aeróbicas (ANDREAZZA *et al.*, 2010). Cabe ressaltar que a escolha do método deve levar em consideração as características dos resíduos, as condições locais e as normas e legislações ambientais aplicáveis, visando resultar em produto estabilizado, sanitizado, rico em compostos húmicos e cuja utilização no solo não ofereça riscos ao meio ambiente (SOUZA *et al.*, 2019).

A análise dos compostos químicos presentes nos resíduos provenientes da criação de animais é de extrema importância, pois fornece informações valiosas para orientar a seleção do tratamento mais adequado e para avaliar a viabilidade do uso desses resíduos na agricultura. Ao conhecer a composição química dos resíduos, é possível identificar os teores de nutrientes, como nitrogênio, fósforo e potássio, além de outros elementos poluentes. Esses dados permitem melhor avaliação do potencial fertilizante dos resíduos e ajudam na definição das práticas de manejo adequadas para garantir o uso sustentável. Com base nas informações obtidas por meio da análise química, é possível tomar decisões informadas sobre o tratamento e a destinação dos resíduos, visando minimizar os impactos ambientais negativos e maximizar os benefícios agrícolas. Dessa forma, a análise dos compostos químicos presentes nos resíduos de animais desempenha papel fundamental na busca por soluções sustentáveis e no aproveitamento eficiente desses recursos na agricultura.

2.3.1 - Dejetos de Suínos

Os resíduos de suínos são constituídos de aproximadamente 40% de fezes, e cerca de 60% de urina, água residual, sobras da alimentação, dentre outros materiais gerados no processo produtivo, no qual formam um composto homogêneo, mas pode variar de acordo com vários fatores, como a idade e a dieta dos animais, a densidade de criação, o tipo de sistema de produção, entre outros (MALLMANN, 2019; CRUZ *et al.*, 2020).

Os dejetos suínos, em sua maioria, apresentam coloração escura, consistência normalmente líquida, mas podem ser encontrados de forma pastosa ou sólida. Apresentam grandes quantidades de matéria orgânica, odor desagradável e características químicas, físicas e biológicas variáveis. A composição química é influenciada pela dieta ofertada aos animais e pela absorção dos nutrientes pelo organismo animal, variando de acordo com o estágio de crescimento e a quantidade de água utilizada no processo (BARROS, *et al.*, 2019).

Segundo Correa (2011) e Kiehl (1985), entre 30 e 60% da ração ingerida transforma-se em ganho de peso, sendo o restante destes componentes eliminados nos dejetos. Aproximadamente 92 a 96% do zinco, 72 a 80% do cobre e 60 a 70% do nitrogênio ingeridos são excretados nas fezes e urina (TAVARES, 2016).

Sendo assim, faz-se necessário conhecer a composição dos resíduos para que se tenha a quantidade necessária a ser aplicada no solo (Tabela 2), evitando impactos negativos a qualidade do solo e ao ambiente. Conforme Seganfredo (2000), o excesso de alguns nutrientes

aplicados ao solo pode ocasionar efeitos negativos a qualidade (propriedades químicas, físicas e biológicas).

Tabela 2 – Concentração de nutrientes em amostras de dejetos suínos.

Amostra	COMPONENTES						
	N _{total}	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	C. Orgânico	Mat. Seca
----- % (m/m) -----							
SÓLIDO	2,1	2,8	2,9	2,8	0,8	20	25
----- kg/m ³ -----							
LÍQUIDO	2,8	2,4	1,5	2,0	0,8	9	3

Fonte: Adaptado de CQFS-RS/SC, 2016.

Sabendo da importância econômica e ambiental da utilização de dejetos suínos (DS) na agricultura, faz-se necessário a obtenção de técnicas seguras para a aplicação, buscando respeitar a capacidade máxima de cada solo e cultura, visando definir quantidades adequadas a serem aplicadas ao solo, realizando o monitoramento constante por meio de análises em diferentes pontos e profundidades, objetivando o mínimo possível de impacto ambiental.

2.3.2 - Dejetos de aviário (cama de frango)

O dejetos de aviário, conhecido popularmente como cama de frango (CF), é composto principalmente por matéria orgânica, minerais, água, maravalha, casca de arroz, serragem, entre outros (GARCÊS *et al.*, 2017), além de restos de ração, penas, excretas e microrganismos (ROSA, 2015). Sua composição pode variar em função de muitos fatores, como a idade das aves, a densidade de criação, o tipo de cama utilizado, entre outros (SANTOS, 2012).

Conhecer a composição deste material faz-se necessário para que haja confiabilidade quando for realizar a aplicação deste dejetos. Segundo Santos (2021), a composição deste resíduo constitui, predominantemente, de água e carbono, com quantidade menor de nitrogênio (N) e fósforo (P) e pequenas porções de cloro (Cl), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), manganês (Mn), ferro (Fe), zinco (Zn) e arsênio (As). Apresenta a média de 14% de proteína bruta, 16% de fibra bruta, 13% de minerais e 0,41% de extrato etéreo. Por apresentar uma vasta quantidade de nutrientes e condições ambientais favoráveis de umidade e temperatura, este dejetos pode se tornar um ambiente adequado para a proliferação de microrganismos de caráter patogênico (SANTOS *et al.*, 2018; CARVALHO *et al.*, 2011).

Segundo Konzen (2003) os resíduos de cama de frango apresentam composição semelhante a cama de suínos (Tabela 3):

Tabela 3 - Conteúdo médio de nutrientes (NPK) da cama de suínos e de aves.

Amostra	Nutrientes					M.O. %	pH
	N	P	K	Ca	Mg		
	kg L ⁻¹						
Cama de Suínos	29,6	40,0	37,5	22,0	6,9	57,4	7,4
Cama de Frango	30,0	24,0	36,5	23,0	7,3	65,5	8,2

Fonte: Adaptado de Konzen (2003).

Todavia, as concentrações de nutrientes são muito variáveis, principalmente quando se trata do reuso da cama de aviário na granja, tendendo a ocasionar acúmulo maior, tornando-o ainda mais rico para uso agrônômico (MARAFON, 2021). Contudo, há grande preocupação ambiental no uso desse resíduo, haja vista que o uso em excesso pode levar a eutrofização de corpos da água, contaminação do ar com gases tóxicos ou causadores de efeito estufa e a dispersão de agentes patogênicos (BAYRAKDAR *et al.*, 2017).

2.3.3 - Dejetos Bovinos

A elevada concentração de animais na criação intensiva resulta em grande quantidade de resíduos diários. Esses resíduos são compostos de dejetos, material utilizado nas camas, água utilizada na limpeza, restos de animais, como pelos e células mortas, entre outros. A maior parte desses resíduos é formada pelos dejetos, que são compostos pelas fezes e urina dos animais. O gerenciamento desses resíduos é um desafio para criadores e especialistas, pois envolve questões técnicas, sanitárias e econômicas (HARDOIM; GONÇALVES, 2000).

Segundo Konzen (2005), os dejetos bovinos têm composição variada, dependendo do sistema de higienização e do desperdício dos comedouros e bebedouros. Esses valores são essenciais para calcular a quantidade de adubo necessária para cada cultura, considerando a produtividade desejada (Tabela 4).

Tabela 4 - Composição nutricional média dos dejetos bovinos.

Amostra	Nutrientes				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	M.S.	pH
	-----	kg m ⁻³	-----	%	
Bovinos (Chorume)	1,5 – 2,5	0,6 – 1,5	1,5 – 3,0	10 – 15	7,0 – 7,5
Bovinos (Fezes/Urina)	4,5 – 6,0	2,1 – 2,6	2,8 – 4,5	12 – 15	6,8 – 7,5
Bovinos (Sólido)	15 – 25	8 – 12	8 -1 5	45 – 70	7,0 – 7,5

Fonte: Adaptado de Konzen e Avarenga (2005).

Segundo Manso e Ferreira (2007), a criação intensiva de bovinos pode levar ao acúmulo de dejetos e geração de resíduos líquidos com alta carga orgânica, favorecendo a proliferação de insetos e poluindo diretamente o ambiente, além de afetar a qualidade ambiental e contaminar os recursos hídricos.

Os sistemas de criação de gado leiteiro baseados em tecnologias como *free stall* e *compost barn* têm se tornado cada vez mais populares entre os produtores de leite em todo o mundo. No sistema *free stall*, os dejetos são coletados regularmente e armazenados em um tanque ou lagoa de armazenamento. No caso do *compost barn*, a cama de compostagem que é usada para o descanso das vacas é continuamente adicionada com palha, serragem ou outros materiais orgânicos. Essa adição de materiais auxilia no processo de compostagem e reduz a umidade na cama de repouso das vacas (SILVA, 2019). Ao final do período de uso da cama, ela é retirada e deixada em local específico para a fase final de compostagem. Após esse processo esses dejetos podem ser utilizados como fertilizante para as culturas agrícolas da fazenda ou vendidos para outras fazendas como adubo.

2.4 Tratamentos para dissipação ou estabilização de contaminantes

Os dejetos animais representam um desafio significativo para o meio ambiente e a saúde pública por seus potenciais perigos. Esses resíduos contêm uma carga elevada de nutrientes (Tabela 5), que, se não forem tratados adequadamente, podem resultar em contaminação do solo e da água, contribuindo para a eutrofização de corpos hídricos. Além disso, os dejetos animais podem abrigar patógenos prejudiciais à saúde humana, como bactérias, vírus e parasitas (PEDROSA *et. al.*, 2013). No entanto, por meio de técnicas de tratamento adequadas, como a compostagem, é possível mitigar esses perigos.

Tabela 5 – Caracterização química dos dejetos expressos em porcentagem (in natura).

Amostra	Nutrientes				
	Nitrogênio (N)	Fósforo (P)	Potássio (K)	Cálcio (Ca)	Magnésio (Mg)
	----- % -----				
Cama de Suínos	2,30	0,68	1,06	0,52	1,68
Cama de Frango	3,38	1,27	2,46	6,11	2,13
Cama de Bovinos	1,24	0,65	1,21	1,09	1,48

Fonte: Adaptado de Vione (2018).

De acordo com Cardoso, Oyamada e Silva (2015), existem três sistemas básicos de tratamento de dejetos: físicos, químicos e biológicos. O manejo dos dejetos é realizado de acordo com o tipo de produção, considerando o ciclo de vida gerado na propriedade. A escolha do método a ser adotado depende principalmente da disponibilidade financeira de cada produtor e do objetivo final do processo, como a redução da carga orgânica, remoção de nutrientes, inativação de organismos patogênicos, reuso da água, entre outros (BORTOLI, 2010; CARDOSO, OYAMADA, SILVA, 2015).

Os tratamentos mais recomendados para os dejetos são predominantemente de natureza biológica, incluindo lagoas aeróbias, lagoas anaeróbias, digestão anaeróbia e compostagem. Dentre essas opções, a compostagem é especialmente indicada por sua facilidade de manejo e ao uso de resíduos sólidos. Essa abordagem proporciona boa estabilização do material e preserva os nutrientes essenciais presentes nos dejetos, contribuindo para uma gestão eficiente e sustentável dos resíduos (SILVA, 2020).

A compostagem termofílica é um exemplo de técnica de tratamento que têm se mostrado promissora, sustentável e de baixo custo operacional, possibilitando a eliminação de contaminantes e a estabilização biológica do resíduo, com a redução de odores indesejáveis e da população de microrganismos patogênicos (NGUYEN; SHIMA, 2019). Além disso, ela acelera a degradação de compostos termo sensíveis através do aumento da temperatura nestes sistemas. É uma abordagem que envolve processos biológicos possíveis de serem originados no enriquecimento da população microbiana, eficiente na estabilização destes materiais, podendo ser higienizados e viáveis para uso futuro como fertilizantes orgânicos tratados (AL-GHEETHI *et al.*, 2018; KIMBELL *et al.*, 2018; LIU *et al.*, 2018).

Durante o processo de compostagem, o material orgânico é degradado pela ação de microrganismos e de enzimas, levando a fragmentação gradual e oxidação dos mais diversos

detritos (BARTHOD; RUMPEL; DIGNAC, 2018 e WANG *et al.*, 2018). A temperatura interna do sistema de compostagem pode ficar próxima a 70°C na fase de maturação do esterco, todavia temperaturas muito extremas podem prejudicar a qualidade final do composto. O processo geralmente é realizado no período de 90 dias, sendo que o composto orgânico gerado promove decaimento superior a 90% na concentração de antimicrobianos (EZZARIAI *et al.*, 2018; LIU *et al.*, 2018), além da eliminação de organismos patogênicos (AL-GHEETHI *et al.*, 2018; EL HAYANI *et al.*, 2018).

O processo de compostagem também pode levar a redução da disponibilidade de metais pesados, por conta da mineralização de compostos orgânicos que promove a complexação dos mesmos elementos junto à fração orgânica que é mais estável, limitando a disponibilidade no solo (VACA *et al.*, 2011; SHAH *et al.*, 2019). Porém, por causa da diversidade destes materiais, os esterco, principalmente aqueles *in natura*, podem apresentar concentrações elevadas de metais pesados, muitas vezes acima dos limites definidos pela legislação ambiental, sendo pouco recomendado o uso sem o devido tratamento. Quando a concentração está acima dos limites tolerados ambientalmente pode haver a contaminação de toda cadeia trófica, com implicação nos vegetais e, conseqüentemente, no homem (O'BRIEN *et al.*, 2018; SHARMA *et al.*, 2019).

A fim de utilizar os resíduos orgânicos de forma adequada, é necessário submetê-los a processos de estabilização da matéria orgânica, redução de volume e, em alguns casos, diminuição da umidade. Esses processos podem ser classificados em aeróbios, que ocorrem na presença de oxigênio, como a compostagem e a vermicompostagem, e anaeróbios, que ocorrem na ausência de oxigênio, como a biodigestão em biodigestores. Essas abordagens garantem a transformação eficiente dos resíduos orgânicos em materiais utilizáveis, contribuindo para a gestão sustentável dos resíduos e a promoção da sustentabilidade ambiental.

De acordo com o estudo de Orrico Junior *et al.* (2010), é comum que os agricultores utilizem a cama de aviário sem tratamento (*in natura*) na adubação de culturas e pastagens. Segundo o mesmo estudo, a compostagem mostrou-se eficaz no tratamento de carcaças e cama de frangos, resultando na redução dos sólidos totais e na eliminação de microrganismos patogênicos. No entanto, o estudo também revelou que a compostagem não foi tão eficiente na preservação do nitrogênio presente no material.

Um estudo realizado por Vione *et al.* (2018) investigou a composição química de compostos e vermicompostos obtidos a partir de cascas de arroz e dejetos animais, visando

avaliar seu potencial agrícola. Os resultados revelaram diferenças nas características químicas dos compostos provenientes de dejetos de aves, bovinos e suínos (Tabela 6), destacando que os compostos de aves apresentaram maiores teores de fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg).

Tabela 6 - Caracterização química dos dejetos expressos em porcentagem (após vermicompostagem).

Amostra	Nutrientes				
	Nitrogênio (N)	Fósforo (P)	Potássio (K)	Cálcio (Ca)	Magnésio (Mg)
	----- % -----				
Cama de Suínos	1,5	0,4	0,4	0,6	1,2
Cama de Frango	1,3	1,0	0,6	4,9	1,7
Cama de Bovinos	1,1	0,4	0,4	1,1	1,2

Fonte: Adaptado de Vione (2018).

Após um período de 60 dias de pré-compostagem, a composição dos materiais obtidos por meio da compostagem e vermicompostagem tornou-se semelhante (Tabela 6 e 7), com exceção dos teores de potássio (K), que foram menores no vermicomposto.

Tabela 7 - Caracterização química dos dejetos expressos em porcentagem (após compostagem).

Amostra	Nutrientes				
	Nitrogênio (N)	Fósforo (P)	Potássio (K)	Cálcio (Ca)	Magnésio (Mg)
	----- % -----				
Cama de Suínos	1,5	0,5	0,7	0,5	1,2
Cama de Frango	1,3	1,1	1,8	4,8	1,7
Cama de Bovinos	1,2	0,5	0,8	1,2	1,2

Fonte: Adaptado de Vione (2018).

Estudos conduzidos por Liu *et al.* (2022) e Shen *et al.* (2016) evidenciaram que a compostagem não apenas impacta a concentração de nutrientes, mas desempenha papel importante na redução da biodisponibilidade de metais pesados. Essas pesquisas demonstraram que o processo de compostagem promove a transformação das formas químicas dos metais pesados, resultando em diminuição na solubilidade e na capacidade de absorção por organismos vivos. Esses resultados ressaltam a eficácia da compostagem na mitigação dos efeitos negativos dos metais pesados, contribuindo para a preservação da qualidade ambiental e da saúde humana.

Os metais pesados não são biodegradáveis e podem ser acumulados através da cadeia alimentar, eventualmente ameaçando os seres humanos e os ecossistemas naturais (LI *et al.*, 2021). A toxicidade biológica dos metais pesados está diretamente ligada às formas químicas. A compostagem, por sua vez, desempenha papel fundamental na redução da mobilidade e da biodisponibilidade desses metais, convertendo suas formas extraíveis e redutíveis em estados mais estáveis. Dessa forma, a compostagem é amplamente reconhecida como um método eficaz para mitigar os efeitos dos metais pesados, tornando-os menos reativos e menos prejudiciais (AWASTHI *et al.*, 2021, LIU *et al.*, 2021, HU *et al.*, 2021,).

2.5 As propriedades químicas do solo e aplicação de dejetos

De acordo com Santos e Camargo (1999), com o aporte de matéria orgânica no solo via aplicação de dejetos, são afetadas a disponibilidade de nutrientes para as culturas, a capacidade de troca catiônica, a complexação de elementos potencialmente tóxicos e micronutrientes.

A preocupação ambiental é despertada a respeito dos macronutrientes como o nitrogênio (N) e fósforo (P), cujo excesso é responsável pela contaminação das águas, tanto superficiais quanto subterrâneas, que com a infiltração no solo e percolação podem provocar a eutrofização de corpos hídricos nas proximidades das áreas que receberam aplicações, podendo ocasionar mortalidade de peixes. Segundo Ito, Guimarães e Amaral (2016), não se pode descartar os problemas aos seres humanos, pela possível presença de organismos prejudiciais que causam verminoses, alergias e até hepatite, e a possibilidade de intoxicação das plantas. Já os micronutrientes, como o cobre (Cu) e o zinco (Zn), podem acumular no solo e nas plantas (CORRÊA *et al.*, 2011).

Arruda *et al.* (2010) observaram aumento substancial de nutrientes na camada de 0-5 cm de solo, especialmente na disponibilidade de fósforo e de potássio, pela aplicação de doses crescentes de dejetos suínos em lavouras sob plantio direto. O efeito do acúmulo excessivo de P disponível no solo pode produzir deficiências de Zn em algumas culturas, enquanto o excesso de K e Na, na forma trocável, pode causar a desagregação e diminuição da estabilidade de agregados do solo. O uso dos dejetos deve ser feito com cautela, porque o desbalanço, entre a proporção de nutrientes presentes nos dejetos com a quantidade de nutrientes absorvidos pelas plantas, pode ocorrer acúmulo de nutrientes no solo (CERETTA *et al.*, 2003; LOURENZI *et al.*, 2011; BRUNETTO *et al.*, 2012).

Donini (2011) verificou o aumento da saturação de bases do solo em função da presença de cátions básicos na cama de aviário, e o solo que recebeu o resíduo orgânico apresentou cerca de 80% de saturação de bases e a área de vegetação nativa menos que 20%. Valadão *et al.*, (2012), em seus estudos com diferentes tipos de cama de aviário, observaram que o uso cama de frango crua proporciona maior teor de nitrogênio no solo, enquanto a cama de frango compostada proporciona ao solo teor de carbono total e atributos físicos mais semelhantes às condições naturais.

Em áreas que recebem a aplicação de dejetos, é recomendado que sejam implantadas culturas de cobertura de solo, que buscam sistemas de rotação de culturas capazes de produzir e manter resíduos vegetais na superfície do solo, contribuindo com a minimização de perdas de nutrientes por escoamento superficial, possibilitando a diminuição do risco de contaminação dos corpos hídricos (CERETTA *et al.*, 2005).

2.6 Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT) no solo

De acordo com a literatura, a expressão “metais pesados”, mesmo sendo popularmente utilizada, não é muito indicada, podendo utilizar os sinônimos "metais-traço", "elementos-traço", "micronutrientes", "microelementos", dentre outros.

Os metais pesados, por exemplo, são elementos encontrados naturalmente em todo ambiente, sendo que acima de determinadas concentrações são tóxicos aos seres vivos. Por causa destas características, os metais pesados diferem de outros agentes tóxicos porque o organismo humano não é capaz de sintetizar e nem destruir tais elementos, ocasionando um processo de bioacumulação no organismo (SILVA *et al.*, 2012).

A presença de alguns EPT em fertilizantes orgânicos pode ocorrer pela adição de suplementos minerais na alimentação dos animais, que frequentemente são de baixa qualidade e fornecidos por indústrias. Segundo Gonçalves Júnior *et al.* (2007), os metais tóxicos são absorvidos parcialmente pelos tecidos vivos dos animais e o restante é excretado através da urina e fezes. Moral *et al.* (2008) reiteram que esses elementos são considerados fitotóxicos, mesmo em pequenas concentrações, ocasionando efeitos prejudiciais à saúde humana e animal, além de afetar negativamente o ambiente.

O quadro a seguir apresenta os limites estabelecidos pela INSTRUÇÃO NORMATIVA SDA Nº 27, 05 DE JUNHO DE 2006 (Alterada pela IN SDA nº 7, de

12/04/2016, republicada em 02/05/2016) para a produção, importação e comercialização de Fertilizantes Orgânicos. É importante ressaltar que ao calcular a carga de elementos adicionada ao solo, não apenas a concentração dos metais pesados no insumo deve ser considerada, mas também a dose aplicada.

Tabela 8 - Limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo.

CONTAMINANTE	VALOR MÁXIMO ADMITIDO
Arsênio (mg kg ⁻¹)	20,00
Cádmio (mg kg ⁻¹)	3,00
Chumbo (mg kg ⁻¹)	150,00
Cromo hexavalente (mg kg ⁻¹)	2,00
Mercúrio (mg kg ⁻¹)	1,00
Níquel (mg kg ⁻¹)	70,00
Selênio (mg kg ⁻¹)	80,00
Coliformes termotolerantes - número mais provável por grama de matéria seca (NMP/g de MS)	1.000,00
Ovos viáveis de helmintos - número por quatro gramas de sólidos totais (nº em 4g ST)	1,00
<i>Salmonella</i> sp	Ausência em 10g de matéria seca

Fonte: Adaptado de Instrução Normativa SDA nº 27, 05 de junho de 2006.

A utilização de certos insumos agrícolas com finalidade corretiva ou nutricional na agricultura pode representar uma possível fonte de contaminação por metais pesados, como apontado por Campos et al. (2005). Embora esses insumos, como fertilizantes, calcários, esterco e lodos de esgoto, possam representar uma parcela quantitativamente menor, eles possuem o potencial de induzir a poluição difusa nos solos. McBride & Spiers (2001) afirmam que o aumento significativo dos teores de elementos-traço nos solos pela aplicação de fertilizantes pode levar décadas para ocorrer, conforme pode-se observar na tabela 9.

Tabela 9 - Adições globais de alguns elementos-traço ao solo (Gg ano⁻¹).

FONTE	As	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
Resíduos Agrícolas	0-6,0	0-3,0	4,5-90	3-38	15-112	6-45	1,5-27	12-150
Resíduos Animais	1,2-4,4	0,2-1,2	10-60	14-80	50-140	3-36	3,2-20	150-320
Lodo de esgoto municipal	0,01-0,24	0,02-0,34	1,4-11	4,9-21	4,4-11	5-22	2,8-9,7	8-57
Fertilizantes Minerais	0-0,02	0,03-0,25	0,03-0,38	0,05-0,58	0,13-0,83	0,2-0,55	0,42-2,3	0,26-1,1

Fonte: Adaptado de Nriagu & Pacyna (1988) e Guilherme *et al.* (2005).

O desenvolvimento da Produção de Animais Confinados (SPACs) resultou em aumento da quantidade de resíduos nas propriedades rurais, tornando necessário o aprimoramento das técnicas de manejo, destinação e uso desses resíduos (KUNZ; OLIVEIRA, 2006). Esses resíduos contêm nutrientes para as plantas, mas, geralmente contêm metais tóxicos como cádmio, chumbo e cromo (GONÇALVES JÚNIOR *et al.*, 2008), podendo levar à contaminação dos solos e recursos hídricos.

Conforme Sedyama *et al.* (2008), uma questão crucial relacionada à contaminação do solo agrícola por metais tóxicos é a aplicação de dejetos sem tratamento prévio. Quando aplicados diretamente no solo, esses resíduos podem elevar a concentração de nutrientes e metais tóxicos presentes em sua composição química. Mesmo quando os dejetos estão devidamente estabilizados ou compostados, há o risco de contaminação das águas por nitrato, especialmente quando aplicados em doses acima do recomendado. Se o excesso de nitrato não for absorvido pelas plantas ou transformado por agentes microbianos em outros compostos nitrogenados pode percolar pelo solo e atingir as águas (MIYAZAWA *et al.*, 2009).

Por causa da alta concentração de elementos-traço, como cobre (Cu) e zinco (Zn), presentes nos dejetos, é esperado ao longo do tempo o acúmulo excessivo desses elementos no solo, conforme apontado por L'Herroux *et al.* (1997) e Gräber *et al.* (2005). O estudo realizado por Giroto *et al.* (2010) demonstrou que as aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos resultaram em aumentos significativos nos teores de cobre e zinco no solo, principalmente nas camadas superficiais, com migração do Cu até a profundidade de 12 cm e do Zn até 10 cm.

Conforme evidenciado na tabela 10, é essencial realizar o monitoramento da presença de metais pesados nos fertilizantes orgânicos, a fim de assegurar que esses materiais sejam aplicados na agricultura de maneira adequada e em conformidade com as regulamentações ambientais. A utilização desses fertilizantes deve ser embasada em cuidadosa avaliação da

qualidade dos materiais e da capacidade do solo em absorvê-los sem causar danos ao meio ambiente, e à saúde humana e animal.

Tabela 10 - Concentração de elementos-traço em alguns insumos agrícolas.

FONTE	As	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
	-----(<i>mg kg⁻¹</i>)-----							(<i>g kg⁻¹</i>)
Lodo de Esgoto	2-26	2-1.500	20-40.600	50-3.300	60-3.900	16-5.300	50-3.000	700-49.000
Fertilizante fosfatado	2-1.200	0,1-170	66-245	1-300	40-2.000	7-38	7-225	50-1.450
Calcário	0,1-24,0	0,04-0,1	10-15	2-125	40-1.200	10-20	20-1.250	10-450
Fertilizantes nitrogenados	2-120	0,05-8,5	3-19	1-15	-	7-38	2-1.450	1-42
Esterco	3-150	0,3-0,8	5,2-55	2-60	30-550	7,8-30	6,6-3.500	15-250
Pesticida	220-600	-	-	120-500	-	-	600	13-250

FONTE: Adaptado de Kabata-Pendias & Pendias (2001).

Cabe salientar que metais mais solúveis, como cádmio e chumbo, apresentam maior mobilidade em comparação com metais menos solúveis, como cobre e zinco. Além disso, a mobilidade dos metais pesados pode aumentar em solos ácidos, podendo ter consequências prejudiciais para a saúde das plantas e a qualidade da água. Essa mobilidade pode levar à bioacumulação, conforme afirmado por Braga *et al.* (2017), em que os metais pesados são absorvidos pelas raízes e posteriormente transportados para outras partes da planta. A bioacumulação pode aumentar a toxicidade dos metais pesados para plantas e animais, impactando negativamente a cadeia alimentar e a saúde humana. Portanto, compreender esses processos é crucial para o manejo adequado de metais pesados no solo, visando minimizar seus efeitos adversos e proteger o meio ambiente e a saúde pública.

Em suma, a compreensão do comportamento dos metais pesados no solo é essencial para a adoção de medidas preventivas e mitigadoras que visem proteger o meio ambiente e preservar a qualidade dos recursos naturais. Por meio de estudos e análises, é possível identificar os potenciais riscos associados à presença de metais pesados nos resíduos provenientes da criação de animais e implementar práticas sustentáveis de manejo do solo e dos resíduos. A utilização de técnicas de remediação, como a adição de agentes de imobilização e a implementação de sistemas de tratamento adequados, pode contribuir para a redução da mobilidade e toxicidade desses metais, garantindo um ambiente saudável e seguro para a produção agrícola e para a saúde humana. Portanto, investir no conhecimento e na

conscientização sobre o comportamento dos metais pesados no solo é fundamental para promover uma agricultura sustentável e preservar os recursos naturais para as gerações futuras.

2.7 Valores orientadores

Diversas agências ambientais ao redor do mundo têm trabalhado na definição de valores orientadores para metais pesados no solo, a fim de evitar a contaminação dos solos e sistemas aquáticos. Essas agências têm estabelecido concentrações máximas permitidas para elementos-traço no solo, buscando proteger o meio ambiente e prevenir riscos à saúde humana, conforme pode-se identificar na tabela 11. Esses valores orientadores são fundamentais para identificar áreas poluídas ou contaminadas, ao mesmo tempo avaliar o potencial de risco para o meio ambiente e a saúde humana.

Tabela 11 - Concentração no solo proposta em diferentes países e em diferentes anos.

PAÍSES	As	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
	-----(<i>mg kg⁻¹</i>)-----							
AUSTRÁLIA (1997) ⁽¹⁾	20	1	100	100	-	60	150	200
EUA (1998) ⁽²⁾	41	39	1300	1500	-	420	300	2800
BRASIL (CETESB) ⁽³⁾	15	1,3	75	60	-	30	72	86
BRASIL (CONAMA) ⁽⁴⁾	15	1,3	75	60	-	30	72	300

Fonte: (1) NSW EPA, 1997 / (2) CHANEY, *et al.*, 1998 / (3) CETESB, 2021 / (4) CONAMA, 2009.

De acordo com as normas brasileiras, foram estabelecidos três valores orientadores para garantir a qualidade dos solos (Tabela 12). O primeiro é o Valor de Referência de Qualidade (VRQ), que representa a concentração natural de determinada substância no solo, definindo sua qualidade intrínseca. O segundo é o Valor de Prevenção (VP), que estabelece a concentração máxima permitida de uma substância no solo, garantindo a preservação de suas funções essenciais. Por fim, há o Valor de Investigação (VI), que indica a concentração de uma substância no solo acima da qual existem riscos potenciais para a saúde humana, considerando diferentes cenários de exposição, como agrícola, residencial e industrial. Esses valores orientadores são fundamentais para guiar a gestão ambiental e a tomada de decisões relacionadas à prevenção da contaminação do solo.

Tabela 12 - Valores qualidade orientadores para solos brasileiros.

Elementos-Traço	Valores de Referência de Qualidade (VRQ)	Valor de Prevenção (VP)	Valor de Investigação (VI)		
			Agrícola	Residencial	Industrial
			<i>mg kg⁻¹</i>		
As	3,5	15	35	55	150
Cd	<0,5	1,3	3	8	20
Cr	40	75	150	300	400
Cu	35	75	150	300	400
Hg	0,05	0,5	12	36	70
Ni	13	30	70	100	130
Pb	17	72	180	300	900
Zn	60	300	450	1000	2000

Fonte: Adaptação CONAMA (2009) e CETESB (2021).

Conforme estabelecido pela legislação, a utilização desses resíduos na agricultura é permitida desde que os níveis de concentração das diferentes substâncias químicas não ultrapassem os Valores de Prevenção (VP) estabelecidos. Dessa forma, os resíduos podem ser empregados com responsabilidade, contribuindo para a fertilização e correção do solo, sem comprometer a integridade ambiental e a saúde dos ecossistemas e da população.

Esses valores são importantes para a gestão ambiental, pois auxilia na prevenção e controle da contaminação do solo, evitando a exposição humana e danos ao meio ambiente. Além disso, serve como base para a elaboração de políticas públicas voltadas à proteção do solo e à promoção da agricultura sustentável.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Caracterizar áreas agrícolas com histórico de aplicação de fertilizantes orgânicos a longo prazo, quantificando a concentração de elementos potencialmente tóxicos e comparando os valores encontrados com a legislação vigente.

3.2 Objetivo Específicos

- Identificar áreas com histórico de aplicação de fertilizantes orgânicos a longo prazo;
- Caracterização físico-química das amostras de solo coletadas (pH, textura, MO, P, CTC, macro e micronutrientes);

- Determinação da concentração de elementos potencialmente tóxicos nas amostras de solo (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb e Zn);
- Comparar os valores obtidos nas áreas com aplicação de fertilizantes orgânicos com as áreas controle sem aplicação;
- Analisar os riscos à qualidade do solo e a saúde humana através da comparação das concentrações de EPT encontradas com os valores orientadores vigentes.

4 METODOLOGIA

4.1 Caracterização geral da Área de Estudo

Todas as propriedades estudadas estão situadas no município de Rio Verde, no sudoeste Goiano, localizado à aproximadamente 238 km da capital do estado, Goiânia. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021) o município possui um território de 8.374,255 km², altitude de 748 metros do nível do mar e população estimada de 247.259 habitantes.

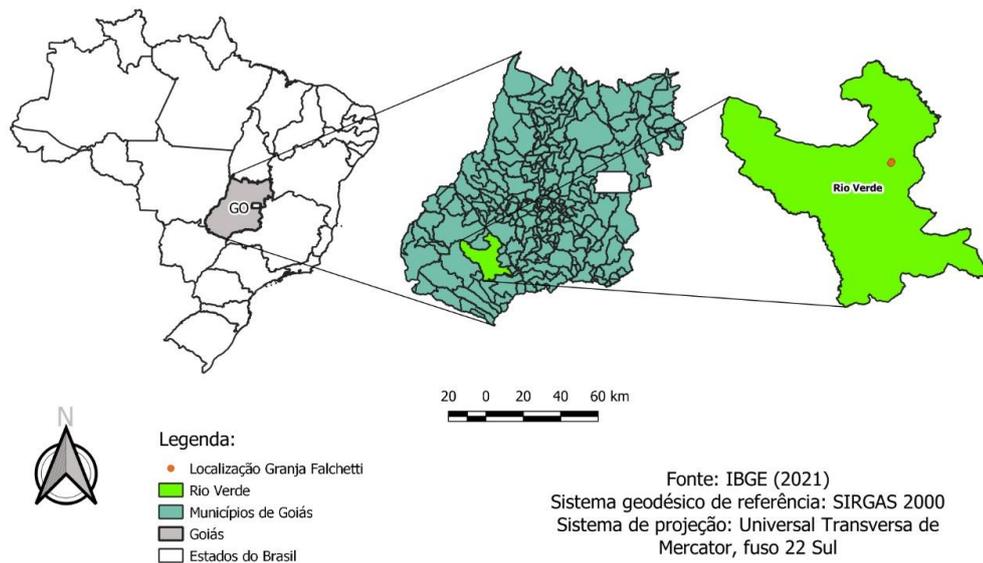


Figura 1 – Localização do município de Rio Verde/GO

Fonte: O autor (2023).

Segundo Barcelos *et al.* (2019), o município possui um clima considerado tropical semiúmido, com duas estações bem definidas, uma seca (maio a setembro) e outra chuvosa

(outubro a abril). A precipitação média dos últimos 20 anos foi de 1580 mm, enquanto a temperatura média anual varia entre 20,0 e 35,0°C. Segundo Santos *et al.* (2018) a região possui vegetação na maioria constituída por cerrado e o seu solo é caracterizado como Latossolo Vermelho e Latossolos Vermelhos-Amarelos.

De acordo com Siqueira e Faria (2023), o cerrado é o tipo de vegetação mais comum na região, solos altamente intemperizados, ácidos e com baixa fertilidade natural, conforme mencionado por Oliveira *et al.* (2015). Tendo em vista a baixa fertilidade natural predominante nos solos da região, a correção e a adubação são necessárias nesses solos para potencializar a produção agrícola. Ribeiro (2020) destaca que mesmo que os solos do cerrado sejam profundos e bem drenados, eles podem sofrer perda de nutrientes através da lixiviação, despertando atenção sobre as técnicas utilizadas nas áreas agrícolas de Rio Verde.

A Secretaria de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Goiás (SEAPA), afirma que Rio Verde ocupa a posição de segundo maior produtor de soja do Brasil em 2022, com a produção total de 1,2 milhões de toneladas. A soja é o principal cultivo local, abrangendo aproximadamente 40% da área plantada do município. O milho assume a segunda posição, ocupando cerca de 16% da área cultivada. Outras culturas relevantes incluem algodão, sorgo e girassol, embora estas representem uma parcela menor da área plantada.

4.1.2 Seleção das propriedades e amostragem de solo

As propriedades foram selecionadas primeiramente com base na aplicação consecutiva de fertilizantes orgânicos pelo maior tempo possível e, em segundo lugar, contemplando diferentes fontes de fertilizantes orgânicos.

No total, foram coletadas amostras de quatro propriedades no município de Rio Verde/GO.

PROPRIEDADE 1: Propriedade situada a aproximadamente 20 km do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, faz uso do seu solo para a pecuária e agricultura. Durante aproximadamente 20 anos utilizou a aplicação de cama de frango como fertilizante orgânico em suas áreas agricultáveis. No ano de 2022 os proprietários iniciaram a utilização de um composto orgânico (cama de frango, capim, bagaço de cana, esterco bovino e gesso) objetivando eliminar a utilização de fertilizantes químicos nas lavouras.

Ponto 01 (AC) – Ponto controle, mata nativa da propriedade.

Ponto 02 (A1) – Área sem histórico de aplicação de fertilizantes orgânicos e recentemente recebe a aplicação de composto orgânico (aproximadamente oito meses).

Ponto 03 (A2) – Após aproximadamente cinco anos sem aplicação de cama de frango iniciou-se a oito meses a aplicação de composto orgânico.

Ponto 04 (A3) – É realizado aplicação de cama de frango há três anos consecutivos, possuindo aplicação recente (aproximadamente oito meses) de composto orgânico.

Ponto 05 (A4) – É realizado aplicação há mais de cinco anos consecutivos de cama de frango e recentemente iniciou a aplicação de composto orgânico.

PROPRIEDADE 2: A propriedade, situada a aproximadamente 30 km do Campus do IF Goiano, engloba uma granja de produção de suínos, criação de bovinos de corte e cultivos de soja e milho. Há cerca de 20 anos, adota-se a prática de reaproveitamento dos dejetos suínos como fertilizantes para a pastagem e para as áreas agrícolas, com o objetivo de reduzir a necessidade de fertilizantes minerais. Ao longo dos anos, tem-se utilizado a aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS) e dejetos sólidos de suínos (DSS) em algumas áreas da propriedade, sem controle adequado da quantidade dos fertilizantes aplicados.

Ponto 01 (B1) – Pastagem com aplicação de DLS há 20 anos e recebeu aplicação recente do mesmo composto.

Ponto 02 (BC) – Ponto controle, mata nativa da propriedade, sem nenhum histórico de aplicação e longe das áreas que receberam aplicação.

Ponto 03 (B3) – Área com histórico de aplicação de DSS.

Ponto 04 (B4) – Lavoura de milho, que recebe apenas fertilizantes minerais.

PROPRIEDADE 3: A propriedade, localizada a cerca de 60 km do IF Goiano - Campus Rio Verde, tem utilizado seu solo para atividades pecuárias e agrícolas. Durante muitos anos, foram aplicados fertilizantes minerais como forma de adubação. No entanto, nos últimos cinco anos, de forma consecutiva, adotou-se a mistura composta de diversos condimentos orgânicos, como cama de frango e bagaço de cana, para a fertilização das culturas.

Ponto 01 (C1) e Ponto 02 (C2) – Áreas com histórico de aplicação de fertilizantes minerais e por cinco anos consecutivos adotou-se a aplicação de composto orgânico.

Ponto 03 (CC) – Ponto controle, em área de mata nativa da propriedade.

Em todos os pontos coletados, foram realizadas amostras compostas com três repetições cada, sendo que cada amostra composta consistiu na combinação de cinco subamostras. Para a coleta foi utilizando um trado holandês, sendo coletadas amostras nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm, totalizando 72 amostras.

4.2 Coleta e processamento de amostras

Após todas as coletas, o material foi direcionado para o Laboratório de Avaliação de Poluição e Ecotoxicologia do Solo (LAPES), do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – IFGoiano, Campus Rio Verde, para secagem e peneiramento das amostras para obtenção da fração terra fina seca ao ar (TFSA). Posteriormente, foram pesadas, separadas e identificadas para as análises a serem realizadas. Para as determinações de elementos potencialmente tóxicos, uma quantidade de 100 gramas foi separada, sendo que essas análises foram realizadas no Laboratório de Análises Ambientais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ) na cidade de Piracicaba/SP.

4.3 Caracterização físico-química do solo e determinação de EPT

As amostras coletadas foram submetidas a análises químicas para determinação dos seguintes parâmetros: pH em CaCl_2 0,01 mol L^{-1} ; acidez potencial (H+Al), Matéria Orgânica (MO) pelo método Walkley-Black; Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Alumínio (Al) trocáveis, pela solução extratora KCl 1 mol L^{-1} ; Potássio (K) trocável, Fósforo (P) disponível, Cu, Mn, Zn e Fe foram determinados pela solução extratora Mehlich1 (0,0125 mol L^{-1} de H_2SO_4 e 0,050 mol L^{-1} de HCl). Todas as determinações foram realizadas conforme as metodologias de análises de solo propostas pela EMBRAPA (2009). Utilizou-se pHmetro para de determinação de pH, Fotômetro de chama para K, Espectrofotômetro de Absorção Molecular o P, Espectrofotômetro de Absorção Atômica para Ca, Mg, Fe, Mn, Cu e Zn.

A determinação granulométrica foi conduzida através do processo de peneiramento, enquanto o teor de argila foi estimado utilizando o método do densímetro. Antes da análise, a amostra foi agitada lentamente por 16 horas, em meio à dispersão na solução de hidróxido de sódio 0,1 mol L^{-1} , conforme descrito por Teixeira *et al.* (2017).

Os elementos Potencialmente Tóxicos (EPT) como arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cromo (Cr), cobre (Cu), mercúrio (Hg), níquel (Ni), e zinco (Zn), foram quantificados por

espectrometria de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES, marca Thermo Scientific iCAP 6300), de acordo com o método 3051 A (EPA, 1996).

4.4 Análise de dados

Foram criadas planilhas no Microsoft Excel (versão 2016) para armazenar os dados. Dada a natureza exploratória dos dados coletados, foram realizadas análises descritivas, incluindo cálculos de média, mediana, mínimo, máximo e desvio-padrão.

4.5. Índices de poluição do solo

A avaliação da contaminação do solo partiu dos valores orientadores estabelecidos pela Cetesb (2021) e pela Resolução Conama nº 420/2009, que consistem em concentrações de substâncias químicas no solo que fornecem orientação sobre o seu grau de contaminação (concentrações acima dos limites naturais, VRQ) e poluição (efeitos negativos a qualidade do solo, VP). Essas diretrizes determinam os limites aceitáveis de Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT), garantindo a segurança ambiental e humana, conforme apresentado na Tabela 12.

Em virtude do elevado potencial poluidor dos elementos escolhidos neste trabalho, é crucial avaliar, de acordo com as concentrações encontradas e os valores orientadores, seu grau de contaminação, a fim de monitorar e prevenir impactos ambientais. Com isso, decidiu-se calcular os Índices de Geoacumulação (I_{geo}) e Fator de Contaminação (FC), baseando-se nos estudos realizados por Ke *et al.* (2017), Peña-Icart *et al.*, (2017), Weissmannová e Pavlovský (2017) e Khan *et al.* (2021).

Os valores de I_{geo} referentes as áreas estudadas foram obtidas por meio da seguinte equação:

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_n}{1.5B_n} \right)$$

Em que, C_n representa a concentração encontrada nas análises de solo, enquanto B_n representa o Valor de Referência de Qualidade (VRQ) estabelecido pela legislação, e o fator de correção 1,5 é o fator de correção para possíveis variações causadas por diferenças litológicas/pedológicas (YAQIN *et al.*, 2008). A Tabela 13 apresenta as faixas de variação e as respectivas interpretações dos valores de I_{geo} .

Tabela 13 - Índice de Geoacumulação e suas condições.

	Índice	Classes	Condições do Solo
I_{geo}	$I_{geo} \leq 0$	0	Não poluído;
	$0 \leq I_{geo} < 1$	1	Não poluído a moderadamente poluído;
	$1 \leq I_{geo} < 2$	2	Moderadamente poluído;
	$2 \leq I_{geo} < 3$	3	Moderadamente a fortemente poluído;
	$3 \leq I_{geo} < 4$	4	Fortemente poluído;
	$4 \leq I_{geo} < 5$	5	Fortemente a extremamente poluído;
	$I_{geo} > 5$	6	Extremamente poluído.

Fonte: Adaptado de Khan *et al.* (2021).

O Fator de Contaminação (FC), conforme utilizado por Hakanson (1980), Loska *et al.* (2004) e Kabata-Pendias (2011), corresponde a razão entre a concentração do elemento encontrado no solo (C_n), pela concentração dada pelo VRQ estipulado pela legislação local, sendo representada por C_{Bn} , conforme a equação apresentada a seguir. A Tabela 14 apresenta as faixas de variação e as respectivas interpretações dos valores de FC.

$$C_F = \frac{C_n}{C_{Bn}}$$

Tabela 14 - Grau de poluição do solo baseados no Fator de Contaminação.

Fator de Contaminação (FC)	Índice	Classe	Condições do Solo
	$FC < 1$	1	Baixa contaminação;
	$1 < FC < 3$	2	Contaminação moderada;
	$3 < FC < 6$	3	Contaminação considerável;
	$FC > 6$	4	Alta contaminação.

Fonte: Adaptado de Khan *et al.* (2021) e Cabral *et al.* (2023).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Propriedades Físico-Químicas do Solo

Com base na avaliação das amostras de solo obtidas no estudo, as características físico-químicas mais relevantes ao trabalho, são apresentadas na Tabela 15:

Tabela 15 - Valores médios das propriedades físicas e químicas analisadas.

PONTOS DE AMOSTRAGEM PROPRIEDADE	CENÁRIO	PROFUND.	pH	MO (g dm ⁻³)	V%	CTC	ARGILA (%)	SILTE (%)	AREIA (%)	CLASSIFICAÇÃO
					%					
PROP. 1	AC	0-10	3,78	29,33	13,76	10,79	25	10	65	Franco Argiloso Arenosa
		10-20	3,83	22,46	15,09	9,36	25	8	67	
	A1	0-10	5,35	38,13	85,84	13,16	23	9	68	Franco Argiloso Arenosa
		10-20	5,51	28,20	84,54	10,30	25	8	67	
	A2	0-10	5,80	33,56	92,07	10,92	24	11	65	Franco Argiloso Arenosa
		10-20	5,86	25,07	94,68	8,61	28	9	63	
	A3	0-10	6,09	24,98	98,39	9,90	27	10	63	Franco Argiloso Arenosa
		10-20	6,09	20,02	96,92	8,12	27	11	62	
	A4	0-10	6,35	9,49	99,04	6,03	17	9	75	Franco Arenoso
		10-20	6,19	8,27	92,22	5,27	19	8	73	
PROP. 2	B1	0-10	4,58	33,51	44,15	12,76	23	8	70	Franco Argiloso Arenosa
		10-20	4,38	21,59	36,18	9,32	24	8	68	
	BC	0-10	3,72	31,60	11,78	12,81	25	6	68	Franco Argiloso Arenosa
		10-20	3,75	28,72	13,01	11,53	29	8	63	
	B3	0-10	5,56	19,24	93,68	8,57	37	10	53	Argilo arenosa
		10-20	5,53	16,02	87,54	6,95	43	9	48	
	B4	0-10	5,54	20,11	87,59	6,98	42	8	51	Argilo arenosa
		10-20	5,34	19,24	77,98	6,82	43	8	50	
PROP. 3	C1	0-10	5,24	41,43	69,65	12,12	39	10	51	Argilo arenosa
		10-20	5,17	37,69	57,18	10,93	49	14	37	
	C2	0-10	5,79	39,61	87,07	12,31	55	21	23	Argiloso
		10-20	5,76	38,74	83,61	11,37	57	20	23	
	CC	0-10	4,72	39,78	47,33	13,19	67	15	18	Muito Argiloso
		10-20	4,65	37,52	42,59	11,78	65	15	20	

Os resultados de pH dos solos analisados revelam ampla diversidade, variando de uma elevada acidez (3,72 - amostra BC/0-10) a baixa acidez (6,35 - amostra A4/0-10). Elevada acidez é uma característica comum em solos naturais do Cerrado. Por outro lado, o valor de 6,35 representa a faixa de pH ideal para a produção agrícola. Essa variação é característica dos solos encontrados na região do Cerrado, como mencionado por Ferreira (2003), Meurer (2010) e Schmitt (2022). Esses dados indicam a importância de compreender e gerenciar a acidez do solo, especialmente para a agricultura, em que as condições ideais de pH são essenciais para o crescimento saudável das plantas.

As proporções de argila, silte e areia foram variáveis, evidenciando a diversidade da classificação textural dos solos. Por exemplo, amostras como B4 (0-10 cm, argiloso-arenoso) e CC (0-10 cm, muito argiloso) revelam maior concentração de argila, apontando para solos com maior capacidade de retenção de água e de nutrientes em relação a solos de textura mais arenosa.

Por outro lado, amostras da Propriedade 1, como A4 (0-10 cm), demonstram baixas quantidades de argila e alta proporção de areia, enquadrando na categoria de Franco-arenosos, sendo que foram as amostras que apresentaram os menores teores de MO e de CTC, evidenciando menor capacidade de retenção de água e de nutrientes.

Os valores de Matéria Orgânica variaram de 8,27 g dm⁻³ (A4/10-20) a 41,43 g dm⁻³ (C1/10-20). A quantidade de matéria orgânica no solo varia de acordo com a textura e a granulometria do solo (ARRUDA, EDJAIR; DALBEM, 2021; RIGBY *et al.* 2016). Os teores de matéria orgânica (MO) foram significativamente elevados em quase todos os cenários analisados, com exceção da área A4, identificada como a mais arenosa neste estudo, apresentando porcentagens de areia superiores a 70%. Segundo Ramirez e Matos (2022) a influência do tipo de solo na taxa e na fração de mineralização da matéria orgânica tem sido objeto de estudo por diversos pesquisadores, em que comparam diferentes classes de solo, que variam em características distintas, como textura, pH e conteúdo de matéria orgânica.

O conteúdo de matéria orgânica em solos ácidos é um aspecto importante que afeta a complexação de cátions metálicos, reduzindo a mobilidade dos Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT) no ambiente (RONQUIM, 2010). Além disso, a liberação dos EPT para a solução é um parâmetro crucial a ser considerado no entendimento dos efeitos prejudiciais desses poluentes nos organismos vivos (SOUZA *et al.* 2018).

Conforme observado na tabela 15, a Saturação de Bases (V%) e a Capacidade de Troca Catiônica (CTC) são indicadores críticos da fertilidade do solo. A V% expressa a porcentagem de bases (Ca, Mg, K) em relação à CTC, que é a capacidade do solo de reter íons, em que ambos os valores podem estar correlacionados com a porcentagem de MO, conforme citado por Madari, *et al.* (2009). Valores elevados de V% e CTC indicam solos bem equilibrados e férteis. As amostras variam na faixa de 5,27 a 13,19% para CTC e de 11,80 a 99,04% para V%.

Vários estudos têm evidenciado que o pH, a concentração do metal, a Capacidade de Troca Catiônica (CTC) e os componentes orgânicos e inorgânicos do solo influenciam a capacidade de retenção dos elementos-traço no solo (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001). Solos com maior quantidade de argila apresentam maior capacidade de reter metais, conforme observado por Zanchetta (2007). Porque esses solos geralmente possuem maior Capacidade de Troca Catiônica (CTC), resultando na disponibilidade de cargas negativas cujos metais pesados podem se ligar. Essa ligação é geralmente estabelecida por meio de um complexo de esfera interna, uma interação muito forte que tem a capacidade de imobilizar os metais, reduzindo substancialmente os riscos de lixiviação desses elementos. Essa característica, em princípio, contribui para evitar a contaminação do lençol freático e dos solos nas proximidades do local.

Fadigas *et al.* (2002) analisaram os níveis de metais em alguns solos brasileiros e encontraram correlação positiva e significativa entre os teores de argila e os elementos Fe, Cd,

Zn, Ni e Cr. Além disso, estudos realizados por Pierangeli *et al.* (2003) ressaltaram a importância de diversos atributos do solo na retenção de chumbo (Pb) e cádmio (Cd), como pH, matéria orgânica, força iônica e teores de argila.

A heterogeneidade dos atributos de solo nos diferentes cenários avaliados evidencia a importância de considerar essa variação ao planejar práticas agrícolas e de manejo para garantir a sustentabilidade a longo prazo dessas áreas.

5.2 Concentrações de EPT

As concentrações de Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT) nos solos são apresentadas na Tabela 16.

A análise das concentrações dos Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT) em solos é de fundamental importância para a avaliação da qualidade do solo e os potenciais impactos da sua contaminação na saúde humana e no ecossistema (SILVA, 2013). De uma forma geral, para As, Hg, Pb, Ni, Cu e Zn, os resultados revelaram que as concentrações estavam consistentemente abaixo dos respectivos Valores de Prevenção (VP), sugerindo a ausência de efeitos adversos a qualidade do solo. Esses elementos, portanto, estão em níveis que não representam riscos substanciais ao ambiente, não justificando a adoção de quaisquer medidas de intervenção.

Tabela 16 - Concentração média dos EPTs dos solos pesquisados.

PONTOS DE AMOSTRAGEM			As		Cd		Cr		Cu		Hg		Ni		Pb		Zn		
PROPRIEDADE	CENÁRIO	PROF.	mg/kg ⁻¹	DP	mg/kg ⁻¹	DP	mg/kg ⁻¹	DP	mg/kg ⁻¹	DP	mg/kg ⁻¹	DP	mg/kg ⁻¹	DP	mg/kg ⁻¹	DP	mg/kg ⁻¹	DP	
PROP. 1	AC	0-10	2,55	0,25	1,52	0,62	68,75	9,61	4,90	0,51	0,70	0,16	2,66	0,10	3,49	1,09	8,15	1,92	
		10-20	1,85	0,90	1,88	0,16	63,99	5,53	4,98	0,19	0,34	0,46	2,59	0,17	3,15	0,07	9,27	2,85	
	A1	0-10	7,64	0,00	5,32	0,38	275,82	29,28	72,49	3,03	<LQ	0,39	23,11	1,64	5,67	0,50	46,90	1,39	
		10-20	4,60	0,00	5,33	0,57	292,87	18,84	57,50	7,36	<LQ	0,22	24,10	1,88	6,40	1,27	40,21	3,29	
	A2	0-10	1,05	0,45	4,58	0,28	166,58	4,18	24,77	1,36	<LQ	0,44	9,39	1,40	5,35	0,25	45,15	0,25	
		10-20	1,08	0,04	5,21	0,43	189,24	17,40	21,28	2,46	0,27	0,15	10,62	0,42	6,16	0,27	34,50	2,00	
	A3	0-10	1,31	0,83	4,97	0,46	169,73	15,64	26,14	4,11	0,31	0,23	14,60	1,82	7,82	0,83	51,29	5,98	
		10-20	1,22	0,34	5,32	0,51	163,86	10,83	20,93	2,26	0,24	0,33	14,49	1,09	7,61	0,24	41,49	4,96	
	A4	0-10	1,06	0,42	0,63	0,19	41,06	7,87	6,10	1,95	0,17	0,04	1,40	0,21	1,27	0,30	13,06	4,12	
		10-20	0,93	0,81	0,60	0,48	44,29	13,95	5,25	0,90	0,34	0,15	1,47	0,36	1,19	0,37	11,91	1,16	
	PROP. 2	B1	0-10	6,38	1,20	3,00	0,07	145,98	67,77	18,69	3,01	<LQ	0,52	3,97	0,38	5,91	0,36	87,26	24,62
			10-20	10,44	5,87	4,01	0,49	99,64	7,20	13,88	1,23	0,20	0,28	4,62	0,17	12,54	10,85	46,49	15,10
BC		0-10	6,02	1,08	3,15	0,23	101,95	8,98	7,70	0,45	<LQ	0,09	3,60	0,20	7,48	0,70	12,68	0,38	
		10-20	6,19	1,45	3,16	0,47	93,33	6,32	7,57	0,47	0,22	0,47	3,50	0,31	7,88	1,49	10,55	0,60	
B3		0-10	7,04	0,42	2,96	0,41	78,46	7,07	19,60	9,96	0,17	0,42	4,16	0,29	13,20	4,06	67,66	40,92	
		10-20	7,58	0,44	3,41	0,06	83,40	12,72	17,26	10,39	0,16	0,19	4,01	0,30	10,52	1,61	44,10	21,12	
B4		0-10	9,44	5,38	3,34	0,26	88,14	21,99	8,40	0,72	0,06	0,29	3,36	0,15	15,52	6,67	17,37	4,25	
		10-20	6,63	1,11	2,92	0,64	70,11	6,20	8,17	1,45	<LQ	0,18	3,27	0,57	10,98	2,01	12,45	1,08	
PROP. 3	C1	0-10	8,32	0,45	3,35	0,17	68,41	4,90	28,20	13,00	<LQ	0,27	3,56	0,11	2,15	0,66	40,40	10,25	
		10-20	9,37	0,70	3,84	0,37	77,48	8,65	18,57	6,49	<LQ	0,33	3,77	0,11	2,01	0,52	30,21	7,04	
	C2	0-10	9,20	0,66	3,64	0,18	81,84	13,32	16,55	1,68	<LQ	0,18	3,18	0,09	3,69	0,18	35,78	4,59	
		10-20	8,14	1,31	2,87	0,18	73,70	3,74	40,52	48,11	<LQ	0,40	2,97	0,24	3,41	0,10	29,10	5,12	
	CC	0-10	7,76	1,03	2,99	0,41	68,37	6,12	10,06	0,52	<LQ	0,39	2,75	0,03	2,45	0,58	19,00	1,60	
		10-20	7,32	1,17	3,15	0,29	78,69	16,46	9,46	0,88	<LQ	0,49	3,06	0,10	1,93	0,55	17,08	0,21	

Legenda: Verde: <VRQ SP; Amarelo: >VRQ<VP; Laranja: >VP<VI; Vermelho: >VI; <LQ: Abaixo limite de quantificação; DP: Desvio Padrão.

As concentrações de Chumbo (Pb) variaram de 1,19 mg kg⁻¹ a 15,52 mg kg⁻¹, como observado no Gráfico 2. É interessante notar que esses valores encontram-se abaixo dos Valores de Referência de Qualidade (VRQ) estabelecidos pela Cetesb (2021) para solos do Estado de São Paulo. Este cenário é particularmente relevante, indicando que, pelo menos no que diz respeito ao chumbo, os solos avaliados não estão contaminados. Comparados com os VRQs estabelecidos para outros estados, como Minas Gerais (COPAM, 2011), Pernambuco (BIONDI, 2010) e Espírito Santo (COSTA, 2015), os valores encontram-se abaixo da média de VRQ's, reforçando ainda mais a inexistência de contaminação de Pb.

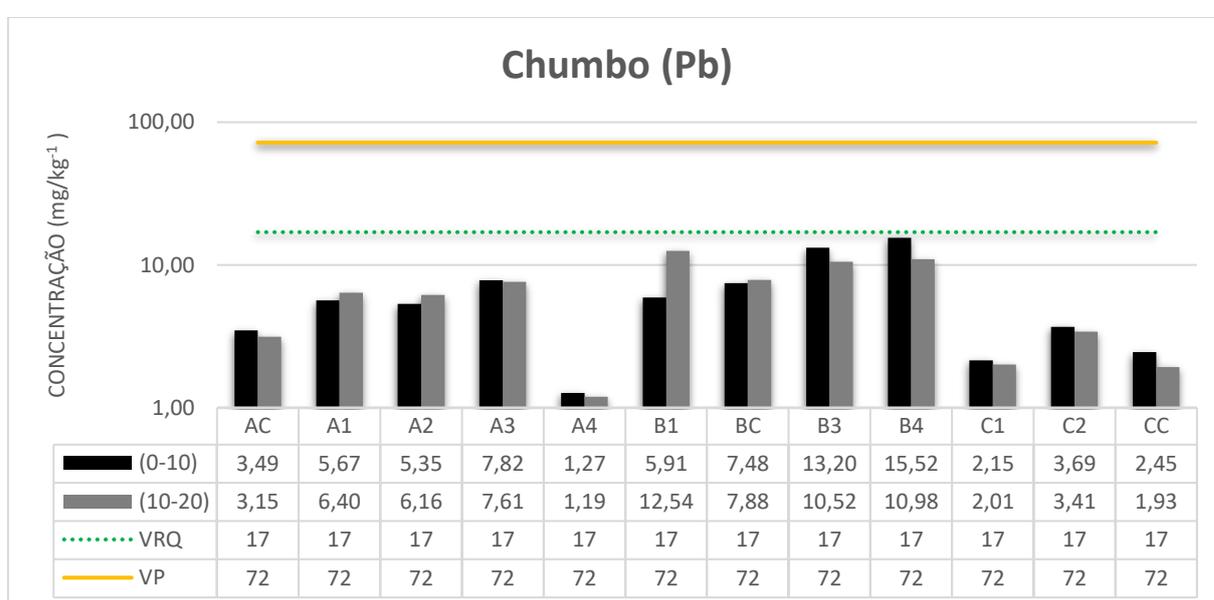


Gráfico 2 - Concentrações médias de Chumbo (Pb) em relação ao VRQ e ao VP.

Os valores de cobre (Cu) apresentaram ampla variação entre as amostras (4,8 a 72,49 mg kg⁻¹). Pode-se observar que aproximadamente 87% das amostras não apresentaram valores acima do Valor de Referência de Qualidade (VRQ) estabelecido pela CETESB, que é de 35 mg kg⁻¹. Em dois cenários (A1, C2) os valores estiveram acima do VRQ, mas abaixo do Valor de Prevenção (60 mg kg⁻¹). Apenas no cenário A1 (0-10), o valor encontrado esteve acima do VP, mas, mesmo assim, esteve abaixo do VI_{Agrícola} (760 mg kg⁻¹). Cabe salientar que os valores de Cu, encontrados na natureza, pode variar de região para região, como apresentado no estudo de Campos *et al.* (2003).

Segundo Cabral *et al.* (2023), num estudo monitorando as concentrações de EPT em solos na microbacia do rio Ariranha em Jataí-GO, a maioria dos valores de cobre (Cu)

encontrados foi inferior a 35 mg kg⁻¹, destaca-se que em apenas dois pontos (dentre 41 avaliados) em que a concentração ultrapassou o Valor de Investigação (VI_{agrícola}). Miranda (2016) também identificou em solos agrícolas grande variação nas concentrações de Cu em solos de Rio Verde, com a concentração média de 87,36 mg kg⁻¹. Campos *et al.* (2013), em solos de várias regiões do Brasil, encontrou a variação nas concentrações de Cu de 3 a 238 mg kg⁻¹.

Conforme o Gráfico 3, as concentrações de Cromo (Cr) variaram de 41,06 mg kg⁻¹ a 292,87 mg kg⁻¹, sendo que o Valor de Prevenção (VP) é de 75 mg kg⁻¹. 62,5% das amostras analisadas excederam esse valor (VP), sendo mais preocupante, 25% das amostras analisadas excederam o VI_{agrícola}, que é de 150 mg kg⁻¹. Essas concentrações elevadas indicam risco potencial para a saúde humana, indicando a necessidade de possíveis medidas de intervenção nessa área contaminada.

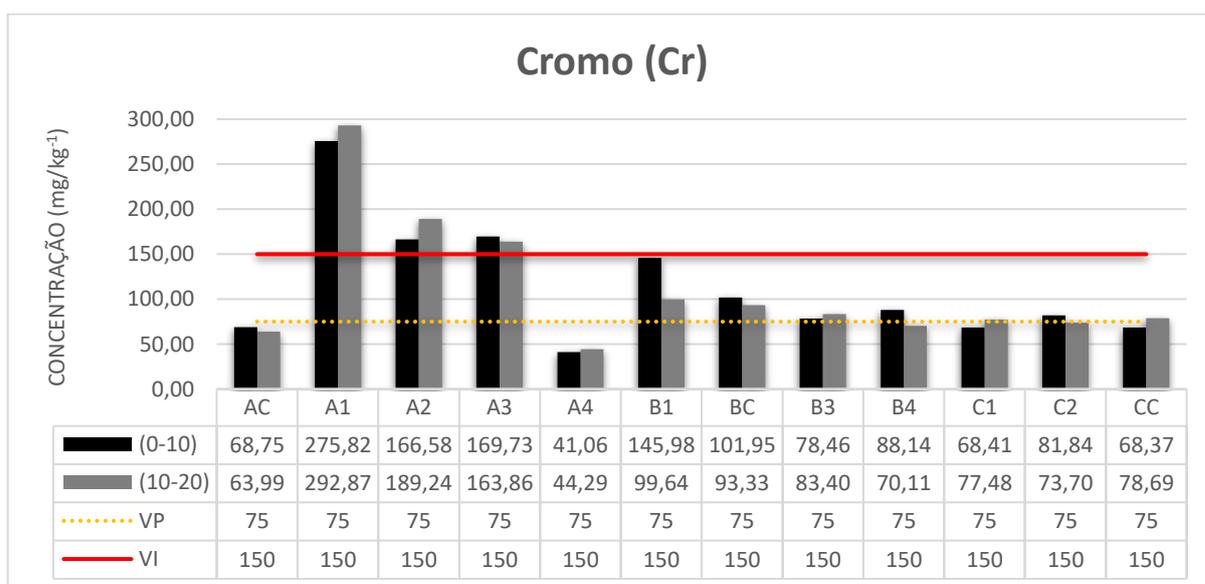


Gráfico 3 - Concentrações média de Cromo (Cr).

As altas concentrações de Cromo (Cr) nos solos avaliados podem estar associadas à possível dieta dos animais, e a sua necessidade vem sendo demonstrada em bovinos (KEGLEY & SPEARS, 1995; KEGLEY *et al.*, 1999), aves (KROLICZEWSKA *et al.* 2004; WARD *et al.*, 1993) e suínos (SCHROEDER *et al.*, 1963) em que uma considerável quantidade do elemento não é absorvida pelo organismo, sendo excretada nas fezes. O uso de cromo como um suplemento alimentar para animais de produção tem ganhado popularidade e vem sendo indicadas como essenciais para atingir o potencial produtivo máximo (FERREIRA, *et al.*,

2023), devido aos seus benefícios, como ganho de massa (POLIZEL NETO, *et al.* 2009), melhoria no desempenho, aumento na taxa de crescimento, fortalecimento do sistema imunológico e modificações metabólicas (OLIVEIRA & FILHO, 2008), principalmente nos bovinos, que é a fonte principal dos fertilizantes orgânicos utilizados na propriedade 1.

Acredita-se que o valor elevado observado na área A1 deve-se à aplicação recente de fertilizantes orgânicos, à base de dejetos bovinos. A aplicação recente de substâncias, como fertilizantes ou outros insumos agrícolas, muitas vezes resulta em concentrações mais altas de determinados elementos ou compostos no solo. Mas, diante da constatação de concentrações nas áreas controles, embora em níveis inferiores as outras áreas, torna-se prudente não afirmar categoricamente que essas concentrações são provenientes dos fertilizantes orgânicos utilizados. A complexidade dos fatores que influenciam as composições químicas do solo requer uma análise cuidadosa antes de estabelecer conclusões definitivas.

No Gráfico 4, pode-se observar que as concentrações de Cádmiio (Cd) variaram de 0,6 mg kg⁻¹ a 5,33 mg kg⁻¹. Surpreendentemente, 91% das amostras avaliadas ultrapassaram o Valor de Prevenção (VP) estabelecido (1,3 mg kg⁻¹), enquanto 37,5%, também excederam o Valor de Intervenção (VI), que é de 3,6 mg kg⁻¹ para áreas agrícolas (CONAMA, 2009). Esses resultados, baseados na legislação vigente, indicam cenário de risco significativo ao ambiente e a saúde humana. O Cd é um elemento que não tem função biológica conhecida e apresenta alto grau de toxicidade, podendo contaminar o ambiente, alimentos (KABATA-PENDIAS, 2010) e prejudicar a saúde humana, impactando o sistema respiratório, sistemas hepáticos, sistemas imunológicos, ósseos, e cardiovascular, conforme observado por Freitas Muniz *et al.* (2006) e Ribeiro (2019).

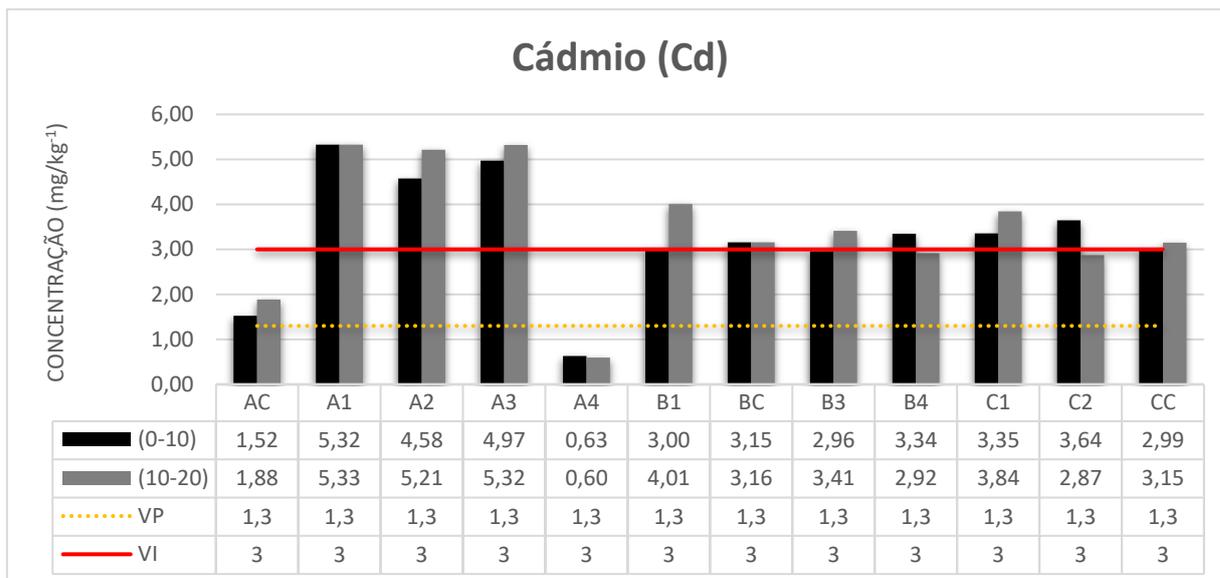


Gráfico 4 - Concentração média de Cádmio (Cd).

Conforme relatório da Comissão Europeia (2022), observou-se aumento significativo nas concentrações de cádmio na camada superficial do solo agrícola em toda a Europa, principalmente atribuído à utilização de fertilizantes fosfatados. O cádmio, sendo um metal pesado, representa preocupação substancial, sendo a dieta a principal via de exposição para não fumantes. A exposição a esse metal está associada a efeitos adversos à saúde, como problemas renais e osteoporose e fraturas, como destacado por Ougier *et al.* (2021).

Cabe salientar que a presença de elementos inorgânicos na camada superficial do solo é o resultado de uma combinação de processos relacionados à formação natural do solo e às atividades humanas, com destaque para a agricultura. De acordo com Jião *et al.* (2012), o Cádmio (Cd) é identificado como oligoelemento encontrado em solos de regiões agrícolas com longo histórico de utilização de fertilizantes minerais.

Miranda (2016), estudando elementos-traço em solos agrícolas de Rio Verde/GO, também encontrou teores de cádmio (Cd) elevados, que variaram de 13,13 mg kg⁻¹ a 38,10 mg kg⁻¹, que ultrapassando os limites permitidos, não apenas pela legislação nacional, mas, também pelos padrões estabelecidos em outros estados para os solos analisados. No trabalho de Cabral *et al.* (2023), na bacia do córrego Ariranha, localizada no município de Jataí/GO, as concentrações de Cd encontradas variaram de 0,49 a 16,76 mg kg⁻¹, sendo que 83% das amostras avaliadas ultrapassaram os Valores de Investigação (VI_{agrícola}) que é 3,6 mg kg⁻¹. Esses resultados indicam a degradação da área devido às atividades agropastoris.

Gonçalves *et al.* (2008) destacam que os fertilizantes fosfatados apresentam concentrações variáveis de cádmio, dependendo da rocha fosfática que são derivados. A aplicação repetida desses fertilizantes pode levar ao acúmulo de cádmio no solo, resultando em impactos ambientais pela elevada toxicidade. Conforme mencionado por Campos *et al.* (2005), esses fertilizantes carregam consigo metais pesados originados tanto das rochas originais quanto dos ingredientes utilizados durante o processo de industrialização, podendo, assim, tornar fontes potenciais de contaminação do solo.

Em uma avaliação de fertilizantes fosfatados comercializados no Brasil, realizada por Bizarro, Meurer e Tatsch (2008), os teores de Cd variaram de 0,67 a 42,93 mg kg⁻¹, com destaque para os importados do Marrocos, com a concentração de 42,6 mg kg⁻¹ e Israel, com 30,9 mg kg⁻¹. Com relação aos fertilizantes de origem nacional como o de Uberaba/MG que apresentou a concentração de 25,9 mg kg⁻¹.

Segundo Kaniska (2016) as atividades agrícolas podem contribuir com a contaminação do solo. Cabe ressaltar que em uma única aplicação de fertilizante, as quantidades dos elementos adicionados nem sempre são imediatamente discerníveis. No entanto, com aplicações repetidas ao longo do tempo, há o potencial de acúmulo dos elementos, podendo atingir concentrações tóxicas aos organismos de solo (BISHT & CHAUHAN, 2020), podendo representar problemas a saúde humana, principalmente por meio da cadeia alimentar. De acordo com Pires, Mattiazzo e Andrade (2005), em seu estudo sobre a aplicação de lodo de esgoto, concentrações de elementos potencialmente tóxicos (EPT) podem ser encontradas nas raízes e nas partes superiores das plantas cultivadas sob esse tipo de tratamento, confirmando a incorporação na cadeia alimentar.

Tendo em vista os resultados obtidos, é de extrema importância que sejam identificadas e controladas as fontes de poluição relacionadas especialmente aos elementos Cd e Cr. Cabe salientar que estratégias que promovam a reciclagem de resíduos, como a compostagem e a aplicação controlada de fertilizantes orgânicos, podem reduzir significativamente a contaminação do solo, e protegendo a qualidade dos alimentos produzidos nessas áreas. Além disso, o monitoramento ambiental contínuo é essencial, assim como o desenvolvimento de estratégias de remediação em áreas em que as concentrações destes elementos superam os valores de intervenção. Essas ações são cruciais para proteger o solo e garantir a segurança das populações expostas a esses elementos potencialmente tóxicos. Em

última análise, ressalta a importância da gestão e conservação ambiental no contexto da qualidade do solo e da saúde pública.

5.3 Índices de Contaminação

O Fator de Contaminação (FC) e o Índice de geoacumulação (I_{geo}) são indicadores utilizados para avaliar a contaminação do solo por substâncias orgânicas e inorgânicas, permitindo a distinção entre fontes naturais e de origem humana (Chen *et al.*, 2015).

Os Fatores de Contaminação dos elementos Arsênio (As), Cobre (Cu), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) não excederam o nível 2, ficando entre baixa e moderada contaminação. Apenas os elementos Cádmiio (Cd) e Cromo (Cr) que apresentaram Fatores de Contaminação acima do nível 2, entre moderada a alta contaminação, podendo ser observados nos gráficos 5 e 6.

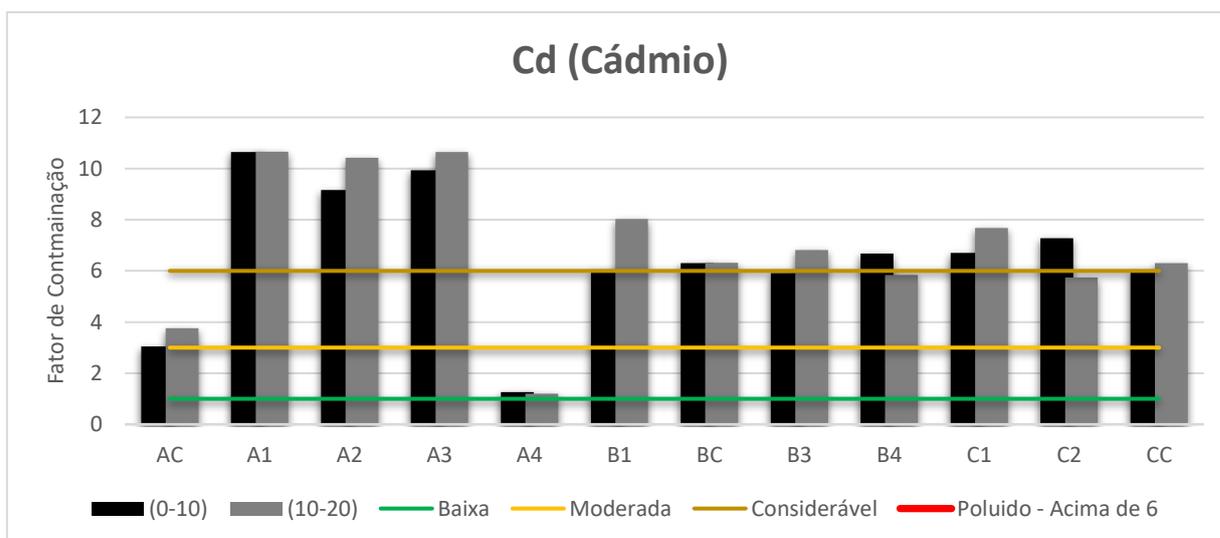


Gráfico 5 - Fator de Contaminação (FC) de Cádmiio.

As concentrações de cádmio (Cd) foram superiores ao nível 6 em quase todos os cenários analisados, destacando a Propriedade 1, que apresentando um Fator de Contaminação superior a 6 nos cenários A1, A2 e A3. A única exceção foi a Área Controle, que não possui histórico de atividade agrícola, e a Área A4, de textura arenosa.

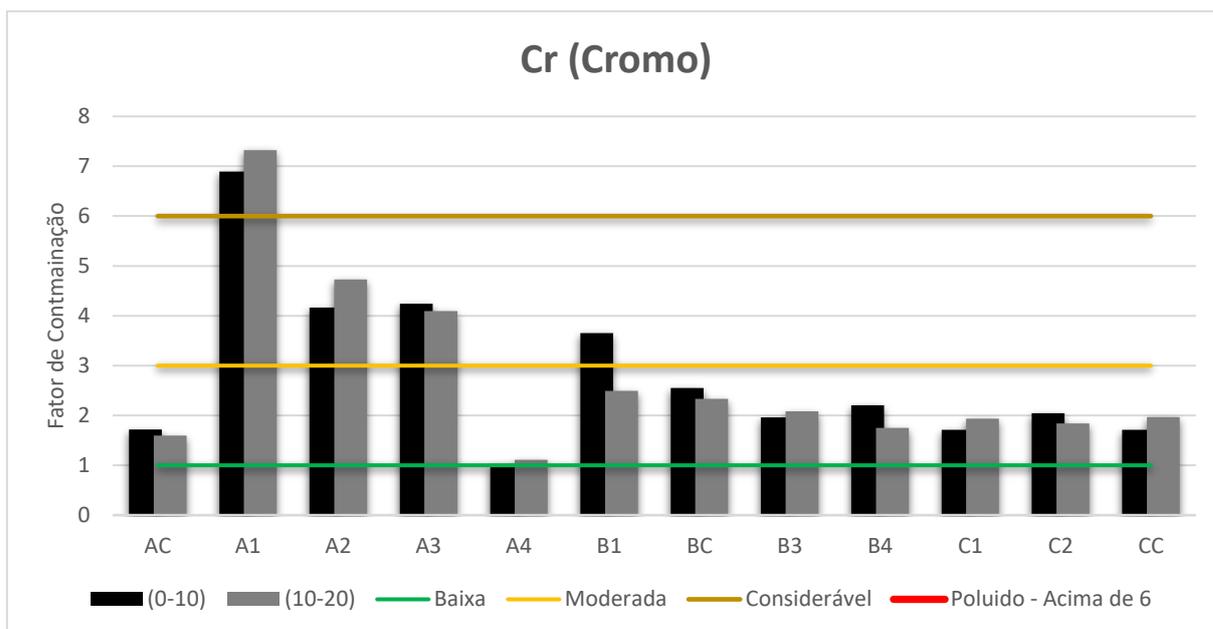


Gráfico 6 - Fator de Contaminação (FC) de Cromo.

No que diz respeito ao Cromo (Cr), na maioria dos casos, o Fator de Contaminação indicou a contaminação variando de moderada a considerável. Destaca-se novamente a Propriedade 1, com Fatores acima de 3 nos cenários A1, A2 e A3, classificando-o como solo com contaminação considerável. Já nos cenários AC e A4, verificou-se baixo fator de contaminação.

Em relação ao Índice de Geoacumulação (I_{geo}), de maneira semelhante ao observado para o Fator de Contaminação, resultados expressivos foram encontrados apenas para Cd e Cr (Gráficos 7 e 8), sendo que, em sua maioria, os índices de Cádmio ($4 \leq I_{geo} < 5$) encontram-se na faixa de fortemente a extremamente poluído.

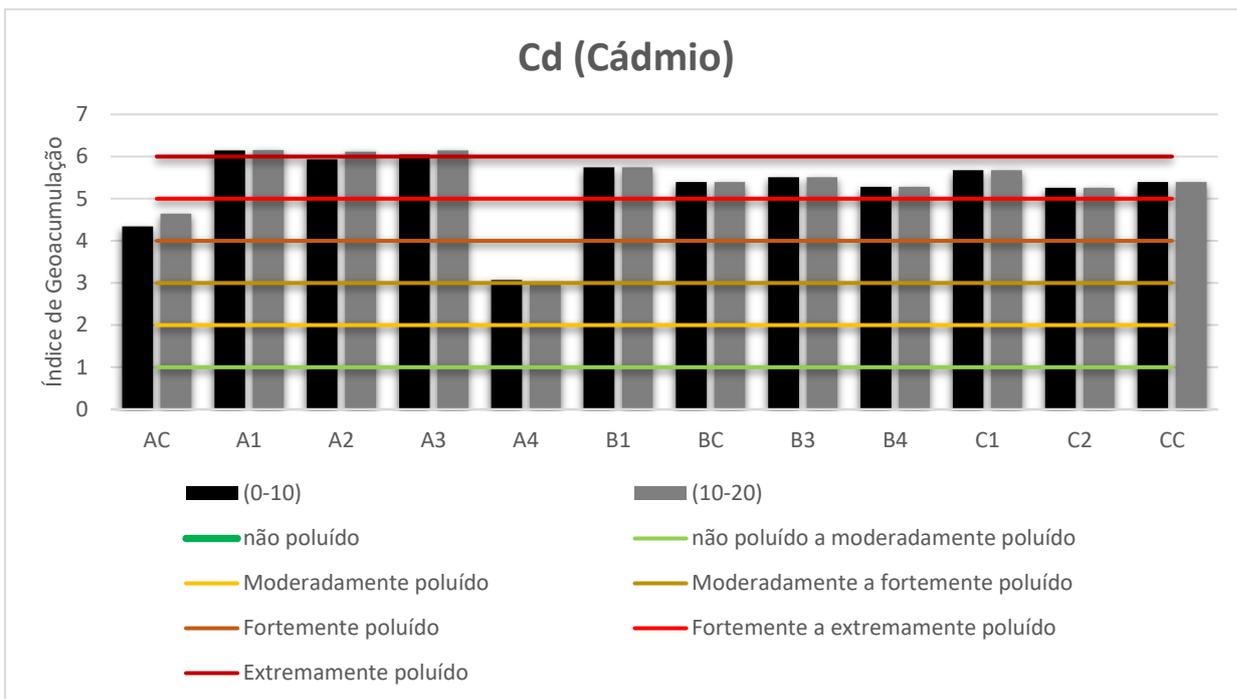


Gráfico 7 - Índice de Geoacumulação de Cádmio.

No caso do Cromo houve grande variação entre as áreas, prevalecendo (aproximadamente 62% dos cenários avaliados) índices de ($0 \leq I_{geo} < 1$), interpretados como não poluídos a moderadamente poluídos. Na Propriedade 1 os solos estão moderadamente poluídos ($1 \leq I_{geo} < 2$), sendo que apenas no cenário A1 observa-se um solo moderadamente a fortemente poluído ($2 \leq I_{geo} < 3$) por cromo.

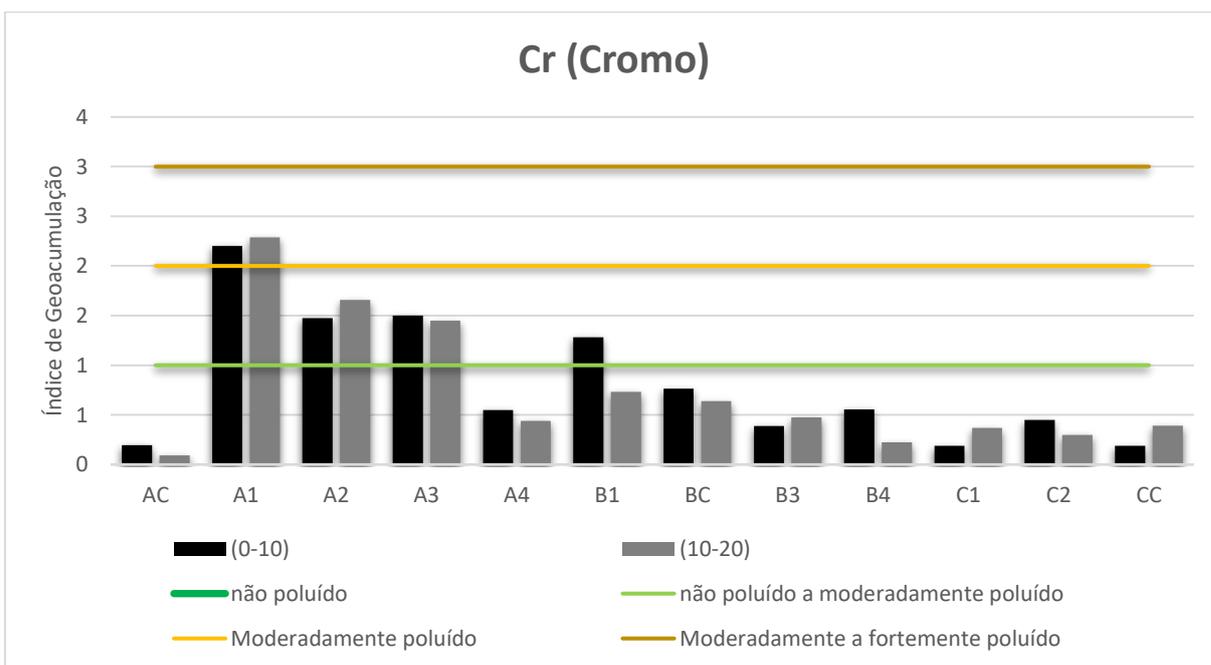


Gráfico 8 - Índice de Geoacumulação de Cromo.

Com base nos resultados obtidos do Fator de Contaminação (FC) e Índice de Geoacumulação (I_{geo}), os resultados apresentaram semelhanças com estudos anteriores realizados na região por Batista e Cabral (2023), na bacia do Ribeirão Santo Antônio em Iporá/GO, e por Cabral *et al.* (2023), que investigou os solos na microbacia do rio Ariranha em Jataí-GO. Em ambos os estudos anteriores, os índices de FC e I_{geo} indicaram solos fortemente contaminados, destacando a importância do acompanhamento técnico das práticas agrícolas adotadas, e conhecimento das características químicas dos insumos agrícolas utilizados nas áreas investigadas. É crucial implementar um monitoramento efetivo para mitigar os riscos ambientais relacionados à presença desses Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT's) no solo, visando contribuir efetivamente para a produção segura e sustentável de alimentos na região.

6 CONCLUSÕES

A análise das propriedades físico-químicas e das concentrações de Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT) nos solos dos diferentes cenários estudados revelou heterogeneidade marcante. Os valores de pH variaram consideravelmente, indicando ampla gama de acidez nos solos estudados. Para os elementos Pb, Ni, Cu e Zn, as concentrações encontradas mantiveram-se abaixo dos Valores de Prevenção (VP), indicando baixo risco para o solo e a saúde humana. Para Cd e Cr, e especialmente para o Cd, foram encontradas concentrações acima do VP e do $VI_{agrícola}$, evidenciando a existência de riscos ao ambiente e à saúde pública.

A presença de metais pesados também foi observada nas áreas controle, embora em menor quantidade, indicando que provavelmente a adubação orgânica não é a principal fonte de contaminação dos solos por Cd e Cr. Assim, apesar desses metais poderem estar presentes nos dejetos animais, o histórico de sua aplicação não parece impactar no aumento da concentração desses metais no solo. A atenção deve ser direcionada, provavelmente, para os fertilizantes inorgânicos, especialmente os fosfatos, ou algum possível corretivo do solo.

Os Fator de Contaminação (FC) e Índice de Geoacumulação (I_{geo}) indicaram que, embora a maioria dos elementos tenha apresentado contaminação baixa a moderada, Cádmio (Cd) e Cromo (Cr) revelaram níveis mais elevados, especialmente na Propriedade 1. Essas análises reforçam a importância do monitoramento rigoroso das práticas agrícolas e dos insumos utilizados.

Faz-se necessário que sejam adotadas medidas rigorosas de monitoramento e controle das fontes de poluição de Cd e Cr, além do desenvolvimento de estratégias de mitigação e remediação nas áreas com concentrações acima do $VI_{Agricultora}$. Essas ações são fundamentais para preservar a qualidade do solo, proteger o ecossistema, produzir alimentos livres de contaminação e garantir a segurança das comunidades locais. Este estudo destaca a importância da gestão ambiental sustentável para lidar com os desafios emergentes relacionados à contaminação do solo, fornecendo base sólida para futuras intervenções e políticas de conservação.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACQUA, N. HD et al. Métodos de amostragem de solos em áreas sob plantio direto no Sudoeste Goiano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 117-122, 2013.

AITA, C. & GIACOMINI, S.J. Nitrato no solo com a aplicação de dejetos líquidos de suínos no milho em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2008.

AL-GHEETHI, A. A. et al. Removal of pathogenic bacteria from sewage-treated effluent and biosolids for agricultural purposes. **Applied Water Science**, v. 8, n. 2, p. 74, 2018.

ALLOWAY, B.J. **Heavy metals in soils**. New York: John Wiley, 339p. 1993.

AMARAL, C. M. C. et al. Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. **Ciência Rural**, v. 34, p. 1897-1902, 2004.

ANDRADE, A.F.M.; et al. Zinco, chumbo e cádmio em plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) cultivadas em solo após adição de resíduo siderúrgico. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p. 1877-1885, 2008.

ARRUDA, C. A. O. ALVES, M. V., MAFRA, Á. L., CASSOL, P.C., ALBUQUERQUE, J.A.; SANTOS, J. C. P. Aplicação de dejetos suíno e estrutura de um Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência Agrotécnica, Lavras**, v. 34, n. 4, p. 804-809, 2010.

ARRUDA, F.; EDJAIR, DALBEM; SOUZA, K. Matéria orgânica do solo e sua relação com diferentes texturas do solo. *Revista científica eletrônica de ciências aplicadas da FAIT*, n. 1, 2021.

AWASTHI, S. K. et al. Can biochar regulate the fate of heavy metals (Cu and Zn) resistant bacteria community during the poultry manure composting. **Journal of Hazardous Materials**, v. 406, p. 124593, 2021.

BALERINI, F. et al. Elementos-Traço no perfil do solo de pomar cítrico após adubação orgânica de longo prazo. **Revista Brasileira de Tecnologia Agropecuária**, v. 2, n. 1, p. 01-10, 2018.

BARCELOS, C. S. et al. LEVANTAMENTO PLUVIOMÉTRICO DO MUNICÍPIO DE RIO VERDE-GO. In: Anais Colóquio Estadual de Pesquisa Multidisciplinar (ISSN-2527-2500) & Congresso Nacional de Pesquisa Multidisciplinar. 2019.

BARILLI, J. **Atributos de um Latossolo Vermelho sob aplicação de resíduos de suínos**. 2005. 77 p. Tese (Doutorado). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

BARILLI, J.; MORAES, M. H. Biomassa microbiana em LATOSSOLO VERMELHO sob aplicação de resíduos de suínos. In: XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2005, Recife. **Solos, Sustentabilidade e Qualidade Ambiental**, 2005.

- BARROS, E. C.; NICOLOSO, R. da S.; OLIVEIRA, P. A. V. de; CORREA, J. C. Potencial agronômico dos dejetos de suínos. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 52 p. 2019.
- BARTHOD, J.; RUMPEL, C.; DIGNAC, M. Composting with additives to improve organic amendments. A review. **Agronomy for sustainable development**, v. 38, n. 2, p. 17, 2018.
- BAYRAKDAR, A. et al. Biogas production from chicken manure: co-digestion with spent poppy straw. **International Biodeterioration e Biodegradation**, v. 119, 2017. 205-210 p.
- BENEGA, R. M.; LOZANO, A. P.; DE BARROS, C. A.; PACHECO, G. D. Utilização do biodigestor para tratamento de dejetos da suinocultura. **Ciência Veterinária UniFil**, v. 1, n.1, p. 136-144, 2022.
- BISHT, N.; CHAUHAN, P. S. Excessive and disproportionate use of chemicals cause soil contamination and nutritional stress. **Soil contamination-threats and sustainable solutions**, p. 1-10, 2020.
- BIZARRO, V. G.; MEURER, E. J.; TATSCH, F. R. P. Teor de cádmio em fertilizantes fosfatados comercializados no Brasil. **Ciência Rural**, v. 38, p. 247-250, 2008.
- BRAGA, J. C. et al. Bioacumulação de metais pesados em hortaliças cultivadas em solo contaminado: uma revisão. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 12, n. 1, p. 80-90, 2017.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. MDIC. **Estatísticas de comércio exterior do Brasil**. Brasília, 2018. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.
- BRUNETTO, G.; COMIN, J.J.; SCHMITT, D.E.; GUARDINI, R.; MEZZARI, C.P.; OLIVEIRA, B.S.; MORAES, M.P. de; GATIBONI, L.C.; LOVATO, P.E.; CERETTA, C.A. Changes in soil acidity and organic carbon in a sandy Typic Hapludalf after medium-term pig slurry and deep-litter application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1620-1628, 2012.
- CABRAL, J. B.P. et al. Harmful Effects of Potentially Toxic Elements in Soils of Cerrado Biomes. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 234, n. 6, p. 334, 2023.
- CAMPOS, M. L. et al. Determinação de cádmio, cobre, cromo, níquel, chumbo e zinco em fosfatos de rocha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 361-367, 2005.
- CAMPOS, M. L.; GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J. G. de S. e M.; CURI, N.; ARAÚJO, A. S. A. A.; MIQUELLUTI, D. J. et al. Teores de arsênio e cádmio em solos do bioma cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 1, p. 281-286, 2013.
- CARDOSO, B. F.; OYAMADA, G. C.; SILVA, C. M. Produção, tratamento e uso dos dejetos suínos no Brasil. **Desenvolvimento em questão**, v.13, n.32, p.127-145, 2015.

CARDOSO, E. J. B N. e ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. Piracicaba: ESALQ. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/biblioteca/portais-de-pesquisa/livros-abertos-da-esalq>. Acesso em: 20 dez. 2022.

CARVALHO, J. C. B., ORSINE, J. V. C. 2011. Contaminação do Meio Ambiente por Fontes Diversas e os Agravos à Saúde da População. **Enciclopédia Biosfera** 7, 1107-1118.

CARVALHO, T. M. R de; MOURA, D. J de; SOUZA, Z. M de; SOUZA, G. S de; BUENO, L. G de F. Qualidade da cama e do ar em diferentes condições de alojamento de frangos de corte. **Pesq. Agropec. Bras.** Vol. 46 nº.4. Brasília, 2011.

CASELANI, K., Resíduos de agrotóxicos e metais pesados na nutrição de bovinos. **Revista veterinária em foco**, v. 12, n. 2, 2015.

CELIK, I. et al. Effects of long-term organic and mineral fertilizers on bulk density and penetration resistance in semi-arid Mediterranean soil conditions. **Geoderma**, v. 160, n. 2, p. 236–243, 15 dez. 2010.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; VIEIRA, F. C. B.; HERBES, M. G.; MOREIRA, I. C. L.; BERWANGER, A. L. Dejeito líquido de suínos: I - perdas de nitrogênio e fósforo na solução escoada na superfície do solo, sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, p. 1296-1304, 2005.

CERETTA, C.A.; DURIGON, R.; BASSO, C.J.; BARCELLOS, L.A.R.; VIEIRA, F.C.B. Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.729-735, 2003.

CHANEY, R.; BROWN, S.L. & ANGLE, J.S. Soil-root interface; Ecosystem health and human food-chain protection. In: HUANG, P.M., ed. Soil chemistry and ecosystem health. Madison, **Soil Science Society of America**, 1998. p.279-311.

CHEN, Haiyang et al. Contamination features and health risk of soil heavy metals in China. **Science of the total environment**, v. 512, p. 143-153, 2015.

COLZATO, M.; ALLEONI, L. R. F.; KAMOGAWA, M. Y. Cadmium sorption and extractability in tropical soils with variable charge. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 190, p. 1-10, 2018.

COMIN, J. J. et al. Physical properties and organic carbon content of a Typic Hapludult soil fertilised with pig slurry and pig litter in a no-tillage system. **Soil Research**, v. 51, n. 5, p. 459–470, 2013.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Recomendações de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11ª.ed. Passo Fundo: SBSC-Núcleo Regional Sul, 2016. 376p.

CORREA, J. C.; BARILLI, J.; REBELLATTO, A.; VEIGA, M. Aplicações de dejetos de suínos e as propriedades do solo. Concórdia: **Embrapa Suínos e Aves**, 2011. 18 p. (Embrapa Suínos e Aves. Circular Técnica, 58). Projeto: 01.09.01.003.

COSTA, M.G. et al. Labile and non-labile fractions of phosphorus and its transformations in soil under eucalyptus plantations, **Brazil. Forests**, v. 7, n. 1, p. 15, 2016.

D'AQUINO, C. A.; DE 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. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 24, n. 3, p. 613–617, 15 jul. 2019.

DALÓLIO, F. S.; SILVA, J. N.; DA COSTA BAÊTA, F.; TINÔCO, I. D. F. F.; CARNEIRO, A. C. O. Nota técnica: cama de frango e resíduo moveleiro - alternativa energética para a Zona da Mata mineira. **Revista Engenharia na Agricultura-REVENG**, Viçosa, v. 25, n. 3, 2017, p. 261-271;

FREITAS MUNIZ, D. H.; OLIVEIRA-FILHO, E. C. Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. **Universitas: Ciências da saúde**, v. 4, n. 1, p. 83-100, 2006.

OLIVEIRA SILVA, G. R. et al. Análise de rentabilidade de sistemas de produção de leite em compost barn e free stall: uma comparação. **Seminário: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 40, n. 3, pág. 1165-1184, 2019.

OLIVEIRA, D. J. C.; SOARES FILHO, C. V. Suplementação com cromo para ruminantes. **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR**, v. 8, n. 1, 2005.

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.

DJAGBA, J. F. et al. Ecological sustainability and environmental risks of agricultural intensification in inland valleys in Benin. **Environment, Development and Sustainability**, v. 21, n. 4, p. 1869–1890, 15 ago. 2019.

DU, D. et al. Seasonal Pollution Characteristics of Antibiotics on Pig Farms of Different Scales. **International journal of environmental research and public health**, v. 19, n. 14, p. 8264, 2022.

EIVAZI, F.; TABATABAI, M. A. Factors affecting glucosidase and galactosidase activities in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 22, n. 7, p. 891-897, 1990.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA, 2011, Manual de Métodos de Análise de Solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro, 2ª ed, 225p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Potencial agrônomico dos dejetos suínos / autores, Evandro Carlos Barros... [et al.]. - Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2019. 52 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. 5 ed., ver. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília; 2009. Embrapa Informação Tecnológica.

European Commission. Cadmium policy brief. Health and Biomonitoring for Europe (HBM4EU), 2022. Disponível em: <https://www.hbm4eu.eu/wp-content/uploads/2022/07/HBM4EU_Policy-Brief-Cadmium.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2023.

EZZARIAI, A. et al. Human and veterinary antibiotics during composting of sludge or manure: Global perspectives on persistence, degradation, and resistance genes. *Journal of hazardous materials*, v. 359, p. 465-481, 2018.

FADIGAS, F. de S. et al. Concentrações naturais de metais pesados em algumas classes de solos brasileiros. *Bragantia*, v. 61, p. 151-159, 2002.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs: Sisvar. *Brazilian Journal of Biometrics*, [S. l.], v. 37, n. 4, p. 529–535, 2019.

FERREIRA, J.M. de S, ALMEIDA, C.A, PESSOA, R.M. dos S, GOIS, G.C., CAMPOS, F.S., VICENTE, S.L.A. et al. Vitaminas e minerais na nutrição de bovinos. *Rev Colombiana Cienc Anim*. Recia. 2023;

GARCÊS, Alice et al. Evaluation of different litter materials for broiler production in a hot and humid environment: 2. Productive performance and carcass characteristics. *Tropical Animal Health and Production*, v. 49, n. 2, 2017. 369-374 p.

GIROTTI, 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, V. C. et al. Biodisponibilidade de cádmio em fertilizantes fosfatados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 2871-2875, 2008.

GONÇALVES JÚNIOR, A. C. et al. Remoção de metais pesados tóxicos cádmio, chumbo e cromo em biofertilizante suíno utilizando macrófita aquática (*Eichornia crassipes*) como bioindicador. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 30, n. 1, p. 9-14, 2008.

GRÄBER, I. et al. Accumulation of copper and zinc in Danish agricultural soils in intensive pig production areas. *Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography*, v. 105, n. 2, p. 15-22, 2005.

GUILHERME, L. R. G. et al. Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos. *Tópicos em ciências do solo*, v. 4, n. 3, p. 345-90, 2005.

HAKANSON, Lars. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water research*, v. 14, n. 8, p. 975-1001, 1980.

HARDOIM, P. C.; GONCALVES, A. D. M. A. Avaliação do potencial do emprego do biogás nos equipamentos utilizados em sistemas de produção de leite. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., 2000, Campinas. Proceedings online... Disponível em:

<http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022000000100053&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 26/04/2023.

HU, C. U. I. et al. Phosphate rock reduces the bioavailability of heavy metals by influencing the bacterial communities during aerobic composting. *Journal of Integrative Agriculture*, v. 20, n. 5, p. 1137-1146, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Brasil em Números*. Rio de Janeiro, v.29, 484 p., 2021.

ITO, M.; GUIMARÃES, D. D.; AMARAL, G. F. **Impactos ambientais da suinocultura: desafios e oportunidades**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 44, p. [125] -156, set. 2016.

KABATA-PENDIAS, Alina. *Trace elements in soils and plants*. **CRC press**, 2000.

KABATA-PENDIAS, A. & PENDIAS, H. *Trace elements in soils and plants*. 3.ed. **Boca Raton**, CRC Press, 2001. 413p.

KABATA-PENDIAS, A. & PENDIAS, H. *Trace elements in soils and plants*. 4.ed. **Boca Raton**, CRC Press, 2010. 548p.

KAN, C. A.; MEIJER, G. A. L. The risk of contamination of food with toxic substances present in animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, Amsterdam, v.133, n.1-2, p.84-108, 2007.

KE, X. et al. Ecological risk assessment and source identification for heavy metals in surface sediment from the Liaohe River protected area, China. *Chemosphere*, v. 175, p. 473-481, 2017.

KEGLEY, E.B.; SPEARS, J.W. Immune response, glucose metabolism, and performance of stressed feeder calves fed inorganic or organic chromium. *Journal of Animal Science*, v. 73, n. 9, p. 2721-2726, 1995.

KEGLEY, E.B.; SPEARS, J.W. Chromium and cattle nutrition. *Journal of Trace Elements in Experimental Medicine*, v. 12, n. 2, p. 141-147, 1999

KHAN, Shamshad et al. Global soil pollution by toxic elements: Current status and future perspectives on the risk assessment and remediation strategies—A review. *Journal of Hazardous Materials*, v. 417, p. 126039, 2021.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985.

KIMBELL, L. K.; KAPPELL, A. D.; MCNAMARA, P. J. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 2018, Vol.4(11), pp.1807-1818.

KONZEN, E. A. **Fertilização de lavoura e pastagem com dejetos de suínos e cama de aves**. In: EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. V Seminário técnico da cultura de milho. Videira, 2003.

KONZEN, E. A.; ALVARENGA, R. C. **Manejo e utilização de dejetos de suínos: aspectos agronômicos e ambientais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. 16 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 63).

KROLICZEWSKA, B. et al. Changes in selected serum parameters of broiler chicken fed supplemental chromium. **Journal of animal physiology and animal nutrition**, v. 88, n. 11-12, p. 393-400, 2004.

KUNZ, A., OLIVEIRA, P. A. V. Aproveitamento de dejetos de animais para geração de biogás. **Revista de Política Agrícola**, v.15, n.3, p.28-35, 2006.

L'HERROUX, L. et al. Behaviour of metals following intensive pig slurry applications to a natural field treatment process in Brittany. **Environmental Pollution**, v.97, p.119-130, 1997.

LEAL, R. M. P. **Ocorrência e comportamento ambiental de resíduos de antibióticos de uso veterinário**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

LEKFELDT, J. D. S. et al. Heavy Metal Leaching as Affected by Long-Time Organic Waste Fertilizer Application. **Journal of environmental quality**, v. 46, n. 4, p. 871-878, 2017.

LIN, Ya-Ting; CHIEN, Yi-Chi; LIANG, Chenju. A laboratory treatability study for pilot-scale soil washing of Cr, Cu, Ni, and Zn contaminated soils. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 31, n. 3, p. 351-360, 2012.

LIU, B. et al. Key factors driving the fate of antibiotic resistance genes and controlling strategies during aerobic composting of animal manure: A review. **Science of The Total Environment**, v. 791, p. 148372, 2021.

LIU, H. et al. Removal of tetracyclines, sulfonamides, and quinolones by industrial-scale composting and anaerobic digestion processes. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 36, p. 35835-35844, 2018.

LIU, Li et al. Effect of biochar addition on sludge aerobic composting and greenbelt utilization. **Environmental Technology & Innovation**, v. 21, p. 101279, 2021.

LIU, Yan et al. Effects of phosphate-containing additives and zeolite on maturity and heavy metal passivation during pig manure composting. **Science of The Total Environment**, v. 836, p. 155727, 2022.

LIU, Yu; HE, Fangliang. Incorporating the disease triangle framework for testing the effect of soil-borne pathogens on tree species diversity. **Functional Ecology**, v. 33, n. 7, p. 1211-1222, 2019.

LORIN, H. E. F. Processos biológicos de estabilização de dejetos de bovinos de corte confinados. Dissertação-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, 2014. 61p;

LOSKA, K.; WIECHUŁA, D.; KORUS, I. Metal contamination of farming soils affected by industry. **Environment international**, v. 30, n. 2, p. 159-165, 2004.

LOURENZI, C.R.; CERETTA, C.A.; SILVA, L.S. da; TRENTIN, G.; GIROTTO, E.; LORENSINI, F.; TIECHER, T.L.; BRUNETTO, G. Soil chemical properties related to acidity under successive pig slurry applications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1827-1836, 2011.

LUCAS JUNIOR, J.; SANTOS, T. M. B. Aproveitamento de resíduos da indústria avícola para produção de biogás. In: **Simpósio sobre Resíduos da Produção Avícola**, 2000, Concórdia, SC. Anais... Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2000. p. 27-43.

MACIEL, C.A.C.; CAMARGO, O.A.; VIEIRA, S.R.; CHIBA, M.K. Distribuição espacial de cobre, zinco e níquel em um Latossolo após quinze anos da aplicação de lodo de esgoto. **Bragantia**, Campinas, v. 71, p. 528-537, 2012.

MADARI, B. E. et al. Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (Terra Preta de Índio): suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo. **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, p. 172-89, 2009.

MALLMANN, P. S. **Avaliação do potencial metanogênico na codigestão do pó de tabaco com dejetos suíno**. 101f., 2019. (Tese de Mestrado) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2019.

MANSO, K. R. J.; FERREIRA, O. M. Confinamento de bovinos: estudo do gerenciamento dos resíduos. Universidade Católica de Goiás, Departamento de Engenharia – Engenharia Ambiental, Goiânia, 2007. Disponível em: <<http://abccriadores.com.br/images/upload/confinamento%20de%20bovinos.pdf>> Acesso em 26/04/2023.

MARAFON, T. **Qualidade físico-química da cama reutilizada de frangos de corte**. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos 2021.

MARTINS, R. S. **Efeito da fermentação da cama de aviário na qualidade da cama, na ambiência e no desenvolvimento de pododermatites em frangos de corte**. 2013. Dissertação (mestrado) programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

MATOS, A. T. de. Apostila do Curso sobre Tratamento de Resíduos Agroindustriais-Tratamento de resíduos agroindustriais. **Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental/UFV. Universidade Federal de Viçosa**. Fundação Estadual do Meio Ambiente Maio de, 2005.

MATTIAS, J. L., CERETTA, C. A., NESI, C. N., GIROTTO, E., TRENTIN, E. E., LOURENZI, C. R., VIEIRA, R. C. B. Copper, zinc and manganese in soils of two watersheds in Santa Catarina with intensive use of pig slurry. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1445-1454, 2010.

MCBRIDE, M. B.; SPIERS, G. Trace element content of selected fertilizers and dairy manures as determined by ICP-MS. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 32, n. 1-2, p. 139-156, 2001.

MENDES, Ieda de Carvalho et al. Critical limits for microbial indicators in tropical Oxisols at post-harvest: the FERTBIO soil sample concept. **Applied Soil Ecology**, v. 139, p. 85-93, 2019.

MENEZES, R.S.C. & SALCEDO, I.H. Mineralização de N após incorporação de adubos orgânicos em um Neossolo Regolítico cultivado com milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol. 11, n. 4, 2007, p. 361-367;

MEURER, E. J; BISSANI, C. A; CARMONA, F. C. Fundamentos de química do solo. Capítulo 6. 4ª edição. Editora Evangraf Ltda. Porto Alegre-RS, 2010.

MIELE, M.; SILVA, M. L. B.; NICOLOSO, R. S.; CORRÊA, J. C.; HIGARASHI, M. M.; KUNZ, A.; SANDI, A. J. Tratamento dos efluentes de usinas de biogás. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, n. 1, p. 31-46, jan./mar. 2015.

MIRANDA, H. L. M. et al. Elementos-traço em solos agrícolas de Rio Verde-Goiás. Dissertação de Mestrado. Instituto Federal Goiano, 2016.

MIYAZAWA, M.; BARBOSA, G. M. C.; PARRA, M. S. Lixiviação de nitrogênio no solo pela aplicação de dejetos de suíno. **Simpósio internacional sobre gerenciamento de resíduos de animais. Uso dos resíduos da produção animal como fertilizante**, v. 1, p. 143-147, 2009.

MOREIRA, F. M. de S; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. Editora UFLA, 2006. 2. ed. atual. e ampl. 744 f. Lavras, 2006.

MORINO, C. C. A Aplicação de Dejetos de Suínos no Solo Como Insumo. **Escola Superior da CETESB**, 2021.

MORTVEDT, J.J. Cadmium levels in soils and plants from some long-term soil fertility experiments in United States of America. **Journal of Environmental Quality**, v.16, p.137-142, 1987.

MULLA, D.J.; PAGE, A.L.; GANGE, T.J. Cadmium accumulations and bioavailability in soils from long-term phosphorus fertilization. **Journal of Environmental Quality**, v.9, p.408-412, 1980.

MUNHOZ, P. M. Monitoramento ambiental em região contaminada por chumbo. 2010. 107 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, 2010.

MUNIZ, D. H. F.; OLIVEIRA-FILHO, E C. Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. **Universitas: Ciências da saúde**, v. 4, n. 1, p. 83-100, 2006.

NANNIPIERI, Paolo et al. Role of phosphatase enzymes in soil. In: **Phosphorus in action**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011. p. 215-243.

NGUYEN, T.; SHIMA, K. Composting of sewage sludge with a simple aeration method and its utilization as a soil fertilizer. **Environmental management**, v. 63, n. 4, p. 455-465, 2019.

NRIAGU, J.O. & PACYNA, J.M. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils with trace metals. **Nature**, 333:134-139, 1988.

NSW EPA. Environmental guidelines: use and disposal of biosolids products. **Chatswood, NSW Environment Protection Authority**, 1997.

O'BRIEN, P. L. et al. Thermal remediation alters soil properties—a review. **Journal of Environmental Management**, v. 206, p. 826-835, 2018.

OUGIER, Eva et al. Burden of osteoporosis and costs associated with human biomonitoring cadmium exposure in three European countries: France, Spain and Belgium. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 234, p. 113747, 2021.

OLIVEIRA, C P. de et al. Composição florística e estrutura de um cerrado sensu stricto no oeste da Bahia. **Cernea**, v. 21, p. 545-552, 2015.

ORRICO JUNIOR, M. A. P; ORRICO, A. C. A; LUCAS JUNIOR, J. de. Compostagem de Resíduos da Produção Avícola: Cama de Frangos e Carcaças de Aves. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v.30., n.3 p.538-545, 2010.

PALANSOORIYA, Kumuduni Niroshika et al. Soil amendments for immobilization of potentially toxic elements in contaminated soils: A critical review. **Environment international**, v. 134, p. 105046, 2020.

PALHARES, J. C. P.; VIANCELLI, A.; KUNZ, A.; SANCHES, A. C.; GAMEIRO, A. H.; BARADI, C. R. M.; AITA, C.; AMORIM, D. M.; MIOLA, E. C. C.; JESUS, F. L. F. de; MENDONÇA, F. C.; FONGARO, G.; BAZZO, H. L. S.; TREICHEL, H.; SCHIRMANN, J.; NASCIMENTO, J. G.; GATIBONI, L. C.; LANNA, M. C. da S.; MAGRI, M. E.; PAZ TIERI, M.; MORALES, R.; NICOLOSO, R. da S.; GONZATTO, R.; QUEIROZ, R. de; GIACOMINI, S. J.; PUJOL, S. B.; CHARLON, V. (Ed.). Produção animal e recursos hídricos: tecnologias para manejo de resíduos e uso eficiente dos insumos. Brasília, DF: **Embrapa**, 2019. p. 79-97;

PEDROSA, T. D.; FARIAS, C. A. S.; PEREIRA, R. A.; FARIAS, E. T. R. Monitoramento dos parâmetros físico-químicos na compostagem de resíduos agroindustriais. **Nativa**, v. 1, n. 1, p. 44- 48, out./dez. 2013.

PEÑA-ICART, M. et al. Combining contamination indexes, sediment quality guidelines and multivariate data analysis for metal pollution assessment in marine sediments of Cienfuegos Bay, Cuba. **Chemosphere**, v. 168, p. 1267-1276, 2017.

PÉREZ-GIMENO, A.; NAVARRO-PEDREÑO, J.; ALMENDROCANDEL, M.B.; GÓMEZ, I.; JORDÁN, M.M. Environmental consequences of the use of sewage sludge compost and limestone outcrop residue for soil restoration: salinity and trace elements pollution. **Journal of Soils and Sediments**, Berlin, v. 16, p. 1012-1021, 2016.

PIERANGELI, M. A. P. et al. Efeito da força iônica da solução de equilíbrio na adsorção de cádmio em Latossolos brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 737-745, 2003.

POLIZEL NETO, A. et al. Desempenho e qualidade da carne de bovinos Nelore e F1 Brangus× Nelore recebendo suplemento com cromo complexado à molécula orgânica na terminação a pasto. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 737-745, 2009.

PROVOLO, G. et al. Effect of pig and cattle slurry application on heavy metal composition of maize grown on different soils. **Sustainability**, v. 10, n. 8, p. 2684, 2018.

QADIR, M.; GHAFOR, A.; MURTAZA, G. Cadmium in soils, crops and food: a review. **Environmental Contamination and Toxicology**, 92(1), 1-17, 2014.

RIBEIRO, H. Poluição, um veneno silencioso para a saúde humana. **Revista de Ciência Elementar**, v. 7, n. 4, 2019.

RIGBY, H.; CLARKE, B.; PRITCHARD, D.; MEEHAN, B.; BESHAN, F.; SMITH, S.; PORTER, N. A critical review of nitrogen mineralization in biosolids-amended soil, the associated fertilizer value for crop production and potential for emissions to the environment. **Science of the Total Environment**, v. 541, p. 1310 – 1338, 2016.

RODRIGUES JR., J. J. **Proposta Metodológica para Gerenciamento de Áreas Contaminadas: uma Aplicação no Estado do Rio de Janeiro. 2003.** 100p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético). PPE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro -RJ.

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. EMBRAPA, 2010. Número de páginas

ROSA, J. K. **Condicionadores químicos na compostagem de cama de aviário. 2015.** Dissertação (mestrado) programa de Pós Graduação em Zootecnia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos, 2015.

SANTOS, D.T; SILVA, V.M. A suinocultura e os impactos ao meio ambiente. **Ciência e Tecnologia**, v. 2, n. 2, p. 43-48, 2018.

SANTOS, G. A; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais.** Porto Alegre: Gênese, 1999. 491 p.

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, M. J. B dos; SAMAY, A. Maria A. T.; SILVA, D. A. T.; RABELLO, C. B-V.; TORRES, T. R.; SANTOS, P. A do; CAMELO, L. C. L. Manejo e Tratamento de Cama Durante a Criação de Aves, **Revista Eletrônica Nutritime**. V. 9, nº. 3, p.1801-1815, 2012.

SCHROEDER, H.A.; VINTON, W.H.; BALASSA, J.J. Effect of chromium, cadmium and other trace metals on the growth and survival mice. **Journal of Nutrition**, v. 80, p. 39-47, 1963

SEDIYAMA, M. A. N., VIDIGAL, S. M., PEDROSA, M. W., PINTO, C. L. O., SALGADO, L. T. Fermentação de esterco de suínos para uso como adubo orgânico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.6, p.638–644, 2008.

SEGANFREDO, M. A. **A questão ambiental na utilização de dejetos de suínos como fertilizante do solo**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2000. 35 p. (Embrapa Suínos e Aves. Circular Técnica, 22).

SIQUEIRA, M. N.o; FARIA, K. M. S. de. Análise da dinâmica da paisagem no município de Rio Verde, Goiás, Brasil: uma ferramenta para a escolha de áreas prioritárias para a conservação. **Sociedade & Natureza**, v. 31, p. e38832, 2023.

SHAH, G. M. et al. Composting of municipal solid waste by different methods improved the growth of vegetables and reduced the health risks of cadmium and lead. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 6, p. 5463-5474, 2019.

SHAHID, M.; DUMAT, C.; KHALID, S.; SCHRECK, E.; XIONG, T.; NIAZI, N. K.; SHAHEEN, S. M. Cadmium bioavailability, uptake, toxicity and detoxification in soil-plant system. **Environmental Contamination and Toxicology**, 241, 73-137, 2017.

SHARMA, B. et al. Recycling of Organic Wastes in Agriculture: An Environmental Perspective. **International Journal of Environmental Research**, v. 13, n. 2, p. 409-429, 2019.

SHEN, Yujun et al. Effect of aeration rate, moisture content and composting period on availability of copper and lead during pig manure composting. **Waste Management & Research**, v. 34, n. 6, p. 578-583, 2016.

SILVA, C. M. DA; FRANÇA, M. T. DE; OYAMADA, G. C. Características da suinocultura e os dejetos causados ao ambiente. **Revista Eletrônica do UNIVAG**, v. 12, n. 1980–7341, p. 44–59, 2007.

SILVA, C.A. Uso de resíduos orgânicos na agricultura. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metropole, 2008.

SILVA, Evandro Barbosa da. **Teores de elementos potencialmente tóxicos em solos de uma bacia hidrográfica e avaliação de risco à saúde humana**. 2013. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013

SILVA, J. L. G.; SILVA, A. C. C.; MITO, J. Y. L.; VENDRAME, M. G.; NASCIMENTO, K. R.; MENDES, I. S. Estimativa do potencial de produção de biogás no Brasil a partir de dejetos suínos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS-SIGER, 4, 2015. **Anais**. 2015;

SILVA, R.R. et al. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1585-1592, 2010.

SILVEIRA, M.L.A.; ALLEONI, L.R.F.; CHANG, A.C. Condicionadores químicos de solo e retenção e distribuição de cádmio, zinco e cobre em Latossolos tratados com biossólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1087-1098, 2008.

SINGH, S.; KUMAR, A. Metal toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. *South African Journal of Botany*, v. 76, p. 167-179, 2015.

SIQUEIRA, M. N.; FARIA, K. M. S. de. Análise da dinâmica da paisagem no município de Rio Verde, Goiás, Brasil: uma ferramenta para a escolha de áreas prioritárias para a conservação. **Sociedade & Natureza**, v. 31, p. e38832, 2023.

SODRÉ, F. F.; LENZI, E.; COSTA, A. C. S. da. Utilização de modelos físico-químicos de adsorção no estudo do comportamento do cobre em solos argilosos. **Química nova**, v. 24, p. 324-330, 2001.

SOUZA, A. K. R. et al. Poluição do ambiente por metais pesados e utilização de vegetais como bioindicadores. **Acta Biomedica Brasiliensia**, v. 9, n. 3, p. 95-106, 2018.

SOUZA, H. D., OLIVEIRA, E. L., FACCIOLI-MARTINS, P. Y., SANTIAGO, L., PRIMO, A. A., MELO, M. D., PEREIRA, G. A. C. Características físicas e microbiológicas de compostagem de resíduos animais. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 71, p. 291-302, 2019.

TAVARES, J. M. R. **Modelagem do consumo de água, produção de dejetos e emissão de gases de efeito estufa e amônia na suinocultura**. Tese - Programa de Pós- Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

VACA, R. et al. Effects of sewage sludge and sewage sludge compost amendment on soil properties and Zea mays L. plants (heavy metals, quality and productivity). **Revista Internacional de Contaminación Ambiental**, v. 27, n. 4, 2011.

WANG, K. et al. Succession of bacterial community function in cow manure composting. **Bioresource technology**, v. 267, p. 63-70, 2018b.

WARD, T.L.; SOUTHERN, L.L.; BOLEMAN, S.L. Effect of dietary chromium picolinate on growth, nitrogen balance and body composition of growing broiler chicks. **Poultry Science**, v. 72 (S. 1), p. 37, 1993.

WEISSMANNOVÁ, H. D.; PAVLOVSKÝ, J. Indices of soil contamination by heavy metals—methodology of calculation for pollution assessment (minireview). **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 189, n. 12, p. 616, 2017.

XU, Yilan et al. Effects of long-term fertilization practices on heavy metal cadmium accumulation in the surface soil and rice plants of double-cropping rice system in Southern China. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, p. 19836-19844, 2018.

YAQIN, J. I. et al. Using geoaccumulation index to study source profiles of soil dust in China. **Journal of environmental sciences**, v. 20, n. 5, p. 571-578, 2008.

ZANCHETTA, G.S.B. 2007. **Avaliação do grau de poluição do solo, águas, plantas e resíduos sólidos do lixão Linha Rincão do Engenho de Lagoa Vermelha-RS**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 149 p.