

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE BIOLOGIA
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

BIANCA GONZAGA ARANTES SILVA

**BIOMARCADORES MORFO-FISIOLÓGICOS EM CEDRO ROSA
(*Cedrela fissilis*) EXPOSTOS AO LODO DE ESGOTO SANITÁRIO DE
UBERLÂNDIA (MG)**

**UBERLÂNDIA
2023**

BIANCA GONZAGA ARANTES SILVA

**BIOMARCADORES MORFO-FISIOLÓGICOS EM CEDRO ROSA
(*Cedrela fissilis*) EXPOSTOS AO LODO DE ESGOTO SANITÁRIO DE
UBERLÂNDIA (MG)**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Uberlândia, como parte das exigências para a
obtenção do título de Licenciatura em Ciências
Biológicas.

Orientadora: Profa. Dra. Jeanylle Nilin

UBERLÂNDIA
2023

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

S586 Silva, Bianca Gonzaga Arantes, 2001-
2023 BIOMARCADORES MORFO-FISIOLOGICOS EM CEDRO ROSA
(Cedrela fissilis) EXPOSTOS AO LODO DE ESGOTO SANITÁRIO
DE UBERLÂNDIA (MG) [recurso eletrônico] / Bianca Gonzaga
Arantes Silva. - 2023.

Orientadora: Jeanylle Nilin Gonçalves.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Uberlândia, Graduação em
Ciências Biológicas.

Modo de acesso: Internet.
Inclui bibliografia.

1. Biologia. I. Gonçalves, Jeanylle Nilin, 1982-,
(Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia.
Graduação em Ciências Biológicas. III. Título.

CDU: 573

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

BIANCA GONZAGA ARANTES SILVA

**BIOMARCADORES MORFO-FISIOLÓGICOS EM CEDRO ROSA
(*Cedrela fissilis*) EXPOSTOS AO LODO DE ESGOTO SANITÁRIO DE
UBERLÂNDIA (MG)**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Uberlândia, como parte das exigências para a
obtenção do título de Licenciatura em Ciências
Biológicas.

Orientadora: Profa. Dra. Jeanylle Nilin

Uberlândia. 23 de Novembro de 2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Jeanylle Nilin- UFU/INBIO

Prof. Dra. Maria Cristina Sanches- UFU/INBIO

Me. Maria Gabriela Franco de Lima- Externo

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Gidelmar e Cristina, ao meu irmão Lucas, minha vó Janira e família por me apoiarem em todos os momentos e me proporcionarem vivenciar a graduação de forma completa, sempre me incentivando e contribuindo para que eu dedique o melhor de mim em cada passo dado. Amo vocês demais.

Ao meu namorado Raynier, por me acompanhar em cada passo desse trabalho, por me auxiliar e me incentivar todos os dias a continuar, e claro, me levando para aguardar minhas plantinhas todos os dias.

Ao meu cachorro Bentinho por sempre estar ao meu lado em todos os momentos, por me acompanhar durante a pandemia e em todo processo de escrita desse trabalho e por ser minha fonte de apoio.

À Prof.^a Jeamylyle por me acolher em seu laboratório, proporcionando muito ensinamento ao longo dos anos, tanto científico quanto para a vida, agradeço a paciência e a confiança.

Às Professoras Maria Cristina e Juliana pela paciência e dedicação ao trabalho, pela ajuda em cada momento.

Ao Caio e a Maria Gabriela por me acompanharem em cada passo desse trabalho, sempre sendo solícitos quando necessário, agradeço por estarem comigo desde sempre e fazer parte desse trabalho, não sei o que seria de mim e esse TCC sem vocês.

Aos meus amigos, por me ajudarem quando foi necessário, escutando minhas tristezas e alegrias, me mantendo no caminho certo.

Aos que fizeram parte da minha graduação, mas não foi possível estar nesse momento por diferentes motivos, eu agradeço vocês.

Ao DMAE pelo fornecimento das amostras para o trabalho e assistência durante a coleta.

A Universidade Federal de Uberlândia e o INBIO-UFU pelo acolhimento no curso, assistência durante a graduação e as oportunidades oferecidas.

RESUMO

A coleta e tratamento de esgoto desempenham um papel crucial no saneamento básico, visando à saúde pública e à conservação dos recursos naturais. O destino adequado do lodo de esgoto (LE) gerado torna-se uma preocupação, pois possui em sua composição diferentes compostos potencialmente tóxicos, além de microrganismos patogênicos. Uma alternativa é a aplicação do LE na agricultura, devido à sua riqueza em material orgânico e nutrientes, mas é preciso conhecer o potencial tóxico para os organismos de solo. Considerando a possibilidade da aplicação do LE sanitário para recuperação de áreas degradadas e a utilização do Cedro Rosa (*Cedrela fissilis*) devido seu potencial desenvolvimento em solos contaminados, o objetivo deste trabalho foi analisar as alterações morfofisiológicas após o plantio de sementes e de mudas em substratos contendo o LE de Uberlândia, Minas Gerais. Nos experimentos foram utilizados tratamento contendo solo, LE, solo+LE (50%), lodo de esgoto estabilizado com cal (LEE) e solo+LEE (50%). A germinação de sementes ocorreu apenas no solo e solo+LEE (50%), com 7 e 6 plantas germinadas, respectivamente, após 60 dias de exposição. Já na exposição das mudas durante três meses foi observado bom desenvolvimento em todas as exposições. Foi constatado que a maior taxa de assimilação de CO₂ para o tratamento solo+LE, não havendo diferença significativa ($p \leq 0,05$) para as taxas de transpiração ($E \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e a condutância estomática ($gs \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). A área foliar demonstrou que os tratamentos contendo LE e LEE apresentaram médias superiores em relação ao solo, contudo, apenas o solo+LE apresentou diferença significativa. Então, foi identificado potencial tóxico do LE para germinação de sementes, mas quando estabilizado e misturado com solo (50%) promoveu a germinação do cedro. Entretanto, o LE e LEE foram promissores no desenvolvimento das mudas em todas as exposições, não causando efeitos adversos nas condições fisiológicas estudadas.

Palavras chaves: poluição do solo, biossólido, fitotoxicidade.

ABSTRACT

The collection and treatment of sewage play a crucial role in basic sanitation, aiming at public health and the conservation of natural resources. The proper disposal of sewage sludge (SS) generated becomes a concern as it contains different potentially toxic compounds and pathogenic microorganisms. An alternative is the application of SS in agriculture due to its richness in organic material and nutrients, but it is necessary to understand the toxic potential for soil organisms. Considering the possibility of using sanitary SS for the recovery of degraded areas and the use of Cedro Rosa (*Cedrela fissilis*) due to its potential development in contaminated soils, the objective of this study was to analyze morphophysiological changes after planting seeds and seedlings in substrates containing SS from Uberlândia, Minas Gerais. The experiments used treatments containing soil, SS, soil+SS (50%), sewage sludge stabilized with lime (SSL), and soil+SSL (50%). Seed germination occurred only in soil and soil+SSL (50%), with 7 and 6 germinated plants, respectively, after 60 days of exposure. In the exposure of seedlings for three months, good development was observed in all exposures. It was found that the highest assimilation rate of CO₂ was for the soil+SS treatment, with no significant difference ($p \leq 0.05$) for transpiration rates ($E \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) and stomatal conductance ($g_s \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Leaf area showed that treatments containing SS and SSL had higher averages than the soil; however, only soil+SS showed a significant difference. Thus, toxic potential of SS was identified for seed germination, but when stabilized and mixed with soil (50%), it promoted cedar germination. However, SS and SSL were promising in the development of seedlings in all exposures, causing no adverse effects on the studied physiological conditions.

Keywords: Soil pollution, Biosolid, Phytotoxicity

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1.** Coleta de lodo de esgoto na estação de tratamento de esgoto doméstico de Uberlândia-MG utilizando-se baldes.9
- Figura 2.** Lodo de esgoto da Estação de Tratamento de Esgoto Uberabinha (Uberlândia, MG) misturado com cal estabilizando no sol..... 10
- Figura 3.** Solo utilizado neste experimento coletado na fazenda experimental do Campus Glória, pertencente à Universidade Federal de Uberlândia (UFU), localizada no município de Uberlândia, MG. 10
- Figura 4.** Cuba de inox tendo como base de drenagem bolas esféricas de vidro e saída de drenagem com mangueira. 11
- Figura 5.** Montagem das cubas com amostras lodo de esgoto da Estação de Tratamento de Esgoto Uberabinha (Uberlândia, MG. solo (A), solo+ lodo de esgoto (B), solo+ lodo de esgoto estabilizado com cal (C), lodo de esgoto estabilizado com cal (D), lodo de esgoto (E)..... 12
- Figura 6.** Tubetes contendo sementes de Cedro (*Cedrela fissilis*) em substrato comercial (a); Tubetes contendo plântulas de Cedro Rosa em substrato comercial após 3 meses (b)..... 13
- Figura 7.** Mudanças de cedro (*Cedrela fissilis*) transplantadas após 3 meses nos tubetes. As cubas seguem a sequência da esquerda para a direita: solo; solo+LE; solo+LEE; LEE da Estação de Tratamento de Esgoto Uberabinha (Uberlândia, MG). 14
- Figura 8.** Medidor de troca gasosa foliar em sistema aberto portátil IRGA (LcPro-ADC Hoddesson UK) conectado à câmara foliar PLC4 (B) (6,25 cm²)..... 15
- Figura 9.** Software Image J versão 1.54d utilizado neste trabalho para análise da área foliar de cedro (*Cedrela fissilis*) expostas ao lodo de esgoto sanitário da ETE Uberabinha..... 15
- Figura 10.** Ensaio de germinação com cedro (*Cedrela fissilis*) expostos ao solo (A). solo + lodo de esgoto (B). solo + lodo de esgoto estabilizado (C). Lodo de esgoto estabilizado (D). Lodo puro (E) da Estação de Tratamento de Esgoto Uberabinha (Uberlândia, MG)..... 18

Figura 11. Número de sementes de cedro (*Cedrela fissilis*) germinadas expostas ao solo, e ao solo + lodo de esgoto estabilizado (LEE) da Estação de Tratamento de Esgoto Uberabinha (Uberlândia, MG). 18

Figura 12. Altura e diâmetro do caule de Cedro (*Cedrela fissilis*) (média ± desvio padrão) . LEE: Lodo de esgoto estabilizado com Cal. LE: Lodo de esgoto da Estação de Tratamento de Esgoto Uberabinha (Uberlândia, MG). Os valores não se diferenciam no teste t ($p \leq 0,05$)..... 19

Figura 13. Bandejas contendo cedro (*Cedrela fissilis*) no último dia de experimento. Sendo da esquerda para a direita: solo(controle), solo + lodo de esgoto, solo + lodo de esgoto estabilizado, lodo de esgoto estabilizado da Estação de Tratamento de Esgoto Uberabinha (Uberlândia, MG).20

Figura 14. Taxas de assimilação de CO₂ (ACO₂) (a), condutância estomática (gs) (b) e taxas de transpiração (E) (c) em plantas de cedro (*Cedrela fissilis*) expostas durante três meses aos tratamentos (LE- Lodo de esgoto; LEE- Lodo de esgoto estabilizado) da Estação de Tratamento de Esgoto Uberabinha (Uberlândia, MG). Os valores seguidos de letras diferentes são estatisticamente diferentes de acordo com o teste de Kruskal-Wallis seguido do teste de Dunn ($p < 0,05$).21

Figura 15. Área foliar total de Cedro (*Cedrela fissilis*). LEE: Lodo de esgoto estabilizado com Cal. LE: Lodo de esgoto da Estação de Tratamento de Esgoto Uberabinha (Uberlândia, MG). Os valores seguidos de letras diferentes são estatisticamente diferentes de acordo com o teste de Kruskal-Wallis seguido do teste de Dunn ($p < 0,05$).22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características dos principais níveis de tratamento de esgoto. Fonte: Von Sperling, 1996 (adaptado). 3

Tabela 2- Dados químicos do lodo de esgoto da Estação de Tratamento de Esgoto Uberabinha (Uberlândia, MG) fornecidos pelo Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE), referência a Standard Methods for Examination of Water and Wastewater - 23ª Edition 2017. NBR 10006:2004: Limite Máximo Permitido pela NBR 10006:2004. Os valores em negrito demonstram as concentrações que estão em níveis altos em comparação com a NBR10006/04. 17

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	8
2.1. GERAL	8
2.2. ESPECÍFICOS	8
3. METODOLOGIA	9
3.1. COLETA DAS AMOSTRAS DE LODO E SOLO.....	9
3.4. ENSAIO DE DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE CEDRO ROSA	13
3.5- ANÁLISES DOS BIOMARCADORES	14
3.6- ANÁLISES DOS DADOS	15
4. RESULTADOS	17
5- DISCUSSÃO	23
6. CONCLUSÃO	27
7- REFERÊNCIAS	28

1- INTRODUÇÃO

O saneamento básico é definido em um conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais, que no Brasil, quem estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico é a Lei nº 11.445/2007 (Brasil, 2007). Esta se divide em quatro componentes essenciais: Abastecimento de água potável, que engloba a captação, distribuição e manutenção das infraestruturas necessárias para fornecer água potável à população; esgotamento sanitário, que inclui a coleta, transporte, tratamento e disposição adequada dos esgotos sanitários, além da manutenção; limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, que abrange a coleta, varrição, transporte, tratamento e destinação ambientalmente correta dos resíduos sólidos domiciliares e urbanos; e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, que envolve a gestão das águas pluviais, incluindo sistemas de drenagem, retenção de cheias e o tratamento das águas pluviais, juntamente com a manutenção das redes correspondentes. Esses componentes são fundamentais para garantir um ambiente saudável e adequado para a população (Brasil, 2007). Quando as condições de acesso ao saneamento básico ou à infraestrutura é inadequado, provocam efeitos negativos na população, como infecções de origem fecal-oral, por exemplo diarreia, infecções por helmintos e Doenças transmitidas por vetores de insetos (vetores se reproduzem em fezes ou água contaminada por fezes): Além disso, o descarte incorreto provoca no meio ambiente a contaminação de solos, mananciais de água e até mesmo do ar atmosférico (Garcia; Ferreira, 2017).

Regulamentado pela lei, surge o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), que abrange diversos elementos essenciais. Ele estabelece metas e objetivos de curto, médio e longo prazos para a universalização dos serviços de saneamento, bem como diretrizes para enfrentar desafios político-institucionais, financeiros e tecnológicos. Além disso, o plano propõe programas e ações para alcançar os objetivos, identificando fontes de financiamento e considerando áreas turísticas. Também inclui procedimentos para avaliar a eficiência das ações. O propósito é melhorar significativamente o acesso a serviços de saneamento em todo o território nacional, integrando-se a outras políticas públicas e promovendo uma visão de longo prazo (Brasil, 2007).

A coleta e o tratamento de esgotos desempenham um papel fundamental para o saneamento básico, que tem por objetivo garantir a saúde pública e conservar os recursos naturais, também possui um papel importante na prevenção da poluição e da contaminação do meio ambiente. Nas residências, a maior parte da água utilizada para lavar roupas, louças e para a higiene pessoal acaba se transformando em esgoto, que é a água com impurezas, estas por sua vez podem ser caracterizadas de acordo com suas propriedades físicas, que estão relacionadas ao tamanho e ao estado das impurezas, as propriedades químicas que se referem a substâncias que têm o carbono como elemento principal, sendo orgânicas, ou não têm o carbono como elemento principal, sendo inorgânicas. E as propriedades biológicas que envolvem organismos vivos (microrganismos) que podem ou não causar doenças. Portanto, ao descartar essa água em banheiros, pias e ralos, as pessoas introduzem materiais orgânicos e químicos que a poluem. O procedimento ideal é que essa água seja descartada e recolhida por um sistema de esgoto sanitário. Nesse contexto, há uma estrutura cujo propósito é coletar e encaminhar o esgoto para uma instalação onde será submetido a um tratamento apropriado antes de ser lançado em corpos d'água que possam servir como fontes de abastecimento para outras localidades (Brasil, 2022).

Com o aumento da população e expansão das áreas urbanas e rurais há uma preocupação com o destino correto do esgoto gerado. Dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) de 2021 mostram que de todo esgoto produzido, cerca de 51,2% é tratado (Brasil, 2022). Existem algumas alternativas individuais, como fossa séptica, fossa rudimentar, vala a céu aberto e lançamento em cursos d'água em locais nos quais não contam com o tratamento correto de esgoto. No entanto, apenas a fossa séptica é considerada adequada de acordo com o PLANSAB (Brasil, 2022).

No Brasil, 2787 municípios contam com sistema público de esgotamento sanitário (Brasil, 2022), nesses municípios, o esgoto é coletado através de tubulações presentes em indústrias, residências e comércios que são direcionadas para as redes coletoras, que enfim enviam todo este volume para as Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs). As ETEs possuem a função de tratar o esgoto e produzem a partir disso, um composto rico em matéria orgânica sólida e nutrientes chamado Lodo de Esgoto (LE) (Bettiol; Camargo, 2006). Ao chegar na ETE o esgoto por três etapas: a preliminar, primária, secundária. Na etapa preliminar o efluente passa pela remoção de sólidos grosseiros, que podem ser feitos através de grades de barras e de peneiras,

podendo ser manual ou mecanizadas. Logo após vem a remoção de areia, através das câmaras de areia. A etapa primária visa à remoção dos sólidos flutuantes, em suspensão e sedimentáveis, como óleos e graxas, através de decantadores primários, peneiras ou flutuadores, portanto isso é feito através de tanques de sedimentação, que podem ser circulares ou retangulares, nesta etapa os sólidos depositam-se no fundo, chamado de lodo primário bruto, este por sua vez vai ser removido por um tubo em tanques de pequeno porte ou através de raspadores mecânicos e bombas em tanques maiores. A eficiência do tratamento primário na remoção de sólidos em suspensão pode ser aprimorada pela adição de coagulantes. Isso é chamado de tratamento primário avançado ou tratamento primário quimicamente aprimorado, esses coagulantes podem ser sulfato de alumínio, cloreto férrico ou outros, auxiliados ou não por um polímero. O lodo primário pode ser digerido por digestores convencionais, mas em alguns casos, também pode ser estabilizado com cal. Os tanques sépticos e suas variantes, como os tanques Imhoff, podem ser utilizados no tratamento primário, são essencialmente tanques de sedimentação, nos quais os sólidos sedimentáveis são removidos para o fundo. Esses sólidos (lodo) permanecem no fundo dos tanques por um longo período (vários meses), o que é suficiente para sua digestão. Essa estabilização ocorre em condições anaeróbias, ou seja, na ausência de oxigênio (Von Sperling, 2005).

O principal objetivo do tratamento secundário é a remoção da matéria orgânica, é realizada através de reações bioquímicas realizadas por microrganismos, eles convertem a matéria orgânica em dióxido de carbono, água e material celular. Os principais sistemas de tratamento de lodo de esgoto a nível secundário são: lagoas de estabilização, lodos ativados, sistemas aeróbios com biofilmes, sistemas anaeróbios e disposição no solo. Na Tabela 1 contém os principais níveis de tratamento de esgoto (Von Sperling, 2005).

Tabela 1: Características dos principais níveis de tratamento de esgoto. Fonte: Von Sperling, 1996 (adaptado).

Item	Níveis de tratamento		
	Preliminar	Primário	Secundário
Poluentes removidos	Sólidos grosseiros	Sólidos sedimentáveis DBO em suspensão	Sólidos não sedimentáveis DBO em suspensão fina DBO solúvel Nutrientes (parcialmente) Patogênicos (parcialmente)

Eficiência de remoção	-	SS: 60-70% DBO: 30-40% Coliformes: 30-40%	DBO: 60-99% Coliformes: 60-99% Nutrientes: 10 a 50%
Mecanismo de tratamento predominante	Físico	Físico	Biológico
Cumprir padrão de lançamento? *	Não	Não	Usualmente sim
Aplicação	Montante de elevatória Etapa inicial de Tratamento	Tratamento parcial Etapa intermediária de tratamento mais completo	Tratamento mais completo para matéria orgânica e sólidos em suspensão (para nutrientes e coliformes, com adaptações ou inclusões de etapas específicas)

* Padrão de lançamento tal como expresso na legislação. O órgão ambiental poderá autorizar outros valores para o lançamento, caso estudos ambientais demonstrem que o corpo receptor continuará enquadrado dentro da sua classe.

Uma vez que o lodo é produzido, é necessário removê-lo da fase líquida. No entanto, nem todos os sistemas de tratamento de águas residuais precisam da remoção contínua dessa biomassa. Alguns sistemas de tratamento podem armazenar o lodo ao longo de toda a vida útil das instalações (por exemplo, lagoas facultativas), outros requerem apenas uma retirada ocasional (por exemplo, reatores anaeróbios) e outros exigem a remoção contínua ou muito frequente (por exemplo, lodo ativado) (ABNT, 2011; Von Sperling, 2005). O LE é tratado e processado na etapa de fase sólida, de onde é removido ou descartado, seguindo rotas de disposição final ou reutilização (Von Sperling, 2005).

O LE é formado por matéria orgânica, em média composto de 99,99% de água e 0,01% de sólidos, subdivididos em 70% de orgânicos (proteínas, carboidratos e lipídeos) e 30% de inorgânicos (areia, sais e metais) (Bettiol; Camargo, 2006; Lima et al., 2011). Contudo, mesmo após ser tratado, por ser formado de esgoto proveniente da atividade humana, o LE apresenta concentração de microrganismos, alguns patógenos como: helmintos, protozoários, fungos, vírus e as bactérias e concentrações de metais em sua composição, mas em concentrações reduzidas que não desempenham riscos à saúde da população (Lima et al., 2011). Após passar métodos de tratamento, o lodo resultante é comumente referido como "biossólido", que são geralmente submetidos à incineração ou depositados em aterros sanitários (Silva; Pinto, 2010; USEPA, 1995).

A cidade de Uberlândia, situada no sudeste do Brasil, localizada no estado de Minas Gerais, na região denominada Triângulo Mineiro, possui sete ETEs - Aclimação, Cruzeiro dos Peixotos, Martinésia, Tapuirama, Miraporanga, Ipanema, Marielza e Uberabinha- sendo a ETE Uberabinha a principal estação do município, localizada no setor industrial da cidade, elaborada para atender apenas efluentes domésticos, com capacidade máxima de 2200 L/s. As estações dos bairros Aclimação e Ipanema são responsáveis pelos efluentes industriais, possuem a capacidade de 50 e 26L/s respectivamente. As ETEs Cruzeiro dos Peixotos, Martinésia, Tapuirama, Miraporanga, Marielza são responsáveis pela coleta de efluentes dos distritos que seguem o mesmo nome da ETE, e possuem a capacidade de 2,5 L/s, 2,5L/s, 8,5L/s, 1L/s e 3 L/s respectivamente (Prefeitura de Uberlândia,2023).

O *ranking* do Saneamento do Instituto Trata Brasil tem como propósito a atualização do Ranking de Saneamento, uma publicação que está em circulação desde 2007 sob a responsabilidade do Instituto Trata Brasil. O *ranking* tem desempenhado um papel crucial ao destacar a lentidão no progresso dos serviços de acesso à água, coleta e tratamento de esgoto no Brasil. Ele destaca claramente que a universalização desses serviços é improvável de acontecer sem um engajamento mais significativo por parte dos provedores de serviços e sem um comprometimento mais firme por parte dos governos federal, estaduais e municipais (Trata Brasil, 2022). De acordo com o *ranking*, Uberlândia conquistou uma posição de destaque entre as 20 melhores cidades do país nesse aspecto, ocupando a segunda posição nacional. Essa distinção reflete a excelência dos serviços de saneamento básico oferecidos na cidade, sendo analisados indicadores críticos, incluindo abastecimento de água, esgotamento sanitário, tratamento de esgoto e redução de perdas (Trata Brasil, 2022). O tratamento de esgoto na cidade de Uberlândia inclui uma etapa preliminar que remove sólidos grossos e areia que acompanham as águas residuais, uma etapa de reator anaeróbio que reduz a carga orgânica presente nas águas residuais, convertendo parte em lodo digerido e parte em biogás, possui um canal de flotação que inclui processos físico-químicos, incluindo coagulação, floculação e injeção de microbolhas. O resultado é a flotação do lodo, que é direcionado para instalações de desidratação, enquanto o efluente tratado é lançado no rio Uberabinha. Por fim, a desidratação do lodo, na qual o teor de umidade produzido nas etapas anteriores é reduzido. Atualmente, 1500 toneladas de lodo por mês são desidratadas na ETE

Uberabinha e encaminhado para aterro sanitário, localizado na BR 452 no setor industrial (Prefeitura de Uberlândia, 2023).

O descarte correto desse lodo torna-se uma preocupação para as ETEs, uma vez que os aterros sanitários não comportarão todo o lodo gerado em grandes populações. Por isso, torna-se importante pensar em alternativas para o descarte deste, entre elas a utilização deste lodo na produção de cerâmicas e cimento, a incineração, conversão em óleo combustível, recuperação de áreas degradadas e de mineração, e o uso agrícola e florestal (Bettiol; Camargo, 2006; Silva; Pinto, 2010, 2010; Yagmur; Arpali; Gulser, 2017)

A utilização do LE na agricultura é uma das melhores alternativas, pelo fato dele ser rico em material orgânico e nutrientes para as plantas como o nitrogênio, porém existem no lodo compostos que podem ser patogênicos a humanos e metais pesados (Bettiol; Camargo, 2006). Com isso, a resolução CONAMA Nº 498/2020 possui diretrizes para regular o uso do lodo no solo, ela está condicionada ao cumprimento das diretrizes relativas aos organismos com potencial patogênico, como protozoários, ovos de helmintos, vírus e bactérias. Além disso, a resolução requer a observação rigorosa em relação à concentração de metais, para isso existem algumas medidas como: O LE deve ser tratado e estabilizado; deve ser submetido a análises laboratoriais para avaliação de sua qualidade; deve ser aplicado em quantidades que não prejudiquem a saúde humana e animal, nem o meio ambiente; e deve ser aplicado em solos que possuam pH e teor de nutrientes adequados para o desenvolvimento das culturas (Brasil, 2020). Essas medidas são essenciais para assegurar a segurança ambiental e a saúde pública durante o uso do lodo no solo.

Para aplicação direta no solo é necessária sua estabilização, entre as possibilidades temos a vermicompostagem (Silva et al., 2010), atenuação natural (Santos; Sommaggio; Marin-Morales, 2022) e utilização de cal virgem (Lima et. al, 2011) que tem como função atenuar características que possa afetar a qualidade do solo e da plantação. A utilização de cal virgem é amplamente recomendada como um método eficaz de higienização do lodo de esgoto. Isso ocorre devido ao seu baixo custo e à sua capacidade de interferir na sobrevivência de patógenos, reduzir metais e atuar como corretivo da acidez dos solos (Carvalho et al., 2022; Brasil, 2011). O uso de cal eleva o pH do lodo, resultando em uma redução significativa, aproximadamente 90%, na sobrevivência de patógenos (Carvalho et al., 2022). Estudos têm demonstrado que a estabilização alcalina do lodo de esgoto, por meio da adição de

30% (em peso seco) de cal hidratada, é eficiente na diminuição das concentrações de coliformes termotolerantes (Carvalho et al., 2022; Lima et. al, 201).

Diversos estudos têm comprovado a eficácia da aplicação do lodo em diferentes cultivos, tais como milho (Martins et al., 2018), feijão (Lopes et al., 2020;), e girassol (Ribeirinho et al., 2012). Essas pesquisas evidenciam que o lodo se revela uma alternativa eficaz no crescimento das plantas, desempenhando um papel substitutivo em relação aos fertilizantes comerciais convencionais.

Embora haja pesquisas que explorem o emprego do lodo de esgoto em espécies de plantas destinadas à alimentação humana, também se observam estudos em andamento sobre a aplicação desse resíduo em espécies vegetais com o propósito de recuperar áreas degradadas (Santos; Novak, 2013; Trigueiro; Guerrini, 2014). Essas pesquisas mostram que determinadas espécies, tais como aroeira-pimenteira, araucária, mochoqueiro, taiuveira e cedro têm demonstrado respostas favoráveis à adubação utilizando lodo de esgoto (Santos; Novak, 2013; Silva; Pinto, 2010, Trigueiro & Guerrini, 2014)

O cedro rosa (*Cedrela fissilis* Vell) é uma planta nativa do Brasil, naturalmente encontrada na Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica, na qual possui grande importância econômica no país devido a comercialização da sua madeira (Gabira et al., 2021). Além disso, possui boa recuperação e formação de mudas após serem expostas a substratos contendo metais, como cobre, cádmio, manganês, chumbo, sendo uma espécie com potencial fitorremediador, se tornando uma alternativa viável para germinação e desenvolvimento em lodo de esgoto (Amado; Chaves Filho, 2015). Segundo Lamego e Vidal (2007), para ser uma boa fitorremediadora a planta deve apresentar tais características: crescimento rápido, elevada produção de biomassa, competitividade, vigor e tolerância à poluição. A espécie *C. fissilis* ao ser expostas a solos contaminados possui essas características, como demonstrado em estudos recentes que observaram que em solo contaminado com cobre as plantas conseguiram se desenvolver e remover parte do metal do solo, indicando ser um bom fitorremediador (Covre et al. 2020; De Caires et al., 2011).

Portanto, analisando quão promissor é o desenvolvimento do Cedro Rosa em substratos contendo LE, ainda há necessidade de estudar o efeito desses substratos contendo lodo de esgoto em sementes e mudas de *C. fissilis* para possível utilização em áreas degradadas ou contaminadas.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Considerando a possibilidade da aplicação do lodo de esgoto de sanitário para recuperação de áreas degradadas e a possibilidade de utilização do Cedro Rosa (*Cedrela fissilis*) devido seu potencial desenvolvimento em solos contaminados, o objetivo deste trabalho foi analisar as alterações morfofisiológicas após o plantio de sementes e de mudas de Cedro Rosa em substratos contendo o lodo de esgoto doméstico de Uberlândia, Minas Gerais.

2.2. Específicos

- Verificar se a utilização da cal hidratada como agente sanitizante do lodo afetará o desenvolvimento das sementes e mudas.
- Analisar os efeitos na germinação de sementes e nas respostas fisiológicas das mudas expostas ao lodo bruto e ao estabilizado com cal, tendo solo do cerrado como controle.

3. METODOLOGIA

3.1. Coleta das amostras de lodo e solo

O lodo de esgoto (LE) utilizado neste experimento foi coletado na estação de tratamento de esgoto (ETE) Uberabinha localizada na cidade de Uberlândia-MG pertencente ao Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE), que também forneceu laudos das análises químicas de acordo com a normas da ABNT NBR 10006:2004 (ABNT, 2004).

As amostras de LE foram coletadas diretamente da caçamba de destinação de resíduo com auxílio de pá e baldes plásticos (40L), sendo coletados um total de 100L (Figura 1), sendo a coleta 1 utilizada no ensaio de germinação de sementes e a coleta 2 no ensaio de desenvolvimento de mudas. Após a coleta o LE coletado foi levado para a Universidade Federal de Uberlândia (UFU) Campus Umuarama. Para a atenuação do LE foi utilizado Cal hidratada na proporção de 3 para 1, de acordo com o peso seco do lodo (Lima et al., 2011). Em seguida, o lodo foi deixado exposto ao sol sob lona plástica por sete dias, no experimento de germinação de sementes, e por 15 dias no ensaio de desenvolvimento de mudas, devido a condições de chuva, até completa secagem (Figura 2).



Figura 1. Coleta de lodo de esgoto na estação de tratamento de esgoto doméstico de Uberlândia-MG utilizando-se baldes.



Figura 2. Lodo de esgoto da Estação de Tratamento de Esgoto Uberabinha (Uberlândia, MG) misturado com cal estabilizando no sol.

O solo utilizado neste experimento foi coletado na fazenda experimental do Campus Glória, pertencente a Universidade Federal de Uberlândia (UFU), localizada no município de Uberlândia, MG. As amostras de solo foram coletadas com auxílio de pá e baldes plásticos, totalizando um volume de 100L (Figura 3).



Figura 3. Solo utilizado neste experimento coletado na fazenda experimental do Campus Glória, pertencente à Universidade Federal de Uberlândia (UFU), localizada no município de Uberlândia, MG.

3.2. Ensaio de germinação de sementes de Cedro

O ensaio de germinação foi montado em cubas de inox (325mmx265mm), onde foram dispostas 12 L das amostras de solo (controle), lodo de esgoto (LE), solo+LE (50%), lodo de esgoto estabilizado com cal (LEE) e solo+LEE (50%), tendo como base de drenagem bolas esféricas de vidro e saída de drenagem com mangueira, sendo uma réplica para cada composição (Figura 4). Em cada cuba foram plantadas 10 sementes de Cedro Rosa, totalizando 50 sementes, as sementes plantadas na cuba de lodo de esgoto foram cobertas com uma fina camada de substrato comercial pois o lodo em si não a cobria por ser um material denso. As cubas ficaram na bancada da estufa da do Instituto de Biologia (UFU) com fotoperíodo natural durante todo o experimento (Figura 5). As cubas foram regadas de uma a duas vezes por dia durante 60 dias, sendo feito o acompanhamento diário para verificação de germinação.



Figura 4. Cuba de inox tendo como base de drenagem bolas esféricas de vidro e saída de drenagem com mangueira.



Figura 5. Montagem das cubas com amostras lodo de esgoto da Estação de Tratamento de Esgoto Uberabinha (Uberlândia, MG. solo (A), solo+ lodo de esgoto (B), solo+ lodo de esgoto estabilizado com cal (C), lodo de esgoto estabilizado com cal (D), lodo de esgoto (E).

As sementes foram consideradas germinadas quando as partes aéreas ficaram visíveis acima da superfície do substrato, conforme definido por Brasil (2009). A determinação da porcentagem de germinação foi feita de acordo com o método estabelecido por Labouriau e Valadares (1976).

$$EP (\%) = N/A * 100$$

Onde EP: Emergência de plântulas; N: número de plântulas emergidas; A: número total de sementes colocadas para germinar. Esta análise foi realizada ao final de 60 dias.

A velocidade de emergência foi então contabilizada a partir da análise do total de plântulas emergidas a cada dia e então dividido pelo número correspondente de dias desde a semeadura, conforme metodologia estabelecida por Nakagawa (1999). O cálculo do índice de velocidade de emergência foi realizado de acordo com o modelo proposto por Maguire (1962).

$$IVE = N1/ D1+ N2/ D2+ \dots + Nn/ Dn$$

Onde: IVE = índice de velocidade de emergência; N1:n = número de plântulas emergidas no dia 1, 2,...n; e D = dias para as plântulas emergirem.

Foram analisados também a altura e o diâmetro das plântulas utilizando um paquímetro digital, no qual a altura foi medida do substrato até a gema apical, e o diâmetro foi medido contando dois dedos acima do substrato.

3.4. Ensaio de desenvolvimento de mudas de Cedro Rosa

As mudas de Cedro Rosa foram preparadas a partir do plantio das sementes (n=100) em tubetes com substrato comercial Click mudas®. Os tubetes foram dispostos em estantes próprias na bancada da estufa da do Instituto de Biologia (UFU) com fotoperíodo natural durante todo três meses (Figura 6). Após esse período as mudas foram transferidas para as cubas. Sendo plantadas oito mudas por cubas contendo: solo, solo+LE (50%), e solo+LE estabilizado com cal (LEE) (50%) e LEE, onde permaneceram durante 90 dias (Figura 7), sendo o LE da coleta 2 utilizado nesse experimento. Durante esse período as mudas foram acompanhadas diariamente com irrigação de uma a duas vezes por dia.



Figura 6. Tubetes contendo sementes de Cedro (*Cedrelela fissilis*) em substrato comercial (a); Tubetes contendo plântulas de Cedro Rosa em substrato comercial após 3 meses (b).



Figura 7. Mudas de cedro (*Cedrela fissilis*) transplantadas após 3 meses nos tubetes. As cubas seguem a sequência da esquerda para a direita: solo; solo+LE; solo+LEE; LEE da Estação de Tratamento de Esgoto Uberabinha (Uberlândia, MG).

3.5- Análises dos biomarcadores

Após 90 dias as plantas de Cedro Rosa foram separadas para as análises, sendo quatro delas utilizadas para análise fisiológica. As outras cinco plantas foram separadas para as análises anatômicas que serão feitas futuramente e não estará presente neste trabalho.

Para análise fisiológica foram medidas as taxas máximas de assimilação de CO_2 ($\text{ACO}_2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), as taxas de transpiração ($E \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e a condutância estomática ($g_s \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) utilizando um medidor de gás em sistema aberto portátil IRGA (LcPro-ADC Hoddesson UK) conectado à câmara foliar PLC4 (B) ($6,25 \text{ cm}^2$) (Figura 8). A análise das trocas gasosas foi feita utilizando-se fonte de luz fixada em $1100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ em quatro plantas por tratamento durante o período da manhã (8h30 às 11h). Durante as medições, a temperatura do ar foi de $23 \pm 0,4 \text{ }^\circ\text{C}$ sob luz solar sombreada pela estufa, enquanto a medida de umidade relativa do ar estava em $63 \pm 1\%$.



Figura 8. Medidor de troca gasosas foliares em sistema aberto portátil IRGA (LcPro-ADC Hoddesson UK) conectado à câmara foliar PLC4 (B) (6,25 cm²).

Para avaliação da área foliar as folhas de quatro plantas por cuba foram removidas e separadas, em seguida fotografadas. As imagens digitalizadas foram analisadas com auxílio do *software Image J* versão 1.54d (Figura 9).

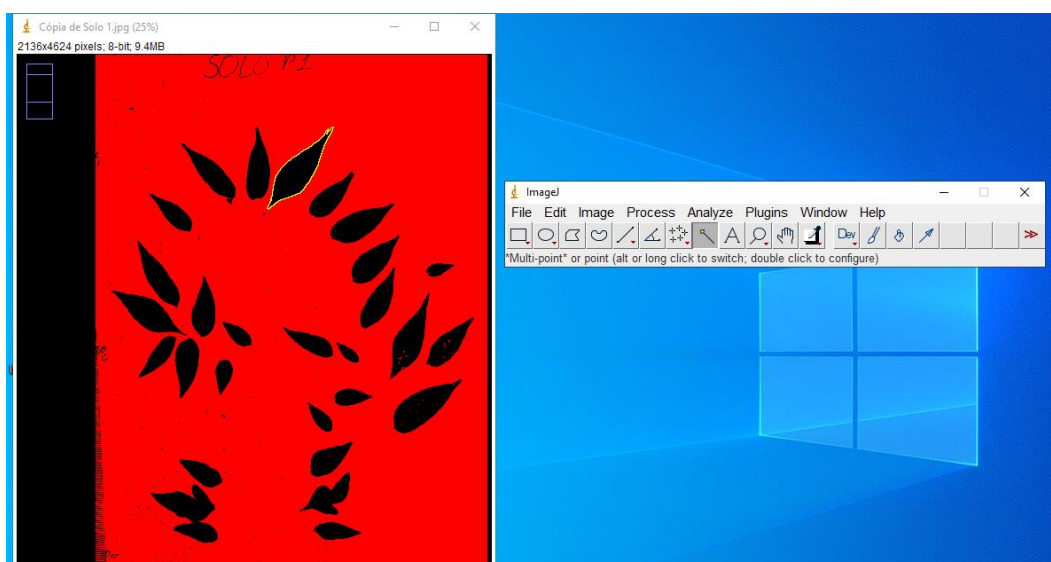


Figura 9. Software Image J versão 1.54d utilizado neste trabalho para análise da área foliar de cedro (*Cedrela fissilis*) expostas ao lodo de esgoto sanitário da ETE Uberabinha.

3.6- Análises dos dados

Para realizar as análises estatísticas, foi utilizado o programa *GraphPad Prism* versão 5.01, e feito o teste de normalidade em todos os experimentos a fim de verificar

a normalidade do conjunto de dados. No experimento de germinação das sementes o Índice de Velocidade de Emergência (IVE), diâmetro e alturas apresentaram normalidade ($\alpha=0.05$) então utilizou-se o teste t seguido a fim de comparar os dois tratamentos entre si

Para o experimento do crescimento das mudas, identificou-se que o conjunto de dados não apresentam normalidade no nível de 5%, logo utilizou-se o teste de teste de Kruskal-Wallis seguido do teste de Dunn de múltiplas comparações (não-paramétrico), com objetivo de comparar todos os tratamentos entre si.

4. RESULTADOS

Analisando os dados enviados pelo DMAE sobre a caracterização química das amostras de lodo dos dois experimentos, foi possível notar diferenças em relação à composição. Na coleta 1 (ensaio de germinação de semente de Cedro) foi registrado valores elevados comparando a NBR 10006/04 para quantidade de alumínio, cádmio, chumbo, cromo, ferro, manganês e zinco, já na coleta 2 (ensaio de desenvolvimento de mudas de Cedro), o alumínio, cromo, ferro, manganês apresentaram valores elevados comparados com a NBR 10006/04 (ABNT, 2004). Em comparação dos resultados das amostrados da coleta 1 com a coleta 2, observa-se diferenças nos valores de alumínio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês, mercúrio, sódio e zinco, sendo na coleta 1 esses valores mais elevados. (Tabela 2). Na coleta 2 é possível identificar que vários compostos não foram possíveis ser identificados, mostrando a heterogeneidade do lodo que chega na estação de tratamento de esgoto.

Tabela 2- Dados químicos do lodo de esgoto da Estação de Tratamento de Esgoto Uberabinha (Uberlândia, MG) fornecidos pelo Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE), referência a Standard Methods for Examination of Water and Wastewater - 23ª Edition 2017. NBR 10006:2004: Limite Máximo Permitido pela NBR 10006:2004. Os valores em negrito demonstram as concentrações que estão em níveis altos em comparação com a NBR10006/04.

Análise	Dados químicos do lodo de esgoto coletado no DMAE		
	Coleta 1	Coleta 2	NBR 10006/04.
Alumínio Total	654,5650 mg/L	34,7778 mg/L	0,2 mg/L
Arsênio Total	< 0,0050 mg/L	< 0,0050 mg/L	0,01 mg/L
Bário Total	0,661 mg/L	< 0,200 mg/L	0,7 mg/L
Cádmio Total	0,00840 mg/L	< 0,00100 mg/L	0,005 mg/L
Chumbo Total	0,06520 mg/L	< 0,00800 mg/L	0,01 mg/L
Cobre Total	1,23390 mg/L	0,03590 mg/L	2 mg/L
Cromo Total	0,9907 mg/L	0,0854 mg/L	0,05 mg/L
Ferro Total	39,820 mg/L	10,771 mg/L	0,3 mg/L
Manganês Total	1,337 mg/L	0,243 mg/L	0,1 mg/L
Mercúrio Total	0,00030 mg/L	< 0,00020 mg/L	0,001 mg/L
Prata Total	< 0,0030 mg/L	< 0,0030 mg/L	0,05 mg/L
Selênio Total	< 0,0050 mg/L	< 0,0050 mg/L	0,01 mg/L
Sódio Total	20,867 mg/L	35,987 mg/L	200 mg/L
Surfactantes	0,17 mg/L	0,26 mg/L	0,5 mg/L
Zinco Total	6,3543 mg/L	0,2519 mg/L	5 mg/L

No ensaio de germinação de sementes de Cedro, após um período de análise de dois meses, foi constatado que somente os tratamentos com solo e solo+LEE apresentaram germinação de sementes com 70% e 60%, respectivamente considerando uma diferença mínima de 10% entre eles (Figura 10). Em relação ao

índice de velocidade de emergência, não houve diferença significativa entre os tratamentos, sendo $0.07731 \pm 0,04724$ para o tratamento solo e $0.06696 \pm 0,02579$ para o tratamento solo+LEE, entretanto o solo apresentou crescimento inicial antes do substrato contendo a mistura (solo+LEE), com diferença de 9 dias entre eles.(Figura 11)



Figura 10. Ensaio de germinação com cedro (*Cedrela fissilis*) expostos ao solo (A). solo + lodo de esgoto (B). solo + lodo de esgoto estabilizado (C). Lodo de esgoto estabilizado (D). Lodo puro (E) da Estação de Tratamento de Esgoto Uberabinha (Uberlândia, MG).

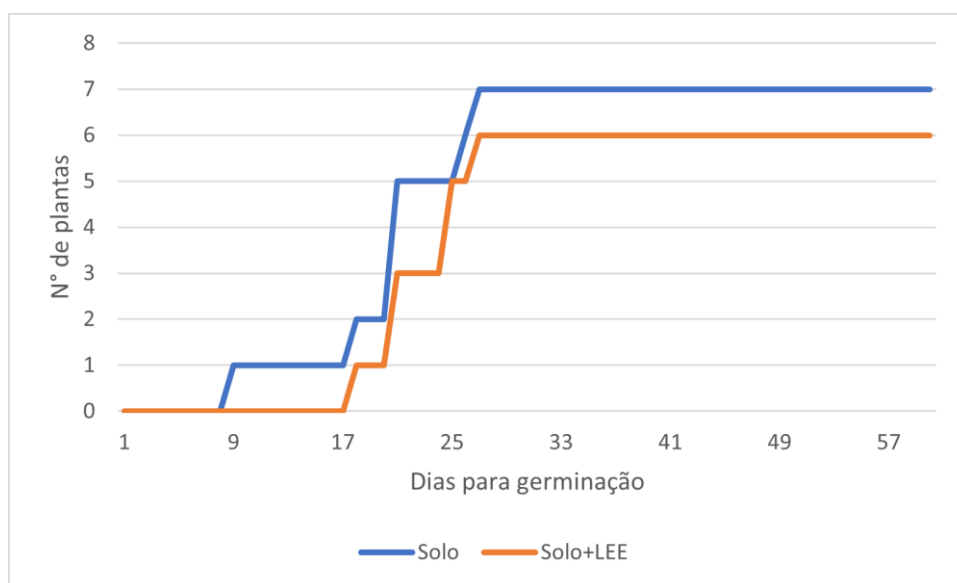


Figura 11. Número de sementes de cedro (*Cedrela fissilis*) germinadas expostas ao solo, e ao solo + lodo de esgoto estabilizado (LEE) da Estação de Tratamento de Esgoto Uberabinha (Uberlândia, MG).

Medições da altura e do diâmetro do caule das plantas foram efetuadas após 60 dias de experimento, sendo a altura média no solo de $65.40 \pm 15,05$ mm e do solo+ LEE de $55.70 \pm 16,80$ mm, não havendo diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos (Figura 12), assim como no diâmetro que apresentou crescimento bastante similar $2.676 \pm 0,3691$ mm no solo e $2.408 \pm 0,3167$ mm no solo+ LEE. Apesar disso, foi perceptível uma leve redução no crescimento no tratamento com lodo estabilizado em relação ao solo, com as plantas cultivadas em solo demonstrando maiores alturas e diâmetros.

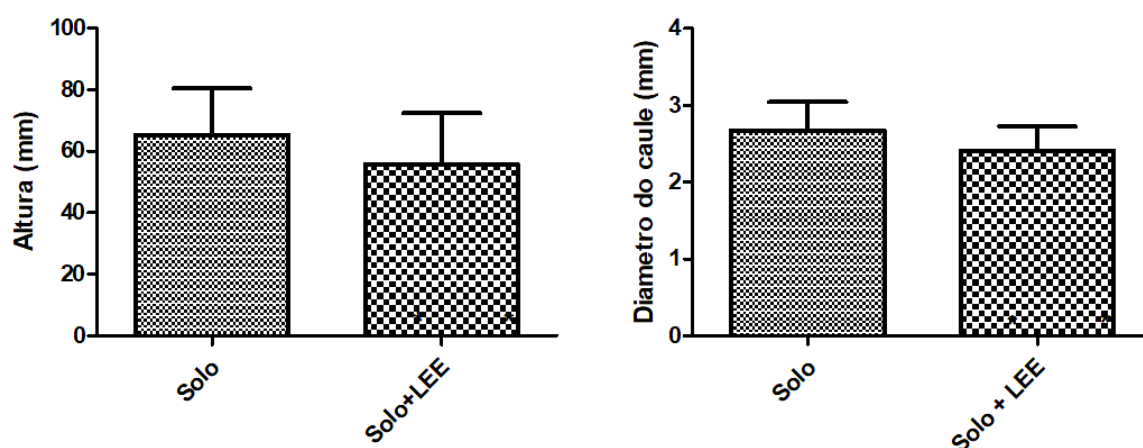


Figura 12. Altura e diâmetro do caule de Cedro (*Cedrela fissilis*) (média \pm desvio padrão) . LEE: Lodo de esgoto estabilizado com Cal. LE: Lodo de esgoto da Estação de Tratamento de Esgoto Uberabinha (Uberlândia, MG). Os valores não se diferenciam no teste t ($p \leq 0,05$)

O ensaio de desenvolvimento de mudas de Cedro foi iniciado após três meses de germinação das sementes, e foram mantidos mais três meses em contato com os tratamentos. Após esse período foi observado que todas as oito mudas sobreviveram em todos os tratamentos, com isso, seguiu-se com o experimento (Figura 13).



Figura 13. Bandejas contendo cedro (*Cedrela fissilis*) no último dia de experimento. Sendo da esquerda para a direita: solo(controle), solo + lodo de esgoto, solo + lodo de esgoto estabilizado, lodo de esgoto estabilizado da Estação de Tratamento de Esgoto Uberabinha (Uberlândia, MG).

Nas análises fisiológicas, foi constatado a maiores taxas de assimilação líquida de CO_2 para o tratamento solo+LE ($5,343 \pm 1,360 \text{ ACO}_2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) enquanto a menor taxa foi registrada para o tratamento LEE ($2,255 \pm 0,6431 \text{ ACO}_2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxas de CO_2 se diferenciando estatisticamente (Figura 14a). Já os demais tratamentos (solo e solo + LEE) não apresentaram diferença entre si ou com os demais. Em relação às taxas de transpiração ($E \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e a condutância estomática ($g_s \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) não apresentaram diferenças estatísticas significativas ao comparar todos os tratamentos entre si, como observado na Figura 14 b e c.

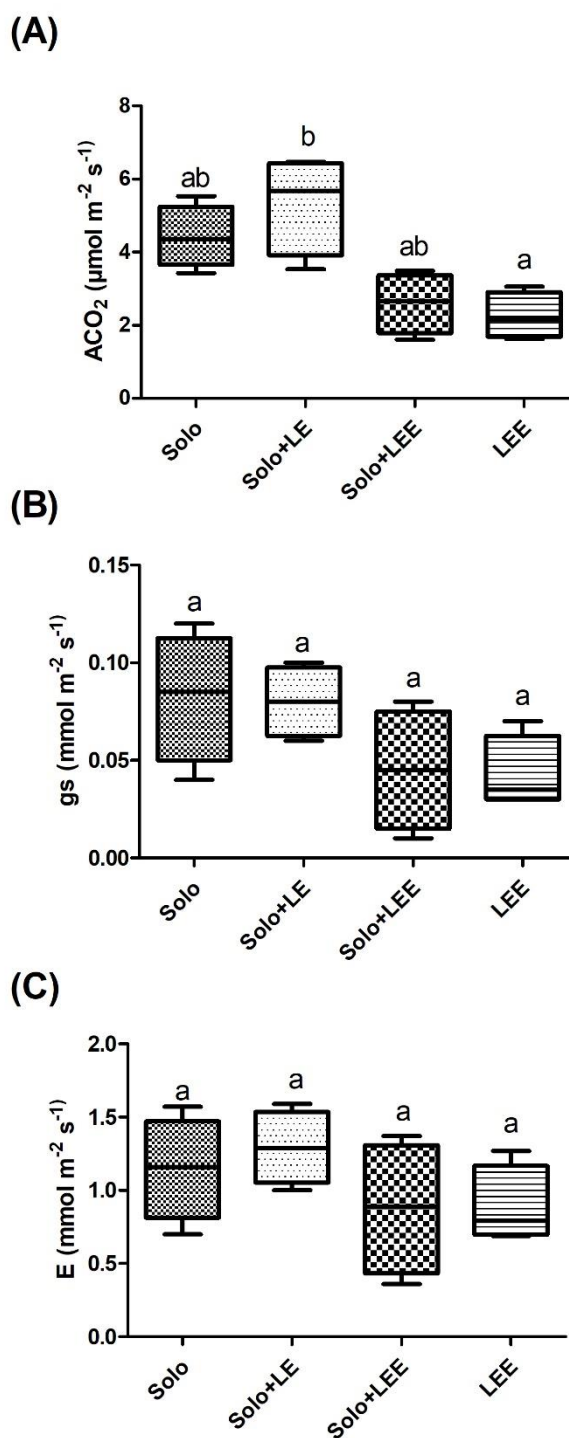


Figura 14. Taxas de assimilação de CO₂ (ACO₂) (a), condutância estomática (gs) (b) e taxas de transpiração (E) (c) em plantas de cedro (*Cedrela fissilis*) expostas durante três meses aos tratamentos (Solo+ Lodo de esgoto (LE); Solo+Lodo de esgoto estabilizado (LEE); LEE) da Estação de Tratamento de Esgoto Uberabinha (Uberlândia, MG). Os valores seguidos de letras diferentes são estatisticamente diferentes de acordo com o teste de Kruskal-Wallis seguido do teste de Dunn ($p < 0,05$).

Em relação a análise da área foliar, foi visto que o tratamento contendo solo apresentou o menor valor ($41,27 \pm 17,28 \text{ cm}^2$) e o tratamento contendo solo+LE apresentou o maior valor ($171,2 \pm 50,22 \text{ cm}^2$) e diferiram entre si estatisticamente, enquanto comparados os outros tratamentos não houve diferenças estatísticas (Figura 15).

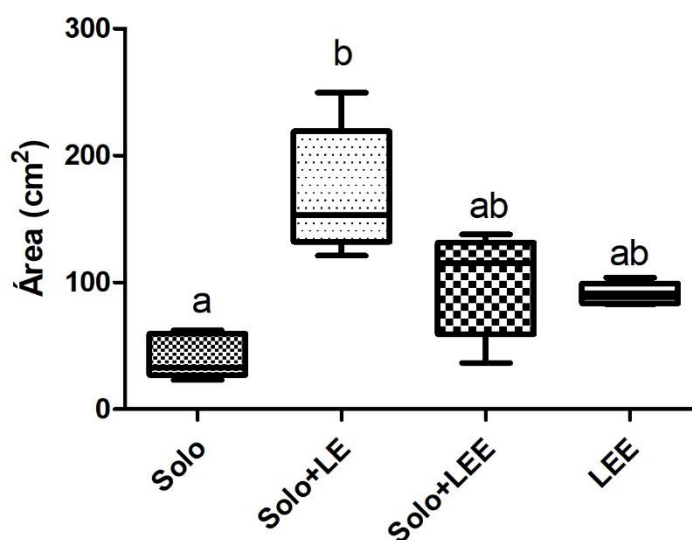


Figura 15. Área foliar total de Cedro (*Cedrela fissilis*). LEE: Lodo de esgoto estabilizado com Cal. LE: Lodo de esgoto da Estação de Tratamento de Esgoto Uberabinha (Uberlândia, MG). (Solo+Lodo de esgoto (LE); Solo+Lodo de esgoto estabilizado (LEE); LEE). Os valores seguidos de letras diferentes são estatisticamente diferentes de acordo com o teste de Kruskal-Wallis seguido do teste de Dunn ($p < 0,05$).

5- DISCUSSÃO

O Cedro Rosa é uma espécie arbórea frequentemente empregada na restauração de áreas degradadas e em ambientes contaminados por metais devido ao seu potencial como fitorremediador. A fitorremediação é uma técnica amplamente aplicada na restauração da vegetação em áreas degradadas, em que as espécies arbóreas desempenham um papel essencial na imobilização de metais nos tecidos das plantas, retardando assim o seu retorno ao solo (Kang et al., 2016). Estudos recentes, como o conduzido por Covre et al. (2020), demonstraram que a espécie *C. fissilis* possui notável potencial de fitorremediação em solos contaminados com cobre (Cu). Esse potencial também se manifesta em espécies relacionadas, como *Khaya ivorensis*, pertencentes à família Meliaceae, o que reforça a capacidade dessa família de ser utilizada na fitorremediação de solos contaminados por metais pesados. Asensio et al. (2018), também chegaram a resultados semelhantes ao observarem a espécie *C. fissilis* como fitorremediador em solos contaminados com Cu.

No presente estudo, o lodo de esgoto utilizado no ensaio de germinação de semente do cedro possui concentrações de metais como alumínio, cádmio, chumbo, cromo, ferro, manganês e zinco maiores do que recomendado pela NBR 10006/04 (ABNT, 2004) (Ver tabela 2) para solubilizado, contudo, esses valores ainda são permitidos CONAMA Nº 498 (BRASIL, 2020) para utilização agrícola do lodo de esgoto. Mesmo assim, a presença de altos níveis de metais no lodo de esgoto pode ter sido o principal fator para as sementes demorarem a se desenvolver no substrato contendo solo+LEE, pois eles possuem alta taxa de toxicidade e podem inibir o crescimento, além de ter efeitos tóxicos para o metabolismo da semente (Santos et al., 2017; Singh et al., 2015). Santos et al. (2017), demonstraram em seus resultados que o manganês (Mn) influencia crescimento de mudas de soja, sendo em altas concentrações (200 e 300 mmol L⁻¹) pode afetar o crescimento, a taxa fotossintética e a massa seca. Resultados de atraso no índice de germinação também ocorreu no estudo de Silva et al. (2017), ao expor sementes de Aroeira-vermelha ao chumbo (Pb). Eles constataram que a contaminação do solo com Pb resultou em um retardo no desenvolvimento das sementes em concentrações a partir de 0,4 mM, alcançando uma inibição máxima em concentrações de 1,0 mM. He et al. (2014) em seu estudo utilizando sementes de arroz expostas ao cádmio (Cd) observaram que o metal causou a inibição do crescimento das plântulas de arroz, resultando em uma redução

significativa na taxa de germinação, no índice de germinação, no índice de vigor, no comprimento da raiz e no comprimento do caule.

O lodo ao ser misturado com a Cal promove a alcalinização do substrato (Carvalho et al., 2022; Lima et. al, 2011). Carvalho et al. (2022) constataram que a mistura de 30% de cal com lodo, considerando seu peso seco, durante duas horas alcançou pH maiores de 12, e ao realizar o teste de coliformes termotolerantes e vírus entéricos foi demonstrado que a cal promoveu a higienização destes, os quais apresentaram valores abaixo da legislação para uso agrícola, demonstrando a eficiência na estabilizado. No experimento de germinação de sementes, a utilização do lodo estabilizado sozinho pode ter afetado o crescimento delas uma vez que o pH elevado pode afetar a disponibilidade de alguns nutrientes como potássio e ferro (Carvalho et al., 2022). Na presente pesquisa a mistura solo+LEE obteve resultados positivos na germinação das sementes, neste caso o solo pode ter suprido a necessidade dos nutrientes que no LEE isolado estariam ausentes. Portanto, esse experimento mostrou que a germinação de sementes de Cedro Rosa em substratos contendo lodo de esgoto puro não se mostrou eficaz, uma vez que não houve germinação, já o lodo de esgoto estabilizado misturado com o solo demonstrou eficiência na germinação das sementes.

O experimento de desenvolvimento de mudas demonstrou resultados eficientes em relação ao desenvolvimento das mudas após a transferência dos tubetes para as cubas contendo substratos diferentes. É notável que todas as oito mudas tenham sobrevivido durante esse período, o que indica uma boa adaptação a essas novas condições. Isso estabelece uma base sólida para a continuação do experimento. Bortolini et al. (2017), obtiveram sucesso na produção de mudas de Cedro Rosa utilizando lodo de esgoto. Em seu estudo, os tratamentos que possuíam 25% e 50% de lodo de esgoto não apresentaram médias superiores em relação ao comprimento de raiz, comprimento da parte aérea, número de folhas, massa seca de raiz, massa seca de parte aérea, diâmetro do coleto, massa fresca da parte aérea e, massa fresca da raiz em comparação ao substrato comercial, indicando a possibilidade de utilizar o lodo de esgoto na produção de mudas, uma vez que não houve diferença em relação ao substrato comercializado. Eles concluíram também que os maiores valores de número de folhas e comprimento de raiz refletiram diretamente sobre a massa seca da parte aérea, diâmetro do coleto e massa seca da raiz. A utilização da mistura de 30% de cal com lodo na proporção de 50% LEE e 50% solo apresentou médias

menores comparadas ao solo e solo+LE. Por fim, os autores observaram que os parâmetros analisados para o cedro após 90 dias, com exceção da massa fresca da parte aérea, apresentaram resultados melhores ao misturar 25% lodo de esgoto + 75% substrato.

Kuinchtner et al. (2021), encontraram que ao expor mudas cedro (*C. fissilis*) ao alumínio (Al) a resistência das plântulas em substrato contendo concentrações de até 50 mg L⁻¹, uma concentração 1,47 vezes maior do que a quantidade de Al presente no lodo da ETE Uberabinha coletado para o experimento de desenvolvimento de mudas. Já em concentrações de 100 mg L⁻¹ foi possível observar alterações morfofisiológicas, como redução da biomassa da raiz e das partes aéreas e alterações na morfologia da raiz. Os dados sobre desenvolvimento de mudas de Cedro Rosa dos experimentos realizados na presente pesquisa como altura, diâmetro do caule e massa seca, serão apresentados por Maluf, 2024 (dissertação em preparação).

Em relação ao metabolismo da planta, o CO₂ desempenha um papel fundamental na fotossíntese das plantas, sendo necessário para a produção de carboidratos e outros compostos orgânicos (Singh; Agrawal, 2015). Kuinchtner et al. (2021) observaram que mesmo o cedro apresentando resistência ao Al, as taxas de CO₂, condutância estomática (Gs) e a taxa de transpiração (E) foram afetadas negativamente comparadas ao controle. Já no presente estudo, foi observado que o substrato contendo solo+LE não apresentou diferenças nenhuma com o controle. Huihui et al., 2020 observaram que ambientes contaminados com metais podem provocar estresse e isto pode levar a uma diminuição na condutância estomática, diminuindo a capacidade fotossintética.

Nesta pesquisa, substratos contendo LE com solo, LEE, e solo com LEE promoveram o aumento da área foliar, ao compararmos com o solo sozinho. O solo possui o menor valor de área foliar, o que pode nos dizer que o lodo pode ser um intensificador no aumento das áreas das folhas. Pode-se notar que os tratamentos que obtiveram maiores e menores taxas de assimilação de CO₂ estão relacionados a valores respectivos de área foliar, ou seja, quanto maior a área foliar, maior vai ser a assimilação de CO₂, e o contrário também acontece (Bortolini et al. 2017). De acordo com Sanches et al. (2016) o aumento da área foliar, associado com aumento na altura pode aumentar a interceptação de luz pelo Cedro Rosa quando ele crescer sob áreas sombreadas. Sendo assim, os resultados obtidos indicam que a utilização de lodo de esgoto como substrato para a produção de mudas de Cedro Rosa apresenta

resultados satisfatórios, não apresentando diferenças estatísticas do solo controle em relação a fisiologia da planta, contribuindo para a utilização em recuperação de áreas degradadas. No entanto, é crucial continuar explorando os efeitos a longo prazo.

6. CONCLUSÃO

O lodo gerado pela Estação de Tratamento de Esgoto Uberabinha de Uberlândia (MG) foi tóxico para germinação sementes de Cedro Rosa quando expostas ao lodo bruto (LE) ou misturados com solo (50%), porém, o lodo estabilizado com cal misturado com solo (50%) (LEE) promoveu a germinação das sementes com menor Índice de Velocidade de Emergência quando comparado ao solo.

Em relação ao desenvolvimento de mudas, o lodo de esgoto promoveu seu desenvolvimento em todas as exposições (solo+LE, solo+LEE e LEE). O maior valor observado para captação de CO₂ foi registrado para o tratamento de solo+LE enquanto o menor foi em LEE bruto, sendo esses tratamentos significativamente diferentes, ou seja, demonstrando que a estabilização afeta a captação de CO₂ nas plantas, e isso ao longo prazo pode provocar alteração na fotossíntese das plantas, uma vez que o CO₂ é necessário para a produção de carboidratos e outros compostos orgânicos.

Os cedros expostos ao substrato contendo solo+LE promoveram o aumento da área foliar, que pode facilitar a assimilação de CO₂ e pode aumentar a taxa de fotossíntese. Sendo assim, foi possível concluir com este estudo que o lodo de esgoto pode ser utilizado para produção de mudas de Cedro Rosa, uma vez que promove o desenvolvimento e não altera as condições fisiológicas (Taxas de assimilação de CO₂ (ACO₂), condutância estomática (gs), taxas de transpiração (E) e área foliar) da planta comparados ao solo de ambiente natural do cerrado. Mais estudos são necessários para aprofundar conhecimento sobre potenciais alterações para o desenvolvimento de plantas nativas.

7- REFERÊNCIAS

AMADO, S.; CHAVES FILHO, J. T. Fitorremediação: uma alternativa sustentável para remediação de solos contaminados por metais pesados. **Natureza on line**, v. 13, n. 4, p. 158–164, 2015.

ASENSIO, V. et al. Screening of native tropical trees for phytoremediation in copper-polluted soils. **International Journal of Phytoremediation**, v. 20, n. 14, p. 1456–1463, 6 dez. 2018. <https://doi.org/10.1080/15226514.2018.1501341>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12209: Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgoto sanitários**. Rio de Janeiro, p. 1-60. 2011.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. DE. A disposição de Lodo de Esgoto em Solo Agrícola. Em: **Lodo de Esgoto Impactos Ambientais na Agricultura**. p. 25–35, 2006.

BORTOLINI, J. et al. Sewage sludge and broiler litter component of substrates for seedling production *Cedrela fissilis* e *Anadenanthera macrocarpa* (Benth). Brenan. **Scientia Agraria**, v. 18, n. 4, p. 121-128, 2017. <https://doi.org/10.5380/rsa.v18i4.53698>

BRASIL. Lei nº 11.445/2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 5 Jan. 2007. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: 07 Nov. 2023

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 399p.
BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS. **Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto- Visão Geral**. Brasília, DF, 2022. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/>. Acesso em: 09 mai. 2023.

BRASIL. Resolução CONAMA Nº 498, de 19 de Agosto de 2020. Dispõe sobre procedimentos gerais para a utilização de lodo de esgoto gerado em estações de tratamento em área agrícola e outras aplicações. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 20 ago. 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-498-de-19-de-agosto-de-2020-273467970>. Acesso em: 09 mai. 2023.

CARVALHO, L. C. D. C. S. et al. Aproveitamento de lodo de esgoto urbano como substrato para produção de mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*) e aroeira

pimenteira (*Schinus terebinthifolius*). **Scientia Plena**, v. 18, n. 10, 11 nov. 2022. <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2022.100201>

COVRE, W. P. et al. Phytoremediation potential of *Khaya ivorensis* and *Cedrela fissilis* in copper contaminated soil. **Journal of Environmental Management**, v. 268, 15 ago. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110733>

DE CAIRES, S. M. et al. Desenvolvimento de mudas de cedro-rosa em solo contaminado com cobre: tolerância e potencial para fins de fitoestabilização do solo. **Revista Árvore**, v. 35, n. 6, p. 1181–1188, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000700004>

GABIRA, M. M. et al. Composted sewage sludge as an alternative substrate for forest seedlings production. **IForest**, v. 14, n. 6, p. 569–575, 1 dez. 2021. <https://doi.org/10.3832/ifor3929-014>

GARCIA, M. S. D.; FERREIRA, M. DE P. Saneamento básico: meio ambiente e dignidade humana. **Dignidade Re-Vista**, v. 2, n. 3, 2017.

HE, J. et al. Protective roles of nitric oxide on seed germination and seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.) under cadmium stress. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 108, p. 114–119, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.05.021>

HUIHUI, Zhang et al. Toxic effects of heavy metals Pb and Cd on mulberry (*Morus alba* L.) seedling leaves: Photosynthetic function and reactive oxygen species (ROS) metabolism responses. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 195, p. 110469, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110469>

KANG, W. et al. Potential of woody plants from a Tonglushan ancient copper spoil heap for phytoremediation of heavy metal contaminated soil. **International Journal of Phytoremediation**, 2 jan. 2016.

KUINCHTNER, C. C. et al. Can species *Cedrela fissilis* vell. Be used in sites contaminated with toxic aluminum and cadmium metals? **IForest**, v. 14, n. 6, p. 508–516, 1 dez. 2021. <https://doi.org/10.3832/ifor3890-014>

LABOURIAU, L.G.; VALADARES, M.E.B. On the germination of seeds *Calotropis procera* (Ait.) Ait.f. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro. v.48, n.2, p.263-284, 1976.

LAMEGO, F. P.; VIDAL, R. A. FITORREMEDIAÇÃO: PLANTAS COMO AGENTES DE DESPOLUIÇÃO? **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 17, p. 9–18, 2007. <https://doi.org/10.5380/pes.v17i0.10662>

LIMA, M. F. de; MATTOS, C. N. de; VIEIRA, P. L. C; ALMEIDA, L. F. Geração de lodo de esgoto e seu potencial como fonte de matéria orgânica para a agricultura. In: **COSTA, A. N. da; COSTA, A. de F. S. da. (Org.), Manual de uso agrícola e disposição do lodo de esgoto para o estado do Espírito Santo**. Vitória, ES, Incaper, c. 1, p. 11-17, 2011.

LOPES, P. A. P. et al. Grain yield and microbiological quality of cowpea plants grown under residual effect of sewage sludge fertilization. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 1, p. 21–30, 2020. <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n103rc>

MAGUIRE, J.B. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seeding emergence vigor. **Crop Science**, v.2, n.2, p.176-177, 1962. <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>

MALUF, Caio R. **Avaliação Toxicológica da Estabilização bioquímica e da fitoestabilização do lodo de esgoto sanitário**. Tese (Mestrado em Ecologia)- Instituto de Biologia, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2024. (em preparação)

MARTINS, C. A. DA C. et al. Desenvolvimento inicial do milho (*Zea mays* L.) em substrato contendo lodo de esgoto compostado. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, n. 48, p. 69–79, jun. 2018. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820180305>

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseado no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANCA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. Cap.2, p.1-24.

PREFEITURA DE UBERLÂNDIA. **ETE Uberabinha**. Disponível em: <https://www.uberlandia.mg.gov.br/prefeitura/orgaos-municipais/dmae/tratamento-de-esgoto/ete-uberabinha/>. Acesso em: 08 de Set. de 2023.

RIBEIRINHO, V. S. et al. Fertilidade do solo, estado nutricional e produtividade de girassol, em função da aplicação de lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 2, p. 166–173, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1983-40632012000200002>

SANCHES, M. C. et al. Morpho-physiological responses in *Cedrela fissilis* Vell. submitted to changes in natural light conditions: implications for biomass accumulation. **Trees - Structure and Function**, v. 31, n. 1, p. 215–227, 1 fev. 2016. <https://doi.org/10.1007/s00468-016-1474-6>

SANTOS, C. F. DOS; NOVAK, E. PLANTAS NATIVAS DO CERRADO E POSSIBILIDADES EM FITORREMEDIAÇÃO. **REVISTA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS**, v. 7, n. 1, p. 67–78, 2013.

SANTOS, E. F. et al. Physiological highlights of manganese toxicity symptoms in soybean plants: Mn toxicity responses. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 113, p. 6–19, 1 abr. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.01.022>

SANTOS, T.; SOMMAGGIO, L. R. D.; MARIN-MORALES, M. A. Phyto-genotoxicity assessment of different associations between sludges from Water and Sewage Treatment Plants, before and after the bioremediation process. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 26, p. 40029–40040, 1 jun. 2022. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18820-z>

SILVA, B. V. N.; PINTO, L. V. A. Potencial do uso do lodo de esgoto como adubo orgânico em cobertura de espécies florestais nativas plantadas em área degradada por pastagem. **Revista Agrogeoambiental**, 2010. <https://doi.org/10.18406/2316-1817v2n12010251>

SILVA, E. et al. Caracterização morfométrica e efeitos ecotoxicológicos do chumbo na germinação de sementes de *Schinus terebinthifolius* Raddi. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 84, n. 0, 1 fev. 2017. <https://doi.org/10.1590/1808-1657000272016>

SILVA, PR D. et al. Estudo preliminar do vermicomposto produzido a partir de lodo de esgoto doméstico e solo. **Eclética Química**, v. 35, p. 61-67, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-46702010000300005>

SINGH, A.; AGRAWAL, M. Effects of ambient and elevated CO₂ on growth, chlorophyll fluorescence, photosynthetic pigments, antioxidants, and secondary metabolites of *Catharanthus roseus* (L.) G Don. grown under three different soil N levels. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 5, p. 3936–3946, 1 mar. 2015. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3661-6>

SINGH, S. et al. Morpho-anatomical and biochemical adapting strategies of maize (*Zea mays* L.) seedlings against lead and chromium stresses. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 4, n. 3, p. 286–295, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2015.03.004>

TRATA BRASIL. **RANKING DO SANEAMENTO INSTITUTO TRATA BRASIL 2022 (SNIS 2020)**. São Paulo.

TRIGUEIRO, R. DE M.; GUERRINI, I. A. USE OF SEWAGE SLUDGE FOR SEEDLINGS PRODUCTION OF BRAZILIAN PEPPER. **Revista Árvore**, v. 38, n. 4, p. 657–665, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000400009>

USEPA (United States Environmental Protection), 1995. **Process design manual: Land application of sewage sludge and domestic septage**. EPA 625/R-95/001. Washington D. C.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: princípios do tratamento biológico de águas residuárias**, Vol. 2. DESA-UFMG, Belo Horizonte. 1996.

VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C. A. DE L. **Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions**, Vol. 1. 2005.

YAGMUR, M.; ARPALI, D.; GULSER, F. The effects of sewage sludge treatment on triticale straw yield and its chemical contents in rainfed condition. **The Journal of Animal and Plant Sciences**. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/317954371>>.