



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL
SUSTENTÁVEL

Suélho Pereira dos Santos

**Gestão sustentável de lodo de esgoto para aplicação como fertilizante
organomineral: Contribuições para a economia circular.**

CRATO – CE

2023

SUÉLHO PEREIRA DOS SANTOS

**GESTÃO SUSTENTÁVEL DE LODO DE ESGOTO PARA APLICAÇÃO
COMO FERTILIZANTE ORGANOMINERAL: Contribuições para a Economia
Circular.**

Dissertação apresentada a Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável da Universidade Federal do Cariri, como requisito para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Regional Sustentável.

Área de concentração: Desenvolvimento Regional Sustentável.

Linha de Pesquisa: Meio Ambiente.

Sub-linha: Qualidade dos Sistemas Aquático e Controle da Poluição.

Orientador: Prof. Dr. Francisco José de Paula Filho.

Coorientador: Prof. Dr. Felipe Thomaz da Camara.

CRATO – CE

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação.
Universidade Federal do Cariri.
Sistema de Bibliotecas.

S237g

Santos, Suélho Pereira dos.

Gestão sustentável de lodo de esgoto para aplicação como fertilizante organomineral : contribuições para a economia circular / Suélho Pereira dos Santos. – 2023.
91 f.: il. color.30 cm.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Cariri, Programa de Pós- graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável (PRODER), Crato, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Francisco José de Paula Filho.

Coorientação: Prof. Dr. Felipe Thomaz da Câmara.

1. Lodo de esgoto. 2. Reciclagem de nutrientes. 3. Solo - nutrição de plantas. 4. Gestão de resíduos. 5. Economia circular. I. Título.

CDD 628.364

Bibliotecária: Glacínésia Leal Mendonça - CRB 3/ 925

SUÉLHO PEREIRA DOS SANTOS

**GESTÃO SUSTENTÁVEL DE LODO DE ESGOTO PARA APLICAÇÃO
COMO FERTILIZANTE ORGANOMINERAL: Contribuições para a Economia
Circular.**

Dissertação apresentada a Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável da Universidade Federal do Cariri, como requisito para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Regional Sustentável.

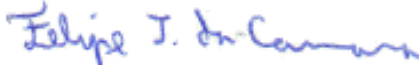
Área de concentração: Desenvolvimento Regional Sustentável.
Linha de Pesquisa: Meio Ambiente.
Sub-linha: Qualidade dos Sistemas Aquático e Controle da Poluição.
Orientador: Prof. Dr. Francisco José de Paula Filho.
Coorientador: Prof. Dr. Felipe Thomaz da Camara.

Aprovada em: 27 /02 /2023

BANCA EXAMINADORA



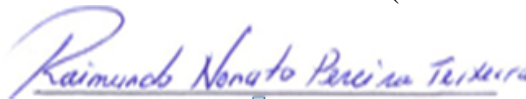
Prof. Dr. Francisco José de Paula Filho (Orientador/UFCA)



Prof. Dr. Felipe Thomaz da Camara (Coorientador/UFCA)

Documento assinado digitalmente
gov.br MARIA GORETHE DE SOUSA LIMA BRITO
Data: 27/04/2023 16:11:22-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dra. Maria Gorethe de Sousa Lima (Membro interno/UFCA)



Prof. Dr. Raimundo Nonato Pereira Teixeira (Membro externo/URCA)

Dedico este trabalho as principais pessoas que me apoiaram em todos os sentidos, onde foram fundamentais para que eu possa estar realizando meus objetivos e sonhos: a minha mãe, Maria do Socorro Pereira dos Santos, aos meus irmãos, José Pereira dos Santos e Samuel Pereira dos Santos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Dr. Francisco José de Paula Filho pela orientação dada, como também ao professor Dr. Felipe Thomaz da Camara pela coorientação, por compartilharem seus conhecimentos para que a pesquisa pudesse ser feita da melhor forma possível.

Agradeço ao técnico de laboratório Jorge Marcell Coelho Menezes, pela ajuda física e pelo conhecimento compartilhado no desenvolvimento da pesquisa. Agradeço a Adriana Fernandes Simões pelo suporte com material de apoio as análises. Agradeço a Yannice Tatiane da Costa Santos pelo apoio de informações dadas relacionadas às análises realizadas.

Agradeço aos colegas de laboratório Yago Neco Teixeira, pelo auxílio dado muitas vezes no decorrer das análises e ao Elias Matias Bentes, que me auxiliou nas coletas de materiais, nas análises realizadas e no cultivo das plantas.

Agradeço aos Professores, Ana Célia Maia Meireles por disponibilizar a casa de vegetação para o cultivo das mudas usadas na pesquisa e ao professor Carlos Wagner Oliveira pela disponibilização do laboratório.

Agradeço a Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará e todo o seu corpo técnico pela autorização de coleta do material usado na pesquisa. Agradeço a Universidade Federal do Cariri por disponibilizar todo o seu espaço para o desenvolvimento da pesquisa. Agradeço a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento (FUNCAP) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio e financiamento da pesquisa.

Agradeço imensamente a minha mãe, Maria do Socorro Pereira dos Santos e aos meus irmãos, José Pereira dos Santos e Samuel Pereira dos Santos, por me apoiarem nessa conquista tão sonhada. Aos meus avós, José Pereira de Sousa (*in memoriam*) e Maria Ana dos Santos (*in memoriam*).

Agradeço ao meu companheiro Davi Lailton Izaías por me apoiar em todas as minhas decisões e estar sempre ao meu lado nos momentos mais difíceis e nos mais afáveis de minha vida.

Agradeço aos meus amigos que celebraram essa conquista e sempre torceram pelos meus objetivos, sonhos e vitórias: Wanna Maria de Souza, Francisco Wedson Faustino, Larissa Lacerda, Eric José Silva, Pedro Neto, Erick Emanuel, Paula Graziele e Lucas Pereira.

A persistência é o caminho do êxito.

(Charles Chaplin)

RESUMO

Os resíduos gerados a partir do processo de tratamento de esgoto como o lodo, podem vir a causar danos ao meio ambiente, devido a sua composição rica em substâncias, como o nitrogênio, fósforo, metais-traços e organismos patogênicos. O presente trabalho pretende realizar uma investigação da viabilidade do uso do lodo de esgoto proveniente de um reator *UASB* existente na Região Metropolitana do Cariri (RMC), como adubo orgânico na cultura do feijão-caupi (*Vigna unguiculata (L.) (Walp.)*), indicando o potencial uso agrícola do lodo de esgoto, fomentando a prática da economia circular. Usou-se dois tipos de solo, um pertencente a uma área em que não houve qualquer tipo de exploração, (Solo 1) e uma outra amostra de solo onde teve um prévio preparo, como o cultivo de cultura agrícola (Solo 2). Realizou-se a caracterização físico-química para o Solo 1, para o Solo 2 e para o lodo de esgoto. Os parâmetros microbiológicos foram realizados apenas para o lodo de esgoto. Avaliou-se três fases das mudas do feijão-caupi, a V1 que se refere ao momento em que o cotilédones aparecem na superfície, a fase V3 que corresponde a primeira folha trifoliolada totalmente desenvolvida e a fase V4 que refere-se à terceira folha. A pesquisa foi dividida em duas fases, na Fase 1, usou-se proporções mais elevadas de lodo de esgoto juntamente ao Solo 1 (0%, 10%, 20%, 30% e 50% com base em volume). Quanto a Fase 2, foi usado os dois tipos de solos e o delineamento experimental utilizado foi casualizado, onde as doses de lodo de esgoto foram (0, 2, 4, 6 e 10%, com base em volume). A caracterização físico-química demonstrou que o solo 1 é pobre em nutrientes essenciais para as plantas, enquanto o solo 2 possui macronutrientes na sua composição. A Fase 1 da pesquisa revelou que o lodo de esgoto se mostrou tóxico para as mudas do feijão com dose de 10%, 20%, 30% e 50%, causando atrofiamento nas folhas, caule e raízes, assim como, inibindo o processo de germinação das sementes para dose de 50% de lodo de esgoto. A Fase 2 revelou que houve interações significativas e não significativas entre as variáveis analisadas no estudo. Não ocorreu diferença significativa até a dose de 6%, sendo necessários apenas 2 dias para ocorrer a emergência das plantas, porém para a dose de 10%, ocorreu diferença significativa, com o solo 1 demorando mais para atingir a fase V1. O solo 2 alcançou a fase V3 aos 11,6 dias após a semeadura (DAS), enquanto o solo 1 aos 12,4 DAS. A dosagem do lodo de esgoto a 10% retardou em dois dias a evolução da muda do feijão-caupi para a fase V3. As plantas do Solo 2 apresentaram as maiores alturas em relação as do Solo 1 ao completar a fase V4. No entanto, para a dosagem com 10% de lodo de esgoto, ocorreu um decréscimo na altura das mudas de ambos os solos. Quanto ao diâmetro do caule, ocorreu similaridade considerável entre as dosagens 0% a 6% para o Solo 2. Sendo que a dose 2% mostrou diâmetro próximo de 3,5mm, porém a de 10% desenvolveu atrofiamento com valor menor em comparação aos demais. Não ocorreu diferença significativa entre a dose 2% e 10% para o Solo 1 ao alcançar a V3, contudo, para a dose 0% a diferença foi significativa, produzindo caule com diâmetro próximo de 3mm. Para a variável raiz, a dose 6% obtiveram-se o melhor tamanho de raiz. No entanto, a dosagem do lodo de esgoto a 10% causou um decréscimo ao comprimento da raiz ao completar o ciclo de avaliação, ou seja, V4. O lodo de esgoto torna-se viável como bioadubo no cultivo de culturas agrícolas nas dosagens especificadas, com isso, contribuindo para o desenvolvimento regional de forma sustentável. Contribuindo para o desenvolvimento da economia circular, no processo do tratamento do esgoto na região do Cariri Cearense, como também, fomentando o avanço para atingir os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas (ONU).

Palavras-chave: Lodo de esgoto; Reciclagem de nutrientes; Solo e nutrição de plantas; Gestão de resíduos; Economia circular.

ABSTRACT

The waste generated from the sewage treatment process as the sludge, can cause damage to the environment due to its composition rich in substances such as nitrogen, phosphorus, trace metals and pathogens. The present work aims to investigate the feasibility of using sewage sludge from an existing UASB reactor in the Cariri Metropolitan Region (RMC), as an organic fertilizer in the culture of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) (Walp.)), indicating the potential agricultural use of sewage sludge, promoting the practice of circular economy. Two types of soil were used, one belonging to an area where there was no type of exploration, (Soil 1) and another soil sample where it had a previous preparation, such as the cultivation of an agricultural crop (Soil 2). Physical-chemical characterization was performed for Soil 1, Soil 2 and sewage sludge. Microbiological parameters were performed only for the sewage sludge. Three phases of the cowpea seedlings were evaluated: V1, which refers to the moment when the cotyledons appear on the surface; V3, which corresponds to the first fully developed trifoliolate leaf; and V4, which refers to the third leaf. The research was divided into two phases; in Phase 1, higher proportions of sewage sludge were used along with Soil 1 (0%, 10%, 20%, 30%, and 50% on a volume basis). As for Phase 2, both soil types were used and the experimental design used was randomized, where the sewage sludge doses were (0, 2, 4, 6 and 10%, based on volume). The physicochemical characterization showed that soil 1 is poor in essential nutrients for plants, while soil 2 has macronutrients in its composition. Phase 1 of the research revealed that sewage sludge was toxic to bean seedlings at doses of 10%, 20%, 30%, and 50%, causing stunting in the leaves, stem, and roots, as well as inhibiting the germination process of the seeds at the 50% sewage sludge dose. Phase 2 revealed that there were significant and non-significant interactions among the variables analyzed in the study. No significant difference occurred until the dose of 6%, taking only 2 days to occur the emergence of the plants, but for the dose of 10%, there was a significant difference, with soil 1 taking longer to reach the V1 phase. Soil 2 reached the V3 phase at 11.6 days after sowing (DAS), while soil 1 at 12.4 DAS. The dosage of sewage sludge at 10% delayed by two days the evolution of the cowpea bean seedling to the V3 phase. Plants from Soil 2 presented the greatest heights in relation to those from Soil 1 at the completion of the V4 phase. However, for the dosage with 10% sewage sludge, there was a decrease in the height of the seedlings of both soils. As for the diameter of the stem, there was considerable similarity between the dosages 0% to 6% for Soil 2. The 2% dose showed a diameter close to 3.5mm, but the 10% dose developed stunting with a smaller value compared to the others. There was no significant difference between the 2% and 10% dose for Soil 1 when reaching V3, however, for the 0% dose the difference was significant, producing stems with a diameter close to 3mm. For the root variable, the 6% dose obtained the best root size. However, the dosage of sewage sludge at 10% caused a decrease in root length at the completion of the evaluation cycle, that is, V4. Sewage sludge becomes feasible as a bio-fertilizer in the cultivation of agricultural crops in the specified dosages, thereby contributing to regional development in a sustainable way. Contributing to the development of the circular economy in the process of sewage treatment in the region of Cariri Ceará, as well as promoting the advancement to achieve the Sustainable Development Goals of the United Nations (UN).

Keywords: Sewage sludge; Nutrient recycling; Soil and plant nutrition; Waste management; Circular economy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Percentual de Municípios com serviço de esgotamento sanitário por rede coletora, segundo as Grandes Regiões - 1989/2017.....	19
Figura 2: Localização da cidade de Juazeiro do Norte-CE.....	27
Figura 3: Configuração da ETE Três Marias.....	28
Figura 4: Processo de deságue do lodo de esgoto.....	28
Figura 5: Esquematização do reator UASB.....	29
Figura 6: Processo de desidratação do lodo de esgoto.....	30
Figura 7: Subamostras dos solos (S1 e S2) utilizados na avaliação do uso do biossólido na cultura do feijão-caupi.....	31
Figura 8: Estágios de desenvolvimento do feijoeiro.....	36
Figura 9: Imagem EDS do lodo de esgoto da ETE Três Marias.....	41
Figura 10: Imagem EDS dos elementos Alumínio e Ferro.....	41
Figura 11: EDS do lodo de esgoto da ETE Três Marias.....	42
Figura 12: Mudanças de feijão-caupi de acordo com o respectivo tratamento	45
Figura 13: Análise de regressão para a variável dias após a semeadura ao completar o estágio V3 em função das doses de lodo de esgoto.....	49
Figura 14: Desdobramento da interação entre os fatores para a variável dias após a semeadura ao completar o estágio V1 em função dos solos para as cinco doses de lodo de esgoto estudadas.....	50
Figura 15: Análise de regressão para a variável dias após a semeadura ao completar o estágio V1 em função das doses de lodo de esgoto para os dois solos estudados.....	50
Figura 16: Desdobramento da interação entre os fatores para a variável dias após a semeadura ao completar o estágio V4 em função dos solos para as cinco doses de lodo de esgoto estudadas.....	51
Figura 17: Análise de regressão para a variável dias após a semeadura ao completar o estágio V4 em função das doses de lodo de esgoto para os dois solos estudados.....	52
Figura 18: Desdobramento da interação entre os fatores para a variável altura das plantas para completar o estágio V4 em função dos solos para as cinco doses de lodo de esgoto estudadas.....	54
Figura 19: Análise de regressão para a variável altura das plantas ao completar o estágio V4 em função das doses de lodo de esgoto para os dois solos estudados.....	54

Figura 20: Desdobramento da interação entre os fatores para a variável diâmetro do caule das plantas ao completar o estágio V3 em função dos solos para as cinco doses de lodo de esgoto estudadas.....	55
Figura 21: Análise de regressão para a variável diâmetro do caule das plantas ao completar o estágio V3 em função das doses de lodo de esgoto para os dois solos estudados.....	56
Figura 22: Desdobramento da interação entre os fatores para a variável diâmetro do caule das plantas para completar o estágio V4 em função dos solos para as cinco doses de lodo de esgoto estudadas.....	57
Figura 23: Análise de regressão para a variável comprimento da raiz ao completar o ciclo de avaliação em função das doses de lodo de esgoto.....	58
Figura 24: Análise de regressão para a variável massa da planta inteira ao completar o ciclo de avaliação em função das doses de lodo de esgoto para os dois solos estudados.....	59
Figura 25: Desdobramento da interação entre os fatores para a variável massa da planta inteira ao completar o ciclo de avaliação em função dos solos para as cinco doses de lodo de esgoto estudadas.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores máximos permitidos de substâncias químicas no bio sólido a ser destinado para uso em solos.....	25
Tabela 2: Parâmetros físico-químicos e microbiológicos a serem analisados nas amostras de lodo de esgoto e no solo.....	30
Tabela 3: Tratamentos usados no teste com a cultura agrícola na Fase 1	35
Tabela 4: Valores encontrados para as amostras de lodo de esgoto da ETE Três Marias.....	37
Tabela 5: Resultados dos parâmetros físico-químicos encontrados para as amostras de lodo de esgoto da ETE Três Marias	38
Tabela 6: Resultado dos parâmetros microbiológicos para as amostras de lodo de esgoto da ETE Três Marias.....	39
Tabela 7: Resultados dos metais pesados-traços analisados no lodo de esgoto da ETE Três Marias.....	40
Tabela 8: Resultado dos parâmetros físico-químicos do Solo 1 e do Solo 2.....	43
Tabela 9: Medidas das plantas na Fase 1 do experimento.....	46
Tabela 10: Síntese da análise de variância para as variáveis dias após a semeadura para atingir o estágio V1, V3 e V4.....	47
Tabela 11: Síntese da análise de variância para as variáveis altura da planta na fase V3 (AltV3), diâmetro do caule da planta na fase V3 (DiamV3), altura da planta na fase V4 (AltV4), diâmetro do caule da planta na fase V4 (DiamV4).....	53
Tabela 12: Síntese da análise de variância para as variáveis comprimento de raiz (Comp.Raiz) e massa da planta inteira (Massa).....	57

LISTA DE SÍMBOLOS/ABREVIATURAS

UASB – *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (Reator Anaeróbio de Manta de Lodo de Fluxo Ascendente)

ETE – Estações de Tratamento de Esgoto

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

CAGECE – Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará

RMC – Região Metropolitana do Cariri

WHO – *World health organization* (Organização Mundial da Saúde)

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia Estatística

IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará

ODS – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

ONU – Organização das Nações Unidas

COEMA – Conselho Estadual de Meio Ambiente

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia

UFCA – Universidade Federal do Cariri

EMBRAPA – Empresa de Pesquisas Agropecuárias

NBR – Norma Técnica Brasileira

EDS – Espectroscopia de Energia Dispersiva de Raios-x

MEV – Microscópio Eletrônico de Varredura

BSE – Elétrons Retro Espalhados

LB – Lodo Biológico

SV – Sólidos Voláteis

ST – Sólidos Totais

NMP – Número Mais Provável

DAS – Dias Após a Semeadura

Ca – Cálcio

Na – Sódio

Mg – Magnésio

N – Nitrogênio

MO – Matéria Orgânica

CO – Carbono Orgânico

NTK - Nitrogênio Total *Kjeldahl*

pH – Potencial Hidrogênionico

HCL – Ácido Clorídrico

M – Molar

$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ – Molibdato de Amônio

$\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ – Tartarato de Antimônio e Potássio

H_2SO_4 – Ácido Sulfúrico

$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ – Ácido Ascórbico

KCL – cloreto de Potássio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 OBJETIVOS.....	17
2.1. Objetivo Geral	17
2.2. Objetivos Específicos	17
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
3.1. Saneamento básico no Brasil.....	18
3.2. Tecnologia para o tratamento dos esgotos: <i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor</i> (UASB)	20
3.3. Gerenciamento e estabilização do lodo de esgoto.	21
3.4. Lodo de esgoto: propriedades e destinação final.....	22
3.5. Legislação brasileira para aplicação do lodo de esgoto ao solo	25
4 METODOLOGIA.....	27
4.1. Área de estudo	27
4.2. Arranjo da ETE Três Marias	27
4.3. Amostragem do material e tratamento das amostras	30
4.4. Caracterização físico-química e microbiológica do lodo de esgoto e físico-química dos solos.	31
4.4.1. <i>Potencial agrônômico</i>	32
4.4.2. <i>Estabilidade do biossólido</i>	33
4.4.3. <i>Substâncias químicas inorgânicas</i>	33
4.4.4. <i>Qualidade microbiológica</i>	33
4.4.5 <i>Morfológica e mapeamento geoquímico – MEV/EDS</i>	34
4.5. Uso potencial do lodo de esgoto como fertilizante.....	34
5 RESULTADOS	37
5.1. Lodo de esgoto.....	37
5.1.1. <i>Caracterização agrônômica</i>	37
5.1.2. <i>caracterização físico-química e estabilidade do biossólido</i>	38
5.1.2.1. <i>Caracterização química (metais-traços)</i>	39
5.1.3. <i>caracterização microbiológica</i>	40
5.1.4. <i>Caracterização da morfologia e mapeamento geoquímico</i>	40
5.2. Caracterização do Solo1 e do Solo 2	42
5.2.1. <i>Caracterização físico-química</i>	42

5.2.1.1. Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), Nitrato e Fósforo total	43
5.2.1.2. Cálcio, Sódio e Magnésio	43
5.2.1.3. Matéria orgânica e Carbono orgânico	44
5.2.1.4. pH e Umidade	44
5.3. Uso do lodo de esgoto e do solo como adubo na cultura agrícola: Fase 1	44
5.4. Lodo de esgoto e o solo como adubo na cultura agrícola: Fase 2	47
5.4.1. desenvolvimento das plantas	47
5.4.2 Análise das variáveis altura e diâmetro do caule das plantas	52
5.4.3. Análise da variável raiz das plantas.....	57
6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	61
6.1. Discussão quanto aos resultados da caracterização do lodo de esgoto.....	61
6.2. Discussão quanto aos resultados da caracterização do Solo 1 e do Solo 2	64
6.3 Avaliação da cultura agrícola: Fase 1	66
6.4. Avaliação da cultura agrícola: Fase 2.....	68
7 CONCLUSÃO	70
8 REFERÊNCIAS	72

1 INTRODUÇÃO

Dentre os eixos do saneamento básico ambiental, o tratamento de esgoto assume um importante papel na qualidade, saúde e bem-estar da população, diante disso, na medida em que o efluente é lançado sem tratamento ao meio ambiente acarreta uma série de problemas, afetando os seres humanos, fauna e flora ali presente.

Segundo Jordão e Pessôa (2009), o tratamento dos esgotos é formado por uma série de operações unitárias que são empregadas para a remoção de substâncias indesejáveis, ou para a transformação destas substâncias em outras de forma aceitável.

De acordo com Metcalf e Eddy (2016), o principal objetivo do tratamento biológico de esgoto é transformar a matéria orgânica biodegradável de altos níveis, em valores admissíveis. Destaca-se a importância do tratamento biológico anaeróbio, em especial o reator *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB), uma vez que possui baixo custo operacional, de manutenção e produz um lodo já estabilizado (FRUTUOSO, 2017).

Segundo Moreira et al. (2019), entre todos os remanescentes gerados nas estações de tratamento de esgoto (ETE), o lodo se mostra como maior gargalo no que se refere à destinação final desse composto. Sendo responsável por cerca de 20 a 30% dos custos operacionais. Contudo, esse resíduo é geralmente destinado para incineração, disposição nos oceanos e nos aterros sanitários, este último corresponde a aproximadamente 50% dos custos de uma ETE (MOREIRA et al., 2019).

Atualmente, o aterro sanitário consiste na alternativa mais empregada para o gerenciamento do lodo de ETE no Brasil. Nesse contexto, destacam-se os elevados gastos no transporte, a taxa para a disposição em aterro e o desperdício do potencial dos nutrientes e/ou energético do lodo desidratado (AMARAL; AISSE; POSSETTI, 2020), quanto a isso, é preciso que medidas mais sustentáveis sejam empregadas em relação a esse material.

Em muitas estações de tratamento, o lodo é considerado um resíduo problemático devido a sua difícil disposição final, pois pode estar carregado com metais pesados, sendo prejudicial para os sistemas biológicos de tratamentos (dependendo da fonte do esgoto e industrialização da região), assim como, a grande carga biológica de patógenos (SAMPAIO et. al., 2012; PEDROSA et al., 2017; TONETI et. al., 2020).

Os metais pesados quando presentes nos efluentes em grandes concentrações causam toxicidades aos microrganismos, por exemplo, efluentes gerados no processo do curtume (Cádmio, Cromo Hexavalente) e de processos galvânicos (Cádmio, Cromo, Níquel, Cobre, Zinco, Prata e etc.) (NUVOLARI, 2003). Contudo, observando esses teores de tais elementos e aplicando doses controladas do lodo de esgoto ao solo, é possível dar um destino ambientalmente adequado e de forma sustentável a esse material.

O consumo crescente de fertilizantes agrícolas no Brasil vem causando grande preocupação, tanto para a saúde ecológica quanto pelo aumento da contaminação do solo e da água quando não usado de forma controlada e adequada.

Contudo, análogo a essa prática considerada cada vez mais inapropriada, métodos mais sustentáveis vêm sendo usados para suprir o uso desses compostos químicos industrializados na agricultura, como por exemplo, o emprego do lodo de esgoto como fertilizante orgânico (FARIA, 2007)

Segundo Costa et al. (2015) e Li et al. (2013), em diversos países da Europa, América do Norte, América do Sul e da Ásia, é crescente o uso do lodo de esgoto na recuperação de áreas degradada, uma vez que auxiliam essas terras no seu processo de regeneração por meio do processo de deposição de certos nutrientes ausentes nesses determinados locais melhorando assim suas características.

O lodo de esgoto pode ser aplicado na reabilitação de terras para melhorar as propriedades físicas, químicas ou biológicas do solo. Pode ser aplicado em várias formas, incluindo líquido, sólido ou semissólido (KICINSKA et al., 2018). O lodo de esgoto possui grande potencial como condicionador de solo e fonte de matéria orgânica (MELO et al., 2018).

Seu uso na agricultura se mostra bastante promissor, na medida em que países vêm realizando estudos sobre a temática, onde atualmente essa prática progressivamente se replica no mundo, advindo de suas características nutricionais (SOUSA et al., 2020). Tontti et al (2016) afirmam que quantidades variadas de nutrientes, como nitrogênio, fósforo e potássio, estão presentes no lodo de esgoto. Aproximadamente 50% da fração sólida do lodo de esgoto é matéria orgânica, que tem efeito significativo nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo em decorrência de sua aplicação.

O lodo de esgoto deve ser tratado como matéria-prima secundária e utilizado como uma valiosa fonte de nutrientes e matéria orgânica. (KOMINKO et. al., 2017). O lodo possui valor nutricional, ou seja, matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, potássio e

pequenas quantidades de cálcio, enxofre e magnésio, contudo, é preciso ficar atento aos compostos tóxicos presentes (ITICESCU et. al., 2021).

De modo geral, o uso do biossólido em terras agrícolas é muito mais vantajoso do ponto de vista econômico do que os outros métodos, além disso, existe uma maior produção agrícola obtida através dos nutrientes presentes no lodo de esgoto (ITICESCU et. al., 2021).

Contudo, é necessário que se faça uma caracterização do lodo antes de seu uso para fins agrícolas, uma vez que o efluente possui especificidades composicionais de acordo com cada tipo de fonte geradora. Todavia, a sazonalidade também é um fator interferente nas características do esgoto e conseqüentemente do lodo.

Essa prática requer atenção e acompanhamento permanente, através do monitoramento das áreas que receberam o lodo advindo de estações de tratamento de esgoto. O monitoramento é fundamental, devido à presença de certos compostos tóxicos, como metais pesados, capazes de contaminar solos, água e a biota da área que estará recebendo o lodo (ALVES et al., 2021).

No Brasil o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) regulamentou os critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos (BRASIL, 2020).

Nesse contexto, a prática do uso do lodo de esgoto no reaproveitamento como adubo agrícola ou recuperação de áreas degradadas, contribui para fomento da economia circular, uma vez que pode ser considerada um ciclo de desenvolvimento contínuo que preserva e aprimora o capital natural, otimizando a produção de recursos, minimizando riscos sistêmicos, administrando estoques finitos e fluxos renováveis, oferecendo diversos mecanismos de criação de valor dissociados do consumo de recursos finitos (ARAÚJO e QUEIROZ, 2017; ALVES et al., 2020).

Considera-se, também, dentro do âmbito da economia circular, medidas sustentáveis como a reciclagem, reuso, logística reversa, remanufatura e medidas para que a matéria prima tenha um maior ciclo de vida em um produto (SILVA et al., 2021; SILVEIRA et al., 2022).

A economia circular preza e incentiva a reciclagem e o reaproveitamento dos materiais, valorizando todos os atores da cadeia produtiva, e surge como instrumento de contribuição para o cumprimento dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (UNCTAD, 2014; ARAÚJO E VIEIRA, 2017; ASSUNÇÃO, 2019; PETERSON et al., 2022).

Diante do exposto, o presente projeto objetiva realizar a caracterização físico-química e microbiológica do lodo de esgoto de uma estação de tratamento urbana, que emprega o sistema UASB, com vistas a avaliar sua utilização como biossólido em cultura agrícola comercial, atentando para seu potencial de suprir as necessidades nutricionais da planta.

Com isso, o estudo colabora com Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) previstos na Agenda 2030, mais precisamente no ODS 6 (água potável e saneamento), como também, fomenta a prática da economia circular, contribuindo através do uso de bioadubo na produção de cultura agrícola, dando acesso a pequenos produtores a um produto natural com propriedades nutricionais mais acessíveis em relação aos sintéticos comercializados, cooperando para sociedade e garantindo uma melhor qualidade do meio ambiente, uma vez que estará tendo um destino ambientalmente adequado.

2 OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliou a utilização de lodo de esgoto proveniente de um reator UASB existente na Região Metropolitana do Cariri (RMC) como adubo orgânico na cultura do feijão-caupi (*Vigna unguiculata (L.) (Walp.)*).

2.2. Objetivos Específicos

- Caracterização físico-química e microbiológica do lodo de esgoto da ETE;
- Caracterizar as amostras de lodo de esgoto de acordo com a Resolução CONAMA 498/2020;
- Aplicar o lodo de esgoto em consorcio com o solo na cultura do feijão-caupi em casa de vegetação;
- Avaliar o crescimento do feijão-caupi até a fase da terceira folha trifoliada aberta, examinando o potencial do lodo como adubo orgânico.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Saneamento básico no Brasil

A palavra saneamento é originada do latim “sanu”, que tem sentidos como: tornar são, habitável ou respirável; curar, sarar, sanar; remediar, reparar; e restituir ao estado normal, tranquilizar (VITOR et al., 2021). Saneamento é um fator essencial para o tratamento de esgoto, visando preservar e modificar o meio ambiente com a finalidade de prevenir doenças, promover a saúde e consequentemente melhorar a qualidade de vida da população (BARBIERI; CALDERARO, 2019).

Na medida em que a população mundial cresce aceleradamente, proporcionalmente a geração de esgoto evolui junto (OLIVEIRA et al., 2019). Perante o exposto, o saneamento básico ambiental se faz necessário, uma vez que a presença do mesmo Segundo a *World health organization (WHO)* (2018) se mostra essencial no combate a diminuição de diversas doenças acometidas ao ser humano, como diarreia, infecção por helmintos, esquistossomose, contudo, melhora e mantém a saúde mental e o bem-estar social (WHO, 2018).

Na medida em que essas concepções são postas, percebe-se que o saneamento e a saúde estão inteiramente interligados de forma direta, proporcionando uma melhor qualidade de vida e bem-estar da população (WHO, 2018).

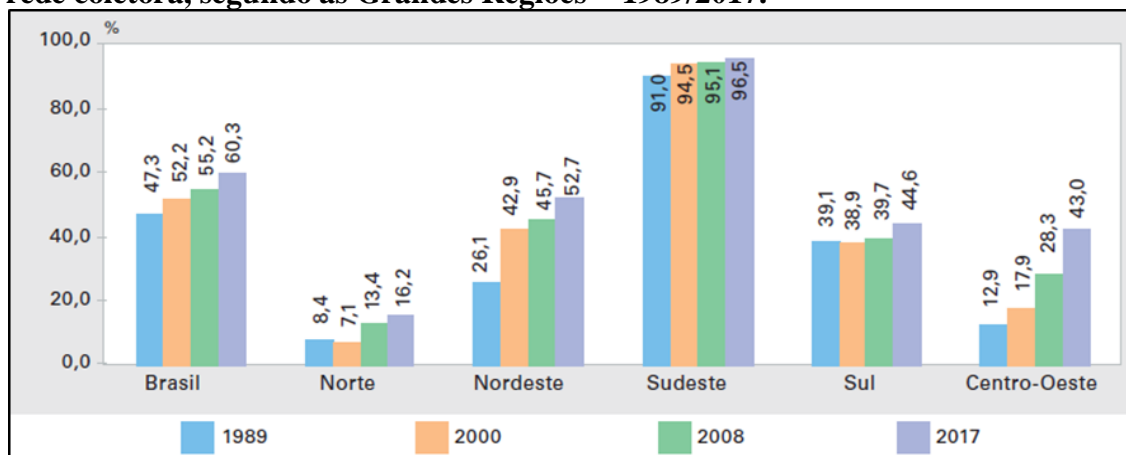
A grande maioria da comunidade mundial não possui acesso a esgotamento sanitário, dados mostram que no ano de 2015 cerca de 32% da população global ainda não tinha instalações de tratamento de esgoto, a maioria vivendo em países em desenvolvimento. Esses países enfrentam não apenas a pressão do crescimento econômico, mas também os recursos ambientais cada vez mais escassos (ARROYO E MOLINOS-SENANTE 2018; LIU et al., 2020).

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), 2021, a coleta e o tratamento de esgotos são essenciais para o saneamento básico. Essas ações representam promoção de saúde pública e manutenção de recursos naturais, entre eles os corpos hídricos onde é captada a água para abastecimento público (SNIS, 2021).

No país, a falta de esgotamento sanitário acarreta diversos problemas além dos citados anteriormente, uma vez que o índice referente à coleta de esgoto é bem inferior quando comparado com o de abastecimento de água.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia Estatística-IBGE (2020), no Brasil, a proporção de Municípios com serviço de esgotamento sanitário passou de 47,3%, em 1989, para 60,3%, em 2017 (IBGE, 2020), (Figura 1), em especial para a região Norte do país, na qual, ocorreu apenas um leve crescimento no percentual.

Figura 1: Percentual de Municípios com serviço de esgotamento sanitário por rede coletora, segundo as Grandes Regiões - 1989/2017.



Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 1989/2017.

Nota: 1. Para os anos de 1989, 2000 e 2008, considera-se o Município em que pelo menos um Distrito (mesmo que apenas parte dele) é esgotado por rede coletora. Na PNSB 2017, considera-se o Município em que ao menos uma entidade informou possuir serviço de esgotamento sanitário por rede coletora em funcionamento ou em implantação.

Nota: 2. Os totais de Municípios eram 4 425, 5 507, 5 564 e 5 570, em 1989, 2000, 2008 e 2017, respectivamente.

Contudo, para o abastecimento de água, o serviço já estava sendo usado desde a década de 1989, chegando ao ano de 2017 com todos os municípios da nação possuindo esse serviço de forma ativa, paralisado ou em implantação (IBGE, 2020).

Esses resultados contribuem de forma negativa para a qualidade do meio ambiente, uma vez que os índices de coleta e tratamento de esgoto são baixos, diante disto, é cada vez mais frequente a contaminação dos recursos hídricos ou solo por meio da poluição de efluente sanitário (SNIS, 2021).

Na região Nordeste, apenas 30,3 % da população possui atendimento de rede pública coletora de esgoto, e apenas 34,1% do esgoto gerado é tratado. O Ceará trata 36,0 % de seu efluente produzido (SNIS,2021). Segundo o Instituto de Pesquisa e

Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), o município de Juazeiro do Norte apresenta 36,42% de taxa de cobertura urbana de esgoto (IPECE, 2017).

3.2. Tecnologia para o tratamento dos esgotos: *Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor* (UASB)

Ao longo das décadas os sistemas de tratamento de esgoto além de evoluírem, seus desempenhos em termos de eficiência de tratamento também obtiveram significativos ganhos. Com isso, a seleção da tecnologia adequada para cada tipo de localidade deve ser considerado alguns fatores, entre eles, estão o espaço disponível para a construção da estação de tratamento, capacidade de remoção de poluentes de acordo com a fonte geradora (D'AVIGNON *et al.*, 2002 ; BARBIERI; CALDERARO, 2019), grau de tratamento necessário, possível reuso da água, disponibilidade financeira, facilidades operacionais, fragilidade ambiental local (JORDÃO; PESSÔA, 2009).

Segundo Chen *et al.* (2018) alguns elementos devem ser observados, na qual, podem afetar diretamente o projeto, a saber, tecnologia usada, localização, proteção ambiental, custos de investimento e eficiência operacional.

O sistema do reator UASB consiste de um fluxo ascendente de esgotos por meio de um leito de lodo denso e de elevada atividade biológica. O principal processo que ocorre em todas as zonas de reação no reator é a estabilização da matéria orgânica (DANTAS *et al.*, 2022).

Esquemáticamente é constituído de um separador trifásico no seu topo para retirada de sólidos e do biogás gerado no processo de digestão anaeróbia, o esgoto é depositado no fundo para ocorrer à estabilização da matéria orgânica por meio da manta de lodo. Os líquidos ainda com sólidos em suspensão retornam para a câmara de digestão por meio das placas inclinadas, o esgoto já tratado é escoado através de transbordamento com as calhas coletoras e a espuma formada é retirada a fim de evitar maus odores (CHERNICHARO, 1997; GUEDES, 2022).

Apresentado por Lettinga *et al.* (1980), o reator UASB tornou-se um dos mais utilizado no Brasil, segundo Chernicharo *et al.* (2018) o sistema de manta de lodo possui um percentual de 52% de sistemas instaladas com população entre 10.000 e 100.000 mil habitantes em 7 regiões brasileiras estudadas. No mundo, mais de 1.000 unidades do UASB já foram instaladas e posto em operação (TIWARI *et al.*, 2006).

A partir de sua criação, o UASB vem sendo empregado para realizar o tratamento de diferentes tipos de efluente, desde esgotos industriais até os gerados no processamento de carnes (SAKAR, 2008; METCALF; EDDY, 2016; YETILMEZSOY; DAUD *et al.*, 2018).

Contudo, apesar de ser uma tecnologia bastante utilizada, a mesma apresenta algumas desvantagens como, baixa remoção de patógenos e nutrientes, geração de maus odores e a demanda por um pós-tratamento (CHONG *et al.*, 2012).

O reator UASB tende a ter desempenho superior à das lagoas anaeróbias e facultativas combinadas, sendo mais compacto e eficiente na remoção de material orgânico e sólidos suspensos, mas mantendo o baixo custo e simplicidade operacional (NASCIMENTO *et al.*, 2022).

3.3. Gerenciamento e estabilização do lodo de esgoto.

A estabilização consiste na mineralização da parcela biodegradável da matéria orgânica existente no lodo de esgoto, com isso, reduzindo a possibilidade de putrefação e a presença de organismos patogênicos (METCALF; EDDY, 2016).

A natureza do tratamento de estabilização empregado ao lodo é determinada pela disposição final do mesmo. Ou seja, se o lodo for utilizado na agricultura, os parâmetros de esterilidade serão mais rígidos comparados a outras destinações, como por exemplo, a incineração (BARBOSA, 2018).

O tratamento térmico é um método empregado na estabilização do lodo de esgoto, onde o material no estado pastoso é submetido a elevadas temperaturas, com o intuito de promover a perda de umidade e eliminação de até 99,9% de ovos viáveis de patógenos, e com conseqüente redução do volume (ZUBA JUNIOR *et al.*, 2020).

Outro processo usado na estabilização do lodo de esgoto é a caleação, conhecido como estabilização química. Consiste no uso da cal virgem para elevação do pH do meio, onde a eliminação dos patógenos dar-se na medida em que ocorre o aumento do potencial hidrogeniônico acima de 12 na escala (COSTA *et al.*, 2018).

Já na solarização, o lodo de esgoto é seco ou desidratado por meio de altas temperaturas de forma natural, ou seja, é exposto ao sol. Na qual, o leito de secagem é uma das alternativas utilizadas, devido ao custo de implantação reduzido, bem como à simplicidade da operação e manutenção de seu processo (SANTOS *et al.*, 2017;

DURÃES, 2020). Diante disto, promovendo a redução de microrganismos patogênicos (MATHIOUDAKIS et al., 2013)

Os leitos de secagem geralmente são tanques retangulares projetados para receber lodos aeróbios ou anaeróbios, na qual, comumente se utiliza cal virgem para o procedimento de assepsia do lodo, em seguida é destinado para o aterro sanitário ou reaproveitado para uso agrícola (JORDÃO; PESSÔA, 2009).

3.4. Lodo de esgoto: propriedades e destinação final

Atualmente no Brasil o destino usualmente dado ao lodo de esgoto é o aterro sanitário, tornando-se a alternativa mais utilizada, contudo, ainda é comum no país o lançamento em corpos receptores (ANDREOLI et al., 2014; GONÇALVES; MOL, 2021).

Quanto à disposição final do lodo em aterros sanitários, consiste em uma alternativa onde não existe o reaproveitamento do resíduo, ou seja, o material é posto em células previamente impermeabilizadas seguidas por uma cobertura de terra (LOUREIRO, 2021).

A incineração consiste em outra prática usada para destinação final do lodo de esgoto, onde consistem na destruição das substâncias orgânicas presentes no lodo através de combustão controlada de resíduos. Geralmente é empregada quando o lodo de esgoto encontra-se com teores elevados de contaminação, com isso, impossibilitando seu uso para alternativas de disposição final (COSTA, 2022).

Apesar do uso na agricultura se mostrar como uma alternativa viável ao seu destino final, ainda é pouco usado no Brasil, tendo como destinação final, predominantemente, o aterro sanitário (SOUZA, 2022).

Na medida em que o material é interessante para a agricultura, uma vez que possui características nutricionais importantes, com variação de 1,0 a 8,0%, P de 0,5 a 4,0%, K de 0,1 a 0,6% e teores de matéria orgânica de 30 a 60%, desta forma, é um material utilizável em substituição aos insumos agrícolas comercializados (MARTINS et. al, 202; VIANA, 2022).

A aplicação do lodo de esgoto contribui para o enriquecimento de nutrientes no solo e aumenta a disponibilidade para plantas em longo prazo, se comparado com fertilizante mineral (SOUZA, 2022).

Quando aplicado ao solo, o lodo de esgoto eleva as taxas de nitrogênio, fósforo, micronutrientes, causa um melhoramento das qualidades físico-químicas e enzimáticas daquele determinado solo, diante disto, contribuindo para a produção agrícola (MOHAMED et al., 2018).

Contudo, em relação ao seu uso para fins agrícolas, é necessário precaução, por causa da presença de metais pesados, os elementos podem ser fitotóxicos em elevadas concentrações, afetando o crescimento das plantas e podendo chegar à cadeia alimentar do ser humano, provocando danos a sua saúde (SOUZA, 2022).

Na Europa, por exemplo, já se faz uso deste material há anos, em especial na Espanha onde seus solos são pobres quanto a teores de matéria orgânica (MAÑAS; HERAS, 2017). De acordo com Lamastra et al. (2018), o relatório da Comissão Europeia publicado em 2010, 39% das lamas de depuração produzidas, são recicladas na agricultura.

Na Austrália, no ano de 2021 foram produzidas cerca de 349.000 toneladas de lodo seco, onde 83 % desse material teve seu destino final usado de forma benéfica. Quanto ao uso na agricultura, aproximadamente 73% da produção do lodo seco gerado teve como destinação final, o uso agrícola (AUSTRALIAN & NEW ZEALAND BIOSOLIDS PARTNERSHIP, 2022).

Na China, cerca de 39 milhões de toneladas de lodo de esgoto seco teve destinação final via aplicação ao solo até 2019, configurando 29,3 % de todo o lodo produzido no país (WEI et al., 2020).

Há muitos anos a matéria orgânica consiste numa importante fonte de fertilidade para o solo, diante disto, os materiais orgânicos provenientes das atividades humanas são utilizados como fertilizantes há milhares de anos pelos chineses, japoneses e indianos (KIEHL, 1985; OUTWATER, 1994; ANDREOLI; et al., 2001), de acordo com ANDREOLI; et al. (2001) esta prática tornou-se importante na Europa a partir de 1840, com o objetivo de prevenir epidemias.

Barone et al. (2018) avaliaram a viabilidade da produção de mudas de *Lantana Câmara* utilizando lodo de esgoto compostado com casca da pupunha, lodo caleado, ou em combinações com outros componentes estruturantes, como esterco bovino, solo e casca de arroz carbonizada (BARONE et al. 2018)

Identificaram que substrato à base composto de lodo de esgoto e casca de palmito, sem adição de outros materiais mostrou-se mais eficaz ambientalmente e

nutricionalmente em relação ao substrato comumente usado pelos produtores da região, pois apresentou problemas físicos e químicos (BARONE et al. 2018).

Contudo, é preciso avaliar certos contaminantes, na China, Duan e Feng (2022), dentre seus objetivos, avaliaram com seu estudo o risco ecológico de metais pesados quando o lodo de esgoto é aplicado em terras agrícolas e mediram o potencial do uso agrícola do biossólido (DUAN; FENG, 2022).

Com a investigação, os autores identificaram que todos os metais pesados analisados apresentaram baixo risco para o uso agrícola de lodo de esgoto, exceto Hg e Cd, que foram as principais produções da indústria carbonífera que levaram a um alto risco, como também, embora os teores de metais pesados no lodo de esgoto estivessem dentro dos limites padrão (DUAN; FENG, 2022),.

O uso agrícola do lodo de esgoto em muitas estações apresentou um alto risco ecológico, induzido pelas indústrias relacionadas ao carvão, com isso, a avaliação do lodo de esgoto é fundamental quando seu destino é uso agrícola ou recuperação de áreas degradadas (DUAN; FENG, 2022).

Câmara (2017) estudou o uso do lodo de esgoto cultivado do feijão-caupi, onde usou diferentes dosagens do material, avaliando o crescimento e a produtividade da planta. Para o parâmetro crescimento, destaca-se tratamento com 20 t/há, obtendo maior número de folhas e maiores diâmetros do caule e da copa. Quanto aos parâmetros de produtividade, houve destaque para o tratamento 40t/há, com o maior teor de matéria seca. O uso de lodo compostado em substituição ao uso de fertilizantes mostrou-se viável em relação às características avaliadas.

Monteiro (2009) estudou o uso do esgoto e do lodo de esgoto, advindos de um reator UASB, no cultivo do feijão-caupi. Em sua pesquisa, foi possível constatar que o lodo de esgoto demonstrou possuir uma nutrição mais elevada em relação ao uso apenas de efluente de UASB.

O uso do lodo de esgoto como fertilizante para a produção de mudas em estufas e viveiros pode representar uma alternativa segura e sustentável que explora os benefícios nutricionais deste material, sem oferecer riscos significativos ao meio ambiente ou à saúde humana (SANTOS *et al.*, 2021) .

3.5. Legislação brasileira para aplicação do lodo de esgoto ao solo

A destinação do lodo de esgoto ao aterro sanitário ainda consiste na forma mais empregada no Brasil, condição não muito diferente do resto do mundo. Porém, cada vez mais esse material recebe outras destinações, principalmente na recuperação de áreas degradadas, uso agrícola ou produção de mudas (SANTOS, 2001; GODOY, 2013; OLIVEIRA et al., 2017;).

Diante disto, o controle sobre a qualidade deste produto deve ser fundamental quanto ao uso benéfico, uma vez que o mesmo possui diversos contaminantes, em especial os metais pesados, e para balizar essa qualidade que deve ser dada ao lodo de esgoto, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) criou a resolução 375/2006, na qual, define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados (BRASIL, 2006).

Entretanto, a Resolução 357/2006 foi revogada pela Resolução 498/2020, na qual, consiste em uma norma com mais critérios de avaliação para dar mais garantia e segurança quanto ao uso do lodo de esgoto.

Isto posto, de acordo com a Resolução 498/2020, ao qual define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos (BRASIL, 2020b), é necessária a avaliação do potencial agrônômico, substâncias químicas (Tabela 1), qualidade microbiológica e redução de atratividade de vetores (BRASIL, 2020b).

Tabela 1: Valores máximos permitidos de substâncias químicas no biossólido a ser destinado para uso em solos.

Substâncias Químicas	Valor Máximo permitido no biossólido (mg/kg ⁻¹ ST)	
	CLASSE 1	CLASSE 2
Arsênio	41	75
Bário	1300	1300
Cádmio	39	85
Chumbo	300	840
Cobre	1.500	4.300
Cromo	1.000	3.000
Mercúrio	17	57

(Continua)

Tabela 1: Valores máximos permitidos de substâncias químicas no biossólido a ser destinado para uso em solos.

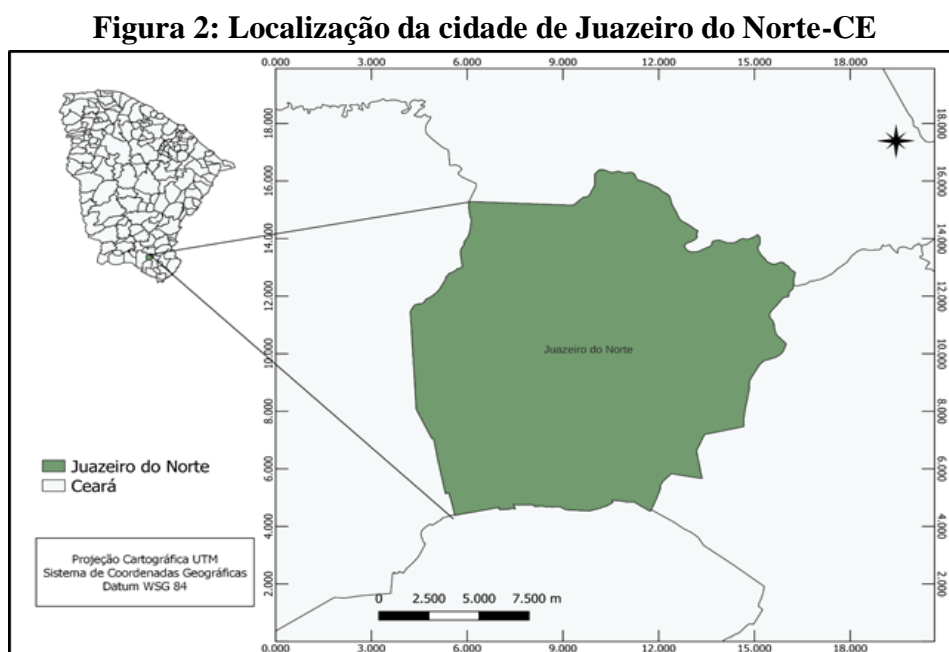
		(Conclusão)
Molibdênio	50	75
Níquel	420	420
Selênio	36	100
Zinco	2.800	7.500

Fonte: Autor, 2023

4 METODOLOGIA

4.1. Área de estudo

A estação de tratamento de esgoto da Vila Três Marias localiza-se na cidade de Juazeiro do Norte – CE (Figura 2) sob Coordenadas geográficas de Latitude (S) 7° 12' 47" e Longitude 39° 18' 55" (IPECE, 2017).

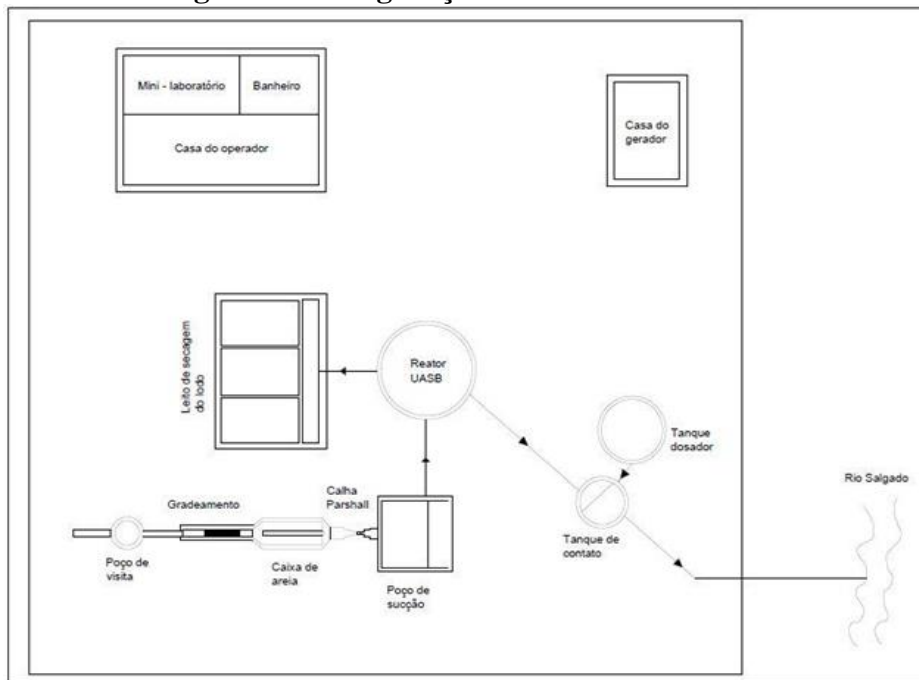


Fonte: Autor, 2023.

4.2. Arranjo da ETE Três Marias

A estação de tratamento de esgoto é composta por um poço de visita, seguido do gradeamento, caixa de areia, calha *Parshall*, poço de sucção, reator UASB, leito de secagem do lodo, tanque de contato e tanque dosador. A Figura 3 elucida a configuração da estação de tratamento.

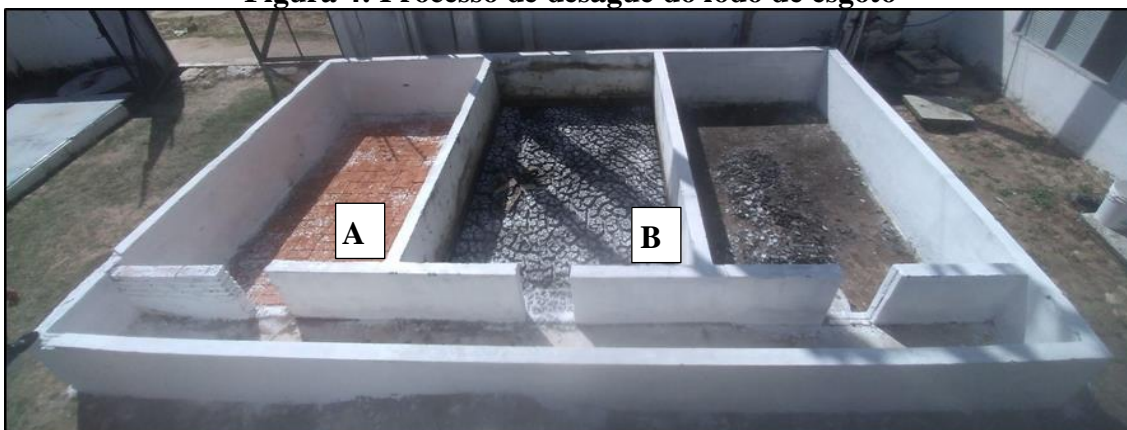
Figura 3: Configuração da ETE Três Marias



Fonte: Autor, 2023.

Quanto ao gerenciamento do lodo na ETE Três Marias, após a realização da descarga do reator *UASB*, o lodo é posto em leitos de secagem com a finalidade de passar pelo processo de desaguamento e higienização. A Figura 4 elucida o *layout* dos leitos de secagem presente na vila Três Marias.

Figura 4: Processo de deságue do lodo de esgoto



Fonte: Autor, 2023. Legenda: **A:** leito de secagem; **B:** Processo de secagem do lodo no leito de secagem.

O leito de secagem segundo Andreoli et al., (2014), consiste em um tanque, usualmente retangular, com paredes laterais de alvenaria e fundo de concreto. Em seu interior, têm-se alguns dispositivos que irão possibilitar a drenagem da água existente

no lodo de esgoto, como por exemplo, a soleira drenante, ao qual irá possibilitar a percolação da água para as camadas inferiores.

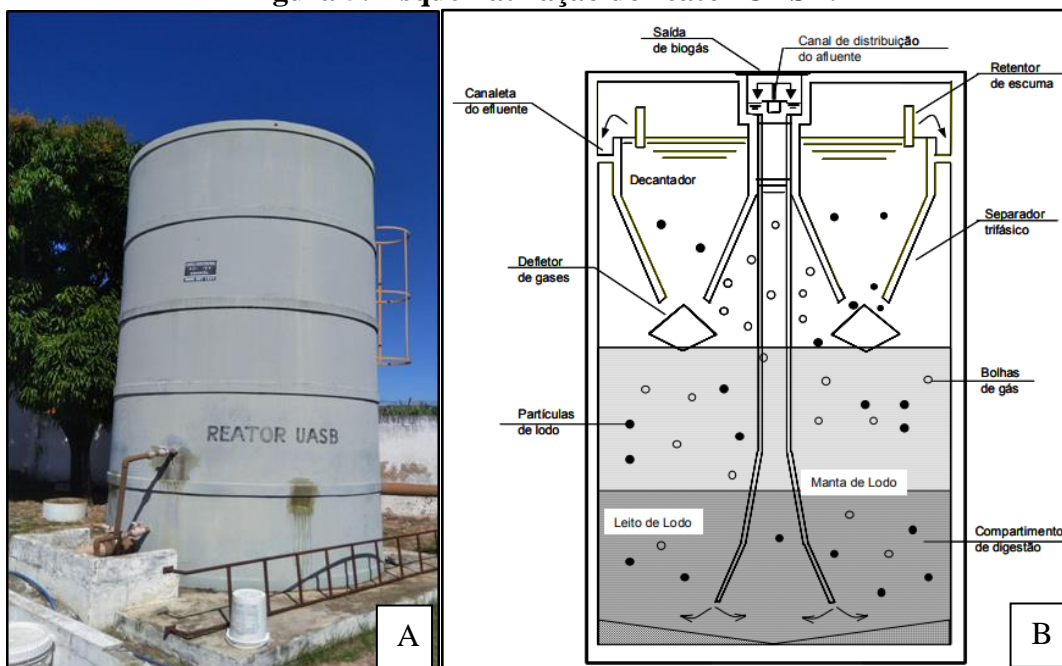
Já a camada suporte é formada por material resistente que possibilite a manuseio do lodo e sua remoção; O sistema de drenagem é composto por tubos perfurado que possui a finalidade de recolher todo o líquido percolado pela soleira drenante (ANDREOLI et al., 2014).

Quanto ao reator anaeróbio UASB, de acordo com Jordão e Pessoa (2009) a alimentação dar-se na medida em que o esgoto já na caixa superior de distribuição, localizada na parte de cima do UASB, descem em tubos verticais de distribuição, com isso, levando o esgoto até o fundo do reator para então liberá-lo para a distribuição ascensional.

O esgoto é distribuído uniformemente no fundo do reator e a estabilização da matéria orgânica ocorre no leito e manta de lodo (VERSIANI, 2005).

A tecnologia UASB dispõe de um sistema de separação das fases líquida/sólida/gasosa na parte superior (Figura 5), o que confere ao sistema elevada capacidade de retenção de sólidos (VERSIANI, 2005; JORDÃO; PESSÔA, 2009).

Figura 5: Esquemática do reator UASB.



Fonte: Autor, 2023. Adaptado de Versiani, 2005. **Legenda:** **A** - Reator UASB presente na ETE três Maria; **B** - Configuração e funcionamento do reator UASB.

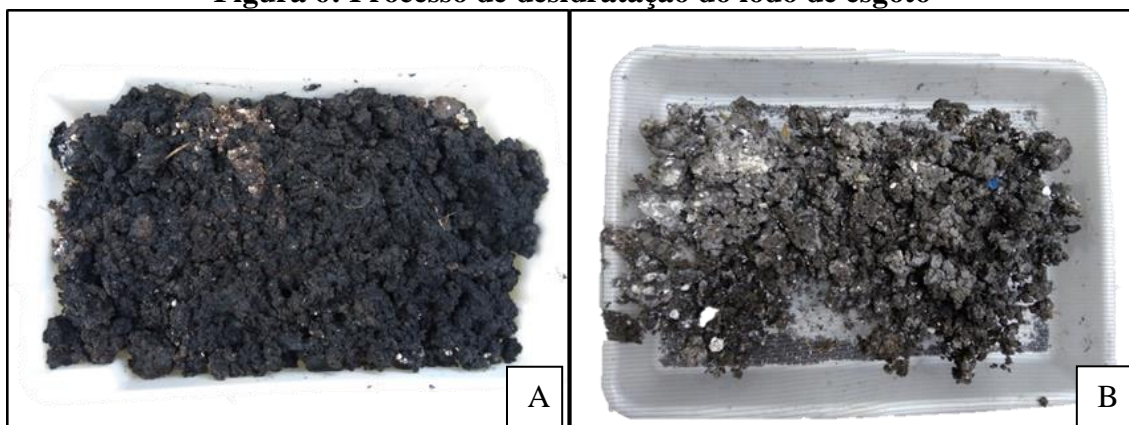
De acordo com o estudo de Frutuoso (2017), a estação de tratamento de esgoto possui certos aspectos técnicos, por exemplo, o volume de 32 m³, área superficial de 7,0 m², altura útil de 4,5 m, altura total de 5 m, circunferência de 9,5 m, raio de 1,5m.

4.3. Amostragem do material e tratamento das amostras

Realizaram-se três campanhas de amostragem de lodo de esgoto, onde foram distribuídas entre maio e agosto de 2022. Todas as coletas foram autorizadas pela Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará. A amostragem ocorreu diretamente do leito de secagem da ETE da vila Três Marias, em seguida foram postas em recipientes de armazenamento, subsequente, foram levadas para a central analítica da Universidade Federal do Cariri (UFCA), Campus Juazeiro do Norte.

Por estarem com altos teores de umidade, as amostras foram expostas ao sol dentro de uma bandeja com base de malha (Figura 6) simulando um fundo falso, permanecendo em exposição durante 4 dias, com a finalidade de secagem e consequentemente elevação da porcentagem dos sólidos secos.

Figura 6: Processo de desidratação do lodo de esgoto



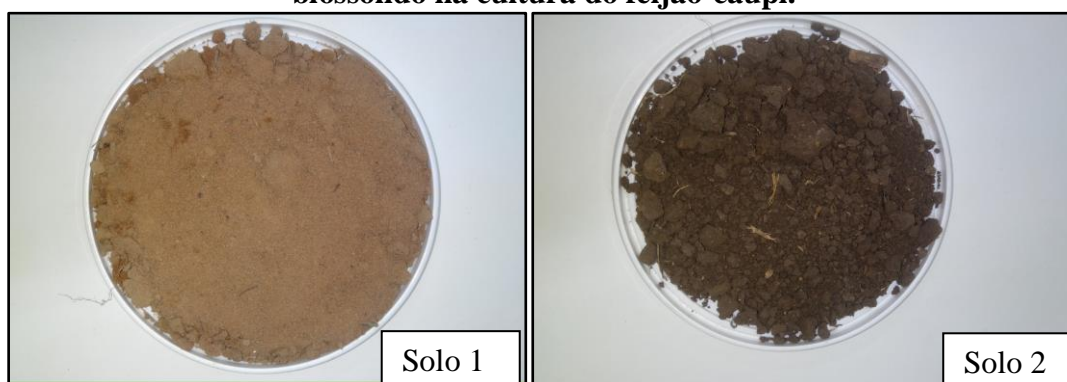
Fonte: Autor, 2023. **Legenda:** **A-** Lodo de esgoto com alto teor de umidade; **B-** Lodo de esgoto desidratado.

Em relação às amostras de solo, objetivou-se usar dois tipos de solos distintos na pesquisa, ou seja, uma porção aleatória de terra pertencente a uma área em que não houve qualquer tipo de exploração, como adubação ou desenvolvimento de culturas (Solo 1), classificado como Argissolo Vermelho Amarelo e de relevo suave ondulado, com textura da camada superficial classificada como franco-arenosa (PINTO et al., 2020).

A outra amostra de solo teve um prévio preparo, como o cultivo de cultura agrícola, uso de insumos agrícola e gradeamento (Solo 2), classificado como Neossolo Flúvico, onde são derivados de sedimentos aluviais. São desenvolvidos de camadas de aluviais mais recentes, no qual, possuem grande potencialidade agrícola com pouca ou não sujeita a erosão (BRASIL, 2021).

O Solo já apresenta uma caracterização prévia quanto aos parâmetros, matéria orgânica, fósforo, cálcio, sódio, potássio, magnésio, pH e carbono. A Figura 7 apresenta as subamostras dos dois tipos de solos.

Figura 7: Subamostras dos solos (S1 e S2) utilizados na avaliação do uso do biossólido na cultura do feijão-caupi.



Fonte: Autor, 2023.

4.4. Caracterização físico-química e microbiológica do lodo de esgoto e físico-química dos solos.

A Tabela 2 elenca os parâmetros analisados nas amostras de lodo de esgoto e no solo.

Tabela 2: Parâmetros físicos-químicos e microbiológicos analisados nas amostras de lodo de esgoto e no solo.
(Continua)

.....Parâmetros Físicos.....			
Variável	Método Analítico	Unidade	Referências
Umidade	Gravimétrico	%	IV 2500
Sólidos Totais	Gravimétrico - Secagem a 103 – 105°C	%	NBR 10664/89
Sólidos Totais Fixos	Gravimétrico – Ignição a 500 – 550°C	%	NBR 10664/89
Sólidos Totais Voláteis	Gravimétrico – Ignição a 500 – 550°C	%	NBR 10664/89
Matéria Orgânica	Via seca em mufla	g kg ⁻¹	Fontana, 2017
Carbono Orgânico	Via úmida	g kg ⁻¹	Fontana; Campos, 2017
.....Parâmetros Químicos.....			
Variável	Método Analítico	Unidade	Referências
pH	Potenciométrico	-	Teixeira; Campos; Saldanha, 2017
Nitrato	Espectrofotométrico	mg N.L-1	Campos et al., 2017
Nitrogênio Total Kjeldahl	Kjeldahl	mg.L-1	Balieiro; Alves, 2017
Fósforo Total	Espectrofotométrico	mgP.L ⁻¹	Berner & Rao,1994

Tabela 2: Parâmetros físicos-químicos e microbiológicos analisados nas amostras de lodo de esgoto e no solo. (Conclusão)

Cálcio	Fotômetro de chama	g kg ⁻¹	-
Sódio	Fotômetro de chama	g kg ⁻¹	-
Magnésio	Espectrofotometria de absorção atômica	g kg ⁻¹	Agilent 55B AA
.....Parâmetros Microbiológicos.....			
Variável	Método Analítico	Unidade	Referências
Coliformes Termotolerantes	EPA 821-R-14-009-680-2014	NMP/g ST	EPA, 2014
<i>Escherichia coli</i>	EPA 821-R-14-009-680-2014	NMP/g ST	EPA, 2014
Salmonella	SMEWW, 23a Edição, 2017, Método 9260 B	-	APHA, 2017
Ovos viáveis de Helmintos	Método de Bailenger	ovo/g de ST	Bailenger

Fonte: Autor,2023.

4.4.1. Potencial agronômico

O potencial agronômico consiste na determinação dos macronutrientes do lodo (Nitrogênio Total Kjeldahl-NTK, Nitrato, fósforo total, sódio, cálcio e matéria orgânica). O NTK foi estabelecido usando a metodologia da Empresa de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA, 2017). O Nitrato foi determinado pelo método volumétrico da EMBRAPA, 2017.

O fósforo total das amostras de solo e do lodo foi determinado de acordo com a metodologia de Berner e Rao (1994), na qual, uma amostra é submetida a queima a uma temperatura de 550°C, por um período de 12 horas. Subsequente à queima da amostra, o material é posto em solução de HCL com concentração de 1,0M para digestão, ficando lixiviado sob agitação por 16 horas. A amostra é submetida a uma alta temperatura, com isso ocorre à oxidação dos carbonatos e da matéria orgânica, liberando o fósforo.

Após o procedimento da extração, o complexo colorido formado é o azul de fosfomolibdato heteropoliácido, a partir da utilização de duas soluções contendo reagentes colorimétricos: a primeira consiste na mistura de 12,5g de molibdato de amônio ((NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O) e 0,5g de tartarato de antimônio e potássio (K(SbO)C₄H₄O₆. nH₂O) em 500ml de uma solução de ácido sulfúrico (H₂SO₄) 3,2M e a segunda contém 10g de ácido ascórbico (C₆H₈O₆) dissolvido em uma solução de ácido sulfúrico 2,25M (PAULA FILHO, 2004).

As alíquotas dos extratos foram diluídas em balões de 100 ml na proporção de 1:5, sendo em seguida adicionados 2ml de cada uma das soluções reagentes. Inicialmente adiciona-se a solução de ácido ascórbico e em seguida a mistura reagente.

A absorvância do complexo azul de fósforo atinge o máximo em poucos minutos e é constante por várias horas. A leitura foi processada entre 20 e 30 minutos, tendo as absorvâncias detectadas no espectrofotômetro a um comprimento de 880nm (KOROLEFF, 1976).

O sódio e o cálcio foram determinados pelo fotômetro de chama, de modelo Q498M2. Para o procedimento de extração, seguiu o método da EMBRAPA, na qual, a solução de KCL 1 mol L⁻¹ é usada para tal finalidade. O magnésio foi analisado pelo equipamento de espectrometria de absorção atômica, de modelo Agilent 55B AA.

A matéria orgânica foi determinada por via seca em mufla por incineração, seguindo a metodologia da EMBRAPA. A fração de carbono orgânico foi analisada de

acordo com o método Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias, por via úmida (EMBRAPA, 2017).

4.4.2. Estabilidade do biossólido

Por se tratar de lodo proveniente de reator tipo UASB, a redução de atratividade de vetores foi definida analisando a fração orgânica estabilizada do biossólido, comprovado através da relação entre sólidos voláteis e sólidos totais (BRASIL, 2020b). A parcela de sólidos fixos também foi analisada. Todas as frações de sólidos foram examinadas de acordo com a metodologia da Norma Brasileira (NBR) 10664/1989 (ABNT, 1989).

4.4.3. Substâncias químicas inorgânicas

Quanto à caracterização das frações de metais-traços no lodo de esgoto e no solo, foram determinadas para os elementos: (Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Níquel, Zinco, Ferro, Manganês, Magnésio). A determinação se deu por espectrometria de absorção atômica de modelo Agilent 55B AA.

O processo de extração para realização da análise deu-se segundo o procedimento preconizado por Bridgewater et al., 2012, método 3030G.

Onde as amostras ficarão sob digestão em cerca de 10 ml de ácido nítrico e 10 ml de ácido sulfúrico até que a solução esteja límpida e o fumos acastanhados tenham desaparecido. Subsequente, arrefecer a amostra e diluir em cerca de 50 ml de água. A concentração final dos metais pesados-traços é calculada a partir das absorbâncias encontradas.

4.4.4. Qualidade microbiológica

Conforme indica a Resolução CONAMA N° 498/20, onde deverá atender ao limite máximo de 10^3 *Escherichia coli* por grama de sólidos totais, assim como, deverá ser proveniente de um dos processos de redução de patógenos descritos na referida Resolução (BRASIL 2020b), fato que não ocorre. Diante disto, excetuando-o de ser classificado como Classe A.

Já para que o lodo de esgoto seja classificado como Classe B, segundo Brasil (2020b), o mesmo deverá atender ao limite máximo de 10^6 *Escherichia coli* por grama de sólidos totais ou ser proveniente de um dos processos de redução de patógenos descrito na referida legislação, por exemplo, ser estabilizado com cal, mediante adição de quantidade suficiente para que o pH seja elevado até pelo menos 12, por um período mínimo de duas horas (BRASIL b, 2020). A análise microbiológica foi realizada pela empresa Qualitec, tendo relatório de ensaio das amostras de Nº 1017852022.

4.4.5 Morfológica e mapeamento geoquímico – MEV/EDS

A análise será complementada com a Espectroscopia de energia dispersiva de raios-x (EDS) em conjunto com o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), e imagens por de Elétrons Retro Espalhados (BSE).

4.5. Uso potencial do lodo de esgoto como fertilizante

Para avaliação do uso do lodo como biossólido foi realizado um experimento considerando o delineamento de blocos casualizados. A cultura escolhida foi o *Vigna unguiculata* (L.) (Walp.), popularmente conhecido como feijão-caupi por ser uma cultura de ciclo rápido e bastante difundida na região Nordeste do Brasil.

A espécie é uma cultura de origem africana, a qual foi introduzida no Brasil na segunda metade do século XVI pelos colonizadores portugueses na Bahia, e foi a partir deste Estado que o feijão-caupi foi disseminado por todo o País (FREIRE FILHO et al., 2011).

O composto formado pelo lodo de esgoto e pelas amostras de solo, cerca de 3kg, foram postas em vasos com capacidade para 3.000 ml e colocados na casa de vegetação localizada no Centro de Ciências Agrárias e da Biodiversidade (CCAB) da UFCA.

O uso da casa de vegetação permitiu proporcionar condições de solaridade, irrigação e temperatura semelhantes para todos os vasos, onde foram monitorados diariamente.

O experimento foi composto por duas fases, na Fase 1, foram usadas 4 tratamentos (T1, T2, T3, T4 3 T5) com proporções mais elevadas de lodo de esgoto juntamente ao Solo 1 (0%, 10%, 20%, 30% e 50% com base em volume). O tratamento

1 (0%) refere-se ao controle ou testemunha da pesquisa, ou seja, não há o incremento do lodo de esgoto junto ao solo.

A finalidade desta fase inicial foi verificar visualmente o desenvolvimento das plantas de feijão-caupi em função das doses de lodo de esgoto, e a partir destes dados iniciar a Fase 2 com doses próximas às que apresentaram melhor resultado.

O experimento foi desenvolvido em delineamento casualizado, com 5 tratamentos e 4 repetições, totalizando 20 parcelas. Os tratamentos estão preconizados na Tabela 3.

Tabela 3: Tratamentos usados no teste com a cultura agrícola na Fase 1

Tratamentos	Proporção do solo 1	Proporção do lodo biológico
%.....	
T*1	100	0
T2	90	10
T3	80	20
T4	70	30
T5	50	50

Fonte: Autor, 2023. **Legenda:** T- Tratamento

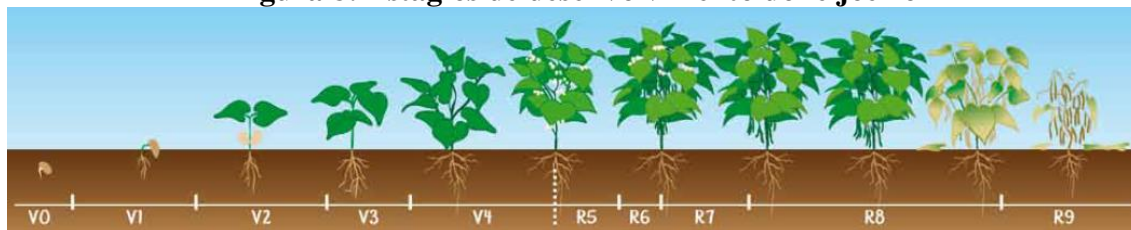
Quanto a Fase 2, o delineamento experimental utilizado foi casualizado, em esquema fatorial 2 x 5, com quatro repetições, totalizando 40 parcelas experimentais. O primeiro fator foi o tipo de solo (Solo 1 e Solo 2) e o segundo fator foram as doses de lodo de esgoto (0, 2, 4, 6 e 10%, com base em volume). O tratamento 1 (0%) refere-se a testemunha do experimento.

Subsequente, os substratos foram homogeneizados e colocados em seus respectivos vasos (Fase 1 e Fase 2).

Em relação à semeadura para ambas as fases, foram semeadas 3 sementes em cada vaso, sendo realizado o desbaste após a emergência, deixando a plântula de maior vigor.

As plantas foram avaliadas desde o estágio fenológico V1, que corresponde ao cotilédono aparecendo na superfície, até a fase V4, que corresponde a terceira folha trifoliolada totalmente desenvolvida. As fases podem ser visualizadas na Figura 8.

Figura 8: Estágios de desenvolvimento do feijoeiro



Fonte: Oliveira et al., 2018.

As variáveis analisadas foram os dias após a semeadura (DAS) necessários para a planta completar o estágio V1, V3 e V4, bem como a altura da planta e diâmetro do caule ao atingir estas respectivas fases de desenvolvimento.

A altura das plantas foi realizada com uma régua graduada e o diâmetro do caule com paquímetro.

Ao final do experimento, aos 35 DAS, as plantas foram levadas para laboratório para determinação do comprimento das raízes com régua graduada e a massa das plantas inteiras (Parte aérea e raízes) em balança de precisão semianalítica.

Os dados foram tabulados e submetidos ao teste de normalidade e posteriormente a análise de variância pelo teste F. Foi usada estatística de probabilidade por meio de análise de variância, teste de médias e análise de regressão.

O fator tipo de solo foi submetido ao teste de médias de Tukey a 5% de probabilidade e o fator doses de esgoto à análise de regressão para seleção do modelo com maior expoente significativo. O programa estatístico utilizado foi o Sisvar.

5 RESULTADOS

5.1. Lodo de esgoto

5.1.1. Caracterização agronômica

Os valores encontrados referentes à caracterização das amostras de lodo de esgoto quanto ao potencial agronômico, após secagem natural (exposto ao sol), estão preconizados na Tabela 4.

Tabela 4: Valores encontrados para as amostras de lodo de esgoto da ETE Três Marias.

Parâmetros		Valor médio encontrado (g/kg)	Desvio padrão
Nitrogênio (NTK)	Total Kjeldahl	25,8	3,1
Nitrato		10,6	1,3
Fósforo total		0,40	23,7
Cálcio		1,5	0,1
Sódio		1,3	0,14
Magnésio		6,17	*
Matéria Orgânica		504,9	37,9
Carbono Orgânico		333	133,4

Fonte: Autor, 2023.

Verifica-se que as amostras de lodo de esgoto apresentaram valor de 25,8 g/kg de NTK (Desvio padrão de 3,1). Elemento essencial no desenvolvimento das plantas, onde esse nutriente encontra-se principalmente na forma de material proteico no lodo de esgoto (RAHEEM et al., 2018).

Em relação ao elemento nitrato, o valor encontrado foi de 10,6 g/kg e desvio padrão de 1,3. Quanto ao elemento fósforo total, foi encontrado valor de 0,40 g/kg (desvio padrão de 23,7) para o lodo de esgoto estudado

O lodo da ETE Três Marias apresentou valor para o cálcio de 1,5 g/kg com desvio padrão de 0,1, para o sódio foi de 1,3 g/kg (desvio padrão de 0,14) e para o

magnésio o valor foi de 6,17 g/kg. Valores importantes quando se trata de incorporação junto ao solo. Contudo, o processo de calagem ao lodo de esgoto pode contribuir para o aumento da presença desses elementos, especialmente o cálcio e magnésio (ROCHA, 2009; TERAN et al., 2022).

Quanto à presença de matéria orgânica ao lodo de esgoto, obteve-se valor de 504,9 g/kg com desvio padrão de 37,9.

Em relação ao teor de carbono orgânico, obteve-se valor de 333g/kg, apresentando desvio padrão de 133,4.

5.1.2. caracterização físico-química e estabilidade do bio sólido

Realizou-se a caracterização físico-química nas amostras de lodo de esgoto, com a finalidade de obter seus teores e conhecimento de sua composição. Os valores podem ser observados na Tabela 5.

Tabela 5: Resultados dos parâmetros físico-químicos e estabilidade do bio sólido encontrados para as amostras de lodo de esgoto da ETE Três Marias

Parâmetros	Unidade	Valor médio encontrado	Desvio padrão
pH	-	7,01	0,13
Sólidos totais		92,7	1,0
Sólidos fixos	%	54,7	2,66
Sólidos voláteis		37,7	2,13
S.V./S.T.	-	0,4	-
Umidade	%	60,9	1,9

Fonte: Autor, 2023. **Legenda:** S.V.: Sólidos Voláteis; S.T.: Sólidos Totais

De acordo com o resultado elencado na Tabela 5, o valor médio do pH encontrado das amostras de lodo de esgoto foi de 7,01 (desvio padrão de 0,13) estando praticamente na neutralidade (pH=7,0).

Quanto à relação de Sólidos Voláteis/ Sólidos Totais (S.V./S.T), o valor encontrado foi de 0,4 (Tabela 5) evidencia uma boa estabilização da matéria orgânica do lodo de esgoto da ETE Três Marias, uma vez que a Resolução CONAMA especifica um valor inferior 0,65 (BRASIL, 2020b).

A umidade do lodo se encontrava com teor de aproximadamente 61 %, sendo que esse valor corresponde ao estado em que se encontrava assim que chegava da estação de tratamento de esgoto.

5.1.2.1. Caracterização química (metais-traços)

Foram analisadas no lodo de esgoto da ETE Três Marias 6 metais-traço previstas na Resolução CONAMA N° 498/20 (BRASIL, 2020b), ao qual, serão classificados em Classe 1 ou Classe 2, de acordo com os valores máximos permitidos de substâncias químicas.

O sistema de tratamento implantado na vila Três Marias é destinado a tratar exclusivamente efluente doméstico. Os resultados obtidos estão dispostos na Tabela 6.

Tabela 6: Resultados dos metais pesados-traços analisados no lodo de esgoto da ETE Três Marias

Elemento químico	Valor encontrado mg/kg	Valor máximo permitido no biossólido. CONAMA N° 498 (mg/kg ⁻¹ ST)	
		Classe 1	Classe 2
Cobre	24,75	1.500	4.300
Zinco	382,5	2.800	7.500
Níquel	32,85	420	420
Manganês	75,6	-	-
Chumbo	0,45	300	840
Cromo	46,35	1.000	3.000
Cádmio	1,8	39	85
Ferro	18.810	-	-

Fonte: Autor, 2023.

Os dados da Tabela 6 representam valores elevados para os elementos zinco de 382, 5mg/kg, entretanto, ainda permanecendo abaixo do preconizado pela legislação. Para o ferro, o valor encontrado foi de 18.810 mg/kg.

Todos os elementos analisados que possuem referência na Resolução CONAMA 498/20, permaneceram abaixo do estabelecido pela legislação pertinente, diante disto, sendo classificados como de Classe 1.

5.1.3. caracterização microbiológica

Com relação ao resultado para os parâmetros microbiológicos analisados do lodo de esgoto da ETE Três Marias, é possível indicar o nível de condição em termos de patógenos desse material biológico, assim como, classificá-lo de acordo com o sua qualidade microbiológica. Os valores podem ser visualizados na Tabela 7.

Tabela 7: Resultado dos parâmetros microbiológicos para as amostras de lodo de esgoto da ETE Três Marias

Parâmetros	Unidade	Valor encontrado	CONAMA N°498	
			Classe A	Classe B
Coliformes termotolerantes	NMP/g ST	3,70	-	-
<i>Escherichia coli</i>	NMP/g ST	3,7	10 ³	10 ⁶
Ovos de Geohelminthos	ovo/g de ST	Ausente	-	-
<i>Salmonella</i>	-	Ausente A/P	-	-

Fonte: Autor, 2023. **Legenda:** NMP - Número Mais Provável; ST - Sólidos Totais.

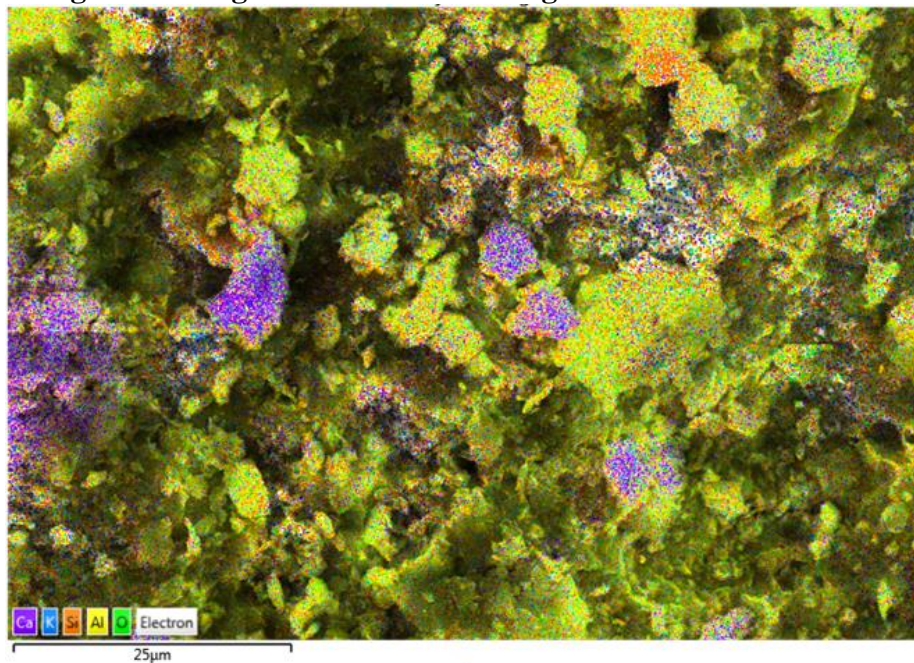
O lodo de esgoto gerado na ETE Três Marias obteve resultado para o parâmetro microbiológico *Escherichia coli* de 3,7 NMP/g ST, bem abaixo do preconizado pela legislação. Contudo, o processo de estabilização do lodo é realizado através da adição de cal, diante disso, enquadrando-o na categoria de Classe B.

O lodo enquadrado na categoria de Classe B, não pode ser usado no cultivo de produtos alimentícios que possam ser consumidos crus, são permitidos apenas, com as devidas restrições, no cultivo de produtos alimentícios que não sejam consumidos crus, produtos alimentícios, pastagens, forrageiras e árvores frutíferas. Não possui restrição para aplicação em florestas plantadas, recuperação de solos e de áreas degradadas (BRASIL, 2020b).

5.1.4. Caracterização da morfologia e mapeamento geoquímico

As Figuras 9, 10 (Imagem EDS) e 11 (EDS) evidenciam a presença do elemento químico alumínio no lodo de esgoto coletado na ETE Três Marias, através de análise de MEV/EDS.

Figura 9: Imagem EDS do lodo de esgoto da ETE Três Marias

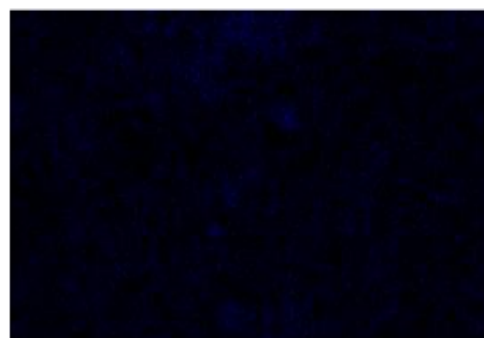
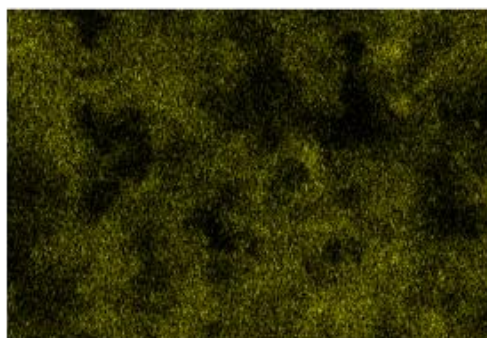


Fonte: Autor, 2023.

Figura 10: Imagem EDS dos elementos Alumínio e Ferro

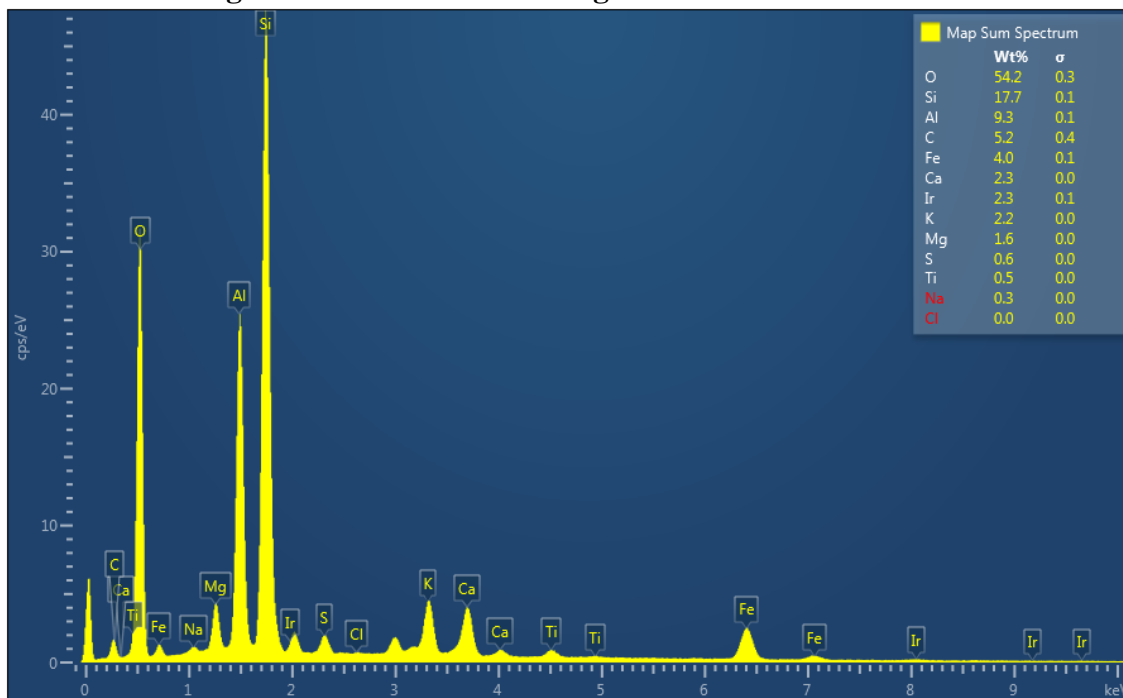
Al K α 1

Fe K α 1



Fonte: Autor, 2023.

Figura 11: EDS do lodo de esgoto da ETE Três Marias



Fonte: Autor, 2023.

O resultado da análise de EDS identificou-se a presença do metal alumínio na composição do lodo de esgoto, como visualizado na Figura 9. Corroborando com essa informação, o EDS da amostra revelou a presença considerável do alumínio, cerca de 9,3 %.

Baseado no resultado da análise de EDS (Figura 11) observa-se que o material apresentou Oxigênio com 54,9%, Sílica com 17,7% e carbono com 5,2%. Para o Ferro, o resultado encontrado foi cerca de 4,0 % presente na amostra do lodo de esgoto advindo da ETE Três Marias.

5.2. Caracterização do Solo1 e do Solo 2

5.2.1. Caracterização físico-química

Foram realizadas análises físico-químicas para os dois tipos de solos usados na pesquisa, onde os resultados dos dois solos estão dispostos na Tabela 8.

Tabela 8: Resultado dos parâmetros físico-químicos do Solo 1 e do Solo 2

Parâmetros	Unidade	Resultado	Desvio	Resultado	Desvio
		Solo 1	padrão	Solo 2	padrão
Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK)		ND	0	NR	-
Nitrato		ND	0	NR	-
Fósforo total		ND	0	0,035	-
Cálcio	g/kg	0,8	*	2,2	-
Sódio		1,1	*	0,14	-
Magnésio		6,17	*	NR	-
Matéria Orgânica		0,8	*	16,3	-
Carbono Orgânico		9,5	*	14,34	-
pH	-	4,68	*	6,2	-
Umidade	%	1,6	*	NR	-

Fonte: Autor, 2023. Legenda. **ND** – Não Detectado; **NR** – Não Realizado; - Não realizado; *: realizou-se apenas uma coleta de amostra.

5.2.1.1. Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), Nitrato e Fósforo total

Os elementos NTK e o Nitrato se mostraram com valores muito discretos para o Solo 1, de maneira que não foram detectados na análise realizada.

Para o componente fósforo total, não foi detectado a presença no Solo 1, mostrando-se um solo com déficit para tal nutriente.

De acordo com Pinto et al. (2020), de maneira geral os solos formados em regiões de clima tropical altamente intemperizados, como os do Brasil, são em sua grande maioria deficientes em P disponível.

Quanto ao Solo 2, a concentração de fósforo foi cerca de 0,035 g/kg, porém, demonstra possuir mineralização de produtos orgânicos e atividade dos microrganismos.

5.2.1.2. Cálcio, Sódio e Magnésio

O valor encontrado para o parâmetro cálcio do Solo 1 foi de 0,8 g/, resultado abaixo em relação ao do Solo 2, que foi de 2,2 g/kg, sendo um elemento essencial para as plantas.

O resultado abordado na Tabela 8 para o parâmetro sódio evidencia que o Solo 1 obteve valor de 1,1 g/kg e o Solo 2 valor de 0,14 g/kg. O sódio em excesso prejudica as plantas e os microrganismos, causando toxicidade, como também, acarreta a uma desestabilização do solo (JESUS; BORGES, 2020).

Segundo os resultados obtidos para o magnésio (Tabela 8), o Solo 1 apresentou valor de 6,17 g/kg. Quanto ao Solo 2, não foi realizada análise para o parâmetro.

O Mg é um ativador enzimático em diversos processos do ciclo de vida das plantas, sendo importante na fotossíntese, respiração, absorção iônica, aprofundamento e na expansão das raízes (MALAVOLTA et al., 1997; LANGE et al., 2021).

5.2.1.3. Matéria orgânica e Carbono orgânico

O Solo 1 apresentou valor de 0,8 g/k para matéria orgânica. O resultado demonstra que o Solo 2 apresentou valor para matéria orgânica de 16,3 g/kg.

Em relação ao resultado para o carbono orgânico do Solo 1, o valor encontrado foi de 14,34 g/kg, já para o Solo 2 o valor foi de 9,5 g/kg. Serve de um indicador de como estar se dando os sistemas de manejo, ou seja, os impactos de uso daquele determinado solo

5.2.1.4. pH e Umidade

O pH do Solo 1 ficou de 4,62 (Tabela 8), indicando um solo com características ácidas. Entretanto, o Solo 2 apresentou um pH mais próximo da neutralidade (pH = 7) com valor de 6,2.

O pH é um dos principais fatores atuantes na microbiota do solo, principalmente sobre os microrganismos nitrificadores, mais sensíveis e exigentes, cujo valor ideal se encontra próximo à faixa de neutralidade; as taxas de mineralização em solos ácidos são baixas, aumentando com a elevação do pH (SERRANO, 1997; BARROS et al., 2005).

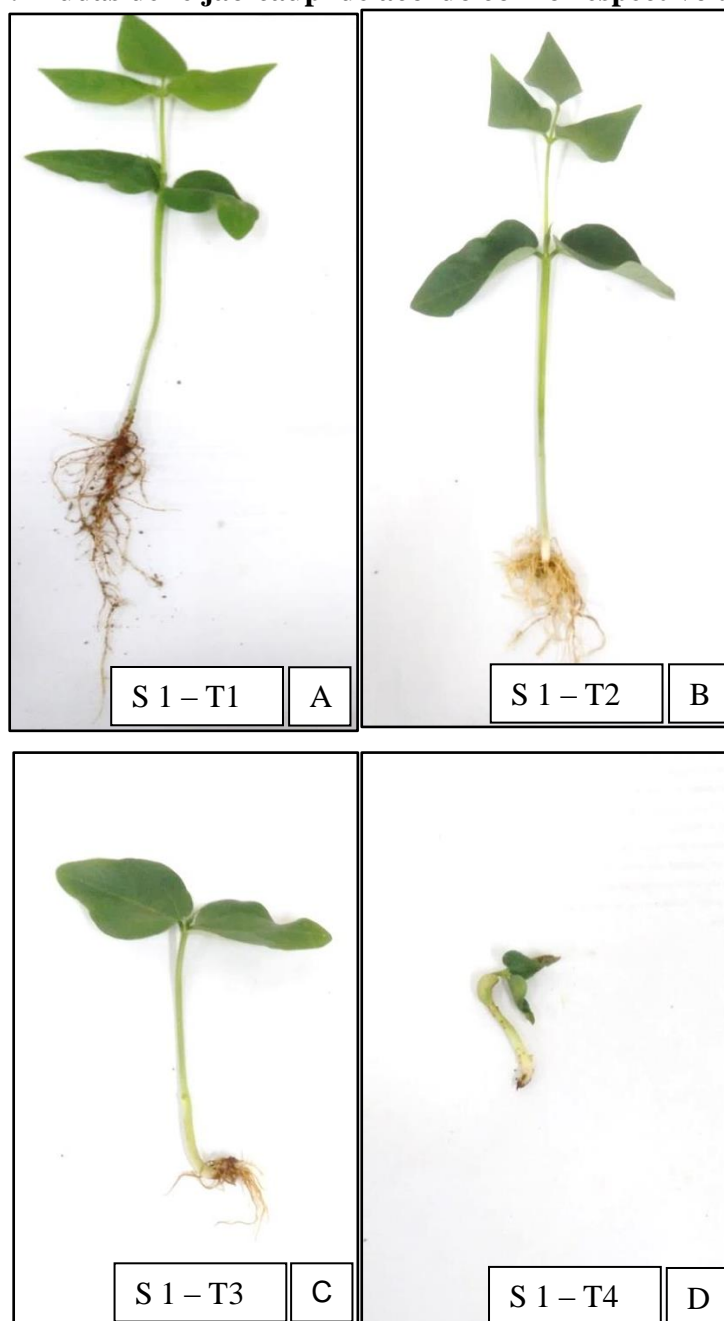
5.3. Uso do lodo de esgoto e do solo como adubo na cultura agrícola: Fase 1

O experimento realizado totalizou 14 dias na Fase 1. A partir da DIC realizada, foi observado que apenas o T1 (0% lodo) apresentou progresso no crescimento da espécie vegetal na Fase 1 do experimento. Nos demais tratamentos o desenvolvimento

foi fortemente afetado pelas propriedades do substrato com as doses de lodo (10%, 20%, 30% e 50%).

Assim, a Fase 1 do experimento foi finalizada quando o tratamento testemunha (T1) continuava progredindo e os demais com insuficiente (T2) ou nenhum (T5) desenvolvimento. A Figura 12 elucida as características das plantas de acordo com o tratamento específico.

Figura 12: Mudas de feijão-caupi de acordo com o respectivo tratamento



Fonte: Autor, 2023. **Legenda:** S1 – Solo 1; T – Tratamento.

O tratamento 1 (T1) corresponde a testemunha do experimento, ou seja, não houve adição de lodo de esgoto junto ao solo, apresentou uma melhor qualidade de planta de feijão-caupi (Figura 12 A), com raiz mais alongada, caule e folhas de tamanho maiores. Nota-se também, que houve o desenvolvimento da primeira folha trifoliada na planta.

Quanto ao tratamento 2 (T2) com 10% de lodo de esgoto, a planta apresentou desenvolvimento considerável de suas estruturas, elucidado pela Figura 12 B, no entanto, o caule se mostrou menor em relação ao da testemunha (T1), assim como a raiz. Ocorreu também o desenvolvimento da primeira folha trifoliada na planta.

O tratamento 3 (T3) contendo 20% de lodo de esgoto, mostrou-se um grau de toxicidade para a muda do feijão-caupi, ao passo que a planta não apresentou um bom desempenho quanto ao seu progresso, ou seja, expressou um menor porte, com folhas não tão desenvolvidas, caule pequeno e raízes atrofiadas. Tais aspectos podem ser visualizados na Figura 12 C.

Em relação ao tratamento 4 (T4) dispendo de 30 % de lodo de esgoto, revelou-se ser potencialmente tóxico para a planta de feijão-caupi, ao passo que ocorreu um atrofiamento do caule, com folhas enrugadas e raízes muito pequenas.

Não se deu a germinação para todas as réplicas, uma apenas, num total de 4. As características da planta podem ser observadas na Figura 12 D.

Não ocorreu germinação para o tratamento 5 (T5) com 50% de lodo de esgoto junto ao solo. A Tabela 9 traz as medidas de cada planta de acordo com seu respectivo tratamento.

Tabela 9: Medidas das plantas na Fase 1 do experimento

(Continua)

Tratamentos	Proporção do solo 1	Proporção do lodo biológico	Altura*	Diâmetro*	Raiz *
%.....		cm	mm	cm
T1	100	0	14,49	3,39	14
T2	90	10	8,42	2,41	3,1
T3	80	20	2,32	2,05	2

Tabela 9: Medidas das plantas na Fase 1 do experimento

					(Conclusão)
T4	70	30	2,43	2,6	0,2
T5	50	50	0	0	0

Fonte: Autor, 2023. Legenda: T – Tratamento; * - Valor médio encontrado.

Os dados da Tabela 8 demonstram diferenças significativas das plantas, quanto a sua estrutura, ou seja, o seu caule, tanto na altura quanto no diâmetro.

Visto que, no aumento da proporção do lodo de esgoto utilizado, há um decaimento nas medidas estruturais do feijão-caupi (Tabela 9), até a não germinação no tratamento 5, ao qual usou-se 50% de lodo de esgoto da ETE Três Marias.

Os resultados encontrados na Fase 1 da pesquisa, usando o lodo de esgoto e o Solo 1 como adubo no cultivo do feijão-caupi, mostraram que o lodo apresentou toxicidade, por metal-traços aja visto as características, diante do aumento da porcentagem do lodo, apresentando-se ser extremamente tóxico no tratamento em que a proporção de lodo de esgoto foi 50%.

5.4. Lodo de esgoto e o solo como adubo na cultura agrícola: Fase 2

5.4.1. desenvolvimento das plantas

Os dados apresentados na Tabela 10 evidenciaram que houve interação significativa para as variáveis V1 e V4 com base nos tipos de solos para a variável dias, com isso, será discutido o desdobramento destas interações.

Para a variável V3, observa-se que não ocorreu interação significativa, porém para o fator tipo de solo ocorre diferença a 5% de probabilidade, onde o solo 2 alcançou o estágio V3 aos 11,6 dias após a semeadura (DAS), enquanto o solo 1 aos 12,4 DAS.

Tabela 10: Síntese da análise de variância para as variáveis dias após a semeadura para atingir o estágio V1, V3 e V4.

Fontes de Variação	G.L.	Quadrados Médios		
		V1	V3	V4
Solo (S)	1	0,625**	7,225*	75,62**

(Continua)

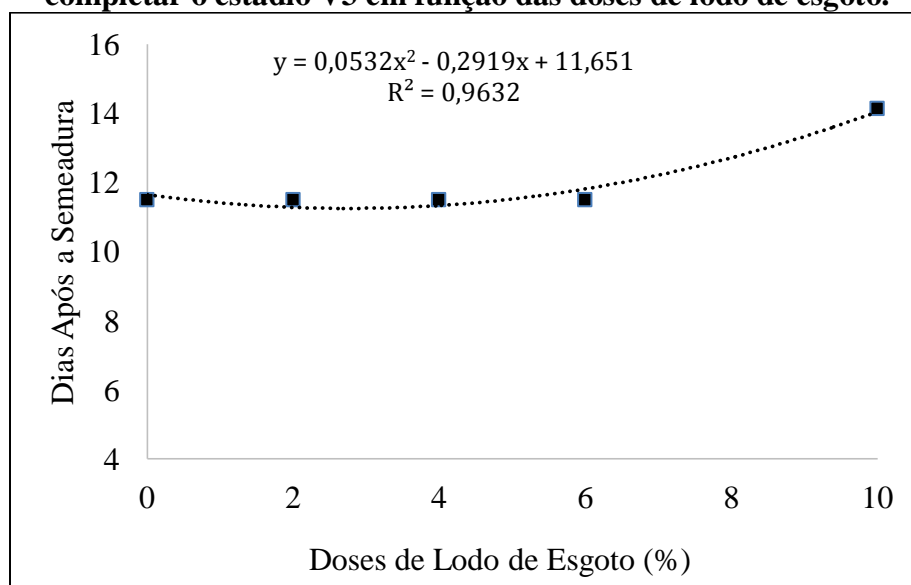
Tabela 10: Síntese da análise de variância para as variáveis dias após a semeadura para atingir o estágio V1, V3 e V4.

				(Conclusão)
Dose (D)	4	11,025**	11,025**	18,08**
S x D	4	0,625**	1,725 ^{NS}	7,062*
Resíduo	30	0,75	1,358	2,125
Total	39	-	-	-
CV(%)	-	6,26	9,69	5,11
Média Geral	-	2,52 dias	12,02 dias	28,52 dias
Teste de Médias de Tukey (p<0,05)				
Tratamento	----- Dias Após a Semeadura -----			
	V1	V3	V4	
Solo 1	2,65	12,4 b	29,9	
Solo 2	2,40	11,6 a	27,1	

Fonte: Autor, 2023. **Legenda:** **: significativo (P<0,01); *: significativo (P<0,05); NS: Não Significativo; CV%: Coeficiente de Variação; GL: Grau de liberdade.

Quanto às doses aplicadas de lodo de esgoto da ETE Três Marias, nota-se que ocorreu influência significativa com (P<0,01) para a variável V3, com a análise de regressão sendo apresentada na Figura 13.

Figura 13: Análise de regressão para a variável dias após a semeadura ao completar o estágio V3 em função das doses de lodo de esgoto.



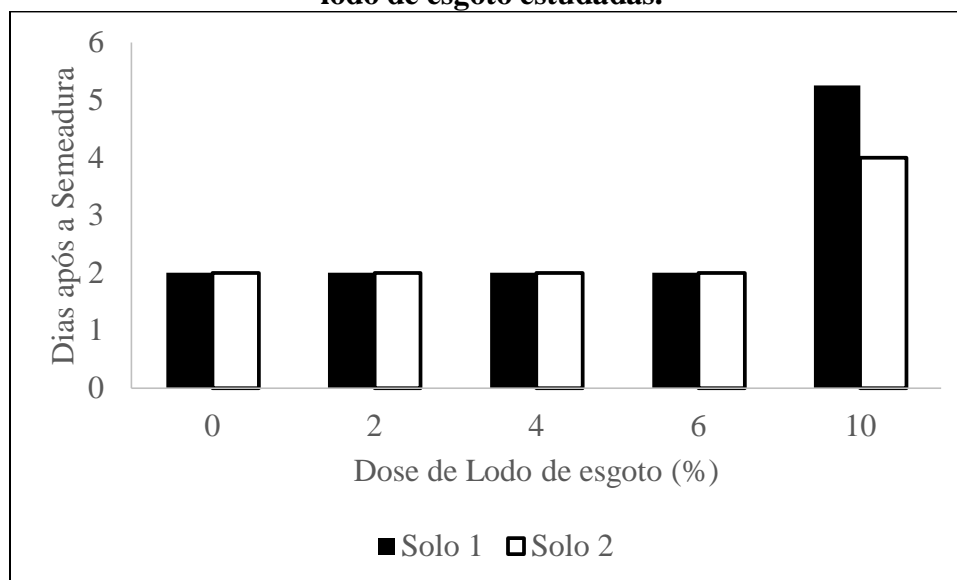
Fonte: Autor, 2023.

Os resultados mostraram que o aumento da dosagem do lodo de esgoto teve comportamento quadrático, elevando o número de dias necessários para que a planta atinja o estágio V3. De acordo com a informação elencada na Figura 13, a dosagem do lodo de esgoto a 10% retardou em dois dias a evolução da muda do feijão-caupi para a fase V3. Na germinação de sementes, a exposição ao alumínio reduz o potencial fisiológico e germinativo das sementes (SILVERIO et al., 2021).

As Figuras 14 e 15 evidenciam o desdobramento da interação significativa para a variável V1.

Na Figura 14, nota-se o comportamento dos solos estudados para cada dose de lodo de esgoto utilizada. Observa-se que não ocorreu diferença significativa até a dose de 6%, sendo necessários apenas 2 dias para ocorrer a emergência das plantas, porém para a dose de 10%, ocorreu diferença significativa, com o solo 1 demorando mais para atingir a fase V1.

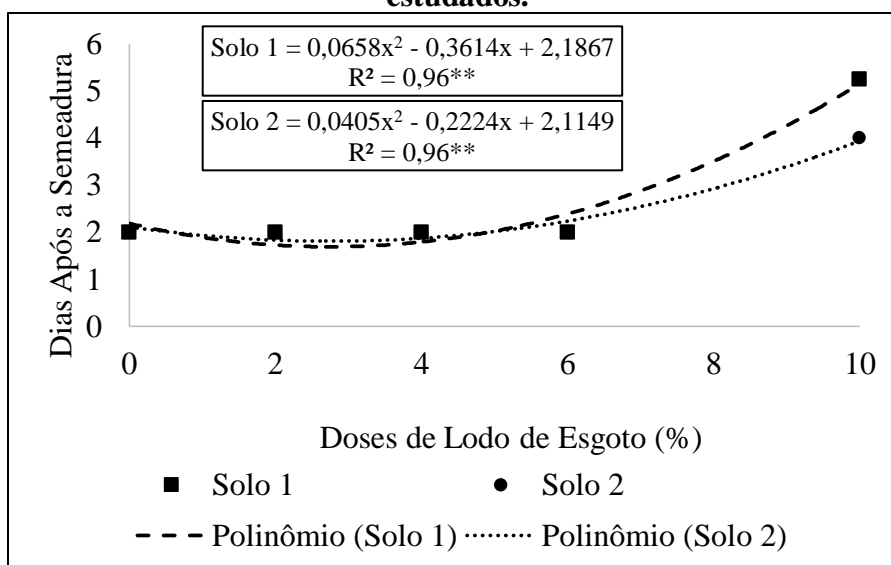
Figura 14: Desdobramento da interação entre os fatores para a variável dias após a semeadura ao completar o estágio V1 em função dos solos para as cinco doses de lodo de esgoto estudadas.



Fonte: Autor, 2023.

Na Figura 15, observa-se a análise de regressão para verificar como cada solo se comportou com o acréscimo das doses de lodo de esgoto, onde nota-se comportamento quadrático significativo para ambos os solos estudados, com maior número de dias necessários para atingir a fase V1.

Figura 15: Análise de regressão para a variável dias após a semeadura ao completar o estágio V1 em função das doses de lodo de esgoto para os dois solos estudados.

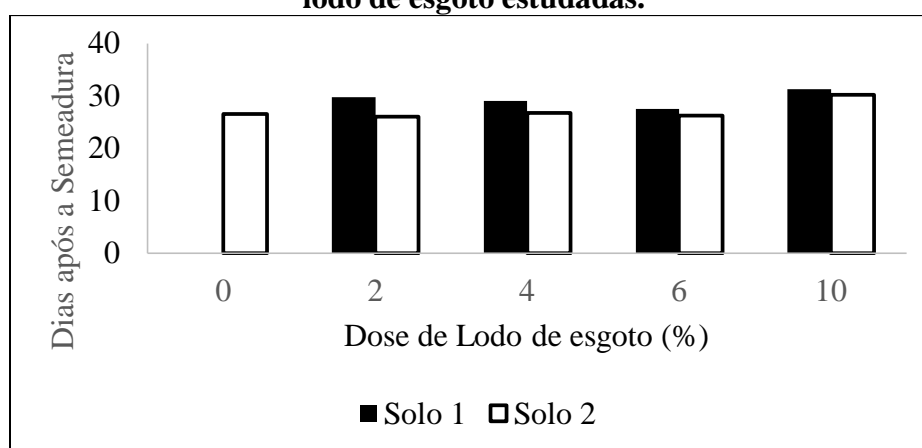


Fonte: Autor, 2023.

As mudas do feijão-caupi desenvolveram de forma semelhante na fase V1 até o tratamento 4 (T4), com dosagem a 6% de lodo de esgoto. No entanto, para tratamento 5 (T5) as plantas do feijão mostraram-se comportamentos diferentes, ou seja, as cultivadas com dosagem de lodo esgoto a 10% demonstraram um retardo quanto a fase V1, cerca de 4 e 5 dias após a germinação.

As Figuras 16 e 17 evidenciam o desdobramento da interação significativa para a variável V1.

Figura 16: Desdobramento da interação entre os fatores para a variável dias após a semeadura ao completar o estágio V4 em função dos solos para as cinco doses de lodo de esgoto estudadas.



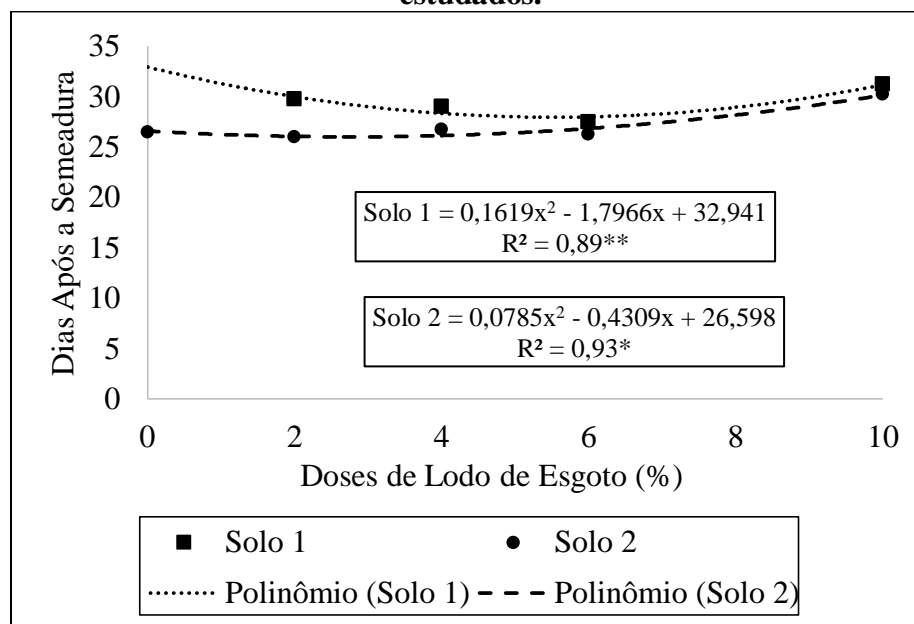
Fonte: Autor, 2023.

É observado o comportamento dos solos estudados para cada dose de lodo de esgoto utilizada em relação aos dias após a semeadura até atingir o estágio V4. O Solo 2 mostrou comportamento mais homogêneo em relação as dosagens de lodo de esgoto até a dose de 6%.

Para o Solo 1, a dosagem de 6% de lodo de esgoto mostrou melhor desempenho em relação ao número de dias para concluir a fase V4, demandando menos dias em relação as doses 2, 4 e 10%. Esta última dose, demorou mais para atingir a fase em ambos os solos.

Na Figura 17, observa-se a análise de regressão para verificar como cada solo se comportou em função das doses de lodo de esgoto, onde nota-se comportamento quadrático significativo ($P < 0,01$) para o Solo 1 e quadrático significativo ($P < 0,05$) para o Solo 2, com maior número de dias necessários para atingir a fase V4 em função das doses de lodo de esgoto.

Figura 17: Análise de regressão para a variável dias após a semeadura ao completar o estágio V4 em função das doses de lodo de esgoto para os dois solos estudados.



Fonte: Autor, 2023.

Para o tratamento 1 (T1) do Solo 1, não ocorreu o desenvolvimento da fase V4 como mostra a análise de regressão. Os tratamentos 2 e 4 se comportaram de formas distintas para os dois solos para completar a fase V4, tendo as mudas do Solo 1 levando mais dias, em torno de 4 a 5 dias, para alcançar a fase.

Para as doses de 6% e 10% de lodo de esgoto, a regressão mostra que houve uma semelhança na fase V4 em ambos os solos, no entanto, esta última carecendo de mais dias para alcançar a fase V4.

5.4.2 Análise das variáveis altura e diâmetro do caule das plantas

Os dados demonstrados na Tabela 11 evidenciaram que houve interação significativa para as variáveis V3 e V4, diante disto, será discutido o desdobramento destas interações.

Para a variável V3, observa-se que não ocorreu interação significativa, porém para o fator diâmetro do caule ocorre diferença a 5% de probabilidade, onde o solo 2 alcançou no estágio V3 altura de 16,24cm e diâmetro do caule com 2,89mm, no estágio V4 obteve altura de 33,64 e diâmetro do caule com valor de 4,20mm. Enquanto o solo 1 mostrou valores para altura de 11,84cm e diâmetro do caule de 2,39mm na fase V3,

contudo para a fase V4, apresentou valor de altura de 21,71 e diâmetro do caule de 3,62mm.

Tabela 11: Síntese da análise de variância para as variáveis altura da planta na fase V3 (AltV3), diâmetro do caule da planta na fase V3 (DiamV3), altura da planta na fase V4 (AltV4), diâmetro do caule da planta na fase V4 (DiamV4).

Fontes de Variação	Quadrados Médios				
	G.L.	AltV3	DiamV3	AltV4	DiamV4
Solo (S)	1	193,9**	2,470**	2648**	17,05**
Dose (D)	4	44,29**	0,278**	250,1**	5,94**
S x D	4	4,511 ^{NS}	0,214**	209,8**	4,79**
Resíduo	30	2,130	0,041	8,980	0,097
Total	39	-	-	-	-
CV(%)	-	10,39	7,71	11,75	8,80
Média Geral	-	14,04 cm	2,64 mm	28,34 cm	3,74 mm

Teste de Médias de Tukey (p<0,05)					
Tratamento	cm		mm		
Solo 1	11,84 b	2,39	21,71	3,62	
Solo 2	16,24 a	2,89	33,64	4,20	

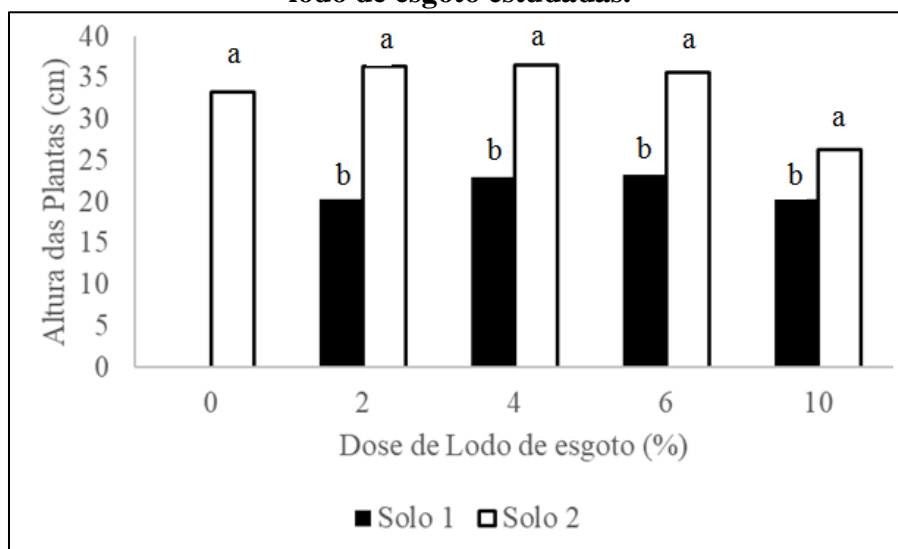
Fonte: Autor, 2023. **Legenda:** **: significativo (P<0,01); *: significativo (P<0,05); **NS:** Não Significativo; **CV%:** coeficiente de variação; **GL:** Grau de liberdade.

A Figura 18 evidencia o desdobramento da interação significativa para a variável altura das plantas no estágio V4. Nota-se o comportamento dos solos 1 e 2 referentes a cada dosagem de lodo de esgoto empregada.

Percebe-se que houve interações significativas entre todas as dosagens de lodo usadas, onde o Solo 2 mostrou melhor resultado ao completar o estágio V4 entre os tratamentos T2 e T4, com porcentagens de lodo de 2, 4 e 6%, com alturas em torno de 35cm.

O Solo 1 demonstrou plantas com alturas menores, cerca de 23cm. Entretanto, para a dose 10% de lodo de esgoto, as alturas das plantas para ambos os solos mostraram diferenças significativas em relação aos demais tratamentos.

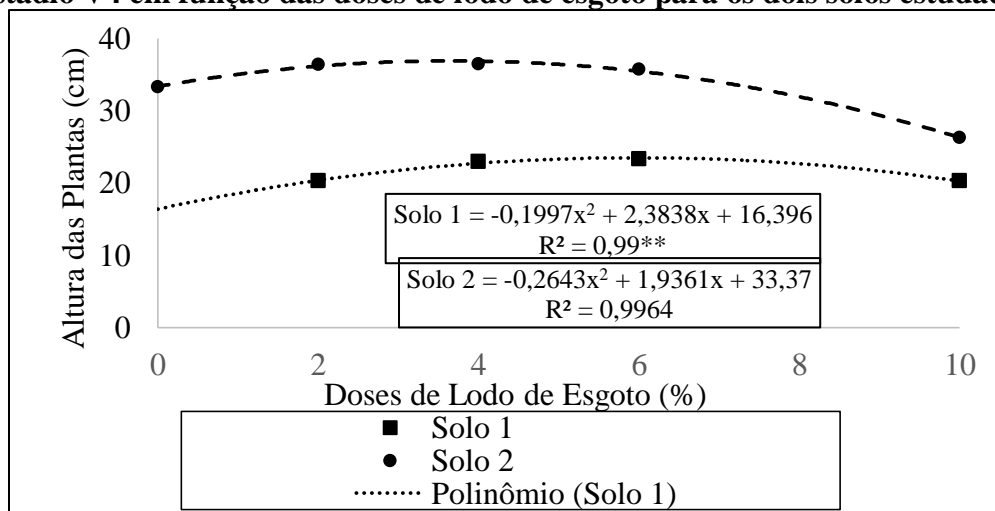
Figura 18: Desdobramento da interação entre os fatores para a variável altura das plantas para completar o estágio V4 em função dos solos para as cinco doses de lodo de esgoto estudadas.



Fonte: Autor. Leganda: (a) (b) – ocorrência de estatística com diferença significativa, 2023.

Na Figura 19, observa-se a análise de regressão para verificar como cada solo se comportou com o acréscimo das doses de lodo de esgoto, constata-se o comportamento quadrático significativo para ambos os solos estudados, com as respectivas alturas para alcançar a fase V4.

Figura 19: Análise de regressão para a variável altura das plantas ao completar o estágio V4 em função das doses de lodo de esgoto para os dois solos estudados.

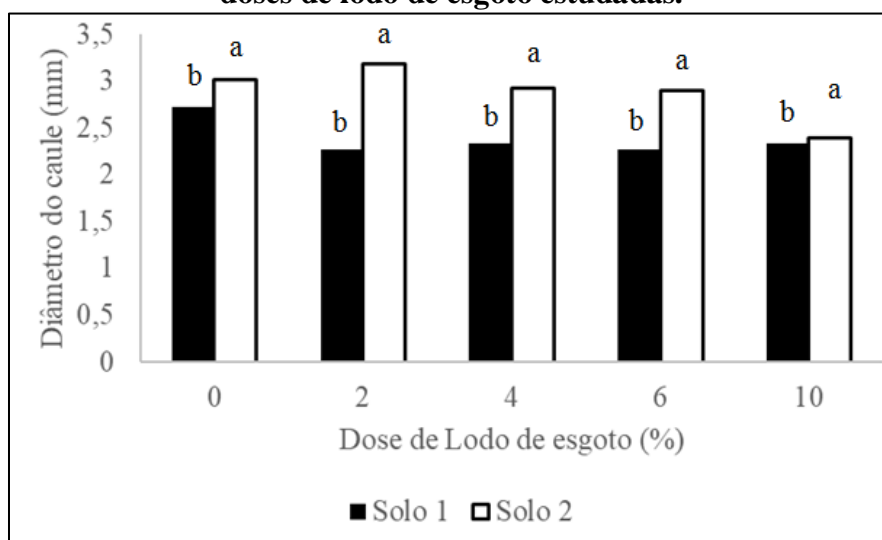


Fonte: Autor, 2023.

Os solos que produziram mudas do feijão-caupi exibiram diferenças significativas em todos os tratamentos de doses de lodo de esgoto. Sendo que as plantas do Solo 2 apresentaram as maiores alturas em relação as do Solo 1 ao completar a fase V4. No entanto, para a dosagem com 10% de lodo de esgoto, ocorreu um decréscimo nas alturas das mudas de ambos os solos.

A Figura 20 elucida a média do diâmetro do caule alcançada pelas plantas para cada respectivo tratamento e porcentagem de lodo de esgoto ao completar a V3. Os valores para o diâmetro do caule das plantas foram significativos em função do solo e das doses empregadas.

Figura 20: Desdobramento da interação entre os fatores para a variável diâmetro do caule das plantas ao completar o estágio V3 em função dos solos para as cinco doses de lodo de esgoto estudadas.



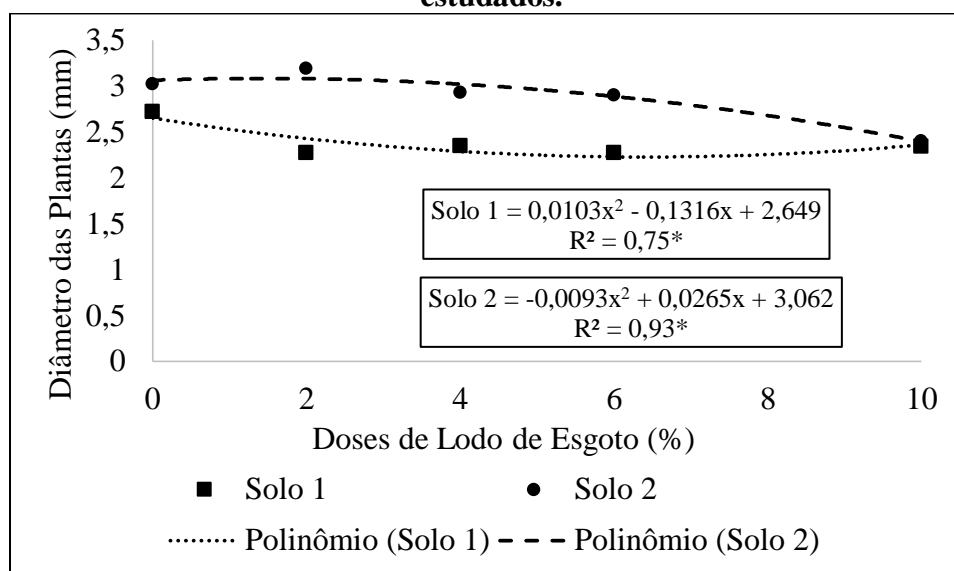
Fonte: Autor, 2023. **Legenda:** (a) (b) – ocorrência de estatística com diferença significativa, 2023.

Ocorreu similaridade considerável entre as dosagens 0% a 6% para o Solo 2. Sendo que a dose 2% mostrou diâmetro próximo de 3,5mm, porém a de 10% mostrou um atrofiamento com valor menor em comparação aos demais.

Percebe-se que não ocorreu diferença significativa entre a dose 2% e 10% para o Solo 1 ao alcançar a V3, contudo, para a dose 0% a diferença foi significativa, produzindo caule com diâmetro próximo de 3mm.

Desempenho esse, demonstrado pela análise de regressão (Figura 21), onde fica evidente que as mudas de feijão-caupi possuem um ponto em comum quanto a certas características apresentadas, como o diâmetro do caule.

Figura 21: Análise de regressão para a variável diâmetro do caule das plantas ao completar o estágio V3 em função das doses de lodo de esgoto para os dois solos estudados.

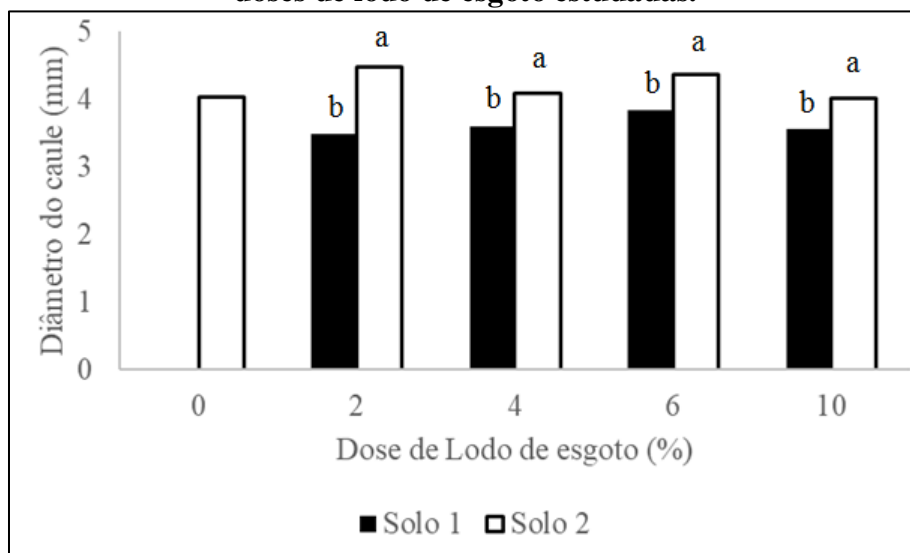


Fonte: Autor, 2023.

Verifica-se que a dose de lodo de esgoto a 10% torna as plantas semelhantes quanto as suas características, não havendo diferenças significativas entre os solos. Produzindo mudas em torno de 2,5 mm de diâmetro.

Na Figura 22, verifica-se os modos como procederam aos solos em relação a cada dosagem de lodo de esgoto usados. É observado que ocorreu diferenças significativas entre o Solo 1 e o Solo 2, no entanto, praticamente não houve essa característica entre os tratamentos do Solo 1, mais especificamente entre as doses 2% e 10% para o Solo 1 ao completar a fase V4.

Figura 22: Desdobramento da interação entre os fatores para a variável diâmetro do caule das plantas para completar o estágio V4 em função dos solos para as cinco doses de lodo de esgoto estudadas.



Fonte: Autor, 2023 **Legenda:** (a) (b) – ocorrência de estatística com diferença significativa, 2023.

O Solo 2 apresentou diferença significativa entre as doses de lodo, com melhor desempenho para a de 2%, produzindo diâmetro de caule em torno de 4,5mm ao atingir a V4.

5.4.3. Análise da variável raiz das plantas

Os dados exibidos na Tabela 12 demonstram que não houve interação significativa para a variável comprimento de raiz, com isso, não será discutido o desdobramento destas interações, não obstante, entre a variável solo e dose, ocorreu interação significativa de 0,01%.

Tabela12: Síntese da análise de variância para as variáveis comprimento de raiz (Comp.Raiz) e massa da planta inteira (Massa).

(Continua)

Fontes de Variação	G.L.	Quadrados Médios	
		Comp.Raiz	Massa
Solo (S)	1	3333**	242,5 ^{NS}
Dose (D)	4	226,9**	127,6 ^{NS}

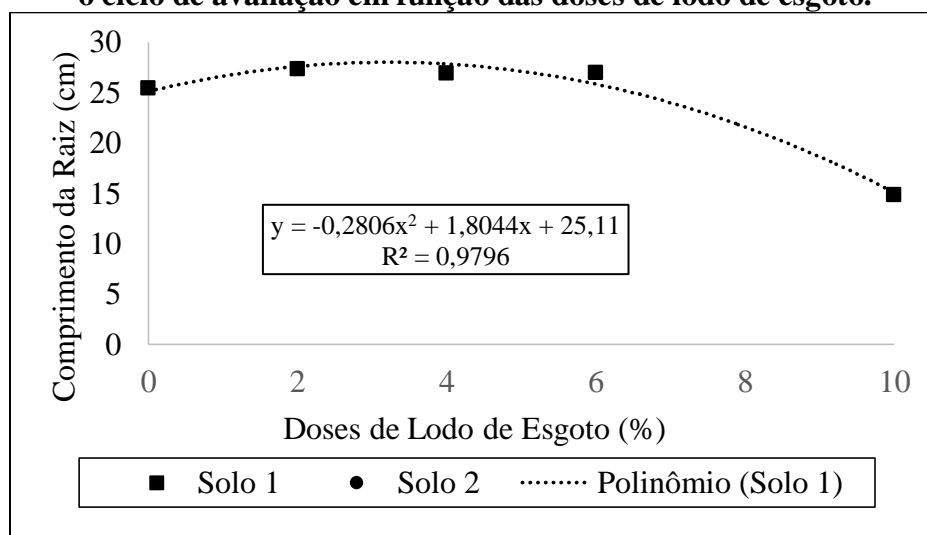
Tabela12: Síntese da análise de variância para as variáveis comprimento de raiz (Comp.Raiz) e massa da planta inteira (Massa). (Conclusão)

S x D	4	39,61 ^{NS}	395,8 ^{**}
Resíduo	30	48,43	77,99
Total	39	-	-
CV(%)	-	28,64	39,09
Média Geral	-	24,29 cm	22,59 g
Teste de Médias de Tukey (p<0,05)			
Tratamento	Comp.Raiz		Massa
	cm		g
Solo 1	33,42 a		20,13
Solo 2	15,17 b		25,05

Fonte: Autor, 2023. **Legenda:** **: significativo (P<0,01); *: significativo (P<0,05); NS: Não Significativo; CV%: coeficiente de variação; GL: Grau de liberdade.

A média geral do comprimento das raízes das mudas do feijão-caupi foi de 24,29cm e a massa sendo de 22,59g. Quando aplicado o teste de médias de Tukey (p<0,05) para o comprimento das raízes, o valor encontrado foi 33,42 para as plantas cultivadas usando o Solo 1 e de 15,17cm para as plantas usando o Solo2. O comportamento é visto através da análise de regressão (Figura 23).

Figura 23: Análise de regressão para a variável comprimento da raiz ao completar o ciclo de avaliação em função das doses de lodo de esgoto.

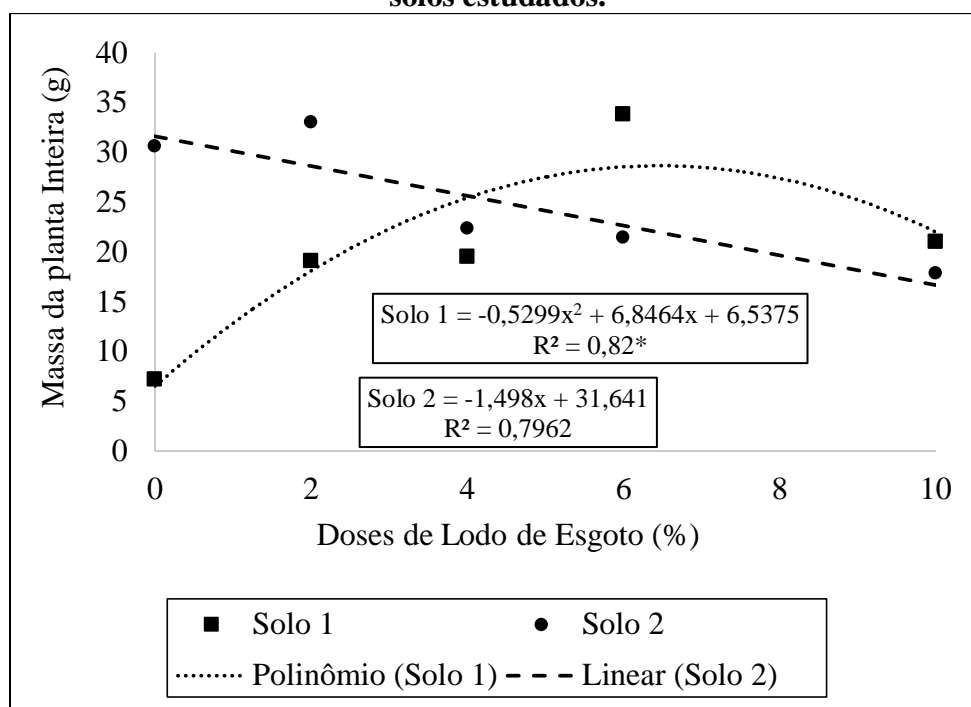


Fonte: Autor, 2023.

Os resultados revelam que, na medida em que elevam a dose do lodo de esgoto até 6%, obtêm-se comportamento quadrático ao alcançar a fase V4, tendo a dose 6% com melhor tamanho de raiz. De acordo com a informação elencada na Figura 23, a dosagem do lodo de esgoto a 10% causa um decréscimo ao comprimento a raiz ao completar o ciclo de avaliação, ou seja, V4.

Quanto a variável massa, a partir da análise de regressão (Figura 24) é possível observar que o tratamento 2 do Solo 1, com 2% produziu a maior massa entre os tratamentos. Comportamento semelhante ocorreu com o Solo 2 e tratamento 4, com dose de 6%.

Figura 24: Análise de regressão para a variável massa da planta inteira ao completar o ciclo de avaliação em função das doses de lodo de esgoto para os dois solos estudados.



Fonte: Autor, 2023.

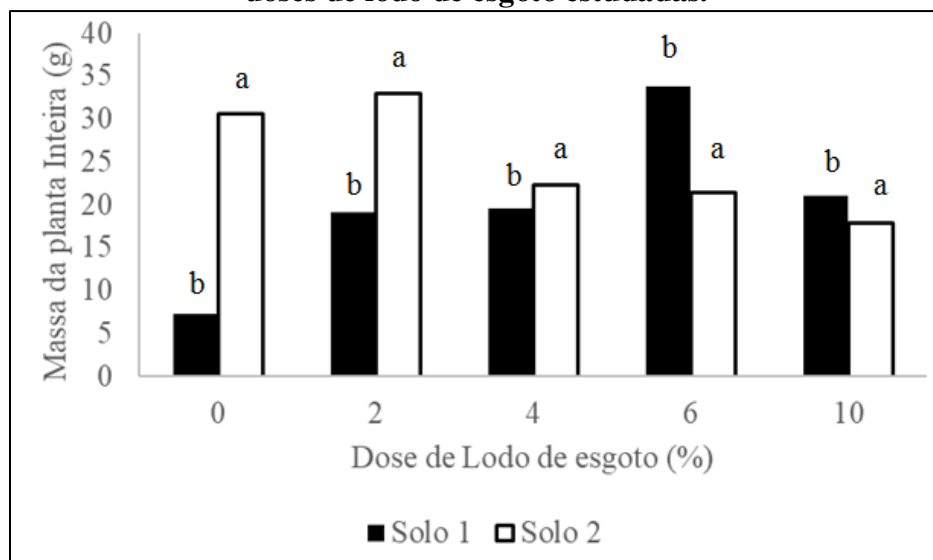
Na busca por nutrientes no solo, as plantas cultivadas no Solo 1, pobre em nutrientes, desenvolveram o mecanismo de crescimento das raízes.

Contudo, o inverso aconteceu, ao passo que o Solo 2, mais rico em nutrientes, favoreceu para que as plantas desenvolvessem sua parte estrutural, dando um ganho de massa superior as cultivadas com o Solo 1. Fato corroborado com a análise de regressão visto na Figura 24.

O desdobramento das interações das plantas (Figura 25) para a variável massa com os respectivos tratamentos, demonstra que ocorreu diferença significativa entre a

dose 2% e as demais para o Solo 2, sendo a que apresentou melhor massa da planta ao completar o ciclo.

Figura 25: Desdobramento da interação entre os fatores para a variável massa da planta inteira ao completar o ciclo de avaliação em função dos solos para as cinco doses de lodo de esgoto estudadas.



Fonte: Autor, 2023. **Legenda:** (a) (b) – ocorrência de estatística com diferença significativa, 2023.

O Solo 1 também apresentou diferenças significativas entre as dosagens, demonstrado pela análise de regressão (Figura 24), onde tratamento 4 (T4) mostrou-se um desenvolvimento de massa considerável quando comparado com os demais tratamentos usando o mesmo solo.

No entanto, não houve diferença significativa entre as doses 2%, 4% e 10%. Observa-se também que as mudas de feijão do tratamento 5 (T5) para ambos os tipos de solos, apresentaram resultados parecidos.

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1. Discussão quanto aos resultados da caracterização do lodo de esgoto

Em relação ao potencial agrônômico do lodo de esgoto da ETE Três Marias, o resultado mostrou valor médio significativo de NTK para o lodo de esgoto, 25,8 g/kg (desvio padrão de 3,1) (Tabela 3). Corroborando com os resultados encontrados por Abreu *et al.* (2019), onde analisou o lodo de uma ETE na Cidade do Rio de Janeiro, encontrando valores de 33 g/kg de NTK.

O Nitrogênio Total Kjeldahl pode sofrer interferência do meio, na medida em que existe a variação do potencial de oxirredução, diminuição da umidade, aeração do meio, que provoca a nitrificação, e conversão do elemento amônio em nitrato, esses fatores contribuem para a redução do NTK no meio (FARIAS, et al., 2019).

Contudo, Galdos *et al.* (2004), avaliaram amostras de lodo de uma ETE da cidade de São Paulo, encontrando valores de 28,3 g/kg de NTK. Os autores encontraram valores significativos de nutrientes, semelhantes ao resultado da presente pesquisa.

A alta taxa de nitrogênio ligado à matéria orgânica no lodo de esgoto é uma medida da importância do lodo de esgoto para fins agrícolas (MTSHALI *et al.*, 2014).

No entanto, a redução da umidade e conseqüentemente aeração do meio proporciona a nitrificação, e a conversão de amônio em nitrato, reduzindo a concentração de NTK no meio (FARIAS *et al.*, 2019).

O valor médio encontrado para o Nitrato foi de 10,6 g/kg (desvio padrão 1,3) (Tabela 3), correspondendo a um percentual acima do encontrado na literatura, uma vez que no estudo realizado por Abreu *et al.* (2019) a concentração obtida foi de 5,3 g N/kg.

O Nitrato é uma das formas de Nitrogênio mais aproveitado pelas plantas, entretanto, quando a quantidade presente no solo excede a capacidade de absorção das raízes, há possibilidade de lixiviação no solo, carecendo atenção quanto à utilização do lodo de esgoto com elevados índices de Nitrato (RIBAS, 2020).

Em relação aos cátions trocáveis, os teores médios de Cálcio e do Sódio, foram de 1,5 e 1,3 g/kg (desvio padrão de 0,1 e 0,14 respectivamente) respectivamente para as amostras de lodo de esgoto. Para Cálcio, o valor ficou abaixo do encontrado por Caldeira *et al.* (2012) em seu estudo com a utilização de biossólido como componente do substrato para a produção de mudas de timbó, onde teve valor de 3,2 g/kg de Ca em sua amostra de lodo.

Entretanto para o Na, comparando o valor médio encontrado junto ao lodo da presente pesquisa, sendo 1,3 g/kg (desvio padrão de 0,14), mostrou-se bem superior ao abordado no estudo de Caldeira *et al.* (2012), que foi de 5 mg/kg de Na.

O teor médio de MO encontrado para o lodo de esgoto da ETE Três Marias foi de 504,9 g/kg (desvio padrão de 37,9), valor superior ao encontrado por Bonini *et al.* (2015), em seu estudo sobre o uso de lodo de esgoto em solo degradado, sendo de 200 g/dm³.

Contudo, os dois valores respectivamente, estão abaixo do elucidado por Ribeiro *et al.* (2009), onde estudaram o composto baseado em lodo de esgoto no cultivo de mudas de *Pinus pinea L.*, encontrando valor para matéria orgânica de 870 g/kg.

A matéria orgânica no solo ajuda no melhoramento das condições de sobrevivência dos microrganismos, contudo, eleva a atividade biológica, com a síntese de substâncias húmicas estabilizadas (ROCHA, 2020). Atua positivamente no processo de recuperação, quer seja por fornecer nutrientes a partir da mineralização e na melhor estruturação do solo, ou seja, qualidade física, onde irá interferir na porosidade e na aeração do solo (BONINI *et al.*, 2015).

Em relação à parcela de CO presente no lodo estudado, o valor médio obtido foi de 333 g/kg (desvio padrão de 133,4), conforme apresentado na Tabela 3. Resultado semelhante ao encontrado por Bindá (2022), onde estudou a viabilidade da compostagem como alternativa para destinação final do lodo de esgoto e uso do composto como fertilizante para o solo. Em seu estudo encontrou valor de 309,6 mgC/kg no lodo bruto estudado.

O carbono é fundamental no desenvolvimento dos microrganismos, pois usam a fração como fonte de energia (ZANATTA, 2014). A aplicação de lodo de esgoto em solos tropicais proporciona o acúmulo do carbono orgânico, se tornando um elemento essencial para o solo, de maneira que melhora e alteram as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo onde esse material é incorporado (ROCHA, 2020).

O pH se mostrou em condições de neutralidade com valor de 7,01 (desvio padrão de 0,17). É um importante parâmetro a ser avaliado quando o lodo de esgoto será aplicado na agricultura, uma vez que a acidez ou alcalinidade interfere na forma que os elementos químicos estão disponíveis no solo, podendo ser absorvidos ou não pela planta. Fornece também informações importantes quanto à situação de decomposição da matéria orgânica (DE ABREU *et al.*, 2010; CARVALHO *et al.*, 2010; ZANATTA, 2014)

De acordo com os resultados encontrados para a relação entre sólidos voláteis/sólidos totais (Tabela 4) de 0,46, denota-se que o lodo de esgoto usado no experimento apresenta estabilidade, uma vez que não ultrapassou o valor prescrito pela Resolução Nº 498 do CONAMA, sendo de 0,65.

Diante disto, atendendo a um dos critérios de redução de atratividade de vetores para o uso do biossólidos em solos (BRASIL, 2020b).

A umidade encontrada para o lodo esgoto foi de 60,9 %. A umidade influencia nas propriedades mecânicas do lodo, consequentemente influenciando no manuseio desse material biológico, bem como na redução do custo de transporte para o local de disposição final (ANDREOLI, et al., 2014), pois quanto menor a umidade há uma redução no volume do lodo.

Quanto aos parâmetros bacteriológicos, o lodo apresentou valor de 3,70 NMP/g ST para Coliformes Termotolerantes, apresentando baixa exposição para o microrganismo. Cenário indicativo da ação afetiva da higienização realizada com a cal virgem hidratada, uma vez que se trata do mecanismo usado pela concessionária para fazer a assepsia do lodo de esgoto gerado na ETE.

O resultado encontrado para a *Escherichia coli* foi de 3,7 NMP/g ST, valor abaixo do especificado pela Resolução 498/20 do CONAMA, onde estabelece limite de 10^3 NMP/g ST de *E. coli* para biossólido de Classe A e 10^6 NMP/g ST para biossólido de Classe B.

Isto posto, o lodo da ETE Três Marias se mostra favorável a ser classificado em qualquer uma das categorias. No entanto, avaliando o processo de higienização do lodo de esgoto que é empregado na ETE, o lodo produzido é classificado como de Classe B.

Para o parâmetro ovos de Geohelminthos e para *Salmonella*, o resultado encontrado demonstrou ausência dos microrganismos na amostra de lodo de esgoto da ETE Três Marias. Castro (2019), também encontrou cenário semelhante em seu estudo sobre o uso do lodo de esgoto como fertilizante, na qual, seus resultados bacteriológicos para o lodo em estudo, mostrou-se ausência para a *Salmonella*.

Em relação aos metais-traços analisados no lodo de esgoto da ETE Três Marias, todos os elementos estudados permaneceram abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 498/20, com exceção do ferro e do manganês que não estão listados na referida legislação, com isso, indicando que lodo em estudo pode ser usado para uso na agricultura.

Embora fosse observado que todos os elementos químicos apresentaram valores abaixo dos limites de referência, é dada uma atenção às parcelas encontradas para o ferro, onde foi obtido cerca de 18.810 mg/kg desse elemento, e para o zinco, cerca de 382,5 mg/kg. A vista disso, existe a possibilidade de contaminação do solo na aplicação sucessiva desse material, podendo acarretar a um acúmulo destes metais pesados.

São dois metais preocupantes quando em quantidade elevada, Segundo Andreoli et al. (2014), em determinadas concentrações e tempo de exposição, o metal pesado oferece risco a saúde humana e ao meio ambiente, afetando a atividade dos seres vivos.

Campos (2017) também encontrou em seu estudo, valores para metais pesados abaixo da legislação pertinente, no entanto, alguns elementos se mostraram com teores passíveis de contaminação após aplicações do lodo de esgoto junto ao solo.

A respeito da análise de EDS realizada na amostra composta do lodo de esgoto da ETE Três Marias para os metais-traços, observou a presença para o alumínio (Figura 12), cerca de 9,3%.

No estudo de Pereira et al. (2020), realizaram a análise de EDS na amostra de lodo de esgoto e gordura residual, onde encontraram cerca de 3,29 %, valor abaixo do encontrado na amostra de lodo da ETE Três Marias.

Rosa Junior et al. (2019), igualmente encontraram picos significativos da presença do alumínio na amostra de lodo de esgoto estudada, através da análise de EDS realizada para seu estudo em questão.

6.2. Discussão quanto aos resultados da caracterização do Solo 1 e do Solo 2

Quanto as frações de Nitrogênio Total, não foram detectados valores para a amostra do Solo 1. Segundo Silva e Oliveira Neto (2021), os Argissolos Vermelho-Amarelos possuem baixa a média fertilidade natural. Em relação ao Solo 2, não foi realizado esse parâmetro para essa amostra.

Não foram detectadas parcelas de Nitrato para a amostra do solo 1 . Em relação ao Solo 2, não houve realização da análise para o parâmetro.

Quanto ao P total, para o Solo 1 não foi detectado a presença do elemento. Quanto ao Solo 2, o valor encontrado foi de 0,035 g/kg. Segundo Pinto et al. (2020), o P é originário dos resíduos orgânicos aportados ao solo, do tecido da biomassa microbiana e dos produtos de sua decomposição. Justificativa corroborada com a presença de matéria orgânica mais elevada para o respectivo solo.

As concentrações achadas na amostra do Solo 1 para Ca e Na, foram de 0,8 e de 1,1 g/kg, quanto ao Solo 2 os valores foram de 2,2 e 0,14 g/kg, visualizados na Tabela 7. O Ca é imprescindível para manter a integridade estrutural e funcional das membranas, das paredes celulares das plantas, e quando ocorre a deficiência, afeta o desenvolvimento e crescimento das folhas novas, tornando-as deformadas (LANGE et al., 2021).

No entanto, são elementos a serem observados, pois, o processo de salinização do solo é acelerado em regiões de clima árido e semiárido, com uso intenso da irrigação com águas de qualidade inferior, acompanhada de fertilizantes e outros insumos agrícolas, onde os sais são depositados na superfície do solo devido à alta demanda evaporativa e drenagem deficitária (SILVA et al., 2018; SÁ et al., 2021; SILVA et al., 2022).

Na pesquisa realizada por Nascimento *et al.* (2004), onde estudou aplicação de doses de lodo de esgoto para crescimento de milho e de feijoeiro, os resultados encontrados referente às características do solo usado, foram semelhantes ao encontrado na presente pesquisa. Com valor de 0,8 g/kg de Ca, entretanto, para o Na, a fração obtida por Nascimento *et al.* (2004) foi de 4,6 mg/kg, bem inferior ao encontrado no Solo 1 e no Solo 2.

Acerca da presença de MO nos dois tipos de solos, foi verificada uma diferença significativa quanto ao valor encontrado para o Solo 2, sendo 16,3 g/kg, em relação ao Solo 1, com 0,8 g/kg. O aumento do seu teor no solo está relacionado ao maior aporte de resíduos vegetais sobre a superfície, além de favorecer a maior ciclagem de nutrientes das camadas mais profundas (FERREIRA et al. 2018; FERREIRA et al., 2019).

Esse resultado baixo para MO do solo 1 é justificado pela característica do mesmo, na qual, solos Argissolos Vermelho-Amarelos com texturas arenosas possuem déficit de fertilidade natural, com isso, necessitando do uso de matéria orgânica para complementação (SILVA; OLIVEIRA NETO, 2022). Já o Solo 2, por apresentar o cultivo de produção milho, provavelmente tem maior cobertura vegetal e uma maior ciclagem de nutrientes no mesmo.

Santana (2019) encontrou em seu estudo valores para MO entre 2,55 g/kg e 18,14 g/kg, sendo percentuais aproximados dos encontrados nas amostras dos dois tipos de solos estudados.

Os valores encontrados para CO nas amostras dos solos neste estudo (Solo 1 com 9,5 g/kg e Solo 2 com 14,34 g/kg) foram inferiores ao encontrado no estudo realizado por Silva et al. (2020) para diferentes tipos de solos do semiárido. Estes solos tiveram seus valores medias entre 11,25 g/kg a 24,29 g/kg de CO.

Os valores elevados de carbono orgânico presente no solo podem ser explicados pela presença significativa de materiais orgânicos e resíduos vegetais, contudo, pela reduzida erosão hídrica causada por uma maior cobertura do solo (SILVA et al., 2020).

Os valores apresentados na Tabela 9 para o pH mostra que o Solo 2 se mostrou bem próximo da neutralidade. Com relação ao Solo 1, o mesmo apresentou características de um solo ácido, com valor de 4,62. Atributo relacionado à classificação desse solo, ou seja, Argissolo Vermelho Amarelo. Segundo Araújo et al. (2009) e Peixoto et al. (2019), grande parte dos solos brasileiros apresentam acidez elevada.

Hickmann e Costa (2012) obtiveram valor semelhante em sua pesquisa usando o mesmo tipo de solo, com pH variando entre 4,82 a 5,01, dependendo da profundidade da camada do solo estudada.

6.3 Avaliação da cultura agrícola: Fase 1

O teste da fase 1 ocorreu durante 14 dias de experimentação, visando avaliar o desenvolvimento das mudas de feijão-caupi nos diferentes tratamentos, relacionados a diferentes proporções do Lodo/Solo 1.

Foi obtido um melhor desenvolvimento para o tratamento testemunha (T1), onde se usou apenas o solo. A planta chegou até a fase do desenvolvimento da primeira folha trifoliada. Com medidas de altura do caule de 14 cm, diâmetro de 3,39 mm e raiz com 14 cm (Tabela 8).

Quanto ao tratamento com 10% de lodo de esgoto (T2), a planta se mostrou com desempenho satisfatório em relação à altura e desenvolvimento das folhas, chegando à segunda folha trifoliada, entretanto, com altura menor do que a planta do tratamento 1, diâmetro do caule e tamanho das raízes (Figura 14 B).

No tratamento 3 com 20% de lodo de esgoto, houve um comprometimento no desempenho da muda do feijão. Onde não ocorreu um bom desenvolvimento da planta, com porte reduzido, não passando atingindo da folha unifoliada.

Obteve tamanho do caule em torno de 3,32 cm, diâmetro com valor de 2,05 mm e raiz pouco desenvolvida. Resultado semelhante foi encontrado por Oliveira Junior

(2019), onde usou a mesma proporção de lodo de esgoto, obtendo plantas com altura de 4,25 cm.

Contudo, diferente dos resultados apresentados anteriormente, Sousa (2019) em seu estudo, onde usou diferentes proporções de lodo de esgoto no crescimento de mudas de moringa, obteve plantas com 22 cm de altura com duas semanas de teste, com a proporção de lodo de esgoto de 20%.

Com relação aos dados obtidos para o tratamento usando 30% de lodo de esgoto da ETE Três Marias, foram diferentes do encontrado por Siqueira et al. (2018), onde fizeram uso de uma proporção menor de lodo de esgoto, sendo 25% e obtiveram planta com 21cm de altura. No entanto, o tratamento 4 (T4) da presente pesquisa obteve planta de tamanho pequeno, cerca de 2,43cm, com pouco desenvolvimento e raiz atrofiada (Figura 14 D).

Os efeitos do alumínio faz com que seu crescimento e desenvolvimento das plantas sejam comprometidos, devido à formação de raízes mais grossas, curtas e escuras, com menor número de ramificações e volume prejudicando a absorção de água e nutrientes (OLIVEIRA, 2022). Quanto ao tratamento 5 (T5) com 50% de lodo de esgoto, não houve germinação.

Estudos têm mostrado que a inibição do crescimento da raiz é o sintoma visível e mais rápido da toxicidade do alumínio nas plantas, o que resulta na redução e em danos do sistema radicular, podendo conduzir à deficiência mineral e estresse hídrico, contudo, a redução do crescimento da parte aérea ocorre num momento posterior (ECHART; CAVALLI-MOLINA, 2000).

Certos metais-traços, como o alumínio, podem se fazer presente junto ao efluente, depositando-se ao lodo de esgoto gerado. Esses elementos podem ser advindos de lançamentos de efluentes industriais na rede coletora de esgoto doméstica (GARBellINI, 2022), ou serem introduzidos por meio da higienização do lodo de esgoto com o lodo de estações de tratamento de água (ETA), prática usada na ETE Três Marias, segundo a CAGECE. O lodo de ETA é um material rico em alumínio e ferro (Lucena et al., 2016).

E quando esses metais-traços estão presentes ou encontrados em elevadas concentrações no solo, tem características tóxicas. O alumínio, por exemplo, acarreta diversos problemas as plantas, entre eles estão à inibição de crescimento das raízes, apresentam-se frágeis e atrofiadas, tornando-as menos aptas a absorção de água e nutrientes (STEFANELLO; GOERGEN, 2019; TAVARES, 2021).

6.4. Avaliação da cultura agrícola: Fase 2

Não houve diferença significativa para o processo de germinação das sementes até o estágio V3 quanto o uso de dosagens de lodo de esgoto. Na análise de regressão (Figura 13) foi percebido esse comportamento, onde o tratamento 1 (T1), testemunha, não diferiu dos demais tratamentos, com exceção do tratamento (T5), com 10% de lodo de esgoto, que obteve um retardo quanto a germinação. O Al pode prejudicar o desenvolvimento das plantas tanto pelo efeito deletério direto sobre os tecidos vivos das plantas (SOUSA, 2022).

Duboc et al. (2018), avaliou em seu estudo, o desenvolvimento e a qualidade de mudas de cedro-rosa (*Cedrela fissilis*) usando substratos com proporções de resíduo orgânico e doses de fertilizante de liberação controlada, onde constatou que não só o substrato quanto a adubação com fertilizantes com liberação controlada não influenciou na aceleração da emergência das sementes.

No que diz respeito à altura média encontrada das plantas (Tabela 11), o Solo 2 apresentou valor superior ao do Solo 1, com teste de média Tukey ($p < 0,05$) de 33,64 e 21,71 cm respectivamente.

No que se refere ao dado achado no desdobramento estatístico (Figura 18) para a variável altura ao alcançar a fase V4, o tratamento 3 (T3) e (T4) com porcentagem de lodo de esgoto de 4% e 6%, geraram plantas com alturas em torno de 20cm para o Solo 1, apresentando resultados inferiores em relação ao Solo 2.

A análise estatística de regressão (Figura 21) revelou que o Solo 2 produziu plantas com maiores diâmetros dos caules usando proporções de lodo de esgoto de 2% a 6%, variando de 4 a 5mm. Porém, o tratamento com dose de lodo de 10% gerou mudas com medidas menores. O desdobramento dos dados (Figura 20) constata a informação, seguida da análise de regressão.

Resultado similar ao encontrado por Ferreira et al. (2021), onde avaliaram o crescimento inicial de mudas de *Archontophoenix cunninghamiana* em substratos a base de bio sólido. Apesar de usarem doses de lodo biológico maiores, os diâmetros dos caules das plantas variaram entre 4,69 a 6,97mm.

A variável raiz ao completar o ciclo de avaliação, por outro lado, mostrou-se com média maior para as plantas cultivadas com o Solo 1, em torno de 33,42 (Tabela 12). A partir da análise de regressão, destacam-se os tratamentos 2, 3 e 4, que obtiveram

melhores comprimentos de raízes, este último apresentando melhor resultado entre todos, demonstrado através da (Figura 23).

A massa das mudas do feijão-caupi (Tabela 12) ao completar o ciclo, variou de acordo com cada tratamento e tipo de solo usado.

As mudas cultivadas usando o Solo 2 para o tratamento (T2) com dosagem de 2% de lodo de esgoto, obtiveram as maiores massas dentre os tratamentos, evidenciado pela análise de regressão (Figura 24). Já para o Solo 1, as mudas com melhores valores em termos de massa foram as do tratamento 4, onde usou-se dosagem de 6% de lodo de esgoto, em torno de 35g (Figura 24).

Porém, de acordo com a análise de regressão (Figura 24), todas as plantas tiveram comportamento semelhante para o tratamento 5, com dosagem de 10% de lodo de esgoto, apresentando menores taxas de massa para os dois tipos de solos.

Todavia para o tratamento 5 (T5), com uso de 10% de lodo de esgoto aos dois tipos de solos, as plantas responderam a presença do lodo de esgoto de forma negativa, obtendo índices incipientes quanto as variáveis analisadas, dias de germinação, altura, diâmetro do caule e tamanho das raízes, quando comparado aos demais tratamentos, corroborado pela análise estatística realizada. Nas plantas os sintomas mais facilmente reconhecidos da toxicidade do alumínio é a inibição do crescimento da raiz (SOUSA et al., 2022).

O lodo de esgoto não influenciou no desenvolvimento das mudas do feijão-caupi cultivadas com o Solo 2, ao passo que os tratamentos 2, 3 e 4 apresentaram características semelhantes ao tratamento 1 (testemunha).

7 CONCLUSÃO

A pesquisa demonstrou a necessidade de uma avaliação criteriosa das características físicas, químicas e biológicas do lodo de esgoto, previamente a sua utilização como biossólido.

Considerando a avaliação físico-química e microbiológica preconizada na legislação brasileira, foi verificado que o lodo obtido a partir de sistema UASB em Juazeiro do Norte/CE, atende as recomendações agrônômicas em termos nutricionais para culturas agrícolas no que diz respeito as concentrações de matéria orgânica, fósforo, nitrogênio, e aspectos microbiológicos. No entanto, o biossólido apresentou valores elevados para metais-traços fitotóxicos, como o ferro e o alumínio.

A toxicidade para o desenvolvimento de cultura de feijão-caupi, foi verificada em dosagens acima de 10% na relação lodo de esgoto/solo.

Na primeira fase da pesquisa, diferentes efeitos sobre o desenvolvimento do feijão-caupi foram verificados, tais como o atrofiamento das folhas, do caule e das raízes. Em dosagens acima de 50% o processo de germinação das sementes foi afetado. Estes efeitos toxicológicos provavelmente estão relacionados as elevadas concentrações de alumínio no lodo de esgoto utilizado.

Na segunda fase, o uso de dosagens de lodo de esgoto de 2%, 4% e 6% em relação aos solos avaliados, reduziu os efeitos tóxicos do Alumínio sobre o desenvolvimento radicular e foliar da espécie vegetal. Também confirmou a dosagem 10% como limitante para o desenvolvimento do feijão - caupí, elevando de 4 a 5 dias o processo de germinação das sementes.

Portanto, a pesquisa demonstrou a viabilidade do uso do Lodo de esgoto gerado em sistema de reator UASB como biossólido em cultura agrícola comercial, desde que respeitadas dosagens recomendadas que favoreçam o atendimento das necessidades nutricionais da planta e atenuem o efeito de espécies químicas prejudiciais ao seu desenvolvimento.

Finalmente, a pesquisa demonstrou a viabilidade da destinação ambientalmente adequada do lodo de esgoto gerado por sistema UASB, da ETE Três Marias, em Juazeiro do Norte/CE. Também contribui para o melhor gerenciamento do resíduo sólido, com provável redução de custos de destinação do material para aterros, pela Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará – CAGECE. Além disto, colabora para a Economia Circular, ao apresentar alternativa de reciclagem do resíduo, indo ao

encontro dos pressupostos preconizados pela Agenda 2030, especialmente no que tange aos ODS 6.

8 REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **10664**: Águas - Determinação de resíduos (sólidos) - Método gravimétrico. Rio de Janeiro: Abnt, 1989. 7 p.
- ALVES, Pablo Fernando Santos *et al.* Teores de metais pesados e sódio no solo e em cultivo de girassol adubado com lodo de esgoto. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 10, n. 12, p. 436101220734, 26 set. 2021. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20734>.
- ASSUNÇÃO, Gardênia Mendes de. A gestão ambiental rumo à economia circular: como o brasil se apresenta nessa discussão. **Sistemas & Gestão**, [S.L.], v. 14, n. 2, p. 223-231, 30 jun. 2019. Laikos Servicos Ltda. <http://dx.doi.org/10.20985/1980-5160.2019.v14n2.1543>.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA; WATER ENVIRONMENT ASSOCIATION – WEF. **Standart Methods for the Examination of Water e Wastewater**. 23st. Washington, 2017.
- ARAÚJO, T.D.; QUEIROZ, A.A.F.S.L. Economia circular: breve panorama da produção científica entre 2007 e 2017. In: ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO AMBIENTAL E MEIO AMBIENTE (ENGEMA), 19., 2017. [**Anais...**], São Paulo: FEA/USP:, 2017. p. 1-17.
- Araújo, M. G.; Vieira, A. O.; Em Política Nacional de Resíduos Sólidos: implementação e monitoramento de resíduos urbanos; Besen, G. R., Freitas, L., Jacobi, P. R., orgs.; **IEE USP**: São Paulo, 2017; cap. 3.
- ALVES, Josivan Leite *et al.* ECONOMIA CIRCULAR: O CASO DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL CARIRIENSE. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v. 20, n. 2, p. 449-471, 2020.
- ABREU, Alan Henrique Marques de *et al.* Caracterização de biossólido e potencial de uso na produção de mudas de *Schinus terebinthifolia* Raddi. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 24, n. 3, p. 591-599, maio 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522019108265>.
- ANDREOLI, Cleverson V. et al. **Lodo de esgoto**: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: Ufmg, 2014. 444 p.

AUSTRALIAN & NEW ZEALAND BIOSOLIDS PARTNERSHIP. **Estatísticas australianas de biossólidos**. 2022. Disponível em: <https://www.biosolids.com.au/guidelines/australian-biosolids-statistics/>. Acesso em: 27 dez. 2022.

AMARAL, Karina Guedes Cubas do; AISSSE, Miguel Mansur; POSSETTI, Gustavo Rafael Collere. Análise do custo de ciclo de vida do tratamento e destinação final do lodo e biogás, provenientes de ETE que emprega reatores do tipo UASB. **Revista Dae**, [S.L.], v. 68, n. 226, p. 6-17, 18 set. 2020. Revista DAE. <http://dx.doi.org/10.36659/dae.2020.064>.

ARAUJO, R.S. et al. Aplicação de calcário com diferentes graus de reatividade: alterações químicas no solo cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1755-1764, 2009.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22.ed. Washington D C. 2012.

ANDREOLI, Cleverson Vitorio; PEGORINI, Eduardo Sabino; FERNANDES, Fernando. Disposição do lodo no solo. In: ANDREOLI, Cleverson Vitorio; VON SPERLING, Marcos; FERNANDES, Fernando. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**: lodo de esgoto: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: Segrac, 2001. p. 484.

ANZBP. Australian & New Zealand Biosolids Partnership. Australian Biosolids Statistics. Disponível em: <<https://www.biosolids.com.au/guidelines/australian-biosolids-statistics/>> Acesso: 22 de agosto de 2022a.

ANZBP. Australian & New Zealand Biosolids Partnership. New Zealand Biosolids Statistics. Disponível em: <<https://www.biosolids.com.au/guidelines/new-zealand-biosolids-statistics/>> Acesso: 22 de agosto de 2022b.

ARROYO, Paz; MOLINOS-SENANTE, María. *Selecting appropriate wastewater treatment technologies using a choosing-by-advantages approach*. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 625, p. 819-827, jun. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.331>.

BARBOSA, Jéssica Gonçalves. Gestão Ambiental em Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário: alternativas para o lodo de esgoto. **Revista Especialize On-Line Ipoq**, Goiânia, v. 1, n. 15, p. 1-15, jul. 2018.

BALIEIRO, Fabiano de Carvalho; ALVES, Bruno José Rodrigues. NITROGÊNIO TOTAL – Kjeldhal. In: TEIXEIRA, Paulo César *et al.* **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Brasília: Rev. e Ampl., 2017. p. 368-376.

BARBIERI, Barbara Losano; CALDERARO, Fernando Pereira. Tecnologias de tratamento de esgoto sanitário, um estudo de caso no município de Ângulo/PR. In: encontro internacional de produção científica, 11., 2019, Paraná. **Anais [...]**. [S.L.]: Unicesumar, 2019. p. 1-3.

BARROS, Flávia M. *et al.* Características químicas do solo influenciadas pela adição de água residuária da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9 , p. 47-51, 2005.

BARONE, E. P.; SILVA, F. A. M.; FERRAZ, M. V.. Aproveitamento do lodo de esgoto e da casca de palmito na produção de mudas de *Lantana câmara*. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, [S.L.], v. 12, n. 2, p. 132-143, 28 jun. 2018. Universidade Estadual Paulista - Campus de Tupa.
<http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2018v12n2p132-143>.

BERNER, Robert A.; RAO, Ji-Long. *Phosphorus in sediments of the Amazon River and estuary: Implications for the global flux of phosphorus to the sea*. **Geochimica Et Cosmochimica Acta**, Virgínia, v. 58, n. 10, p. 2333-2339, jun. 1994.

BERNER, Robert A.; RAO, Ji-Long. *Phosphorus in sediments of the Amazon River and estuary: implications for the global flux of phosphorus to the sea*. **Geochimica Et Cosmochimica Acta**, [S.L.], v. 58, n. 10, p. 2333-2339, maio 1994. Elsevier BV.
[http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037\(94\)90014-0](http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037(94)90014-0).

BEZERRA, Keyve Mayane. **Caracterização do lodo gerado em estações de tratamento de esgoto sanitário da região metropolitana de Fortaleza visando sua utilização na agricultura**. 2014. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

BINDÁ, Sigrid Machado. **Caracterização do lodo bruto da ETE Maratoan de Crateús-CE e tratamento a partir da compostagem para fertilização de solos**. 2022. 104 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal do Ceará, Crateús, 2022.

BITENCOURT, Gislayne de Araujo *et al.* Lodo gerado em Estação de Tratamento de Água: avaliação preliminar da toxicidade em plantas de milho. **Scientia Plena**, [S.L.], v. 16, n. 12, p. 1-11, 18 jan. 2021. Associação Sergipana de Ciência. <http://dx.doi.org/10.14808/sci.plena.2020.120201>.

BONINI, Carolina S. B. *et al.* Lodo de esgoto e adubação mineral na recuperação de atributos químicos de solo degradado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 19, n. 4, p. 388-393, abr. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p388-393>.

BRASIL a. Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006. **Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados**. Brasília, DF, 30 ago. 2006.

BRASIL b. Resolução nº 498, de 19 de agosto de 2020. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Define Critérios e Procedimentos Para Produção e Aplicação de Biossólido em Solos**. Brasília, DF, 21 ago. 2020. n. 161, Seção 01, p. 265-269.

BRASIL. Tony Jarbas Ferreira Cunha. Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. **Bioma Caatinga: flúvicos**. Flúvicos. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-caatinga/solos/neossolos/fluvicos>. Acesso em: 19 jan. 2023.

BAILINGER, J. Mechanisms of parasitological concentration in coprology and their practical consequences. **Journal of American Medical Technology**, 41, p. 65-71, 1979.

BRIDGEWATER, Laura *et al.* **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22. ed. Estados Unidos da América: American Public Health Association, 2012. 724 p.

CAMPOS, Thaís de Oliveira. **Lixiviação de metais pesados e macronutrientes em solos condicionados com biossólido de lodo de esgoto**. 2017. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Ciências Ambientais e Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2017.

CÂMARA, Isabelle Rodrigues de Mendonça. **Crescimento e produtividade do feijão caupi cultivado com lodo de esgoto sanitário compostado**. 2017. 45 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

CALDEIRA, Marcos Vinicius Winckler *et al.* *Different proportions of sewage sludge bio solids in the composition of substrates for the production of seedlings of timbo (Ateleia glazioveana Baill)*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 93, p. 015-022, mar. 2012.

CAMPOS et al. NITRATO E AMÔNIO. In: TEIXEIRA, Paulo César *et al.* **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Brasília: Rev. e Ampl., 2017. p. 377-384.

CASTRO, Marcelo Castilho de. **Utilização do lodo gerado em estação de tratamento de efluentes como fertilizante**. 2019. 57 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Industrial Química, Engenharia Química, Universidade de São Paulo, Lorena, 2019.

CEARÁ. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). Secretaria dos Recursos Hídricos. **Previsão**. 2017.

CEARÁ (Estado). Resolução nº 02, de 02 de fevereiro de 2017. **Padrões e Condições Para Lançamento de Efluentes Líquidos Gerados Por Fontes Poluidoras**. 2. ed. Fortaleza, CE.

CEARÁ. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE). Secretaria do Planejamento e Gestão. **Perfil Municipal: Juazeiro do norte**. Juazeiro do Norte. 2017.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias** v. 5 2a ed., 1997. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG.

COSTA, A. et al. **Aspectos legais de utilização do lodo de esgoto na agricultura.** 2015.

COSTA, Tancio Gutier Ailan *et al.* Tratamento alcalino de lodo de esgoto no preparo do biossólido como alternativa de adubo orgânico. **Multi-Science Journal**, [S.L.], v. 1, n. 13, p. 373-377, set. 2018.

COSTA, Laura Gomes da. **Gestão de lodos de esgoto sanitário: avaliação comparativa de viabilidade econômica entre processo de tratamento convencional e com aproveitamento de biogás para geração de energia.** 2022. 94 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022.

CHEN, Xudong et al. *Processing Technology Selection for Municipal Sewage Treatment Based on a Multi-Objective Decision Model under Uncertainty.* **International Journal Of Environmental Research And Public Health**, [S.L.], v. 15, n. 3, p. 448, 5 mar. 2018. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph15030448>.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos *et al.* Panorama do tratamento de esgoto sanitário nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil: tecnologias mais empregadas. **Revista Dae**, [S.L.], v. 66, n. 213, p. 5-19, 2018. Revista DAE. <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2018.028>.

CHONG, Siewhui *et al.* *The performance enhancements of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors for domestic sludge treatment – A State-of-the-art review.* **Water Research**, [S.L.], v. 46, n. 11, p. 3434-3470, jul. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2012.03.066>.

D'AVIGNON, Alexandre et al. **Manual de auditoria ambiental para estações de tratamento de esgotos domésticos.** Rio de Janeiro: Qualitymark. Ed.,2002.

DANTAS, Marina Salim *et al.* Avaliação de dados de monitoramento de estações de tratamento de esgotos domésticos operando com reatores UASB, localizadas na bacia hidrográfica do Rio das Velhas (MG), Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 27, n. 2, p. 365-376, abr. 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-415220210106>.

DAUD, M. K. *et al.* *Review of Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor Technology: effect of different parameters and developments for domestic wastewater treatment.*

Journal Of Chemistry, [S.L.], v. 2018, p. 1-13, 2018. Hindawi Limited.

<http://dx.doi.org/10.1155/2018/1596319>.

DEL-GUERCIO, A. M. F.; CHRISTOFOLETTI C. A.; FONTANETTI, C. S. Avaliação da eficiência do tratamento de esgoto doméstico pelo teste do micronúcleo em *Oreochromis niloticus* (Cichlidae). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 6, p. 1121-1128, 2017.

DUAN, Baoling; FENG, Qiang. *Risk Assessment and Potential Analysis of the Agricultural Use of Sewage Sludge in Central Shanxi Province.* **International Journal Of Environmental Research And Public Health**, [S.L.], v. 19, n. 7, p. 4236, 1 abr. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph19074236>.

DURÃES, Maria Clara Oliveira. **Produção de mamoneira adubada com lodo de esgoto estabilizado por diferentes processos.** 2020. 52 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutora em Produção Vegetal, Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2020.

DUBOC, Eny *et al.* Substrato Orgânico e Adubação com Fertilizante de Liberação Controlada na Produção de Mudanças de Cedro-Rosa (*Cedrela fissilis*). **Cadernos de Agroecologia**, [S.L.], v. 13, n. 2, p. 1-10, dez. 2018.

ETTO, Thiago Luiz. **Incorporação de lodo de tanque séptico na dinâmica do fósforo e do sódio no solo.** 2013. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

EPA Method 1680: Fecal Coliforms in Sewage Sludge (Biosolids) by Multiple-Tube Fermentation using Lauryl Tryptose Broth (LTB) and EC Medium [EPA-821-R-14-009-680-2014].

EC. EUROPEAN COMMISSION. Sludge Sewage. Disponível em:
<<http://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/index.htm>> Acesso em: 22 de agosto de 2022.

ECCC. ENVIRONMENT AND CLIMATE CHANGE CANADA. Biosolids Management and Disposal Practices in Canada. Disponível em: <http://cwwa.ca/pdf_files/2017WOO/Tessier.pdf> Acesso em: 22 de agosto de 2022.

ECHART, Cinara Lima; CAVALLI-MOLINA, Suzana. Fitotoxicidade do alumínio: efeitos, mecanismo de tolerância e seu controle genético. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 3, p. 531-541, ago. 2000.

FARIAS, Matheus de Sá *et al.* Caracterização e aplicabilidade do lodo gerado nos reatores UASB da estação de tratamento de esgoto da UFLA. In: congresso brasileiro de engenharia ambiental e sanitária, 30., 2019, Rio Grande do Norte. **Anais [...]**. Natal: Abes, 2019. p. 1-6.

FARIA, Luiz Carlos de. **Uso do lodo de esgoto (biossólido) como fertilizante em eucaliptos: demanda potencial, produção e crescimento das árvores e viabilidade econômica.** 2007. 106 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutor em Recursos Florestais, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

FERREIRA J.P. *et al.* 2018. Atributos químicos e físicos de um latossolo em diferentes sistemas integrados de produção agropecuária. **Boletim Indústria Animal.** 75: 1-17.

FERREIRA, Reinaldo de Paula *et al.* **Toxidez de alumínio em culturas anuais.** São Carlos: Embrapa, 2006. 35 p.

FERREIRA, Gilberto Alves *et al.* Carbono orgânico e nitrogênio do solo sob alturas de pastejo da *Urochloa ruziziensis* em sistema agropastoril. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, [S.L.], v. 18, n. 3, p. 352-362, 30 jul. 2019. Universidade do Estado de Santa Catarina. <http://dx.doi.org/10.5965/223811711832019352>.

FIGUEIREDO, Raíssa Santos. **Impacto da disposição de lodo de esgoto sanitário sobre características físicas e químicas e a comunidade microbiana do solo.** 2019. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Meio Ambiente, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

FILHO, F. R.R. Origem, evolução e domesticação do caupi. In: ARAÚJO, J. P. P. de; WATT, E. E. (Org.). **O caupi no Brasil.** Brasília, DF: IITA: EMBRAPA, 1988. p. 26-46.

- FONTANA, Ademir. MATÉRIA ORGÂNICA. In: TEIXEIRA, Paulo César *et al.* **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Brasília: Rev. e Ampl., 2017. p. 398-401.
- FONTANA, Ademir; CAMPOS, David Vilas Boas de. CARBONO ORGÂNICO. In: TEIXEIRA, Paulo César *et al.* **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Brasília: Rev. e Ampl., 2017. p. 360-367.
- FRANÇA, Josué Tadeu Leite *et al.* Remoção de Lodo de Lagoas de Estabilização e seu Acondicionamento em bag. **Revista Dae**, [S.L.], v. 59, n. 185, p. 53-63, 2011. Revista DAE. <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2014.070>.
- FREIRE FILHO, Francisco Rodrigues *et al.* **Feijão-Caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. 21. ed. Teresina: Embrapa, 2011. 80 p.
- FREIRE, Letícia Lacerda. **Panorama dos sistemas de esgotamento sanitário da região metropolitana do Cariri – Ceará**. 2017. 109 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Juazeiro do Norte, 2017.
- FRUTUOSO, Francisca Kamila Amancio. **Avaliação da qualidade do lodo anaeróbio e da eficiência do tratamento do reator UASB – ETE três Marias em Juazeiro do Norte – Ceará**. 2017. 107 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Juazeiro do Norte-, 2017.
- G, Lettinga *et al.* *Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment especially, for anaerobic treatment*. **Biotechnology And Bioengineering**, Países Baixos, v. 22, p. 699-734, 1980.
- GALDOS, M. V. *et al.* Atributos químicos e produção de milho em um latossolo vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 28, p. 569-577, 2004.
- GARCÍA-DELGADO, M. *et al.* *Seasonal and time variability of heavy metal content and of its chemical forms in sewage sludges from different wastewater treatment plants*. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 382, n. 1, p. 82-92, 15 ago. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.04.009>.

GARBELLINI, Lucas Renan. **A avaliação do potencial toxicológico de substâncias inorgânicas na reciclagem de biossólidos**. 2022. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Sustentabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

GONÇALVES, Dayane Batista; MOL, Marcos Paulo Gomes. Destinação final de lodo de esgoto: proposição para auxílio em tomadas de decisão a partir de uma revisão de literatura. **Revista Aidis de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, Desarrollo y Práctica**, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 90, 6 abr. 2021. Universidad Nacional Autonoma de Mexico. <http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2021.14.1.69959>.

GODOY, Lúcia Camilo de. **A logística na destinação do lodo de esgoto**. 2013. 72 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnólogo em Logística, Faculdade de Tecnologia de Americana, Americana, 2013.

GUEDES, João Victor Braga de Souza. **Aplicações de geotêxteis em estações de tratamento de esgoto de reatores UASB: um mapeamento sistemático da literatura**. 2022. 22 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.

HICKMANN, Clério; COSTA, Liovando M. da. Estoque de carbono no solo e agregados em Argissolo sob diferentes manejos de longa duração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 10, p. 1055-1061, jul. 2012.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2017**: abastecimento de água e esgotamento sanitário. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. 128 p.

Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará - IPECE. **Perfil Municipal- Juazeiro do Norte**. 2017. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Juazeiro_do_Norte_2017.pdf. Acesso em: 22 jun. 2022.

ITICESCU, Catalina et al. *Optimal Solutions for the Use of Sewage Sludge on Agricultural Lands*. **Water**, [S.L.], v. 13, n. 5, p. 585, 24 fev. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w13050585>.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSÔA, Constantino Arruda. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 5. ed. Rio de Janeiro: Abes, 2009. 940 p.

JESUS, João Jesus; BORGES, Maria Teresa Borges. Salinização de solos em Portugal. **Revista de Ciência Elementar**, [S.L.], v. 8, n. 3, p. 1-5, 30 set. 2020. ICETA. <http://dx.doi.org/10.24927/rce2020.047>.

KIBBLEWHITE M.G. et al. 2008. *Soil health in agricultural systems*. **Philosophical Transactions of the Royal Society B** 363: 685-701.

KICINSKA, Alicja; GUCWA, Jarosław; KOSA-BURDA, Beata. *Evaluating Potential for Using Municipal Sewage Sludge in the Rehabilitation of Ground Degraded by the Sodium Processing Industry*. **Bulletin Of Environmental Contamination And Toxicology**, [S.L.], v. 102, n. 3, p. 399-406, 11 dez. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00128-018-2517-z>.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba, Editora Agronômica Ceres Ltda, 492p. 1985

KOMINKO, Halyna et al. *Sustainable Management of Sewage Sludge for the Production of Organo-Mineral Fertilizers*. **Waste And Biomass Valorization**, [S.L.], v. 9, n. 10, p. 1817-1826, 18 abr. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12649-017-9942-9>.

Koroleff, F. *Determination of nutrients*. In: K. Grasshoff et. Al. *Methods of seawater analysis*. 2nd ed. Verlag-Chimie. p.117-156, 1976.

LAMASTRA, Lucrezia; SUCIU, Nicoleta Alina; TREVISAN, Marco. *Sewage sludge for sustainable agriculture: contaminants ∴ contents and potential use as fertilizer*. **Chemical And Biological Technologies In Agriculture**, [S.L.], v. 5, n. 1, p. 1-6, 4 maio 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s40538-018-0122-3>.

LANGE, Anderson *et al.* Relações cálcio: magnésio e características químicas do solo sob cultivo de soja e milho. **Nativa**, [S.L.], v. 9, n. 3, p. 294-301, 14 jul. 2021. Nativa. <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v9i3.11526>.

LIU, Ben et al. *Optimal Selection of Sewage Treatment Technologies in Town Areas: a coupled multi-criteria decision-making model*. **Environmental Management**, [S.L.], v. 66, n. 4, p. 709-721, 28 jul. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00267-020-01338-w>.

LI, Suqing et al. *Effects of sewage sludge and nitrogen fertilizer on herbage growth and soil fertility improvement in restoration of the abandoned opencast mining areas in Shanxi, China*. **Environmental Earth Sciences**, [S.L.], v. 70, n. 7, p. 3323-3333, 23 mar. 2013. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-013-2397-9>.

LOBO, Isadora Vitali; AMÉRICO-PINHEIRO, Juliana Heloisa Pinê. Esgoto sanitário: caracterização, tratamento e ecotoxicidade. In: FÓRUM AMBIENTAL ALTA PAULISTA, 17., 2021, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo, 2021. p. 612-625.

LOUREIRO, Vitor Barbosa. **Avaliação de critérios para destinação final do lodo de esgoto sanitário na cidade de Manaus/AM – estudo de caso de uma ETE condominial**. 2021. 95 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2021.

LUCENA.C.L et al. *Characterization and evaluation of the potencial use of sludge from STP and WTP in pavin*. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**. V.36, n.1, p.166-178. 2016

MATHIOUDAKIS, V. L. et al. *Sewage Sludge Solar Drying: Experiences from the First Pilot-Scale Application in Greece*. **Drying Technology: An International Journal**, v. 31, n. 5, p. 519-526, 2013.

MALAVOLTA, E. et al. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2º ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MAÑAS, P.; HERAS, J. de Las. *Phytotoxicity test applied to sewage sludge using *Lactuca sativa* L. and *Lepidium sativum* L. seeds*. **International Journal Of Environmental Science And Technology**, [S.L.], v. 15, n. 2, p. 273-280, 18 jul. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13762-017-1386>

MARTINS, Sara Fernandes et al. Análise econômica da produção de lodo de esgoto compostado para fins agrícolas na estação de tratamento de esgoto de Botucatu-SP. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 36, n. 2, p. 218-229, jun. 2021.

MELO, Wanderley et al. *Ten years of application of sewage sludge on tropical soil. A balance sheet on agricultural crops and environmental quality.* **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 643, p. 1493-1501, dez. 2018. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.254>.

METCALF; EDDY. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. 5. ed. Porto Alegre: Amgh, 2016. 2012 p.

MOHAMED, Bourioug et al. *Sewage sludge used as organic manure in Moroccan sunflower culture: Effects on certain soil properties, growth and yield components.* **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 627, n. , p. 681-688, jun. 2018.

MONTEIRO, Tatiane Lima Verde. **Efeito da aplicação de lodo e de efluente de reator UASB no cultivo de feijão caupi *Vigna Unguiculata (L.) (Walp.)***. 2009. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

MOREIRA et al. O lodo de ETE como alternativa para a recuperação do solo em áreas degradadas. **Brazilian Applied Science Review**, [S.L.], v. 3, n. 3, p. 1564-1585, maio 2019. Brazilian Applied Science Review. <http://dx.doi.org/10.34115/basrv3n3-006>.

MTSHALI, Joseph S. et al. *Characterization of Sewage Sludge Generated from Wastewater Treatment Plants in Swaziland in Relation to Agricultural Uses.* **Resources And Environment**, [S.L.], v. 4, n. 4, p. 190-199, 2014.

NASCIMENTO, C. W. A. et al. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **R. Bras. Ci. Solo**, [S.L.], p. 385-392, 2004.

NASCIMENTO, Ana Rachel Melo et al. Balanço de oxigênio dissolvido em lagoas de polimento tratando efluente de reator UASB. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 27, n. 6, p. 1221-1228, nov. 2022. FapUNIFESP (SciELO).
<http://dx.doi.org/10.1590/s1413-415220220043>.

NANZER, Marina Chiquito *et al.* Estoque de carbono orgânico total e fracionamento granulométrico da matéria orgânica em sistemas de uso do solo no Cerrado. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, [S.L.], v. 18, n. 1, p. 136-145, 8 fev. 2019. Universidade do Estado de Santa Catarina. <http://dx.doi.org/10.5965/223811711812019136>.

NUVOLARI, Arivaldo. O lançamento in natura e seus impactos. In: NUVOLARI, Arivaldo (Org.). **Esgoto Sanitário: Coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola**. São Paulo: Blucher, 2003. Cap. 7. p. 171-207.

OLIVEIRA, E. N. et al. Estudo bibliográfico das tecnologias utilizadas no tratamento do esgoto e a legislação em vigor no Brasil. **Natural Resources**, v.9, n.1, p.20-27, 2019. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2237-9290.2019.001.0003>

OLIVEIRA, Raquel Lima *et al.* Viabilidade do lodo de esgoto na agricultura. **Exatas & Engenharias**, [S.L.], v. 7, n. 17, p. 80-87, 24 mar. 2017. Institutos Superiores de Ensino do Censa. <http://dx.doi.org/10.25242/885x7172017898>.

OLIVEIRA, Rebeca Martins da Silva Fernandes de. **Calagem e adubação fosfatada como atenuadores a toxicidade de alumínio em latossolo**. 2022. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado em Agronomia, Instituto Federal Goiano-Campus Rio Verde, Rio Verde, 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 22 jun. 2022.

OUTWATER, A. B.(1994) *Reuse of sludge and minor wastewater residuals* [S.l.], Lewis Publishers, pp. 179.

PAULA FILHO, Francisco José de. **Distribuição e partição geoquímica de fósforo em sedimentos estuarinos do Rio Jaguaribe/CE**. 2004. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

PEDROSA et al. Biossólido de lodo de esgoto na agricultura: desafios e perspectivas. **Revista Agrogeoambiental**, v. 9, p. 125-142, 2017. [http:// dx.doi.org/10.18406/2316-1817v9n42017999](http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v9n42017999)

PEREIRA, Lia Martins *et al.* Caracterização de biocarvão via craqueamento térmico catalítico a partir do blend do lodo de esgoto e gordura residual em escala piloto. **Brazilian Journal Of Development**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 1502-1509, 2020. Brazilian Journal of Development. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n1-102>.

PETTERSON, André *et al.* Clorofila extraída de resíduo industrial da erva-mate (*Ilex paraguaiensis*) uma possibilidade de economia circular. **Química Nova**, [S.L.], p. 767-776, 2022. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170877>.

PINTO, Antonio Alves *et al.* Comprimento do talhão na operação de preparo do solo com grade média. **Agrarian**, [S.L.], v. 13, n. 49, p. 419-425, 27 jul. 2020. Universidade Federal de Grande Dourados. <http://dx.doi.org/10.30612/agrarian.v13i49.10915>.

PEIXOTO, Daniel José Ghiggi *et al.* Atributos químicos de solo após incubação com produtos com cálcio e magnésio. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 8, n. 3, p. 62-68, ago. 2019.

PINTO, Luiz Alberto da Silva Rodrigues *et al.* Extração e quantificação das frações de fósforo orgânico no solo. **Brazilian Journal Of Development**, [S.L.], v. 6, n. 6, p. 34260-34278, 2020. Brazilian Journal of Development. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n6-102>.

RAHEEM, Abdul *et al.* *Opportunities and challenges in sustainable treatment and resource reuse of sewage sludge: a review*. **Chemical Engineering Journal**, [S.L.], v. 337, p. 616-641, abr. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2017.12.149>.

RIBAS, Gisely de Sá. **Caracterização de lodo de esgoto dragado de lagoas de tratamento de efluentes em Joinville/SC e alternativas de disposição final**. 2020. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Profissional em Clima e Ambiente, Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

RIBAS, M. M. F.; MORAES, E. M.; FORESTI, E. Avaliação da acurácia de diversos métodos para determinação de ácidos graxos voláteis e alcalinidade a bicarbonato para monitoramento de Reatores anaeróbios. **Rev. Eng. Sanit. Ambient.** Article in Engenharia Sanitária e Ambiental. V. 12, n. 3, p. 240-246, 2007.

RIBEIRO, Henrique M. *et al.* *Fertilization of Pinus pinea L. seedlings with a sewage sludge-based compost*. **Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy**, [S.L.], v. 27, n. 2, p. 112-118, mar. 2009. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0734242x08089463>.

ROCHA, Ana Lúcia Colares Lopes. **Higienização de lodo de anaeróbio de esgoto por meio alcalino**: estudo de caso da ETE Lages-Aparecida de Goiânia. 2009. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Engenharia do Meio Ambiente, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.

ROCHA, Antonio Márcio Souza. **Aplicação anual de lodo de esgoto por vinte e três anos em dois latossolos em região tropical e o comportamento da matéria orgânica, da capacidade de troca catiônica e do fósforo**. 2020. 67 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutor em Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2020.

ROSA JUNIOR, Laércio dos Santos *et al.* Aproveitamento do lodo de esgoto proveniente de tanque séptico visando a recuperação de solos degradados. In: PACHECO, Juliana Thaisa Rodrigues *et al.* (org.). **Meio ambiente e desenvolvimento sustentável**. [S.L.]: Atena, 2019. p. 235-243.

SAMPAIO, Américo de Oliveira. Afinal, queremos ou não viabilizar o uso agrícola do lodo produzido em estações de esgoto sanitário? Uma avaliação crítica da Resolução CONAMA 375. **Revista Dae**, [S.L.], v. 61, n. 193, p. 16-27, 2013. Revista DAE. <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2014.109>.

SANTANA, Josinaide Cláudia Araújo de. **Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica de solos da região semiárida Potiguar**. 2019. 39 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Agrônômica, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2019.

STEFANELLO, Raquel; GOERGEN, Patrícia Carine Hüller. Toxicidade de alumínio na germinação de sementes de *Cynara scolymus L.* **Cultura Agrônômica: Revista de Ciências Agrônômicas**, [S.L.], v. 28, n. 1, p. 42-49, 25 abr. 2019. Revista Cultura Agronomica. <http://dx.doi.org/10.32929/2446-8355.2019v28n1p42-49>.

SAMPAIO, et al. Lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. vol.36, n.5, pp. 1637-1645, novembro, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000500028>

SANTOS, H. F. **Normatização para o uso agrícola dos biossólidos no exterior e no Brasil**. In: ANDREOLI, C. V.; FERNANDES, F.; SPERLING, M. (Org.) Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. cap.10. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 6).

SANTOS, D. S. et al. Efeito da secagem em leito nas características físico-químicas e microbiológicas de lodo de reator anaeróbio de fluxo ascendente usado no tratamento de esgoto sanitário. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 21. p. 341-349, 2017.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília,

SANTOS, Jaqueline da Silva *et al.* Effects of substrates containing different concentrations of sewage sludge on physiological parameters and quality of *Alibertia edulis* (Rubiaceae) seedlings. **Environmental Science And Pollution Research**, [S.L.], v. 28, n. 20, p. 25984-25992, 22 jan. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-021-12492-x>.

SANTOS, Kristiana Fiorentin dos *et al.* Teores e estoques de carbono orgânico do solo em diferentes usos da terra no Planalto Sul de Santa Catarina. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, [S.L.], v. 18, n. 2, p. 222-229, 19 jun. 2019. Universidade do Estado de Santa Catarina. <http://dx.doi.org/10.5965/223811711812019222>.

SOUSA, Alex Nascimento de *et al.* Produção de mudas de Moringa oleifera em diferentes concentrações de lodo de esgoto tratado com calcário. **Diversitas Journal**, [S.L.], v. 5, n. 3, p. 1504-1522, 5 jul. 2020. Universidade Estadual de Alagoas. <http://dx.doi.org/10.17648/diversitas-journal-v5i3-958>.

SOUZA, Tatiane Pereira. **Tratamento do lodo de esgoto por compostagem: uso agrícola do composto e a redução da emissão de gases de efeito estufa**. 2022. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

SOUSA, Shara Sonally Oliveira de *et al.* Avaliação Da Toxicidade Do Lodo Da Estação De Tratamento De Gurjaú Utilizando Diferentes Sementes Como Bioindicadores. **Revista Saúde e Meio Ambiente**, Rio Grande do Sul, v. 14, n. 2, p. 162-188, dez. 2022.

SOUSA, Francisco Bruno Ferreira de. **Plantas de cana com boro T e de açúcar suplementadas M maior tolerância ao efeito tóxico do alumínio**. 2022. 84 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutor em Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2022.

SCOTTÁ, Jéssica. **Avaliação e otimização de uma estação de tratamento de esgoto com sistema fossa e filtro de um município da Serra Gaúcha**. 2015. 83 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2015.

SERRANO, M.I.P. Mineralização, absorção e lixiviação de nitrogênio em povoamentos de *Eucalyptus grands* sob cultivo mínimo e intensivo do solo. Piracicaba: ESALQ, 1997.86p. Dissertação de Mestrado

SILVA, Maria Sonia Lopes da; OLIVEIRA NETO, Manoel Batista de. **Argissolos Vermelho-Amarelos**. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/territorios/territorio-mata-sul-pernambucana/caracteristicas-do-territorio/recursos-naturais/solos/argissolos-vermelho-amarelos>. Acesso em: 30 nov. 2022.

SILVA, José Orlando Nunes da *et al.* O uso da irrigação com água salina pode reduzir o déficit de forragem no Semiárido brasileiro. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 11, n. 5, p. 1-11, 12 abr. 2022. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i5.28357>.

SILVERIO, Juliana Milene *et al.* Germinação de sementes e vigor de plântulas de *Arctium lappa L.* Submetidas à toxicidade de alumínio. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, [S.L.], v. 15, n. 1, p. 154-167, 26 jul. 2021. Universidade Estadual Paulista - Campus de Tupa. <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2021v15n1p154-167>.

SILVA, Thainy Genny Esteves et al. Economia circular: Um Panorama do Estado da Arte das Políticas Públicas no Brasil. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v. 21, n. 3, p.951-972, 2021.

SILVEIRA, Milena Dreyer *et al.* Geração de resíduos plásticos durante a pandemia de Covid-19: desafios para a economia circular. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v. 22, n. 1, p. 2546-2569, 2022.

SILVA, Tiago Cavalcante da *et al.* Atributos químicos e atividade microbiológica em Argissolo Vermelho-Amarelo sob diferentes sistemas de manejo com e sem queima em condições de semiárido. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, [S.L.], v. 7, n. 16, p. 575-588, 2020. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*. [http://dx.doi.org/10.21438/rbgas\(2020\)071608](http://dx.doi.org/10.21438/rbgas(2020)071608).

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS. **Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto: visão geral**. Brasília: Snis, 2021. 91 p..

SIMONE TE et al. 2017. *Soil carbon sequestration, carbon markets, and conservation agriculture practices: a hypothetical examination in Mozambique*. **International Soil and Water Conservation Research** 5: 167-179.

SILVA, Maria Sonia Lopes da; OLIVEIRA NETO, Manoel Batista de. **Argissolos Vermelho-Amarelos**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/territorios/territorio-mata-sul-pernambucana/caracteristicas-do-territorio/recursos-naturais/solos/argissolos-vermelho-amarelos>. Acesso em: 31 jan. 2023.

SIQUEIRA, David Pessanha *et al.* Lodo de esgoto tratado na composição de substrato para produção de mudas de *Lafoensia glyptocarpa*. **Floresta**, Curitiba, v. 48, n. 2, p. 277-284, jun. 2018.

SOUSA, Alex Nascimento de. **Crescimento de mudas de moringa em diferentes concentrações de lodo de esgoto tratado com calcário**. 2019. 57 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Macaíba, 2019.

TAVARES, Ana Catarina Oliveira. **Caracterização de plantas de arroz mutantes no gene FRD-like em relação à homeostase de ferro e toxicidade por alumínio**. 2021. 60 f. Tese (Doutorado) - Curso de Mestre em Biotecnologia e Inovação, Universidade Católica Portuguesa, Porto, 2021.

TEIXEIRA, Paulo César *et al.* **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2017. 573 p.

TERAN, Francisco Javier Cuba *et al.* Avaliação da recuperação de áreas degradadas por exploração de cascalho laterítico por meio da incorporação de lodo de esgoto. Estudo de caso no Distrito Federal. **Brazilian Journal Of Animal And Environmental Research**, [S.L.], v. 5, n. 3, p. 2973-2984, 5 ago. 2022. South Florida Publishing LLC. <http://dx.doi.org/10.34188/bjaerv5n3-030>.

TEIXEIRA, Paulo César; CAMPOS, David Vilas Boas de; SALDANHA, Marcelo Francisco Costa. PH do Solo. In: TEIXEIRA, Paulo César *et al.* **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Brasília: Rev. e Ampl., 2017. p.199-202.

Tiwari, M.K., Guha, S., Harendranath, C.S. *et al.* Influence of extrinsic factors on granulation in UASB reactor. *Appl Microbiol Biotechnol* 71, 145–154 (2006). <https://doi.org/10.1007/s00253-006-0397-3>

TONETI *et al.* Uso de lodo de estação de tratamento de esgoto no desenvolvimento de espécimes vegetais utilizadas para a recuperação de áreas degradadas. **Revista Dae**, [S.L.], v. 68, n. 227, p. 117-131, 21 out. 2020. Revista DAE. <http://dx.doi.org/10.36659/dae.2020.085>.

TONTTI, Tiina; POUTIAINEN, Hannu; HEINONEN-TANSKI, Helvi. *Efficiently Treated Sewage Sludge Supplemented with Nitrogen and Potassium Is a Good Fertilizer for Cereals*. **Land Degradation & Development**, [S.L.], v. 28, n. 2, p. 742-751, 27 maio 2016. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.2528>.

USEPA. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Biosolids. 2017. Disponível em: <<https://www.epa.gov/biosolids>> Acesso em: 22 de agosto de 2022.

United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD); World Investment Report 2014 Investing in the SDGs: an Action Plan; **UNISDR**: Genebra, 2014, cap. 4.

VERSIANI, Betina Maciel. **Desempenho de um reator UASB submetido a diferentes condições operacionais tratando esgotos sanitários do campus da UFRJ**. 2005. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Ciências em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

VITOR, Gabriel Alves *et al.* Saúde e saneamento no Brasil: uma revisão narrativa sobre a associação das condições de saneamento básico com as doenças de veiculação hídrica. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 10, n. 15, p. 1-12, 2 dez. 2021. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i15.22913>.

VIANA, Athos Rodrigues Soares. **Produção de grão-de-bico adubado com fertilizantes organominerais de lodo de esgoto**. 2022. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Produção Vegetal, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2022.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 4. ed. Minas Gerais: UFMG, 2014. 452 p.

WANG, C.; GENG, Y.; CHENG, L. MAO, Y. Speciation, mass loadings, and fate of phosphorus in the sewage sludge of China. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 25, p. 35531–35537, out. 2018a.

WATER UK. Sludge management. Disponível em: <<https://www.water.org.uk/policy/>>

WEI, Liangliang *et al.* Development, current state and future trends of sludge management in China: based on exploratory data and co2-equivalent emissions analysis. **Environment International**, [S.L.], v. 144, p. 106093, nov. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2020.106093>.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (OMS). . **Guidelines on sanitation and health**. Genebra: Cip Data, 2018. 220 p.

YETILMEZSOY, Kaan; SAKAR, Suleyman. *Development of empirical models for performance evaluation of UASB reactors treating poultry manure wastewater under different operational conditions*. **Journal Of Hazardous Materials**, [S.L.], v. 153, n. 1-2, p. 532-543, maio 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.08.0>

ZUBA JUNIOR, Geraldo Ribeiro *et al.* Processos de geração e destinação do lodo de esgoto. **Vozes dos Vales**, Minas Gerais, n. 18, p. 1-16, out. 2020.

ZANATTA, Maraline Conservani Klingohr. **Caracterização da toxicidade de lodos de estação de tratamento de esgoto com vistas a sua aplicação agrícola**. 2014. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestra em Tecnologia, Uiversidade Estadual de Campinas, Limeira, 2014.