



Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
– MESTRADO –

**ANÁLISE DOS EFEITOS FITOTOXICOS DE SAIS NA GERMINAÇÃO
DO ALGODÃO (*Gossypium herbaceum*) E FEIJÃO-CAUPI (*Vigna
unguiculata*) PARA AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE AGUDA DE UM
EFLUENTE TÊXTIL FOTOTRATADO**

Por

Raíssa Mendes Silva

*Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal da Paraíba
para obtenção do grau de Mestre*



Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
– MESTRADO –

**ANÁLISE DOS EFEITOS FITOTOXICOS DE SAIS NA GERMINAÇÃO
DO ALGODÃO (*Gossypium herbaceum*) E FEIJÃO-CAUPI (*Vigna
unguiculata*) PARA AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE AGUDA DE UM
EFLUENTE TÊXTIL FOTOTRATADO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre.


Raíssa Mendes Silva

Orientadora: Prof. Dra. Elisângela Maria Rodrigues da Rocha


**"ANÁLISE DOS EFEITOS FITOTÓXICOS DE SAIS NA GERMINAÇÃO DO ALGODÃO
(*Gossypium herbaceum*) E FEIJÃO-CAUPI (*Vigna unguiculata*) PARA AVALIAÇÃO DA
TOXICIDADE AGUDA DE UM EFLUENTE TÊXTIL FOTOTRATADO**

RAÍSSA MENDES SILVA
Dissertação aprovada em 12 de dezembro de 2023


Período Letivo: 2023.2

Documento assinado digitalmente
 **ELISANGELA MARIA RODRIGUES ROCHA**
Data: 18/12/2023 22:38:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Elisângela Maria Rodrigues Rocha – UFPB
Orientadora

Documento assinado digitalmente
 **LARISSA GRANJEIRO LUCENA**
Data: 19/12/2023 09:51:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Larissa Granjeiro Lucena – UFC
Examinadora Interna

Documento assinado digitalmente
 **GERALDA GILVANIA CAVALCANTE**
Data: 19/12/2023 13:25:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Geralda Gilvania Cavalcante – UEPB
Examinadora Externa

João Pessoa/PB
2023

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S586a Silva, Raíssa Mendes.

Análise dos efeitos fitotóxicos de sais na
germinação do algodão (*Gossypium herbaceum*) e
feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) para avaliação da
toxicidade aguda de um efluente têxtil fototratado /
Raíssa Mendes Silva. - João Pessoa, 2023.

95 f. : il.

Orientação: Elisângela Maria Rodrigues Rocha.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. Fitotoxicidade. 2. Sais inorgânicos. 3. Efluente
têxtil. 4. Algodão (*Gossypium herbaceum*). 5. Feijão
(*Vigna unguiculata*). I. Rocha, Elisângela Maria
Rodrigues. II. Título.

UFPB/BC

CDU 632.154(043)

*Nada é absoluto. Tudo muda, tudo se move,
tudo gira, tudo voa e desaparece.*

Frida Khalo

*Dedico aos meus pais, Domingas e Raimundo.
E à minha irmã, Rayane*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por ter me dado forças e condições de chegar até aqui.

À minha família pelo apoio incondicional ao longo dessa jornada. Sem o amor e o encorajamento de vocês, este trabalho não teria sido possível.

Meus sinceros agradecimentos à minha orientadora, Elisângela Rocha, pela orientação e paciência ao longo de todo o processo. Suas valiosas contribuições moldaram significativamente esta dissertação.

Gostaria de expressar minha gratidão aos meus colegas de pesquisa, Íris e Samara, pela colaboração e pelas discussões inspiradoras que tivemos ao longo desta pesquisa, pelas tardes de estudo, pelas mensagens respondidas até mesmo em momentos inoportunos (risos). Em especial à Iris, por toda a ajuda nos testes em laboratório.

Gratidão à Viviane, Laís, Hellen e Amanda, que me deram todo suporte nas atividades laboratoriais.

Agradeço também aos colegas de laboratório Arthur e Guenther, cujas pesquisas contribuem para validação dos dados desta e até mesmo compõem parte desse estudo.

Agradeço aos técnicos, Elson, Romildo e Dorivaldo, pelo bom trabalho que fazem no laboratório e ajuda no andamento desse projeto.

À minha banca, professoras Larissa e Geralda, por desde o colóquio darem ricas contribuições e aceitarem a avaliação final e consolidação da pesquisa.

À professora Albanise por toda contribuição acadêmica em meus momentos de dúvida. À UFPB, pela estrutura para realização do trabalho.

Agradeço à FAPEMA e FAPESQ pelo financiamento que tornou este projeto uma realidade.

Por fim, agradeço a todos os amigos e colegas que me apoiaram emocionalmente durante esse período e, alguns, até mesmo contribuindo com valiosas sugestões.

Este trabalho é dedicado a todos que contribuíram de alguma forma, e estou profundamente grato por cada um de vocês.

RESUMO

Os corpos hídricos podem apresentar íons, sais, hidrocarbonetos e outros compostos inorgânicos que podem interferir na sua toxicidade. Uma maneira de avaliar a toxicidade de matrizes aquosas é por meio de testes ecotoxicológicos, dentre esses, a fitotoxicidade, que consiste no uso de sementes como organismos-teste para avaliar a toxicidade, usando como parâmetros a germinação de sementes, crescimento da raiz, entre outros. Neste trabalho, foram utilizadas sementes de algodão (*Gossypium herbaceum*) e feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) germinadas em placas de petri utilizando papel filtro como substrato e 4 ml de solução. Foram definidas as melhores condições de germinação por meio de testes pilotos e, posteriormente, investigada a sensibilidade às concentrações 0,12 M, 0,14 M, 0,16 M, 0,18 M de cloreto de sódio e 0,02 M, 0,04 M, 0,06 M, 0,08 M e 0,10 M de sulfato de sódio. Após isso, foram realizados os testes de fitotoxicidade com efluente têxtil real bruto e fototratado, em diferentes diluições, visando investigar a toxicidade aguda do mesmo para as sementes selecionadas, objetivando a elaboração de um protocolo padrão. Os testes com sais retornaram os valores de CE50 igual a 0,07 M e 0,10 M, para o algodão e feijão, respectivamente, com o NaCl e os valores de 0,02 M e 0,05 M com o Na₂SO₄. Nas concentrações supracitadas, os sais se mostraram fitotóxicos para as sementes de algodão e feijão-caupi, sendo o Sulfato de Sódio mais fitotóxico às sementes. Nos testes com efluente têxtil, o efluente bruto e algumas concentrações do efluente fototratado potencializaram a germinação das sementes de algodão. O efluente têxtil bruto chegou a aumentar o índice de germinação em valores acima de 200%, indicando a presença de íons e nutrientes que favorecem o crescimento da plântula. No caso das sementes de feijão, o efluente bruto interferiu negativamente, retornando Índice de Germinação abaixo de 100%. Quanto ao efluente fototratado sem diluição e para as diluições de 10%, 20%, 30%, o material potencializa a germinação e o crescimento das raízes das plantas. Deverão ser realizados estudos futuros visando avaliar a sua fitotoxicidade crônica, com o objetivo de averiguar se tais interferências repercutem a médio e longo prazo. No geral, os testes permitiram se ter uma noção geral do comportamento dessas sementes com o efluente têxtil e sais selecionados.

Palavras-chave: Fitotoxicidade; Sais inorgânicos; efluente têxtil; algodão; feijão.

ABSTRACT

Water bodies may contain ions, salts, hydrocarbons and other inorganic compounds that can interfere with their toxicity. One way to evaluate the toxicity of aqueous matrices is through ecotoxicological tests, among these, phytotoxicity, which consists of using seeds as test organisms to evaluate toxicity, using as parameters seed germination, root growth, among others. In this work, cotton (*Gossypium herbaceum*) and cowpea (*Vigna unguiculata*) seeds were used, germinated in petri dishes using filter paper as substrate and 4 ml of solution. The best germination conditions were defined through pilot tests and, subsequently, the sensitivity to concentrations of 0.12 M, 0.14 M, 0.16 M, 0.18 M of sodium chloride and 0.02 M, 0.04 M, 0.06 M, 0.08 M and 0.10 M sodium sulfate. After this, phytotoxicity tests were carried out with real raw and phototreated textile effluent, in different dilutions, aiming to investigate its acute toxicity for the selected seeds, aiming to develop a standard protocol. Tests with salts returned EC50 values equal to 0.07 M and 0.10 M, for cotton and beans, respectively, with NaCl and values of 0.02 M and 0.05 M with Na₂SO₄. At the concentrations mentioned above, the salts were phytotoxic to cotton and cowpea seeds, with Sodium Sulfate being more phytotoxic to the seeds. In tests with textile effluent, the raw effluent and some concentrations of the phototreated effluent enhanced the germination of cotton seeds. The raw textile effluent increased the germination rate by values above 200%, indicating the presence of ions and nutrients that favor seedling growth. In the case of bean seeds, the raw effluent interfered negatively, returning a Germination Index below 100%. As for the phototreated effluent without dilution and for dilutions of 10%, 20%, 30%, the material enhances the germination and growth of plant roots. Future studies should be carried out to evaluate its chronic phytotoxicity, with the aim of determining whether such interferences have repercussions in the medium and long term. Overall, the tests allowed us to have a general idea of the behavior of these seeds with the textile effluent and selected salts.

Key words: Phytotoxicity; Inorganic salts; Textile effluent; cotton; beans.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
2. OBJETIVOS	20
3. REFERENCIAL TEÓRICO	21
3.1 FITOTOXICIDADE	20
3.2 ORGANISMOS TESTES	22
3.2.1 Algodão.....	24
3.2.2 Feijão	25
3.3 SAIS E ÍONS.....	25
3.3.1 Cloreto de sódio (NaCl).....	27
3.3.2 Sulfato de sódio (Na₂SO₄).....	28
3.4 EFLUENTE TÊXTIL	27
3.5 PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS (POA'S).....	29
3.6 EFLUENTES TÊXTEIS, TRATAMENTO AVANÇADO E FITOTOXICIDADE: UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA.....	30
4. MATERIAIS E MÉTODOS	36
4.1 SELEÇÃO DE SEMENTES.....	35
4.2 DEFINIÇÃO DAS CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS - FITOTOXICIDADE AGUDA DAS SEMENTES SELECIONADAS	35
4.3 INVESTIGAÇÃO DA FITOTOXICIDADE AGUDA DOS SAIS	38
4.4 TESTES DE FITOTOXICIDADE DO EFLUENTE TÊXTIL REAL BRUTO E FOTOTRATADO	39
4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA	40
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	43
5.1 FITOTOXICIDADE AGUDA DAS SEMENTES SELECIONADAS	43
5.2 INVESTIGAÇÃO DA FITOTOXICIDADE AGUDA DOS SAIS	48
5.2.1 Cloreto de sódio	48
Concentrações de NaCl (M).....	48
5.2.2 Sulfato de sódio.....	51
Concentrações de Na₂SO₄ (M)	51
5.3 TESTES DE FITOTOXICIDADE DO EFLUENTE TÊXTIL REAL BRUTO E FOTOTRATADO	54
5.3.1 Caracterização do efluente têxtil.....	54

5.3.2 Testes de fitotoxicidade	56
5.3.2.1 Algodão	56
5.3.2.2 Feijão	60
5.4 PROTOCOLO METODOLÓGICO	66
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	66
REFERÊNCIAS.....	67
APÊNDICES	78
APÊNDICE A	78
APÊNDICE B.....	87

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição temporal dos artigos do portfólio bibliográfico final	34
Figura 2: Periódicos de destaque no portfólio bibliográfico final e de suas referências.....	34
Figura 3: Sementes de algodão e feijão carioca distribuídas em placas de petri	37
Figura 4: Estrutura básica das plântulas.....	38
Figura 5: Placas com sementes umedecidas com efluente bruto e tratado (a) e efluente tratado diluído (b)	41
Figura 6: Placa contendo sementes de feijão carioca com substrato totalmente seco	44
Figura 7: Sementes de algodão apresentando cor amarronzada e apodrecimento	45
Figura 8: (a) plântula de algodão com coloração marrom; (b) plântulas de algodão que apresentaram fungos; (c) sementes de feijão apodrecidas; (d) sementes de feijão apodrecidas e apresentando coloração rósea	47
Figura 9: Concentração de Cloreto de Sódio x Índice de Germinação da semente de algodão .	49
Figura 10: Concentração de Cloreto de Sódio x Índice de Germinação da semente de feijão...	50
Figura 11: Concentração de Sulfato de Sódio x Índice de Germinação da semente de algodão.	52
Figura 12: Concentração de Sulfato de Sódio x Índice de Germinação da semente de feijão....	53
Figura 13: Porcentagem de concentração do efluente têxtil bruto <i>versus</i> índice de germinação (%) da semente de algodão	58
Figura 14: Porcentagem de concentração do efluente têxtil fototratado <i>versus</i> índice de germinação (%) da semente de algodão	59
Figura 15: Testes com semente de algodão. (a) e (b) germinação da semente de algodão em efluente bruto; (c) e (d) germinação da semente de algodão em efluente tratado	60
Figura 16: Porcentagem de concentração do efluente têxtil bruto <i>versus</i> índice de germinação (%) da semente de feijão com efluente têxtil bruto.....	62
Figura 17: Porcentagem de concentração do efluente têxtil fototratado <i>versus</i> índice de germinação (%) da semente de feijão com efluente têxtil tratado	63
Figura 18: Testes com semente de feijão. (a) e (b) germinação da semente de algodão em efluente bruto; (c) e (d) germinação da semente de algodão em efluente tratado.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Representação esquemática das etapas de seleção e filtragem do portfólio bruto para obtenção do portfólio final.....	32
Tabela 2. Portifólio Bibliográfico Final (PBF) resultante do método Proknown-C.....	33
Tabela 3. Distribuição de placas de acordo com cada condição investigada para x dias de incubação.....	39
Tabela 4. Teste de germinação das sementes de algodão e feijão carioca a 22 °C, umedecido com 6 mL de água destilada	43
Tabela 5. Teste de germinação das sementes de algodão e feijão-caupi a 22 °C, umedecido com 6 mL de água destilada.....	44
Tabela 6. Teste de germinação das sementes de algodão a 25 °C, com diferentes volumes de umectação do papel filtro.....	45
Tabela 7. Teste de germinação das sementes de feijão-caupi a 25 °C, com diferentes volumes de umectação do papel filtro	46
Tabela 8. Placas que apresentaram fungos e/ou apodrecimento	46
Tabela 9 Resultados do teste de fitotoxicidade realizado com diferentes concentrações de Cloreto de sódio nas sementes de algodão e feijão.....	48
Tabela 10. Resultados do teste de fitotoxicidade realizado com diferentes concentrações de Sulfato de Sódio.....	51
Tabela 11. Resultados da caracterização do efluente têxtil real bruto e fototratado realizada em novembro de 2022.....	54
Tabela 12. Resultados do teste de fitotoxicidade realizado com diferentes concentrações do efluente têxtil bruto e fototratado utilizando sementes de algodão	57
Tabela 13. Resultados do teste de fitotoxicidade realizado com diferentes concentrações do efluente têxtil real bruto e fototratado utilizando sementes de feijão	61
Tabela 14. Condições em que foram realizados os testes de fitotoxicidade com sementes de algodão e feijão em efluente têxtil	65
Tabela 15. Teste de germinação das sementes de algodão e feijão retiradas em 5 dias (T1)...	78
Tabela 16. Teste de germinação das sementes de algodão e feijão retiradas em 7 dias (T1)...	79
Tabela 17. Teste de germinação das sementes de algodão e feijão retiradas em 5 dias (T2)...	80
Tabela 18. Teste de germinação das sementes de algodão e feijão retiradas em 7 dias (T2)...	81
Tabela 19. Teste de germinação das sementes de algodão retiradas em 5 dias (T3).....	82
Tabela 20. Teste de germinação das sementes de algodão retiradas em 7 dias (T3).....	83

Tabela 21. Teste de germinação das sementes de feijão retiradas em 5 dias (T3)	84
Tabela 22. Teste de germinação das sementes de feijão retiradas em 7 dias (T3)	85
Tabela 23. Teste de fitotoxicidade das sementes de algodão com Cloreto de Sódio.....	87
Tabela 24. Teste de fitotoxicidade das sementes de algodão com Sulfato de Sódio	88
Tabela 25. Teste de fitotoxicidade das sementes de Feijão-caupi com Cloreto de Sódio	89
Tabela 26. Teste de fitotoxicidade das sementes de Feijão-caupi com Sulfato de Sódio.....	90
Tabela 27. Teste de fitotoxicidade das sementes de algodão com efluente têxtil bruto	92
Tabela 28. Teste de fitotoxicidade das sementes de algodão com efluente têxtil fototratado ..	93
Tabela 29. Teste de fitotoxicidade das sementes de feijão-caupi com efluente têxtil bruto.....	94
Tabela 30. Teste de fitotoxicidade das sementes de feijão-caupi com efluente têxtil fototratado	95

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

%G	Porcentagem de Sementes Germinadas
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANOVA	<i>Analysis of Variance</i>
ASMJP	Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa
CE ₅₀	Concentração de efeito a 50% dos indivíduos
CI ₅₀	Concentração de inibição a 50% dos indivíduos
Cl	Cloro
CL ₅₀	Concentração de letalidade a 50% dos indivíduos
CM	Comprimento Médio das Plântulas em cm
CN	Controle Negativo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP	Controle Positivo
CPa	Comprimento das Plântulas na Amostra
CPb	Comprimento das Plântulas no Controle Negativo
CV	Coefficiente de Variação
DBO ₅	Demanda bioquímica de oxigênio a 20°C durante 5 dias
DBO ₅ /DQO	Razão de Biodegradabilidade
EB	Efluente Bruto
ET	Efluente Tratado
ICRP	Inibição do comprimento relativo das plântulas
IG	Índice de Germinação
M	Molar (mol/L)
Na	Sódio
Na ₂ SO ₄	Sulfato de Sódio
NaCl	Cloreto de Sódio
NSGa	Número de Sementes Germinadas na Amostra
NSGb	Número de Sementes Germinadas no Controle Negativo
N-NO ₃ -	Amônia
PB	Portifólio Bruto
PBF	Portifólio Bibliográfico Final
pH	Potencial Hidrogeniônico

POAs	Processos Oxidativos Avançados
PPGECAM	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental
R ²	Coeficiente de determinação
SSD	Species Sensitivity Distrinution
ST	Sólidos Totais
STF	Sólidos Totais Fixos
SST	Sólidos Suspensos Totais
STV	Sólidos Totais Voláteis
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
USEPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
UV	Ultravioleta
VA	Volume da amostra (mL)

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural indispensável à vida e ao desenvolvimento socioeconômico. Seus usos vão desde o consumo direto até a produção industrial, produção de alimentos, irrigação, recreação e lazer. Assim, é importante uma boa gestão dos recursos hídricos visando manter um uso consciente de forma a manter sua quantidade e qualidade.

O crescimento populacional urbano e as mudanças de hábitos trouxeram consigo o desenvolvimento tecnológico de setores industriais, visando facilitar a vida cotidiana. Contudo, houve também um aumento na geração de rejeitos sólidos, líquidos e gasosos, que, quando mal gerenciados, levam à poluição e contaminação do solo e águas superficiais e subterrâneas. Grande parcela dessa contaminação provém de efluentes líquidos, tais como despejos urbanos, provenientes do esgotamento sanitário e lixiviado de aterros, e águas residuárias, advindas das indústrias têxteis, químicas, farmacêuticas, alimentícias, entre outras (Gonçalves, 2013).

Os corpos hídricos, ao receberem esses efluentes não tratados ou mesmo após passarem por tratamentos convencionais, podem apresentar sais, hidrocarbonetos e outros compostos inorgânicos que são capazes de interferir nos ciclos biogeoquímicos, bem como na sua toxicidade (Martins *et al.*, 2003; Maselli *et al.*, 2013). Rubio *et al.* (2013) afirmam que íons como sulfatos, cromatos, nitratos, cloretos e fosfatos são comuns em recursos hídricos naturais, frequentemente ligados aos sais de sódio e cálcio. Eles também são encontrados em efluentes líquidos, principalmente provenientes de setores industriais como mineração e indústria têxtil, entre outros.

A presença desses sais contaminantes e dos íons resultantes de suas dissociações é preocupante, pois o nitrato, por exemplo, pode causar cianose infantil, metemoglobina, câncer no estômago e danos ambientais, como a eutrofização (Rossi *et al.*, 2007; Oliveira, 2023). Além disso, altera, de forma significativa, as características físicas, químicas e biológicas da água, impossibilitando o uso, principalmente para o consumo humano, e modificando ecossistemas aquáticos (Correa; Lopes; Rezende, 2020; Biguelini; Gumy, 2012).

O processo mais utilizado no Brasil para tratamento de efluentes são os processos biológicos, e estes podem não ser tão eficientes devido às altas frações não biodegradáveis provenientes de indústrias, por exemplo, levando à permanência de compostos recalcitrantes e tóxicos após o final do processo (Tavares, 2014; Maselli *et al.*, 2013). Alguns países,

incluindo o Brasil, adotam ainda tratamentos terciários, como ozonização, Processos Oxidativos Avançados (POAs), adsorção em carvão ativado, filtração em membranas e osmose reversa (Montagner *et al.*, 2017). Alguns desses tratamentos, embora apresentem bons resultados físico-químicos, ainda deixam a desejar quanto à toxicidade (Palácio *et al.*, 2012; Costa *et al.*, 2018).

Segundo a Resolução nº 430/2011 do CONAMA, em seu Art. 18, “o efluente lançado em corpo hídrico não deverá causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor, de acordo com os critérios de ecotoxicidade estabelecidos pelo órgão ambiental competente”, sendo necessário, após tratamento, além de análises físico-químicos, análises toxicológicas.

Por meio de análises ecotoxicológicas é possível avaliar o efeito dessas substâncias sobre os sistemas biológicos. Um dos testes de toxicidade que vem ganhando destaque recentemente é a fitotoxicidade, que apresenta baixo custo, curto tempo de execução e possui uma grande variedade de parâmetros, como taxa de germinação, alongamento de raízes, ganho de biomassa e aspectos bioquímicos (Rodrigues *et al.*, 2013; Peduto *et al.*, 2019).

Essa avaliação é importante, pois além do enquadramento na legislação de lançamento de efluentes em corpos hídricos, a fitotoxicidade do efluente tratado também é essencial quando se trata do reuso na agricultura. Segundo a Agência Nacional das Águas (ANA), a agricultura irrigada é o uso que mais consome água no Brasil e no mundo, estando o Brasil entre os países com a maior área irrigada do planeta. De acordo com o Atlas da irrigação, em 2019 essa atividade foi responsável pelo uso de 965 m³/s e, até 2040, estima-se um aumento de 76% de áreas irrigadas e uma consequente expansão no uso da água, em aproximadamente 66% (Brasil, 2021).

Em todo território brasileiro é possível encontrar as produções agrícolas de cereais, leguminosas e oleaginosas. A predominância de plantio em cada área varia ao longo do tempo, dependendo das características técnicas, econômicas, políticas, infraestruturais, logísticas, históricas, culturais, do tipo de solo e disponibilidade de água (Landau *et al.*, 2020). Como exemplo de cultura altamente cultivada no Brasil, tem-se o algodão, amplamente usado no setor têxtil, cuja indústria é uma grande geradora de efluente (EMBRAPA, 2004).

Então, ao tratar e avaliar a fitotoxicidade do efluente têxtil tendo como fim o reuso na agricultura, reduz-se a quantidade de água demandada para irrigação, fechando o ciclo e dessa forma protegendo os recursos hídricos, bem como garantindo a manutenção da

biodiversidade.

Neste projeto de pesquisa, realizou-se testes de fitotoxicidade com as sementes de algodão e feijão, as quais foram investigadas quanto à sensibilidade delas à determinadas concentrações dos sais cloreto de sódio e sulfato de sódio e, por fim, fez-se o teste de fitotoxicidade com efluente têxtil bruto e fototratado objetivando investigar a toxicidade aguda para as sementes selecionadas, visando a possibilidade de reuso na agricultura e elaboração de um protocolo padrão de testes fitotóxicos.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar os efeitos fitotóxicos dos sais cloreto de sódio e sulfato de sódio na toxicidade aguda de um efluente têxtil fototratado.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Estudar os efeitos da germinação de sementes na presença dos sais, por meio da CE50;
- ✓ Analisar a sensibilidade de sementes para uso como bioindicador;
- ✓ Avaliar o comportamento dessas sementes em testes com efluente têxtil real bruto e fototratado;
- ✓ Propor a padronização metodológica de testes fitotóxicos.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 FITOTOXICIDADE

Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, em seu Art. 8º, o conjunto de parâmetros de qualidade de água selecionado para subsidiar a proposta de enquadramento deverá ser monitorado periodicamente pelo Poder Público. As possíveis interações entre as substâncias e a presença de contaminantes não listados nessa resolução, passíveis de causar danos aos seres vivos, deverão ser investigadas utilizando-se ensaios ecotoxicológicos, toxicológicos, ou outros métodos cientificamente reconhecidos. É dito também na Resolução nº 430/2011 do CONAMA, em seu Art. 18, no § 1º, que devem ser considerados os resultados de ensaios ecotoxicológicos utilizando organismos aquáticos.

No entanto, os testes com organismos aquáticos demandam condições e infraestrutura que limitam a difusão e acessibilidade aos referidos testes, bem como são de difícil controle. Segundo Kleine (2018), os organismos aquáticos possuem grande sensibilidade à luz, químicos, temperatura, toque, gravidade, pressão e som, devendo ser monitorados periodicamente, pois além de interferência dos fatores citados acima, podem ocorrer infecções fúngicas que inibem e inviabilizam a reprodução.

A fitotoxicidade se apresenta como uma técnica que dá bons resultados e pode ser reproduzida em condições mais reais, além de ser um teste simples, barato e com resultados muito bem debatidos (Rodrigues, 2013). O teste de fitotoxicidade consiste no uso de sementes, sensíveis a determinadas substâncias tóxicas, que são utilizadas como bioindicadoras. Por meio dele é possível realizar testes de toxicidade aguda, que medem os efeitos de agentes tóxicos sobre as espécies durante um curto período de tempo (24 a 120h); e toxicidade crônica que avalia os efeitos sobre uma parte ou todo o ciclo de vida do organismo teste (Pelli *et al.*, 2008). Ao fim, tem-se como resultado diferentes níveis de um efeito tóxico a depender das diferentes diluições do efluente ou contaminante (Costa *et al.*, 2008).

Os testes de germinação de sementes têm sido amplamente utilizados nos últimos anos para indicar os níveis de toxicidade de amostras de compostos orgânicos, biossólidos, resíduos e efluentes (Rodrigues, 2013; Vieira, 2016). Várias espécies são usadas como organismos testes, entre elas: alface (*Lactuca sativa*), agrião de jardim (*Lepidium sativum*), alfafa (*Medicago sativa*), cebola (*Allium cepa*), pepino (*Cucumis sativus*), tomate (*Solanum*

lycopersicum), fava (*Vicia faba*), sorgo (*Sorghum saccharatum*), entre outras (Mendes *et al.*, 2021; Gouider, Feki e Sayadi, 2010; Kumar *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2020; Photiou; Vyrides, 2021; Selim *et al.*, 2021; Radziemska *et al.*, 2021).

Em seu estudo, Neves *et al.* (2020) avaliaram índices de fitotoxicidade e remoção de cor, Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Área Espectral Integrada (ISA) de água residual de uma fábrica de celulose e papel pós tratada por UV/H₂O₂ e foto-Fenton. Os autores fizeram análises no efluente após tratamento, empregando a espécie *Lactuca sativa*, avaliando os efeitos na germinação das sementes e alongamento de raízes. Os resultados permitiram identificar que o uso dos Processos Oxidativos Avançados diminuiu a fitotoxicidade, bem como apresentou altas porcentagens de remoção de cor aparente, DQO, concentração de fenol e ISA, sendo o foto-Fenton o que apresentou melhores resultados quanto à fitotoxicidade.

Os efeitos tóxicos em testes de fitotoxicidade são observados por meio do índice de germinação da semente, índice de crescimento da raiz, mortalidade, dentre outros. A análise desses efeitos por meio de métodos estatísticos permite a expressão dos resultados através de unidades numéricas relacionadas à concentração do efluente, sendo eles a CL50, CE50, CEO e CENO.

A CL50 e a CE50 exprimem a Concentração Letal e Específica, respectivamente, que atinge 50% dos indivíduos e são obtidas dos testes de toxicidade aguda. Enquanto a Concentração de Efeito Observado (CEO) consiste na concentração mais baixa em que são observados efeitos e a Concentração de Efeito Não Observado (CENO) a maior concentração que não causa efeito ao organismo, ambas estimadas em testes de toxicidade crônicos (Zagatto; Bertolotti, 2014).

Além disso, é possível fazer uma comparação de sensibilidade por meio de uma curva de distribuição da sensibilidade das espécies, chamada SSD (*Species Sensitivity Distribution*), que consiste em uma ferramenta de distribuição estatística que avalia e estima os riscos ambientais de poluentes. Essa curva é obtida através da distribuição log-normal dos dados de toxicidade (CL50, CE50, CEO e CENO) obtidos em laboratório para várias espécies de organismos (Posthuma *et al.*, 2002). Assim, a curva SSD é uma ferramenta importante no estudo da ecotoxicidade e também pode ser aplicada em testes de fitotoxicidade, favorecendo a otimização dos testes, uma vez que, através dela, é possível definir as espécies mais sensíveis, possibilitando a escolha dos organismos teste.

Engelhardt *et al.* (2020), em seu trabalho, ao avaliar o comportamento de culturas agrícolas em diferentes concentrações de Cobre no solo, construiu a curva SSD a fim de comparar a sensibilidade das espécies *Triticum aestivum* (trigo), *Zea mays* (milho), *Oryza sativa* (arroz), *Phaseolus vulgaris* (feijão), *Glycine max* (soja) e *Raphanus sativus* (rabanete) que foram cultivadas nos solos Latossolo Vermelho Amarelo distrófico típico (LVAd) e Latossolo Vermelho distroférico típico. Com a curva construída a partir da CE50 da massa seca da parte aérea, encontrou-se como espécie mais sensível o arroz e a que apresentou menor sensibilidade o milho.

Oliveira (2020), por sua vez, ao avaliar o risco agudo em peixes com relação ao uso de produtos a base de Glifosato, utilizou a curva SSD para demonstrar a sensibilidade aguda do conjunto de peixes abordados em seu trabalho, separando-os entre nativos e exóticos e obtendo a curva a partir do valor de CL50. A autora encontrou pela curva de sensibilidade que a espécie de peixe mais sensível para toxicidade aguda foi a *Hyphessobrycon eques*, popularmente conhecida como Tetra-serpa.

3.2 ORGANISMOS TESTES

Para os testes de fitotoxicidade utiliza-se Organismos Testes que consistem em bioindicadores capazes de indicar certas características do local onde estão por meio de respostas específicas (Zagatto; Bertoletti, 2008). Estes têm a capacidade de acusar uma contaminação ambiental por meio de uma mudança em algum parâmetro característico da espécie (Arias *et al.*, 2007).

Para ser um bom bioindicador, é preciso que o organismo preencha alguns pré-requisitos, como: presença em várias regiões, pouca variabilidade genética e ecológica e com tais características bem conhecidas, claramente classificada taxonomicamente e utilizável em ambientes laboratoriais (Arraes; Longhin, 2012).

De acordo com Bagliano (2012),

Bioindicadores podem responder a contaminação por alterações de sua fisiologia, ou sua capacidade para acumular elementos ou substâncias. A resposta de cada organismo está fortemente influenciada pelas condições físicas, químicas e biológicas do ambiente (temperatura, umidade, ventos e radiação) assim como pelas condições fisiológicas, morfológicas estruturais e nutricionais.

Assim, bioindicadores são amplamente utilizados em testes ecotoxicológicos. Os mais

comumente utilizados são os aquáticos, previstos em legislação, mas a gama de estudos utilizando bioindicadores vegetais tem ganhado cada vez mais espaço. Alface e pepino são exemplos de sementes muito utilizadas em testes de fitotoxicidade (Mendes *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2020), visto que são as mais “usadas e recomendadas pela US Environmental Protection Agency na detecção de efeitos ecotoxicológicos” (Guevara *et al.*, 2019). A cebola também recebe especial atenção nesses testes por ter como respostas parâmetros macroscópicos que permitem identificar contaminantes (Arraes; Longhin, 2012).

Para esta pesquisa escolheu-se como bioindicadores sementes ainda pouco encontradas na literatura relacionadas aos testes de fitotoxicidade, mas que possuem grande representação no território brasileiro, além de, no caso do algodão, possuir relação com o efluente analisado nesta pesquisa.

3.2.1 Algodão

Segundo a EMBRAPA (2023), o Brasil é um dos maiores produtores de algodão e o estado do Mato Grosso é responsável por 60% de toda a produção do país. Sua época de plantio é entre os meses de dezembro e janeiro e possui um ciclo de vida que varia de 120 a 150 dias. É uma semente que melhor se desenvolve em clima tropical porque exige condições de muito calor, boa luminosidade e solo úmido para o seu desenvolvimento.

Existem mais de 50 espécies do gênero *Gossypium*, onde somente 4 são cultivadas, sendo elas *Gossypium hirsutum*, *G. barbadense*, *G. herbaceum* e *G. arboreum* (EMBRAPA, 2004). De acordo com Sousa (2010), a espécie *Gossypium herbaceum* apresenta uma alta qualidade de fibra.

Segundo o manual da EMBRAPA (2004), todas as partes do algodão são utilizadas nos mais diversos processos produtivos.

- Caroço: com teor de óleo variando de 18% a 25%, é utilizado na alimentação humana e na fabricação de margarina e sabão;
- Torta: subproduto do caroço do algodão, tem um elevado valor proteico e é empregada na alimentação animal (de 40% a 45% de proteína);
- Tegumento: usado na fabricação de alguns tipos de plástico e de borracha sintética;
- Fabrilha: fina penugem agarrada ao caroço, é empregada na indústria química de plástico, raião e explosivos;
- Fibra: produto primordial pra indústria têxtil, onde cerca de 70% das fibras são

provenientes do algodão, sendo as demais artificiais. A fibra do algodão é utilizada na confecção de fios para vários tipos de tecido, obtenção de celulose, películas fotográficas, chaves para radiografia e outros.

Os testes com semente de algodão não são tão abundantes como com hortaliças. Cossa *et al.* (2023) utilizaram sementes de algodão tratadas e não tratadas quimicamente em testes de germinação com adição de vermiculita, tendo como resultado que tal adição potencializou a germinação e desenvolvimento da planta. Shafqat *et al.* (2023), por sua vez, avaliaram os efeitos fitotóxicos do óxido de zinco, óxido de ferro, cobre e nanopartículas de prata na germinação de algodão, plantado em vasos. Todos os metais aumentaram a atividade enzimática tendo como consequência o bom crescimento da planta e biomassa.

3.2.2 Feijão

O feijão é um alimento fundamental na dieta dos brasileiros, e embora existam várias espécies cultivadas no país, de acordo com o regulamento técnico do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) do Brasil, apenas duas são consideradas feijões: *Phaseolus vulgaris* (feijão-comum) e *Vigna unguiculata* (feijão-caupi). Essas duas espécies são as mais importantes do ponto de vista social e econômico no país (EMBRAPA, 2011). O plantio do feijão varia de acordo com as características do solo e clima de determinada região. De acordo com Embrapa (2023), o ciclo de cultura varia de 75 a 95 dias, dependendo da cultivar.

O feijão-comum é amplamente cultivado em todo o Brasil e é uma das principais fontes de proteína vegetal na dieta dos brasileiros. Existem várias variedades de feijão-comum, incluindo o feijão-preto, o feijão-carioca e o feijão-mulatinho, entre outros (EMBRAPA, 2011). O feijão-caupi, por sua vez, é mais comum nas regiões Nordeste e Norte do Brasil, mas também está se expandindo para a região Centro-Oeste, principalmente no Estado de Mato Grosso (Costa, 2020). Ele é conhecido por seus grãos de formato alongado e é uma fonte importante de proteína na dieta de muitas pessoas nessas regiões (EMBRAPA, 2017).

O feijão-caupi é conhecido por vários nomes populares em diferentes regiões do Brasil, consequência da riqueza da cultura culinária e agrícola do país. Na região Nordeste: feijão-macassa e feijão-de-corda. Na região Norte: feijão-de-praia, feijão-da-colônia, feijão-de-estrada e manteiguinha. Na região Sul: feijão-miúdo. Na Bahia e norte de Minas Gerais:

feijão-gurutuba, feijão-catador. Em alguns estados, como Sergipe, Bahia e Rio de Janeiro: feijão-fradinho, conhecido por ser o preferido para o preparo do acarajé (Costa, 2020).

Ameen e Al-Homaidan (2023) utilizaram sementes de feijão para teste de fitotoxicidade com água de lastro. As sementes somente germinaram após o efluente passar por tratamento utilizando fungos, apresentando 90% de germinação. Assim, após análises mais aprofundadas, os autores afirmam que, pós tratamento, tem-se uma água de reuso.

Já Szymanski e Dobrucka (2023), avaliando a toxicidade do Óxido de Chumbo, utilizaram sementes de rabanete, tremoço, agrião, feijão, colza, chia, milho e beterraba nos testes de fitotoxicidade, além de organismos aquáticos. As sementes com maior sensibilidade, considerando a Concentração de Inibição a 50% dos indivíduos (CI_{50}), foram rabanete, feijão e tremoço, apresentando valores entre 0,150 mg/ml e 0,655 mg/ml.

3.3 SAIS E ÍONS

Os sais são compostos iônicos formados pela ligação entre cátions e ânions. Quando esses sais são dissolvidos em água, ocorre a dissociação iônica, na qual os íons são liberados na solução. A natureza dos íons resultantes depende da composição química do sal original (SILVA *et al.*, 2004). O sal cloreto de sódio (NaCl), por exemplo, ao ser dissolvido em água, se dissocia em íons sódio (Na^+) e íons cloreto (Cl^-).

Outros sais podem se dissociar em íons diferentes e estes podem ser encontrados nos efluentes como resultado da dissociação dos sais presentes nas águas residuais industriais ou domésticas. A presença de íons específicos nos efluentes pode variar dependendo das fontes e dos processos envolvidos na geração dos resíduos (Parron *et al.*, 2011).

Alguns íons presentes nos efluentes podem causar problemas ambientais ou de saúde, dependendo da concentração e das características específicas desses íons. Como por exemplo, os Íons cloreto (Cl^-) em concentrações elevadas podem ser prejudiciais à vida aquática e também podem afetar a qualidade da água potável (Von Sperling, 2011).

É importante monitorar e controlar a presença desses íons nos efluentes para minimizar os impactos negativos ao meio ambiente e à saúde humana. Os processos de tratamento de águas residuais são projetados para remover ou reduzir a concentração desses íons perigosos antes que os efluentes sejam descarregados no meio ambiente (Rubio *et al.*, 2010).

Se tratando da irrigação com água de reuso, utilizar água contaminada pode

comprometer a lavoura, causar problema à saúde da população consumidora, dos animais e até mesmo dos agricultores que fazem uso direto da água. Os sulfatos e nitratos são responsáveis pela acidez em precipitações e, além disso, podem causar problemas à saúde humana por agirem como agentes ativadores de superfícies, aumentando a solubilidade e consequentemente a toxicidade de compostos orgânicos tóxicos (Freitas; Solci, 2009).

Segundo Ferreira *et al.* (2011), os efluentes de indústrias do setor minero metalúrgico são ricos em íons de sulfato. Lamarino *et al.* (2015), em seu estudo, afirmam que nas indústrias alimentícias é comum o uso de parabenos, sulfatos, nitratos e nitritos, cloreto de sódio, ácido propiônico e o ácido sórbico e seus derivados. Rodrigues *et al.* (2007), por sua vez, estabelecem que a alta toxicidade do lixiviado está diretamente ligada à alta concentração de N-NH_3 e cloretos. E em seu estudo, Maria (2010) fazendo análise de três aterros de BH, encontrou, em valores elevados, N-amoniacoal, sulfato, DQO, além de presença de alta toxicidade aguda e crônica.

Quanto ao efluente têxtil, Souza *et al.* (2015) apontam que este possui características heterogêneas e grande quantidade de materiais tóxicos e recalcitrantes, como por exemplo, compostos orgânicos clorados e surfactantes. Sen & Demirer (2003) afirmam que “um efluente têxtil típico apresenta em sua composição aproximadamente 550 mg.L^{-1} de cloretos”. Isso porque no processo de tingimento é utilizado, em grandes quantidades, cloreto de sódio como agente fixador do corante no tecido (Pizato *et al.*, 2017). Leal (2014) aponta como resíduos do tingimento o cloreto de sódio e o sulfato de sódio, sais inorgânicos que podem interferir na toxicidade do efluente.

Sen *et al.* (2021) estudando consórcio fúngico imobilizado como uma alternativa de tratamento para efluentes têxteis, ao avaliar a fitotoxicidade encontrou taxas de germinação de 95% em efluentes tratados com consórcio fúngico imobilizado, enquanto no efluente sem tratamento esse valor ficou em 30%. Além disso, a plúmula e radícula que, no efluente bruto, apresentaram comprimentos de 0,5 cm e 0,2 cm, respectivamente, no efluente tratado tiveram resultados de 1,32 cm e 0,6 cm. Esses resultados podem estar relacionados à redução de cor em 70%, de DBO em 51%, de DQO em 51%, de cloreto em 78%, de amônia em 64%, de sulfato em 55% e de cromo em 75%, no efluente após tratamento com consórcio fúngico.

3.3.1 Cloreto de sódio (NaCl)

O cloreto de sódio (NaCl) desempenha um importante papel tanto para os seres

humanos quanto para o meio ambiente. O sódio é um eletrólito que desempenha um papel crucial na regulação do equilíbrio hídrico, na transmissão de impulsos nervosos, na contração muscular e no funcionamento dos rins (Grillo et al, 2020).

Quanto ao meio ambiente, o Cloreto de Sódio contribui para a salinidade natural dos oceanos e outros corpos d'água, contribuindo para o ciclo da água, influenciando a evaporação, a formação de nuvens e as correntes oceânicas. No entanto, o excesso de cloreto de sódio pode ser prejudicial às plantas e ao solo. A presença de altos níveis de cloreto no solo pode afetar a disponibilidade de água para as plantas, afetar a absorção de nutrientes e prejudicar o crescimento das culturas (Pedrotti *et al.*, 2015).

De acordo com Lacerda *et al.* (2004), o problema da salinidade do solo é uma questão significativa na agricultura de regiões áridas e semiáridas em todo o mundo. Esta ocorre, geralmente, devido ao acúmulo de íons específicos, principalmente sódio (Na^+) e cloro (Cl^-). A presença predominante desses íons no ambiente de crescimento se torna tóxica para as plantas e pode afetar a capacidade das plantas de absorver, transportar e utilizar os íons essenciais para o seu crescimento. Isso porque a salinidade dificulta a absorção de nutrientes vitais, como o potássio, o cálcio e o magnésio, essenciais para o crescimento saudável.

3.3.2 Sulfato de sódio (Na_2SO_4)

Os sulfatos variam em grau de agressividade a depender da sua concentração e íon ligado ao radical SO_4^{2-} (Veiga, 2011). Segundo o mesmo autor, os sulfatos no solo podem ser advindos de decomposição biológica de substâncias orgânicas contendo proteínas e também das águas residuárias industriais, como é o caso do Sulfato de sódio, que consiste em um sal largamente utilizado na indústria de limpeza, de vidro, de corantes para tecidos e de papel e pode ser obtido por mineração ou processos químicos (Veiga, 2011; Usiquimica, 2023).

O sulfato de sódio tem como origem as indústrias químicas, leite e água do mar (Silva Filho, 1994) e, além de estar nos processos industriais supracitados, é gerado como um subproduto em vários procedimentos industriais e é utilizado como insumo para a fabricação de outros compostos (Veiga, 2011).

3.4 EFLUENTE TÊXTIL

A indústria têxtil no Brasil possui uma notável importância tanto do ponto de vista

econômico quanto social. Isso porque é o segundo maior empregador no setor de manufatura, com cerca de 1,6 milhões de trabalhadores diretos, e o país ocupa a quinta posição no ranking mundial de produtores de têxteis, de acordo com a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT) em 2016 (Almeida *et al.*, 2016).

A indústria têxtil faz uso de uma ampla variedade de fibras naturais e sintéticas em seus processos de fabricação. O algodão e o poliéster são as duas fibras mais proeminentes em termos de utilização em todo o mundo. No Brasil, a preferência é pelo uso do algodão, enquanto em outros países, a fibra sintética de poliéster é a predominante (Rangel *et al.*, 2010).

Os processos industriais de produção têxtil envolvem a utilização de grandes volumes de água e geram diversos resíduos contendo compostos tóxicos. O consumo significativo de água nas etapas de lavagem e tingimento resulta na produção de efluentes líquidos que apresentam uma ampla variedade e complexidade química, incluindo corantes e outros compostos orgânicos e inorgânicos. A resistência desses compostos aos métodos de tratamento convencionais e os subprodutos resultantes da degradação incompleta levam à formação de novas moléculas com potenciais efeitos prejudiciais ou mutagênicos para organismos vivos (Pizato *et al.*, 2017).

Segundo o mesmo autor, é fundamental o aprimoramento das tecnologias existentes e o desenvolvimento de novas tecnologias no setor têxtil para reduzir ou eliminar a liberação de compostos prejudiciais no meio ambiente. Essas abordagens são essenciais para mitigar os impactos ambientais negativos associados à indústria têxtil, especialmente no que diz respeito à poluição da água e à produção de efluentes contaminados (Pizato *et al.*, 2017).

Além disso, é de extrema importância a avaliação desse efluente após passar por tratamentos, a fim de avaliar se os métodos utilizados foram capazes de degradar substâncias recalcitrantes e reduzir ou eliminar sua toxicidade, a fim de evitar consequências ao meio ambiente e se adequar às normas vigentes.

Em seu trabalho, Santana *et al.* (2022) utilizaram efluente têxtil sintético para avaliar a eficiência do tratamento por foto-Fenton solar, usando pirita como catalisador, com posterior análise de ecotoxicidade. O tratamento mostrou-se eficiente para degradar cor e atingiu grande taxa de conversão da matéria orgânica. No entanto, ao utilizar sementes de alface, berinjela, chicória e cenoura, não encontrou bons resultados com relação a redução da toxicidade, que apresentou redução, porém, ainda apresentou efeito tóxico na germinação e desenvolvimento das plântulas.

Santana *et al.* (2019) encontraram resultados semelhantes ao realizar o tratamento do efluente de uma indústria têxtil pelo processo foto-Fenton/luz solar, com redução maior que 90% nos valores de DQO após tratamento. Ao utilizar a semente de alface e cravo da índia em testes de fitotoxicidade com esse efluente bruto e tratado, encontrou-se maiores valores de germinação em amostras utilizando o efluente tratado.

Franco (2010), por sua vez, mesmo após submeter o efluente têxtil a tratamento pelo processo UV/H₂O₂, teve como resultado um efluente tratado com toxicidade maior que o efluente bruto, após esta ser avaliada por meio de testes de germinação com semente de alface.

Esses trabalhos demonstram como efluentes têxteis de diferentes indústrias possuem características diversas e o quanto possuem substâncias recalcitrantes de difícil degradação, mesmo após passarem por tratamentos avançados, devendo sempre serem avaliados quanto a sua toxicidade antes de serem destinados a corpos hídricos.

3.5 PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS (POA'S)

Os Processos Oxidativos Avançados consistem em processos que utilizam radicais livres altamente reativos e não seletivos que são produzidos em quantidade suficiente para oxidar grande parte dos poluentes orgânicos presentes nos efluentes (Araújo *et al.*, 2021). Entre esses radicais, destaca-se a hidroxila, que é o mais utilizado, mas, além dele, também se faz o uso do radical sulfato, o íon de persulfato, o íon hipoclorito, entre outros, que ao reagir com o oxigênio dão início a uma série de reações de degradação que têm como resultados espécies inertes, comumente CO₂ e H₂O (Araújo *et al.*, 2021).

Os POA's vêm cada dia sendo mais utilizados pela sua capacidade de degradar substâncias recalcitrantes que não são removidas por meios de tratamentos convencionais. As tecnologias geralmente aplicadas são: fotólise com luz ultravioleta; fotólise com UV de oxidantes convencionais, tais como peróxido de hidrogênio (H₂O₂) ou ozônio (O₃), gerando o radical OH[°]; processo foto-Fenton; processos que empregam semicondutores (tais como o dióxido de titânio – TiO₂) (Calijuri; Cunha, 2013).

Processos Oxidativos Avançados vêm sendo amplamente estudados e tem sua eficiência comprovada para o tratamento dos mais diversos efluentes, tais como de postos de combustíveis (Araújo; Medeiros, 2019), lixiviado de aterro sanitário (Scandelai, 2021), de indústrias de papel (Neves *et al.*, 2020), entre outros. Outra aplicação desse processo que vem ganhando destaque ultimamente é para remoção de poluentes emergentes, como por exemplo

fármacos (Martins *et al.*, 2017) e EDTA (de Sousa *et al.*, 2017).

No que se refere ao tratamento de efluente têxtil, França *et al.* (2020), fazendo uso do corante têxtil Preto Biozol, comprovaram a eficiência do processo foto-Fenton, assistido por radiação UV e solar, nos quais foram obtidas remoções de cor de 92,47% após 120 minutos de processo na condição UV, enquanto na condição solar obteve-se remoção de 90,65% com apenas ¼ do tempo total. A remoção de DQO foi de até 85,40% no uso da luz UV e 50,20% na luz solar. O autor concluiu que a radiação solar apresentou melhor desempenho em comparação com a radiação UV, quando se trata da remoção de cor, destacando as vantagens de ordem econômica e ambiental que esses resultados promissores trazem.

O motivo da escolha de Processos Oxidativos Avançados para o tratamento do efluente têxtil neste projeto, além dos citados acima, é pela sua capacidade de gerar sais inorgânicos como subproduto do processo. Oliveira *et al.* (2019) afirmam que os POAs podem produzir, durante o processo, subprodutos de reação indesejados que podem ser mais tóxicos que o resíduo. Palácio *et al.* (2012) ao usar o processo foto-Fenton artificial para tratamento de um efluente têxtil obteve reduções acima de 90% em cor, DQO e turbidez, contudo havendo um aumento da toxicidade.

3.6 EFLUENTES TÊXTEIS, TRATAMENTO AVANÇADO E FITOTOXICIDADE: UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

Com o objetivo de selecionar um portfólio bibliográfico relevante e com reconhecimento científico sobre o tratamento avançado de efluentes têxteis a sua toxicidade, especificamente usando sementes para testes fitotóxicos, foram realizadas buscas sistematizadas e filtragens de artigos através da metodologia *Knowledge Development Process – Constructivist (ProKnow-C)*, um método difundido no meio científico que é composto por três etapas principais: seleção do portfólio de artigos; análise bibliométrica; e análise sistêmica (Linhares *et al.*, 2019).

Neste trabalho, foi realizada a busca dos artigos em 4 bases de dados, duas internacionais e duas nacionais. Foram definidas *strings* compostas pelas palavras-chave *textile effluent*, *advanced oxidative processes*, *phytotoxicity*, *methodology*, *seed germination*, *nitrate*, *chloride*, *sulfate*, *ecotoxicological standards*, *treated effluents*, *final disposition* e *reuse*, pelos operadores booleanos *OR* e *AND*, pesquisadas nas bases de dados internacionais *Scopus* e *Web of Science*, adotando o período de 2018 a 2022. A busca de artigos também foi

realizada nas bases de dados nacionais, Google acadêmico e Capes Cafe para o mesmo período de tempo.

As *strings* foram testadas e ajustadas até definir a melhor adesão a quantidade de artigos nas bases de dados. Após essa busca, definiu-se um grupo de artigos, originando o banco de dados de artigos brutos (BAB). As *strings* de busca nas bases de dados retornaram 148 artigos, as quais foram utilizadas no processo de filtragem, para a redução ao portfólio bibliográfico relevante para as análises bibliométricas.

Na filtragem, inicialmente fez-se a exclusão de 41 artigos repetidos, restando 107 artigos no banco de dados de artigos brutos (BAB). Após a leitura dos títulos dos 107 artigos do BAB, foram excluídos 56 artigos que não se adequaram à temática, restando 51 artigos. Destes, fez-se a leitura do resumo, restando 23 artigos com informações relevantes para o tema pesquisado. Esses 23 artigos foram lidos na íntegra, restando 10 deles para o portfólio Bibliográfico Final – PBF (Tabela 1).

Tabela 1. Representação esquemática das etapas de seleção e filtragem do portfólio bruto para obtenção do portfólio final.

PORTFÓLIO BRUTO: 148 ARTIGOS	
Filtro aplicado	Nº de artigos excluídos
1. Duplicidade	41 artigos
↓	
2. Leitura de títulos	56 artigos
↓	
3. Leitura do resumo	23 artigos
↓	
4. Leitura na íntegra	13 artigos

Fonte: Autoria própria (2023).

Vale destacar a importância desta etapa, pois a busca com a *string* (TITLE-ABS-KEY (*seed* AND *germination*) AND TITLE-ABS-KEY (*nitrate*) AND TITLE-ABS-KEY (*chloride*) AND TITLE-ABS-KEY (*sulfate*)), por exemplo, não foi realizada apenas nos títulos e palavras-chave dos artigos, como também nos resumos. Dessa forma, possibilitou-se a incorporação de trabalhos que, embora apresentassem as palavras-chave procuradas, não abordavam especificamente o tema de pesquisa.

Tabela 2. Portfólio Bibliográfico Final (PBF) resultante do método Proknown-C.

	Título	Ano	Autores	Periódico
1	Assessment of water quality from the Blue Lagoon of El Cobre mine in Santiago de Cuba: a preliminary study for water reuse	2019	Gamez <i>et al.</i>	Environmental Science and Pollution Research
2	Reestruturação na forma do tratamento de efluentes têxteis: uma proposta embasada em fundamentos teóricos	2019	Queiroz <i>et al.</i>	Gestão & Produção
3	Estresse salino e diferentes temperaturas alteram a fisiologia em sementes de <i>Clitoria fairchildiana</i> Howard	2019	Silva <i>et al.</i>	Ciência Florestal
4	Hidrocondicionamento de sementes de <i>Piptadenia moniliformis</i> Benth. e seus efeitos sobre a tolerância ao estresse salino	2020	Benedito <i>et al.</i>	Ciência Florestal
5	Application of heterogeneous photo-fenton process using chitosan beads for textile wastewater treatment	2020	Dalari <i>et al.</i>	Journal of Environmental Chemical Engineering
6	Seed physiological quality and seedling growth of pea under water and salt stress	2020	Pereira et al	Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental
7	Application of continuous H ₂ O ₂ /UV advanced oxidative process as an option to reduce the consumption of inputs, costs and environmental impacts of textile effluents	2020	Rosa <i>et al.</i>	Journal of Cleaner Production
8	Current Trends on Role of Biological Treatment in Integrated Treatment Technologies of Textile Wastewater	2021	Ceretta <i>et al.</i>	Frontiers in Microbiology
9	Assessment of Microbial and Ecotoxicological Qualities of Industrial Wastewater Treated with Membrane Bioreactor (MBR) Process for Agricultural Irrigation	2021	Vural <i>et al.</i>	Water, Air, & Soil Pollution
10	Treatment of Wastewater Containing New and Non-biodegradable Textile Dyes: Efficacy of Combined Advanced Oxidation and Adsorption Processes	2022	Feuзер-Matos <i>et al.</i>	Water, Air, and Soil Pollution

Fonte: Autoria própria (2023).

Os testes de fitotoxicidade são relativamente recentes e poucos foram os trabalhos encontrados usando as sementes de feijão e algodão avaliando o efluente têxtil, bem como utilizando os sais cloreto de sódio e sulfato de sódio como controle positivo. Assim, a distribuição temporal dos artigos do portfólio bibliográfico final data de 2019 até o ano de busca das strings (2022) (Figura 1).

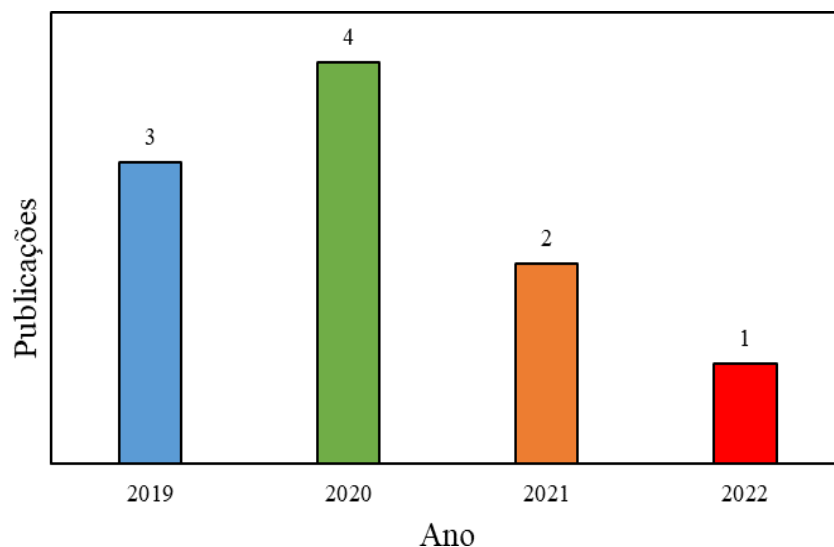


Figura 1: Distribuição temporal dos artigos do portfólio bibliográfico final.
Fonte: Autoria própria (2023).

Com relação aos periódicos, com exceção de quatro artigos que estão publicados na *Water, Air, & Soil Pollution* e *Ciência Florestal* (dois em cada), os demais são todos publicados em locais distintos. Observa-se que, ao analisar as referências, estas, em sua maioria, não estão contidas nos periódicos dos artigos do PBF, sendo o *Environmental Science and Pollution Research* o mais observado com 4 ocorrências.

Os periódicos onde estão publicados os artigos do Portifólio Bruto e a quantidade de vezes que estes possuem artigos publicados que compõem a referência podem ser visualizados na Figura 2.

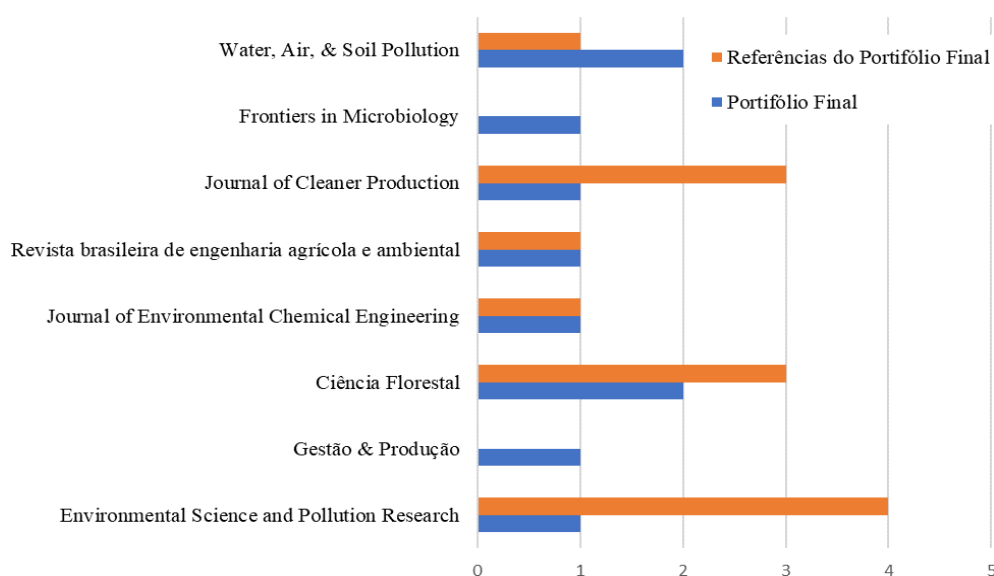


Figura 2: Periódicos de destaque no portfólio bibliográfico final e de suas referências.
Fonte: Autoria própria (2023).

O PBF mostrou-se relevante ao tema e apresenta lacunas que deverão posteriormente ser respondidas por este trabalho de pesquisa para futura publicação.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 SELEÇÃO DE SEMENTES

Levando em consideração as exigências para ser um bom bioindicador e parte do projeto de pesquisa da FAPESQ, optou-se por sementes de uso comum, fácil acesso e com relevância ambiental, como por exemplo, a semente de algodão, principal matéria-prima da indústria têxtil, e o feijão, grão muito cultivado e consumido em todo o Brasil, principalmente no Norte e Nordeste.

Assim, inicialmente utilizou-se o algodão (*Gossypium herbaceum*) e feijão carioca (*Phaseolus vulgaris Pinto Group*). Com base em resultados dos primeiros testes e investigações realizadas na literatura, manteve-se a semente de algodão, porém passou-se a utilizar o feijão-caupi (*Vigna unguiculata*).

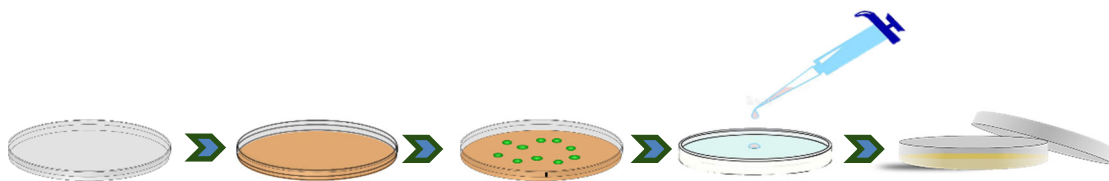
4.2 DEFINIÇÃO DAS CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS – FITOTOXICIDADE AGUDA DAS SEMENTES SELECIONADAS

Os testes foram realizados com as sementes de feijão e algodão, a fim de definir as seguintes variáveis: i) quantidade de dias necessários para sua germinação, ii) volume de solução que deve umedecer o substrato com as sementes, iii) temperatura da incubadora e iv) quantidade de papéis filtro na placa de petri. Para os testes piloto de fitotoxicidade, utilizou-se somente água destilada como controle negativo e as sementes de algodão e feijão.

O procedimento foi realizado da seguinte maneira: as placas de Petri (90x15 mm) foram previamente lavadas com água e sabão, imergidas em solução de ácido sulfúrico (concentração 20%), em sequência banhadas com água destilada, colocadas para secar em estufa e identificadas; depois colocou-se papel filtro como meio suporte em cada uma delas e 10 sementes de uma mesma espécie foram distribuídas em cada placa, deixando espaço suficiente para crescimento das raízes.

Posteriormente, foi adicionada uma quantidade previamente definida da água destilada para umedecer o papel com uma micropipeta. Quando na técnica entre papéis, outro papel filtro foi utilizado para cobrir as sementes. As placas foram tampadas e cobertas com filme plástico, para que não ocorresse perda de umidade durante o teste. Após isso, as placas foram colocadas em incubadora BOD. Foram realizados 3 testes para definição de melhores

condições de germinação.



No primeiro teste realizado (T1), a incubadora foi mantida a uma temperatura de 22 ± 2 °C e cada placa foi pipetada com o volume de 6 mL de água destilada, com um papel filtro como substrato (condições estas utilizadas nos testes de fitotoxicidade, com sementes de hortaliças, pelo grupo de pesquisa), e as placas foram colocadas, para cada semente, em triplicata. Sendo uma duplicata retirada após 120 horas (5 dias) e a placa restante após 168 horas (7 dias) (Figura 3).



Figura 3: Sementes de algodão e feijão carioca distribuídas em placas de petri.

Fonte: Autoria própria (2023)

Nesses testes, utilizou-se sementes de algodão e feijão carioca, esse último escolhido por ser altamente conhecido e consumido no Brasil. Após o período de incubação as placas foram retiradas e as plântulas (Figura 4) foram medidas com auxílio de régua graduada.

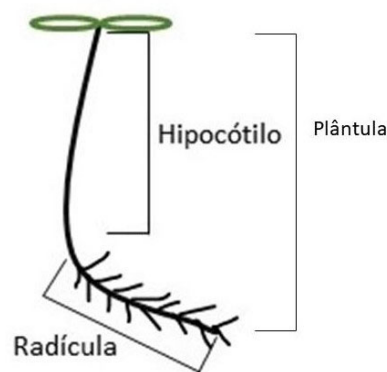


Figura 4: Estrutura básica das plântulas.
Fonte: Adaptado de Sobrero e Ronco, 2004.

No segundo teste realizado (T2), a incubadora continuou na temperatura de 22 ± 2 °C e as placas foram colocadas, para cada semente, em quadruplicata, uma duplicata foi retirada após 120 horas (5 dias) e as restantes após 168 horas (7 dias), utilizando um e dois filtros (entre papéis). O volume de água destilada foi mantido em 6 mL. Nas placas com dois papéis filtro, dividiu-se o volume e metade foi pipetado no filtro de baixo e a outra metade no filtro que cobria as sementes.

Nessa etapa optou-se por mudar o tipo de feijão, tendo como motivação os resultados do feijão carioca e ainda por, de acordo com a literatura, o feijão mais cultivado e consumido no Nordeste ser o **feijão-caupi**, fazendo com que esse passasse a ser utilizado nos testes (Oliva *et al.*, 2013; Santos *et al.*, 2013; Oliveira *et al.*, 2019).

Na terceira (T3) e última batelada de testes para definição de condições de germinação, a incubadora foi programada para a temperatura 25 ± 2 °C, mudança que se deu devido os resultados insatisfatórios dos testes anteriores. Dessa maneira, a temperatura foi ajustada com base na literatura para testes de germinação de algodão e feijão (Coelho *et al.*, 2018; Paiva *et al.*, 2018). Além disso, variou-se o volume de solução nas placas de petri, analisando os volumes de 2, 4 e 6 mL para o algodão e 4, 6 e 8 mL para o feijão. A quantidade de filtros por placa também variou (1 ou 2 filtros) para cada um desses volumes investigados. Assim, obtendo-se 36 placas para cada tempo de incubação (5 e 7 dias), totalizando 72 placas, como pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3. Distribuição de placas de acordo com cada condição investigada para 5 e 7 dias de incubação.

SEMENTE	VOL DE SOLUÇÃO (mL)	Nº DE FILTROS	QTDE DE PLACAS
Algodão	2	1 filtro	3 placas
		2 filtros	3 placas
	4	1 filtro	3 placas
		2 filtros	3 placas
	6	1 filtro	3 placas
		2 filtros	3 placas
Feijão	4	1 filtro	3 placas
		2 filtros	3 placas
	6	1 filtro	3 placas
		2 filtros	3 placas
	8	1 filtro	3 placas
		2 filtros	3 placas
Total			36 placas

Fonte: Autoria própria (2023).

A análise de fitotoxicidade em todas as etapas dos testes piloto foi realizada calculando o coeficiente de variação e percentual de germinação, conforme as equações 1 e 2, onde foram adotados 2 pré-requisitos para controle negativo: i) a porcentagem de germinação deve ser superior a 90% e; ii) o coeficiente de variação, inferior a 30% (Zagatto; Bertoletti, 2014; Batista, 2016).

$$\text{Coeficiente de variação (CV)} = \frac{\text{Desvio padrão}}{\text{Média de germinação}} * 100 \quad (1)$$

$$\% \text{germinação} = \frac{\text{semente germinadas}}{\text{sementes utilizadas}} * 100 \quad (2)$$

4.3 INVESTIGAÇÃO DA FITOTOXICIDADE AGUDA DOS SAIS

Zagatto e Bertoletti (2014) afirmam que os testes ecotoxicológicos devem possuir substâncias controle, cujos resultados garantem confiabilidade aos testes. Para isso, é necessário que essas substâncias sejam conhecidas e tenham resultados difundidos na literatura.

Para o teste de fitotoxicidade, empregando controle positivo, escolheu-se como substâncias tóxicas os sais cloreto de sódio e sulfato de sódio. A escolha desses sais como

controle positivo se deu porque, de acordo com a literatura, são os mais encontrados no efluente têxtil já que são utilizados para fixação no tingimento de tecidos (Pizato, 2017; Leal, 2014; Salazar *et al.*, 2019).

Seguiu-se as definições estabelecidas pelos testes que definiram as melhores condições experimentais (item 4.2), onde as placas de petri foram umedecidas com 4 ml de solução e as sementes de algodão colocadas sobre um papel filtro, enquanto as de feijão seguiram a técnica entre papéis. Após isso, foram incubadas por 5 dias em uma temperatura de 25 °C e, ao final, medidos os comprimentos das plântulas para assim obter os índices de germinação e de crescimento relativo das plântulas.

As concentrações de sais utilizadas foram escolhidas de acordo com a literatura, àquelas capazes de causar alterações na germinação e crescimento de plântulas. Assim, foi utilizado Cloreto de Sódio nas concentrações de 0,12 M, 0,14 M, 0,16 M, 0,18 M e 0,20 M (Moraes Júnior, 2015) e o Sulfato de Sódio nas concentrações 0,02 M, 0,04 M, 0,06 M, 0,08 M e 0,10 M (Labre *et al.*, 2008).

4.4 TESTES DE FITOTOXICIDADE DO EFLUENTE TÊXTEL REAL BRUTO E FOTOTRATADO

O efluente têxtil utilizado na presente pesquisa provém de uma indústria de beneficiamento de tecido de algodão, localizada no distrito industrial de João Pessoa/PB. Tal indústria opera com seis máquinas destinadas à lavagem e ao tingimento com capacidade para beneficiar 6.500 kg de malha por dia. O efluente produzido pelo empreendimento é tratado por um sistema físico-químico.

O efluente aqui utilizado foi coletado na entrada da ETE e sua caracterização compreendeu a determinação dos parâmetros pH, turbidez, condutividade, alcalinidade total, amônia, cloretos, DBO₅ e DQO, segundo métodos descritos no *Standard Methods for Examination Water* (APHA, 2017).

Visado validar (avaliar) as sementes, o controle positivo (sais) e o negativo (água destilada), nesta etapa realizou-se os testes de fitotoxicidade usando as sementes de algodão e feijão (Figura 5-a), umedecidas com 4 ml de efluente têxtil bruto e fototratado (Figura 5-b) nas condições predeterminadas na etapa de definição das condições experimentais (item 4.2). O efluente têxtil foi tratado pelo processo de fotocatalise solar heterogênea utilizando como catalisador alternativo pilhas Panasonic Alkaline, a base de zinco e manganês, parte

experimental da tese de doutorado de outro aluno do grupo de pesquisa.

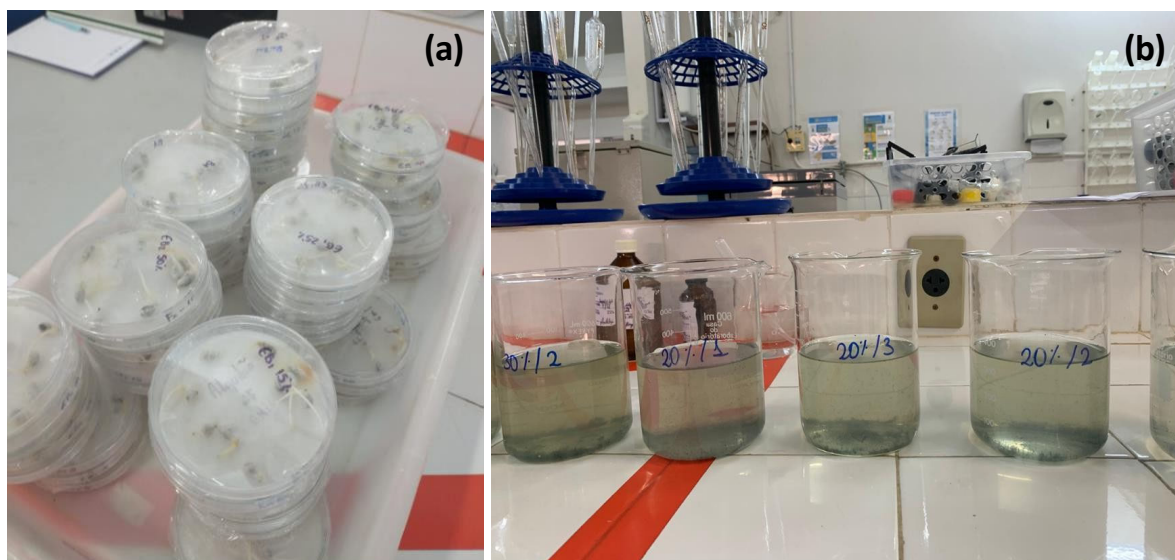


Figura 5: Placas com sementes umedecidas com efluente bruto e tratado (a) e efluente tratado diluído (b).

Fonte: Autoria própria (2023).

Os testes com efluente bruto foram realizados nas concentrações de 50%, 25%, 15%, 10% e 5%. Para o efluente tratado foram utilizadas as seguintes concentrações: 100%, 50%, 40%, 30%, 20% e 10%.

4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Após a coleta de dados, foi realizada a análise estatística dos comprimentos médios das plântulas em cada placa de Petri. Para comparação com o grupo controle usou-se por meio de ANOVA e os testes de Tukey e Dunnett e para o Índice de Germinação (IG) foi de acordo com Belo (2011), segundo a equação (3).

$$IG = \frac{NSGa * CPa}{NSGb * CPb} * 100 \quad (3)$$

Onde,

CPb é o comprimento médio das plântulas (hipocótilo + radícula) no controle negativo;

CPa é o comprimento médio das plântulas nas amostras de diluição do efluente têxtil;

NSGa o número de sementes germinadas nas amostras de diluição; e

NSGb o número de sementes germinadas no controle negativo.

Como *endpoint* utilizou-se a CE₅₀ por levar em consideração o crescimento médio das radículas e o percentual de germinação, sendo possível representar de uma maneira mais significativa os efeitos tóxicos da matriz aquosa (efluente têxtil) a 50% das amostras. A Concentração Efetiva foi obtida através de análises de regressão do IG, podendo ser linear ou polinomial de 2º e 3º grau, a depender dos melhores ajustes de retorno.

Com os dados de crescimento das plântulas também é possível calcular a CI₅₀, ou seja, Concentração de Inibição de 50% dos indivíduos. Esta pode ser obtida tal qual a CE₅₀, substituindo o valor de IG pelo Índice de Crescimento Relativo da Plântula (ICRP), calculado conforme a equação 4.

$$ICRP(\%) = \frac{CPb - CPa}{CPb} * 100 \quad (4)$$

Onde,

CPb é o comprimento médio das plântulas (hipocótilo + radícula) no controle negativo;

CPa é o comprimento médio das plântulas nas amostras de diluição do efluente têxtil.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 FITOTOXICIDADE AGUDA DAS SEMENTES SELECIONADAS

Os resultados do primeiro teste (T1) estão expressos na Tabela 4, onde o feijão carioca não apresentou bom coeficiente de variação, visto que, quanto menor esse coeficiente, menor a dispersão e mais homogêneos são os dados. Embora apresentando coeficientes menores que o feijão, o algodão também não apresentou CV menor que 30%.

Tabela 4. Teste de germinação das sementes de algodão e feijão carioca a 22 °C, umedecido com 6 mL de água destilada.

Dias de incubação	Algodão			Feijão		
	CM	CV	%G	CM	CV	%G
5 dias	5,27	33%	95%	4,11	47%	90%
7 dias	7,48	40%	100%	5,50	50%	90%

Legenda: CM: comprimento médio da plântula medido em cm; CV: coeficiente de variação; %G: porcentagem de germinação.

Tais resultados podem estar associados à temperatura, pois a incubadora encontrava-se com temperatura inferior aos testes de fitotoxicidade encontrados na literatura com essas sementes (Medeiros Filho *et al.*, 2006; Coelho *et al.*, 2008; Colman *et al.*, 2014). A temperatura influencia na germinação e desenvolvimento da plântula (Novembre, 1994). O volume usado para umedecer o substrato também pode ter sido insuficiente para o desenvolvimento das sementes, visto que o papel filtro das placas de petri com feijão estava totalmente seco no dia da medição (Figura 6).



Figura 6: Placa contendo sementes de feijão carioca com substrato totalmente seco.
Fonte: Autoria própria (2023).

Com os resultados do primeiro teste (T1), além de selecionar um novo tipo de feijão, baseando-se nas regras para análise de sementes do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2009), decidiu-se variar a quantidade de filtros, usando a técnica entre papéis, recomendada para sementes maiores.

Os resultados do segundo teste (T2) estão expressos na Tabela 5, em que é possível destacar os resultados do algodão que, apesar de bons, algumas plântulas apresentaram cor amarronzada (Figura 7) e fácil rompimento, indicando apodrecimento. O feijão-caupi, por sua vez, também não apresentou bom coeficiente de variação e os testes usando apenas um filtro apresentaram porcentagem de germinação menor que 90%.

Tabela 5. Teste de germinação das sementes de algodão e feijão-caupi a 22 °C, umedecido com 6 mL de água destilada.

Dias de incubação	Qtde de filtros	Algodão			Feijão		
		CM	CV	%G	CM	CV	%G
5 dias	1 filtro	4,69	33%	95%	4,81	46%	70%
	2 filtros	5,87	39%	85%	4,73	61%	100%
7 dias	1 filtro	5,81	36%	90%	3,75	52%	70%
	2 filtros	8,74	32%	95%	6,47	35%	90%

Legenda: CM: comprimento médio da plântula medido em cm; CV: coeficiente de variação; %G: porcentagem de germinação.



Figura 7: Sementes de algodão apresentando cor amarronzada e apodrecimento.
Fonte: Autoria própria (2023).

Observa-se que, apesar da mudança do tipo de feijão, os resultados ainda não foram satisfatórios. Assim, após esse teste, decidiu-se mudar a temperatura e volume, com base no que foi encontrado na literatura (Coelho *et al.*, 2008; Colman *et al.*, 2014), tendo como motivação, além dos altos valores no coeficiente de variação, o apodrecimento que algumas plântulas sofreram.

Após a realização do último teste (T3), à temperatura de 25 °C e variações de volume, obteve-se os seguintes valores (Tabelas 6 e 7). Observou-se que os melhores resultados foram obtidos nos testes em 5 dias, utilizando dois filtros para o feijão e um para o algodão, e para o volume de 4 ml de água destilada.

Tabela 6. Teste de germinação das sementes de algodão a 25 °C, com diferentes volumes de umectação do papel filtro.

Dias de incubação	Qtde de filtros	Algodão								
		2 mL			4 mL			6 mL		
		CM	CV	%G	CM	CV	%G	CM	CV	%G
5 dias	1 filtro	3,00	35%	87%	4,09	30%	97%	5,86	28%	93%
	2 filtros	1,96	28%	93%	4,64	28%	100%	5,38	32%	93%
7 dias	1 filtro	2,83	45%	90%	5,22	40%	100%	7,84	34%	90%
	2 filtros	2,36	30%	97%	5,83	36%	93%	7,61	41%	93%

Legenda: CM: comprimento médio da plântula medido em cm; CV: coeficiente de variação; %G: porcentagem de germinação.

Tabela 7. Teste de germinação das sementes de feijão-caupi a 25 °C, com diferentes volumes de umectação do papel filtro.

Dias de incubação	Qde de filtros	Feijão - caupi								
		4 mL	6 mL	8 mL	4 mL	6 mL	8 mL	4 mL	6 mL	8 mL
		CM	CV	%G	CM	CV	%G	CM	CV	%G
5 dias	1 filtro	3,80	36%	97%	3,43	54%	77%	2,85	57%	67%
	2 filtros	4,97	30%	93%	8,63	32%	97%	2,58	46%	53%
7 dias	1 filtro	5,27	25%	100%	2,41	42%	77%	3,29	52%	40%
	2 filtros	6,96	30%	90%	5,55	60%	100%	8,01	31%	80%

Legenda: CM: comprimento médio da plântula medido em cm; CV: coeficiente de variação; %G: porcentagem de germinação.

Algumas placas apresentaram plântulas de algodão na coloração marrom como no teste anterior (T2). Também observou-se que, em algumas placas com feijão, houve apodrecimento das sementes germinadas e até de sementes que nem chegaram a germinar, conforme figuras 8a, 8b, 8c e 8d. Verificou-se algumas dessas apresentando a coloração rosada. Foi possível constatar também a presença de fungos em algumas placas, tanto de feijão, quanto de algodão (Tabela 8).

Tabela 8. Placas que apresentaram fungos e/ou apodrecimento.

Dias de incubação	Qde de filtros	Algodão			Feijão		
		2 mL	4 mL	6 mL	4 mL	6 mL	8 mL
5 dias	1 filtro			A, F		A, R	
	2 filtros		A	A			
7 dias	1 filtro	F	A		A, F	A, F	A, R
	2 filtros		A, F		F	F	A, R

Legenda: A – Apodrecimento; F - fungo; R - sementes roseadas.

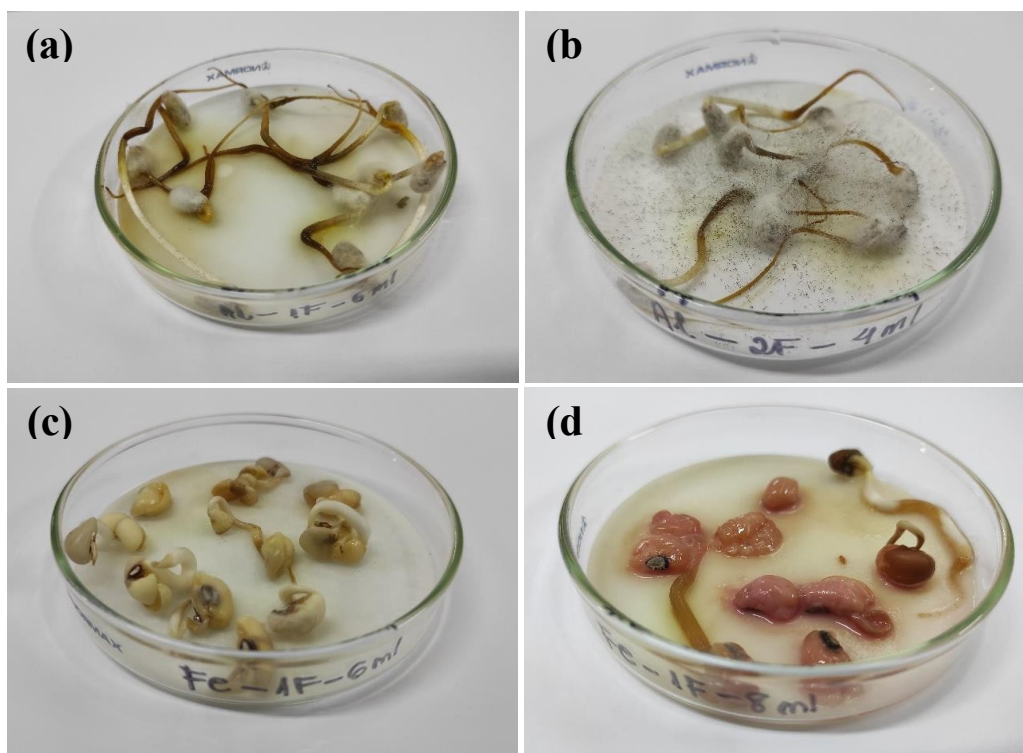


Figura 8: (a) plântula de algodão com coloração marrom; (b) plântulas de algodão que apresentaram fungos; (c) sementes de feijão apodrecidas; (d) sementes de feijão apodrecidas e apresentando coloração rósea.
 Fonte: Autoria própria (2023).

O apodrecimento nas sementes de algodão pode estar associado a um processo chamado *damping-off* ou tombamento, causado pelo fungo *Rhizoctonia solani* (Oliveira *et al.*, 2014). Trata-se de uma patologia comum em sementes de algodão, devido à presença desse fungo no solo ou em sementes contaminadas (Les *et al.*, 2020). A proliferação desses fungos e bactérias pode ter acontecido por diversos motivos, entre eles, possibilidade de oscilações da energia elétrica durante o final de semana enquanto o teste estava em andamento, contaminação das sementes durante a realização do teste ou ainda sementes contaminadas antes ou durante sua comercialização. Assim, para a continuação dos testes optou-se pelo uso de um novo pacote de sementes de algodão.

Quanto à coloração rósea apresentada pelo feijão, possivelmente foi causado pelo fungo *Fusarium Solani*, comumente associado à patologia em sementes de feijão, cujos alguns dos efeitos é o apodrecimento e mudança de coloração (Choudhury, 1984; Lobo Junior, 2021). A proliferação desse fungo pode ser causada por baixas temperaturas e alta umidade (Lobo Junior, 2021).

Levando em conta o coeficiente de variação e porcentagem de germinação, os testes

de fitotoxicidade com sais para controle positivo foram realizados com feijão-caupi e algodão à temperatura de 25 °C, por um período de incubação de 120h (5 dias).

Ao considerar os resultados do último teste (T3), o feijão apresentou melhor condição de germinação com 2 filtros e volume de 4 ml e o algodão, com mesmo volume, somente com um filtro. Nessas condições, o feijão-caupi apresentou 30% de coeficiente de variação e 93% de germinação, enquanto o algodão apresentou 30% de coeficiente de variação e 97% de germinação. Nessas condições os testes atenderam ao critério de porcentagem de germinação maior que 90% e coeficiente de variação abaixo de 30% e não apresentaram apodrecimento ou presença de fungos.

Assim, para os testes de fitotoxicidade aguda com as diferentes concentrações dos sais do controle positivo, bem como com as diferentes concentrações do efluente têxtil bruto e fototratado, utilizou-se essas condições supracitadas para as sementes de feijão e algodão.

5.2 INVESTIGAÇÃO DA FITOTOXICIDADE AGUDA DO SAIS

5.2.1 Cloreto de sódio

Nos testes de controle positivo foi possível estabelecer a CE50. Os testes de Tukey e Dunnett, com ambas sementes, apresentaram 95% de significância ($\alpha = 0,05$). Os testes de cloreto de sódio com as sementes de algodão e feijão podem ser observados na tabela 9.

Tabela 9. Resultados do teste de fitotoxicidade realizado com diferentes concentrações de Cloreto de sódio nas sementes de algodão e feijão.

Sementes	Índices	Concentrações de NaCl (M)					
		CN	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20
Algodão	CM	3,14 ^a	1,00 ^{*b}	1,20 ^{ab}	0,63 ^b	1,03 ^b	0
	CV	42%	59%	83%	105%	46%	0
	IG	100,0%	7,1%	4,3%	3,0%	3,7%	0
Feijão	CM	7,09 ^a	2,93 ^b	2,66 ^b	1,69 ^b	1,01 ^b	0
	CV	36%	47%	44%	56%	47%	0
	IG	100,0%	33,0%	18,8%	11,1%	3,8%	0

Legenda: *não apresentam diferença significativa do controle negativo pelo teste de Dunnett (95% de confiança); (abc) amostras, dentro de cada semente, que compartilham uma mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey (95% de confiança); CN: controle negativo; CM: comprimento médio da plântula medido em cm; CV: coeficiente de variação; IG: Índice de Germinação; M: mol/L.

Observa-se que todas as concentrações apresentaram efeito muito fitotóxico às sementes de algodão e feijão, apresentando Índices de Germinação inferiores à 30%, com base na tabela de classificação qualitativa de fitotoxicidade (Belo, 2011). Na concentração de 0,20 M nem mesmo houve germinação para nenhum dos organismos teste.

Ao analisar a semente de algodão, segundo o teste de Tukey, as diluições encontram semelhanças entre si, com exceção de 0,14 M que apresenta semelhança com o controle negativo, além da semelhança com as demais. O teste de Dunnett confirma a total disparidade de características do CN quando comparado às diluições de 0,12M, 0,16M, 0,18M e 0,20M.

Observa-se que o Cloreto de sódio, nas concentrações estudadas, causa efeito deletério desde a germinação, visto que tanto %G, quanto o IG apresentaram valores muito inferiores ao controle negativo. Ao calcular a CE50 para a semente de algodão chegou-se ao valor de 0,07 M, obtida através da equação da curva dose x resposta. Tal curva apresentou um bom ajuste, dado o R^2 igual a 97,4% (Figura 9).

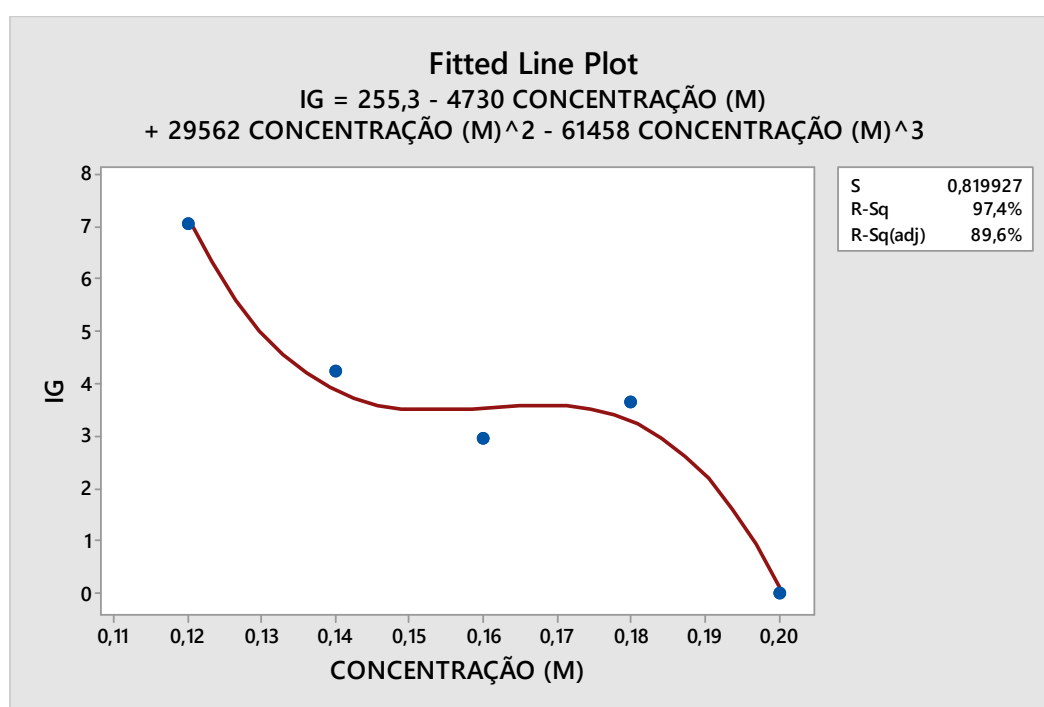


Figura 9: Concentração de Cloreto de Sódio x Índice de Germinação da semente de algodão.
 Fonte: Autoria própria (2023).

As sementes de feijão apresentaram índices melhores quando comparadas às sementes de algodão. No entanto, ainda assim, as concentrações foram classificadas como muito fitotóxicas, com exceção de 0,12M que é apenas fitotóxica (Belo, 2011). Os testes de Tukey e Dunnett para esse organismo teste apresentaram as diluições com semelhanças entre si, porém

nenhuma delas com qualquer traço característico do Controle Negativo.

Para a CE50 das sementes de feijão, encontrou-se o valor de 0,10 M, valor encontrado através da equação polinomial de 3º grau da curva dose x resposta, com R^2 de 99,8%, valor que demonstra um ótimo ajuste de dados (Figura 10).

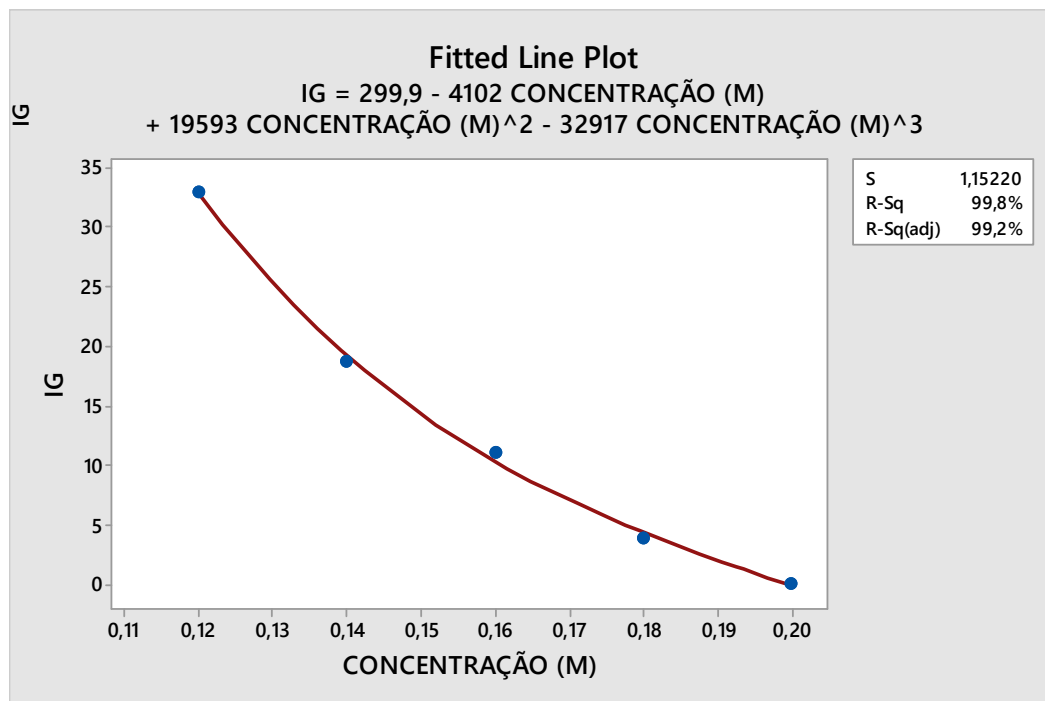


Figura 10: Concentração de Cloreto de Sódio x Índice de Germinação da semente de feijão.
Fonte: Autoria própria (2023).

Assim, os valores de 0,07 M e 0,10 M de NaCl ficam determinados como controle positivo nos testes de fitotoxicidade com as sementes de algodão e feijão, respectivamente. Onde, o algodão demonstra maior sensibilidade ao Cloreto de Sódio.

Bittencourt (2017), avaliando a influência de fatores ambientais na germinação por meio de testes de fitotoxicidade com extratos de capim-annoni-2, observou que o número de plantas normais diminuiu com o aumento da concentração do Cloreto de Sódio. O autor obteve germinação acima de 90% até as concentrações de 120 mM de NaCl, porém a partir da concentração de 69 mM a ocorrência de plantas normais foi reduzida a 50%

Nunes *et al.* (2019), avaliando os efeitos de sais sobre sementes de *Crotalaria juncea* L. utilizando soluções de NaCl, CaCl_2 e KCl com potenciais osmóticos de 0; -0,4; -0,8; -1,2; -1,6 e -2,0 Mpa obtiveram resultados indicando que as concentrações de NaCl não interferiram significativamente na germinação das sementes e no vigor de plântulas. Segundo esses mesmos autores, a toxicidade para as plantas proveniente das diversas fontes e concentrações

de sais utilizadas nos procedimentos resultou em impactos distintos no tamanho e na aparência das mudas.

Os sais mais facilmente solúveis revelaram-se prejudiciais, podendo induzir reações tóxicas ou impor restrições mais severas. Isso ocorre porque, ao absorverem água, as sementes também absorvem partículas carregadas, que, dependendo das concentrações, podem ocasionar toxicidade e provocar problemas no funcionamento fisiológico, resultando em uma redução na capacidade de germinação (Nunes *et al.*, 2019).

5.2.2 Sulfato de sódio

Nos testes de controle positivo com o Sulfato de sódio foi possível estabelecer a CE₅₀ para as sementes de algodão e feijão. Neles os testes de Tukey e Dunnett, também apresentaram 95% de significância ($\alpha = 0,05$). Encontrou-se os seguintes valores nos testes (Tabela 10).

Tabela 10. Resultados do teste de fitotoxicidade realizado com diferentes concentrações de Sulfato de Sódio.

Sementes	Índices	CN	Concentrações de Na ₂ SO ₄ (M)				
			0,02	0,04	0,06	0,08	0,10
Algodão	CM	3,14a	2,41 ^{*a}	1,03 ^b	1,29 ^b	0,78 ^b	0,70 ^b
	CV	42%	51%	58%	55%	66%	-
	IG	100,0%	65,4%	18,2%	19,8%	3,7%	0,8%
Feijão	CM	7,09 ^a	4,42 ^b	4,60 ^b	3,16 ^{bc}	2,88 ^c	1,67 ^c
	CV	36%	52%	58%	33%	34%	48%
	IG	100,0%	62,3%	62,7%	41,6%	33,8%	9,4%

Legenda: *não apresentam diferença significativa do controle negativo pelo teste de Dunnett (95% de confiança); (abc) amostras, dentro de cada semente, que compartilham uma mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey (95% de confiança); CN: controle negativo; CM: comprimento médio da plântula medido em cm; CV: coeficiente de variação; IG: Índice de Germinação; M: mol/L.

Nos testes com Sulfato de Sódio e a semente de algodão a concentração de 0,02M apresentou-se como moderadamente fitotóxica, enquanto as demais apresentaram-se muito fitotóxicas (Belo, 2011). Para o teste de Tukey, as concentrações de 0,04M a 0,10M apresentaram semelhanças entre si e, em Dunnett, a concentração de 0,02M melhor se equipara ao Controle Negativo.

Ao calcular a CE50 para a semente de algodão chegou-se ao valor de 0,02M, obtida através da equação da curva dose x resposta, com ajuste, dado o R^2 igual a 99% (Figura 11).

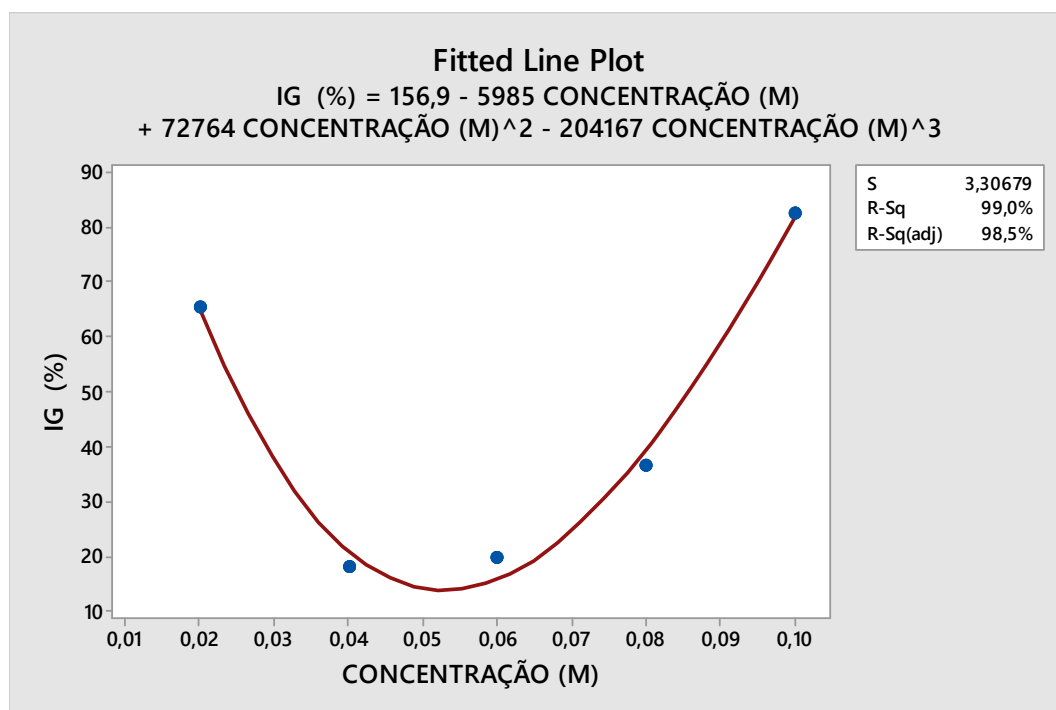


Figura 11: Concentração de Sulfato de Sódio x Índice de Germinação da semente de algodão.
 Fonte: Autoria própria (2023).

Com a semente de feijão, houve comportamento semelhante, com as concentrações 0,02M e 0,04M sendo moderadamente fitotóxicas, a concentração 0,06M sendo fitotóxica e as demais muito fitotóxica com base na classificação de Belo (2011). No teste de Dunnett, nenhuma das concentrações assemelhou-se às características do Controle Negativo. No entanto, ao serem comparadas entre si, apenas a concentração de 0,06M possui características semelhantes a todas as outras.

Novamente as sementes de feijão apresentaram índices melhores quando comparadas às sementes de algodão, ainda que apresentando toxicidade em ambas. Os testes de Tukey e Dunnett para esse organismo teste apresentaram as diluições com semelhanças entre si e também com traços característicos do Controle Negativo, diferente do Cloreto de Sódio.

Para a CE50 das sementes de feijão, encontrou-se o valor de 0,05 M, valor encontrado através da equação polinomial de 3º grau da curva dose x resposta com R^2 de 99,7%, valor que demonstra um ótimo ajuste de dados (Figura 12). O Gráfico em forma de parábola não é o esperado, visto que se espera uma diminuição do IG a medida que há aumento da concentração. Este comportamento pode estar relacionado a diversos fatores principais, como

a seleção do material vegetal, o número de repetições e a organização das unidades experimentais a serem utilizadas na prática. Esses fatores desempenham um papel fundamental na obtenção dos resultados em pesquisas relacionadas à cultura de plantas. (Compton, 2005).

Citados em Martins e Oliveira (2020), Sousa Filho (2017) obteve resultados semelhantes, onde a curva apresentou-se em parábola, em seu estudo utilizando sementes de mulungu (*Erythrina verna*) até uma concentração de 75 g.L⁻¹ de cloreto de potássio; e Silva et al. (2016) obteve curva semelhante com sementes de milho em concentrações de até 584,5 g.L⁻¹ de cloreto de sódio.

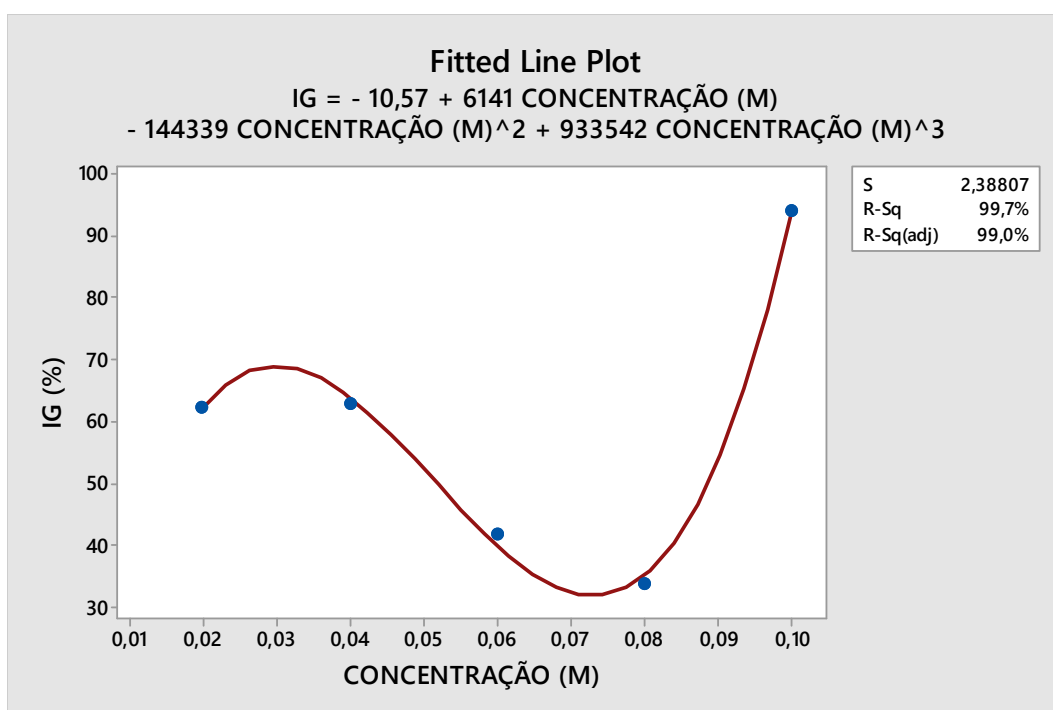


Figura 12: Concentração de Sulfato de Sódio x Índice de Germinação da semente de feijão.
 Fonte: Autoria própria (2023).

Assim, os valores de 0,02 M e 0,05 M de Na₂SO₄ ficam determinados como controle positivo nos testes de fitotoxicidade com as sementes de algodão e feijão, respectivamente. Onde, novamente o algodão demonstrou maior sensibilidade. Comparando os sais, o Sulfato de sódio apresentou-se mais fitotóxico às sementes que o Cloreto de Sódio.

De acordo com Schossler *et al.* (2012), a salinidade pode impactar as plantas devido a um desequilíbrio nutricional, onde a sobrecarga de íons no solo impede a absorção de outros íons e afeta desde os processos externos à planta até o desfecho do seu ciclo de vida. Se o solo está saturado com níveis significativos de sódio, o pH do solo pode aumentar

consideravelmente, resultando na redução da disponibilidade de zinco, cobre, manganês, ferro e boro. Isso pode levar à deficiência desses nutrientes nas plantas cultivadas, especialmente em quantidades menores.

5.3 TESTES DE FITOTOXICIDADE DO EFLUENTE TÊXTIL REAL BRUTO E FOTOTRATADO

5.3.1 Caracterização do efluente têxtil

O efluente têxtil utilizado nessa pesquisa foi coletado, fototratado e caracterizado em novembro de 2022 (Tabela 11).

Tabela 11. Resultados da caracterização do efluente têxtil real bruto e fototratado realizada em novembro de 2022.

Parâmetro	Resultados	
	Efluente têxtil bruto	Efluente têxtil fototratado
pH	7,21	7,94
Turbidez (UNT)	99,00	170,00
Cor (Pt-Co) (mg/L)	1510,56	260,44
Condutividade (mS/cm)	2320	5570
Alcalinidade total (mg/L)	300,00	500,00
Amônia (mg/L)	8,34	20,86
Nitrato (mg/L)	0,08	0,03
Cloretos (mg/L)	524,84	324,90
DBO5 (mg/L)	202,00	150,00
DQO (mg/L)	1695,04	258,14
DBO5/DQO	0,12	0,58
Sólidos Totais (mg/L)	2810,67	4580,67
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	1386,67	508,67
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	1424,00	4072,67

Fonte: Autoria própria (2023).

O efluente têxtil bruto apresentou o valor de pH neutro. Os efluentes têxteis tendem a ser alcalinos devido a grande quantidade de alcalinizantes usados para fixação dos corantes (Pizato *et al.*, 2017). A turbidez, por sua vez, apresentou valor intermediário quando comparado à literatura. Pizato *et al.* (2017) encontrou um valor de 37 UNT em efluente de uma indústria têxtil de *jeans* do sudoeste do Paraná. Hassemer e Sens (2007) encontraram uma turbidez de 270 UNT em efluente de uma indústria têxtil de Santa Catarina.

A cor do efluente é parâmetro muito variável neste tipo de indústria, visto que depende

dos tecidos e corantes utilizados e estes são muito variáveis em tipo e quantidade. Assim, é possível encontrar, em trabalhos, valores menores e maiores que o do efluente em questão (Trevizani *et al.*, 2019; Ribeiro *et al.*, 2010).

Quanto a alcalinidade, de acordo com Girad (2020), a alcalinidade avalia a habilidade da amostra em neutralizar um ácido forte devido à existência de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos. Como dito acima, com relação aos parâmetros cor e pH, os alcalinizantes usados, e a quantidade aplicada ao processo, varia entre as indústrias, dependendo, entre outros fatores, dos insumos utilizados nos processos de produção.

O valor de amônia, especificado na Resolução CONAMA nº 430/2011 como Nitrogênio Amoniacal Total (que mede o teor de amônia em uma amostra), está, no efluente em questão, dentro dos padrões estabelecidos para lançamento. É importante ressaltar que grandes quantidades de nitrogênio podem contribuir para a eutrofização em rios e lagos e é interessante conter a entrada excessiva desses nutrientes nos ambientes aquáticos, com o intuito de não contribuir para a proliferação de algas, causando, conseqüentemente, um desequilíbrio ambiental (Von Sperling, 2014).

Os sólidos totais em valores elevados nesse efluente podem estar associados à presença de sais dissolvidos, os quais são utilizados em grande quantidade nas etapas de produção, como os sulfatos, sais de sódio, carbonatos e cloretos (Pizato *et al.*, 2017). Além disso, influem diretamente na condutividade, que, por sua vez, podem interferir no tratamento do efluente, como na eletrocoagulação, por exemplo.

No efluente bruto, objeto deste estudo, o valor de DBO excede muito o valor permitido nos padrões de lançamento, bem como alto valor de DQO. “Valores elevados de DQO podem, ainda, ser um indicador da presença de substâncias capazes de consumir oxigênio, tais como Fe^{2+} (aq.), Mg^{2+} (aq.), NH^+ e elevados teores de cloretos” (Fenzl, 1988 *apud* Pizato *et al.*, 2017).

Assim, a relação DBO/DQO indica que a fração não biodegradável é altamente elevada, não sendo indicada apenas o tratamento biológico para o efluente bruto, mas sim um tratamento físico-químico ou avançado. Além desses, os demais parâmetros, como cor, condutividade, cloretos também apontam para essa necessidade.

Ao passar pelo tratamento por meio de fotocatalise heterogênea solar, utilizando como catalisador alternativo, proveniente da pilha Panasonic Alkaline, a base de zinco e manganês, observa-se que o tratamento não foi eficiente para a redução de alguns parâmetros (Tabela 11). Houve aumento nos valores de turbidez, condutividade, sólidos totais e sólidos totais

fixos. Tais valores estão relacionados entre si e podem ter aumentado devido a presença do catalisador sólido, de cor escura.

Os parâmetros cor, alcalinidade, amônia, nitrato e cloretos e sólidos totais e voláteis, por sua vez, apresentaram valores menores, confirmando a eficiência do tratamento. A DBO e a DQO também apresentaram valores menores, mas ainda assim não reduziram o suficiente para estar de acordo com as normas de lançamento de efluentes, porém a relação DBO/DQO mostra que o efluente fototratado melhorou a biodegradabilidade, indicando um pós-tratamento biológico.

5.3.2 Testes de fitotoxicidade

Foram realizados testes com a semente de algodão e feijão com efluente têxtil bruto e tratado em diferentes diluições. Com os valores, calculou-se o Índice de Germinação e Índice de Crescimento Relativo das Plântulas e com eles foi possível construir a curva dose x resposta.

Nas concentrações indicadas nesses testes, a porcentagem indica a quantidade de efluente presente, sendo a porcentagem restante completada com água destilada.

5.3.2.1 Algodão

Nos testes com efluente têxtil real bruto e fototratado usando a semente de algodão, o Índice de Germinação retornou valores acima de 100%, indicando que o efluente bruto e algumas concentrações do efluente fototratado potencializaram a germinação das sementes de algodão. Esse fato pode estar relacionado a maiores concentrações de nutrientes presentes no efluente têxtil, uma vez que certos nutrientes são essenciais para o desenvolvimento inicial de plantas, como, por exemplo, o nitrogênio (da Silva, 2020; Michel *et al.*, 2020) (Tabela 12).

Tabela 12. Resultados do teste de fitotoxicidade realizado com diferentes concentrações do efluente têxtil bruto e fototratado utilizando sementes de algodão.

Índices	CN	Percentual de concentração do efluente têxtil bruto					Percentual de concentração do efluente têxtil fototratado					
		5%	10%	15%	25%	50%	10%	20%	30%	40%	50%	100%
CM	2,39 ^a	1,98 ^{*ab}	2,21 ^{*ab}	2,59 ^{*b}	2,24 ^{*b}	3,43 ^b	1,79	2,61	2,24	2,05	1,93	1,63
CV	30%	53%	48%	49%	57%	47%	43%	43%	40%	27%	44%	57%
IG (%)	100	103,96	99,98	135,78	113,44	148,67	90,62	122,63	96,98	92,87	101,09	64,69

Legenda: *não apresentam diferença significativa do controle negativo pelo teste de Dunnett (95% de confiança); (ABC) amostras, dentro de cada semente, que compartilham uma mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey (95% de confiança); CN: controle negativo; CM: comprimento médio da plântula medido em cm; CV: coeficiente de variação; IG: Índice de Germinação.

Seria importante observar o desenvolvimento dessas plantas, por meio de testes de fitotoxicidade crônica, pois, por mais que apresentem boa germinação em placas, o efluente pode vir a interferir no desenvolvimento da planta a curto, médio ou longo prazo.

Traçando-se a curva dose x resposta (Figura 13), observa-se que a partir do valor de 35%, a medida que se aumenta a concentração de efluente, há também um aumento no índice de germinação. Aplicando o valor de 100% na equação, onde não haveria diluição do efluente têxtil, estando este totalmente bruto, ter-se-ia um índice de germinação igual a 338,02%.

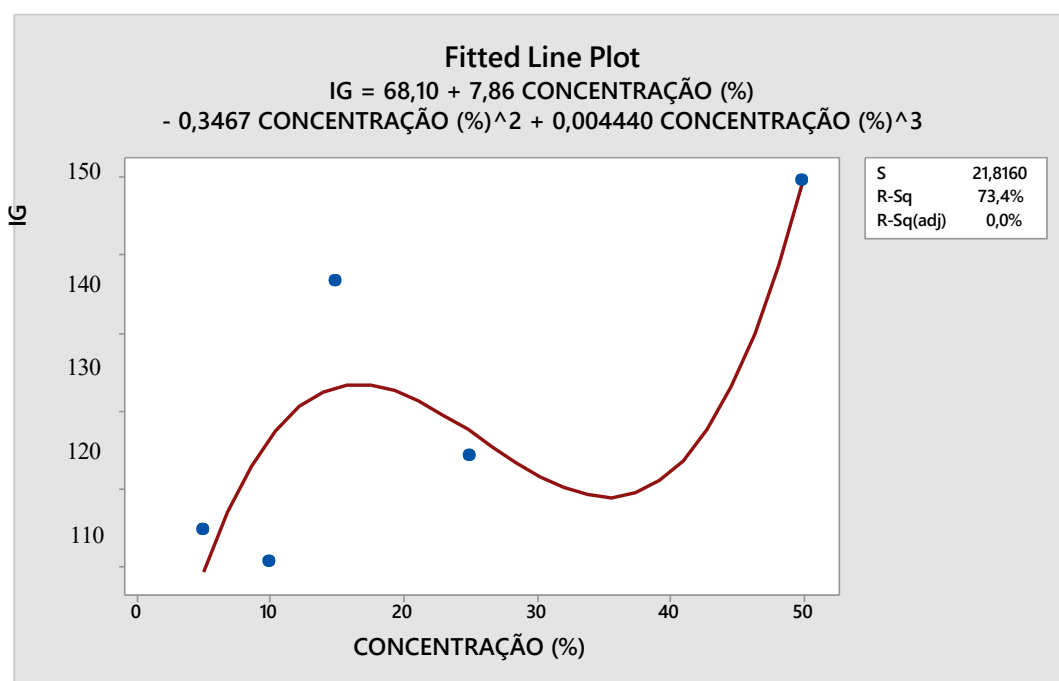


Figura 13: Porcentagem de concentração do efluente têxtil bruto *versus* índice de germinação (%) da semente de algodão.
 Fonte: Autoria própria (2023).

Segundo o teste de Tukey ($\alpha = 0,05$), os grupos que mais apresentaram diferença foram os referentes à concentração de 5% e 15%, que apresentaram maior semelhança com o controle negativo, e uma certa disparidade com as demais diluições. Na diluição de 15%, segundo Belo (2011), a amostra é não fitotóxica, enquanto nas demais diluições o efluente potencializa a germinação e crescimento das raízes. Por Dunnett, a concentração de 50% não apresenta qualquer semelhança com o controle negativo.

Para o efluente tratado (Tabela 12), os resultados não foram muito diferentes quanto aos Coeficientes de Variação, porém houve diminuição nos índices de germinação quando comparados aos testes com efluente bruto. Observa-se que, ao passar pelo fototratamento, o efluente diminuiu o seu potencial de germinação. O gráfico da curva dose x resposta

apresentou-se da seguinte maneira (Figura 14).

Segundo o teste de Dunnett ($\alpha = 0,05$), as amostras se assemelham muito ao controle negativo, com exceção da amostra de 100%, ou seja, aquela que contém o efluente tratado concentrado, sem diluição. Quanto ao teste de Tukey, as amostras de 50%, 60% e 70% são as que mais assemelham-se entre si e ao controle negativo.

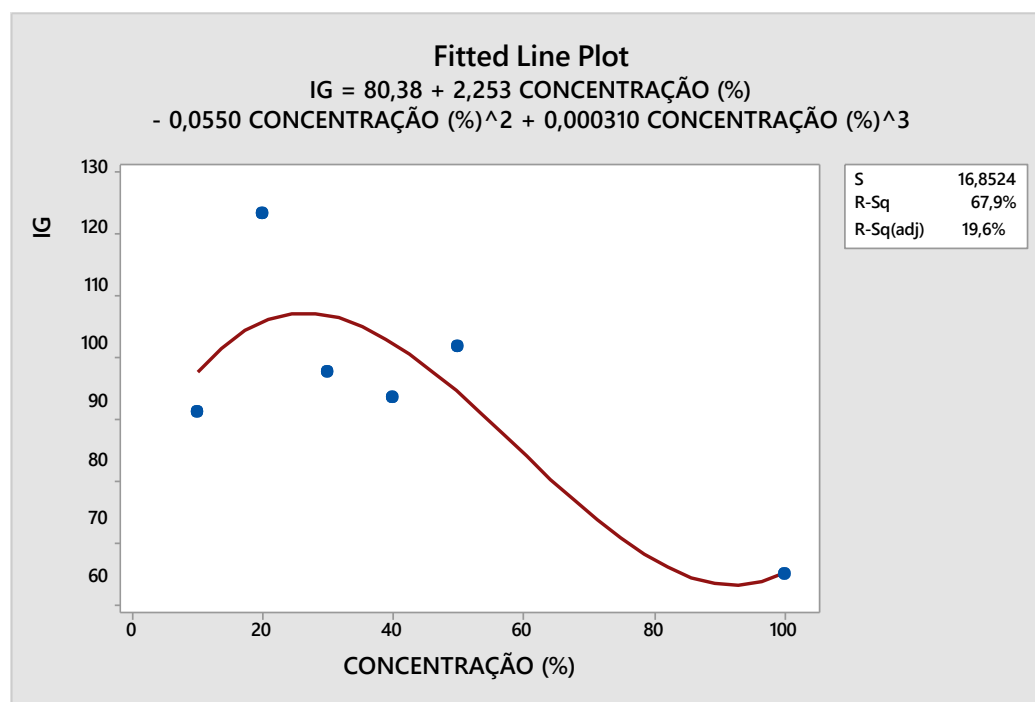


Figura 14: Porcentagem de concentração do efluente têxtil fototratado *versus* índice de germinação (%) da semente de algodão.

Fonte: Autoria própria (2023).

Essa redução nos valores de IG comparados ao efluente bruto, bem como o efluente tratado sem diluição apresentar menor Índice de Germinação, possivelmente está ligado à remoção de algum nutriente, durante o tratamento, que potencialize o crescimento das sementes de algodão e também à composição do catalisador alternativo (Zn e Mn).

Assim, o efluente têxtil fototratado mostrou-se não fitotóxico e nas diluições de 50% e 80% é capaz de potencializar a germinação e crescimento da plântula, conforme figura 14.

Nas curvas dos testes com efluente bruto e fototratado utilizando sementes de algodão (Figuras 13 e 14), o R^2 apresentou os menores valores comparadas às demais curvas deste trabalho. Isso indica uma menor precisão no ajuste da equação de tais curvas, no entanto, o fato de estarem acima de 65% torna os dados confiáveis (Engela, 2016). Algumas imagens dos testes que geraram essa curva podem ser vistos na Figura 15.

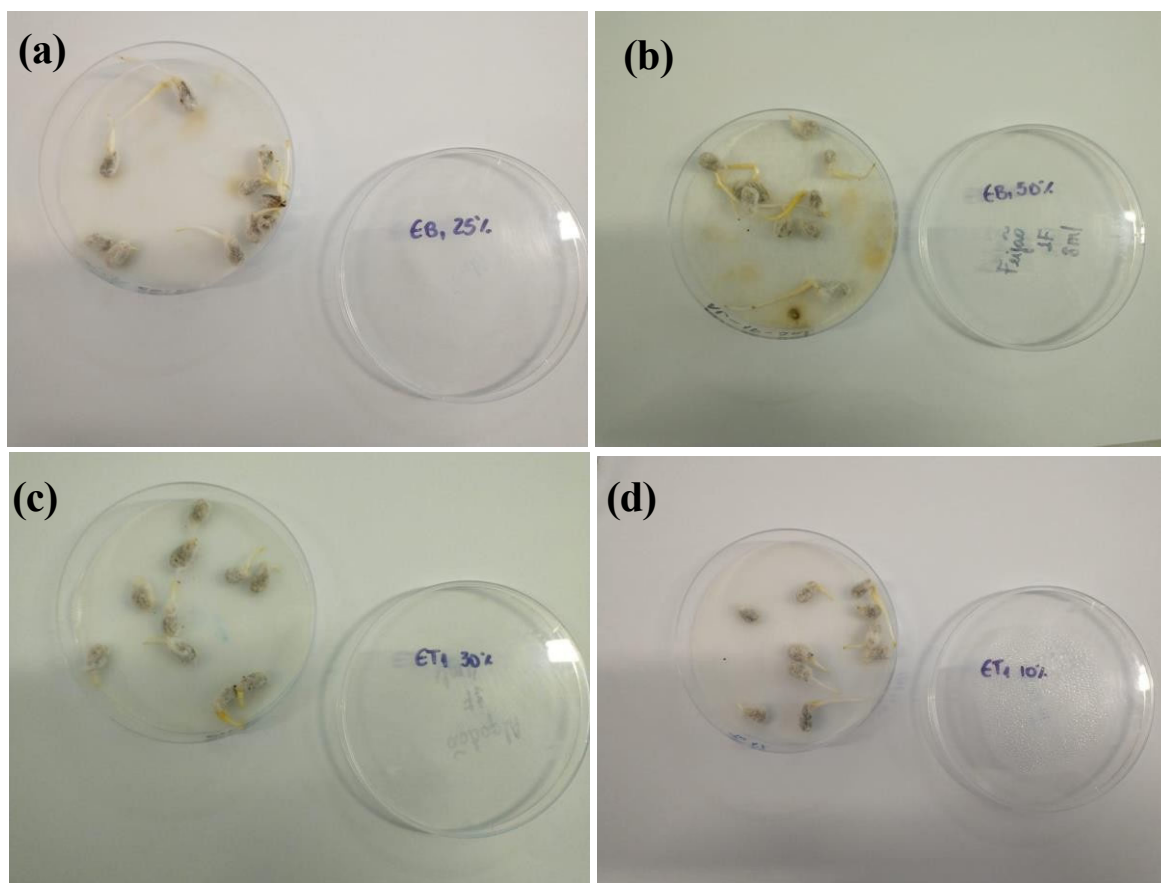


Figura 15: Testes com semente de algodão. (a) e (b) germinação da semente de algodão em efluente bruto; (c) e (d) germinação da semente de algodão em efluente tratado.

Fonte: Autoria própria (2023).

5.3.2.2 Feijão

Os testes com efluente bruto e tratado utilizando a semente de feijão, ao contrário dos resultados vistos nos testes com semente de algodão, o efluente bruto interferiu negativamente, retornando Índice de Germinação abaixo de 100% (Tabela 13).

Tabela 13. Resultados do teste de fitotoxicidade realizado com diferentes concentrações do efluente têxtil real bruto e fototratado utilizando sementes de feijão.

Índices	CN	Percentual de diluição do efluente têxtil bruto					Percentual de diluição do efluente têxtil fototratado					
		5%	10%	15%	25%	50%	10%	20%	30%	40%	50%	100%
CM	4,27 ^{*a}	2,96 ^{*a}	2,65 ^{*a}	2,85 ^{*a}	3,86 ^{*a}	4,14 ^{*a}	4,27 ^{*a}	4,10 ^{*a}	3,96 ^{*a}	3,17 ^{*a}	3,44 ^{*a}	4,79 ^b
CV	29%	72%	57%	64%	55%	60%	29%	65%	59%	85%	97%	53%
IG	100%	66,38%	56,96%	58,38%	71,56%	88,87%	100%	100,16%	104,48%	74,19%	72,76%	102,77%

Legenda: *não apresentam diferença significativa do controle negativo pelo teste de Dunnett (95% de confiança); (abc) amostras, dentro de cada semente, que compartilham uma mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey (95% de confiança); CN: controle negativo; CM: comprimento médio da plântula medido em cm; CV: coeficiente de variação; IG: Índice de Germinação.

O comportamento da curva pode estar associado aos altos valores de CV que, por sua vez, podem ter relação com a semente utilizada. No presente estudo utilizou-se o grão, vendido em supermercado, indicado para consumo alimentício.

Quanto ao IG, observa-se que o feijão é sensível ao efluente bruto. Analisando segundo Belo (2011), para as concentrações de 10% e 15%, o efluente apresentou-se como fitotóxico à semente, moderadamente fitotóxico para as concentrações de 5% e 25% e não fitotóxico para a concentração de 50%, conforme a curva dose x resposta (Figura 16).

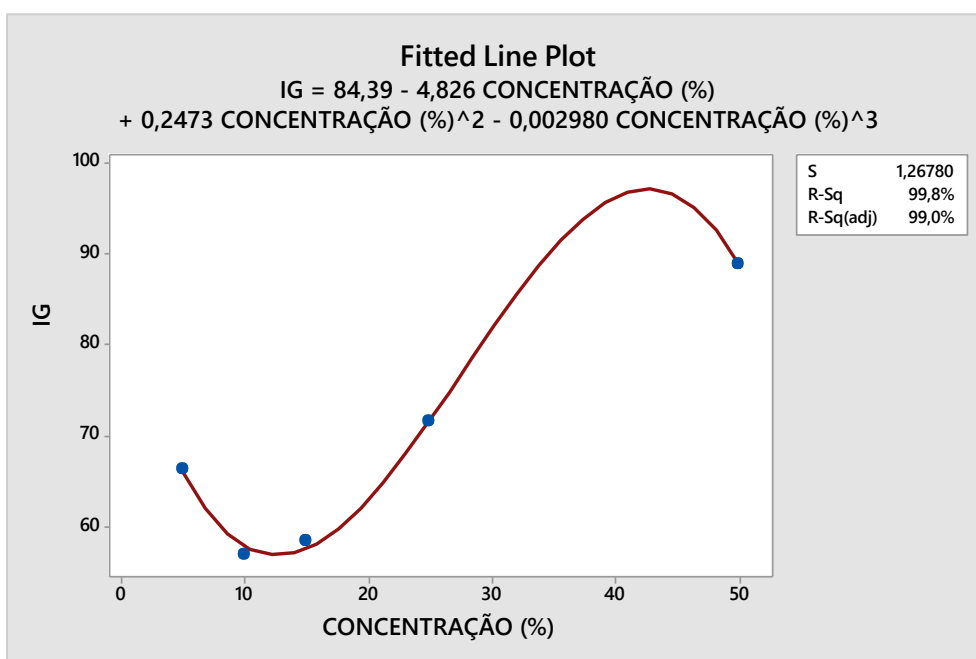


Figura 16: Porcentagem de concentração do efluente têxtil bruto *versus* índice de germinação (%) da semente de feijão com efluente têxtil bruto.

Fonte: Autoria própria (2023).

Utilizando a análise de regressão, obteve-se um R^2 de 99,8%, considerado excelente, garantindo alta precisão no ajuste da curva. Aplicando o valor de 100% na equação, onde não haveria diluição do efluente têxtil, estando este totalmente bruto, teria-se um índice de germinação igual a 213,34%. Ou seja, o efluente bruto também potencializaria a germinação da semente de feijão.

Observa-se até mesmo um crescimento médio das plântulas, a medida que aumenta a quantidade de efluente bruto, aproximando-se dos valores do CN. Pelos testes de Tukey e Dunnett ($\alpha = 0,05$), os valores de diluição assemelham-se entre si e ao controle negativo.

Com o efluente fototratado, houveram Coeficientes de Variação ainda mais altos e nenhuma diluição apresentando efeito fitotóxico. Os dados estão apresentados na tabela 13.

De acordo com Tukey e Dunnett, as amostras assemelham-se entre si e com o controle negativo, com exceção da diluição 100% (efluente fototratado sem adição de água destilada). Observa-se que, à medida que aumenta a concentração do efluente, há um aumento no CM que, quando com o efluente tratado sem diluição, chegam a ultrapassar o Controle Negativo.

Quanto aos Índices de Germinação, para as concentrações de 30 e 40%, o efluente demonstrou-se moderadamente fitotóxico. Esses dados podem ser questionados quanto à sua validade, visto que esses apresentaram maior Coeficiente de Variação, assim demonstrando imprecisão no dado.

Utilizando a análise de regressão, obteve-se um R^2 de 93,8%, conforme a curva dose x resposta abaixo (Figura 17).

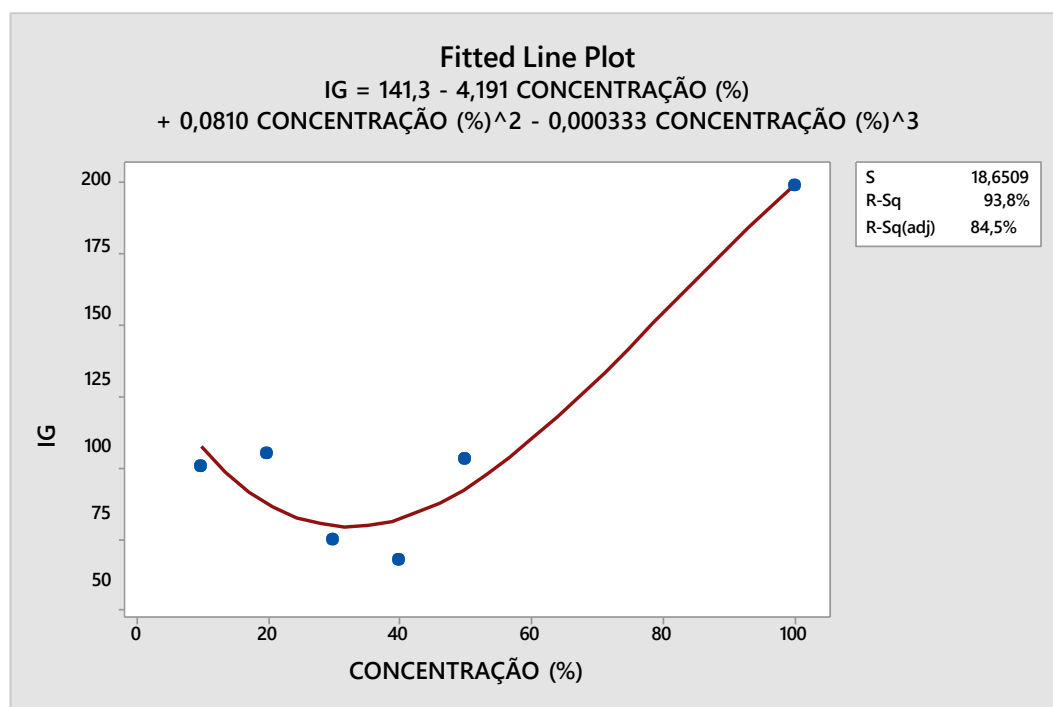


Figura 17: Porcentagem de concentração do efluente têxtil fototratado *versus* índice de germinação (%) da semente de feijão com efluente têxtil tratado.

Fonte: Autoria própria, 2023.

As placas com as sementes de feijão nos testes com efluente bruto e fototratado apresentaram-se visivelmente saudáveis sem ocorrências de apodrecimento e/ou fungos (Figura 18).

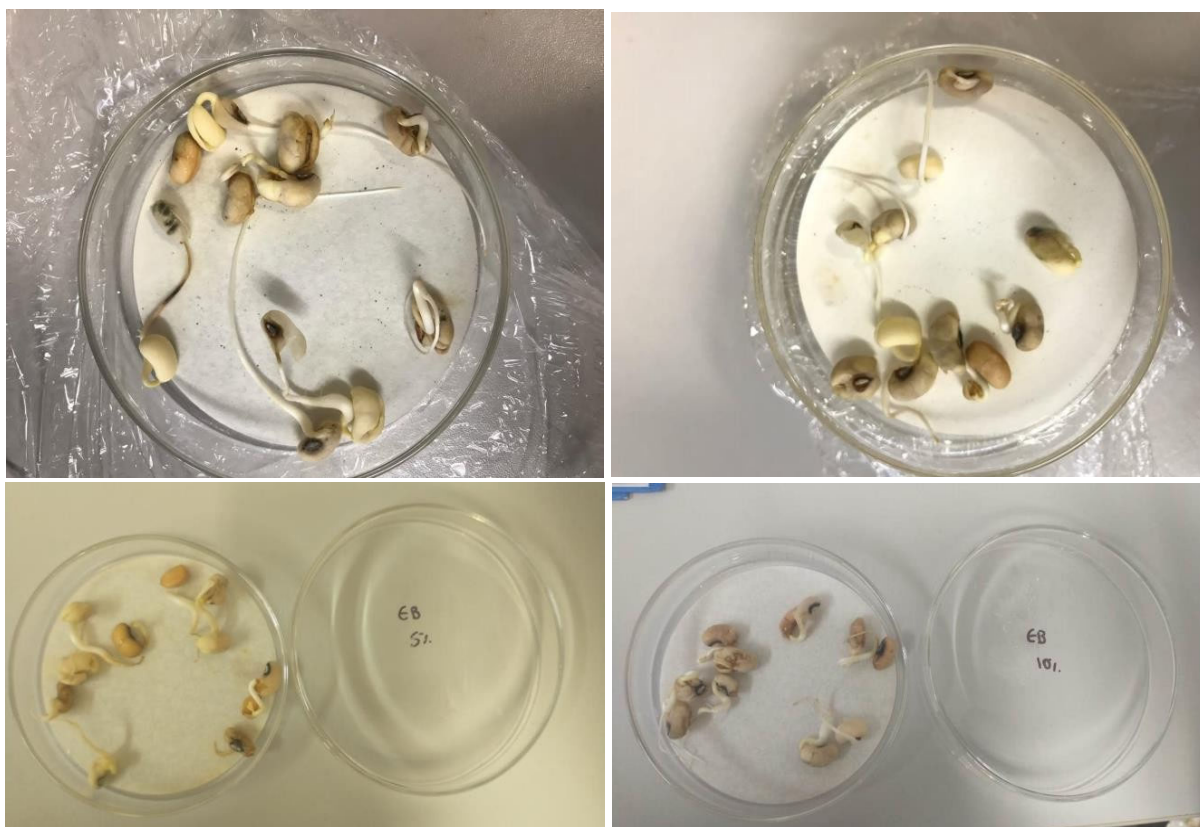


Figura 18: Testes com semente de feijão. (a) e (b) germinação da semente de algodão em efluente bruto; (c) e (d) germinação da semente de algodão em efluente tratado.

Fonte: Autoria própria (2023).

5.4 PROTOCOLO METODOLÓGICO

Na tabela 14 estão descritas as condições em que foram realizados os testes com as sementes de algodão e feijão avaliando a ecotoxicidade dos sais cloreto de sódio e sulfato de sódio e do efluente têxtil real bruto e tratado.

Estudos usando testes fitotóxicos são importantes visando padronizar tais testes, permitindo a criação de normas regulamentadoras que possam aceitar esse tipo de teste para avaliação da toxicidade no enquadramento de corpos hídricos, bem como em prévia avaliação ao lançamento de efluentes.

Tabela 14. Condições em que foram realizados os testes de fitotoxicidade com sementes de algodão e feijão em efluente têxtil.

Fatores	Condições dos testes
Organismos-testes	Sementes de algodão e feijão
Substrato	Papel filtro qualitativo 90 mm
Placas de Petri	90 mm
Volume de amostra	4 ml
Quantidade de sementes	10 sementes por placa
Vedação das placas	Tampadas e envoltas em plástico filme
Incubação	Empilhadas em incubadora DBO por 120h, no escuro, a 25 °C
Controle negativo	Água destilada
Controle positivo	NaCl e Na ₂ SO ₄
Matriz aquosa	Efluente têxtil – bruto e tratado
CE ₅₀	NaCl: Algodão = 0,07M; Feijão = 0,10M. Na ₂ SO ₄ : Algodão = 0,02M; Feijão = 0,05M
Efeito observado	Crescimento da plântula – radícula + hipocótilo – e porcentagem de Germinação
Parâmetro fitotóxico	IG, ICRP, CE ₅₀
Análise estatística	Teste de Dunnett, Teste de Tukey, Análise de Regressão

Fonte: Autoria própria (2023).

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com este estudo foi possível avaliar a toxicidade do efluente têxtil utilizando sementes muito cultivadas no Nordeste brasileiro. Além disso, sementes pouco utilizadas, até agora, em testes fitotóxicos e, em particular, o algodão, fechando o ciclo da cadeia produtiva de tecidos.

Os sais investigados mostraram-se fitotóxicos ao algodão e feijão-caupi, interferindo no índice de germinação das sementes. Nos testes com tais sais foi possível definir a concentração capaz de inibir 50% dos organismos, cujas curvas apresentaram valores acima de 90% de confiabilidade.

O efluente têxtil apresentou-se como potencializador da germinação das sementes de algodão e feijão. Fato possivelmente justificado devido a presenças de nutrientes e substâncias capazes de incentivar a germinação e crescimento das plântulas. Entre elas, pode-se citar o nitrogênio e amônia, que quando em quantidade aceitável pelo organismo, incentiva a germinação e crescimento.

Não foi possível associar à presença dos sais o efeito causado pelo efluente têxtil às sementes, haja vista que se obteve resultados diferentes nos testes com sais e testes com efluentes. Com isso, a possível justificativa é que o efluente utilizado nesta pesquisa não apresenta cloreto de sódio e sulfato de sódio em concentrações tais que causem efeito tóxico às sementes.

A realização dos testes neste estudo contribuiu para a padronização de testes fitotóxicos com sementes pouco exploradas até agora na literatura.

Sugere-se para testes futuros a realização de testes crônicos para que possa ser avaliado se, a longo prazo, o efluente continua beneficiando a planta em seu desenvolvimento ou passa a ter algum efeito deletério. Com os resultados desses testes será possível, juntamente com os realizados neste estudo, investigar a possibilidade de uso do efluente fototratado como água de reuso.

Ademais, sugere-se mais testes com efluentes têxteis de características mais variadas para que seja possível fazer comparações com os resultados aqui encontrados.

REFERÊNCIAS

- ABASTECIMENTO, Pecuária e *et al.* Regras para análise de sementes. Secretaria de Defesa Agropecuária. 2009.
- ALMEIDA, E. J. R.; DILARRI, G.; CORSO, C. R. Indústria têxtil no Brasil: Uma revisão dos seus impactos e possíveis tratamentos para os seus efluentes. Boletim das Águas, Departamento de Bioquímica e Microbiologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), p. 1-18, 2016
- AMEEN, F.; AL-HOMAIDAN, A. Treatment of oil bilge waste water using marine fungi. Journal of King Saud University – Science 35, 102929, 2023
- APHA; AWWA; WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23. ed. Washington, DC, 2017.
- ARAÚJO, B. A.; DE MEDEIROS, K. M. Processos oxidativos avançados aplicados no tratamento de águas residuárias. CONAPESC, 2019.
- ARIAS, A. R. L., BUSS, D. F., ALBURQUERQUE, C. D., INÁCIO, A. F., FREIRE, M. M., EGLER, M., BAPTISTA, D. F. Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxicos. Ciência & Saúde Coletiva, v. 12, p. 61-72, 2007.
- ARRAES, A. I. O. M; LONGHIN, S. R. Otimização de ensaio de toxicidade utilizando o bioindicador allium cepa como organismo teste. Centro Científico Conhecer – Goiânia, v. 8, n. 14, p. 1958, 2012,
- BAGLIANO, R. V. Principais organismos utilizados como bioindicadores relatados com uso de avaliadores de danos ambientais. Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade, v. 2, n. 1, 2012
- BATISTA, M. M. Eficiência do Processo Foto-Fenton Solar em um Fotorreator Piloto no Pós- Tratamento do Lixiviado do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa. 106 p. Dissertação (Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, Universidade Federal da Paraíba, 2016.
- BELO, Sara Rodrigues Santos. Avaliação de fitotoxicidade através de *Lepidium sativum* no âmbito de processos de compostagem. 79p. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade de Coimbra, 2011.
- BIGUELINI, C. P.; GUMY, M. P. Saúde ambiental: índices de nitrato em águas subterrâneas de poços profundos na região sudoeste do Paraná. Revista Faz Ciência, v. 14, n 20, 153-175, 2012.
- BITTENCOURT, H. V. H. Ecologia da germinação e potencial alelopático de capim-anoni-2 (*Eragrostis plana* Nees). Tese (Doutorado), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

BRASIL, Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico – ANA. Atlas irrigação – Uso da água na agricultura irrigada. Disponível em:<
<https://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/storymaps/stories/a874e62f27544c6a986da1702a911c6b>>
Acesso em: 13 mai 2021

BRASIL. Regras para análise de sementes. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília: Mapa/ACS, 2009.

CALIJURI, M. DO C.; CUNHA, D. G. F. (EDS.). Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

CHOUDHURY, M. M. Testes de sanidade de sementes de caupi. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico, 1987.

COELHO, M. F. B.; SALES, D. M.; DOMBROSKI, J. L. D.; AZEVEDO, R. A. B.; ALBUQUERQUE, M. C. F. Condições de luz e temperatura na germinação de sementes de algodão do campo [*Cochlospermum regium* (Schrank) Pilger – Bixaceae]. Ver. Biol. Neotrop. 5(2), p. 23- 31, 2008.

COELHO, M. D. F. B., SALES, D. M., DOMBROSKI, J. L. D., DE AZEVEDO, R. A. B., de FIGUEIREDO, M. C. Condições de luz e temperatura na germinação de sementes de algodão do campo [*Cochlospermum regium* (Schrank) Pilger–Bixaceae]. *Revista de Biologia Neotropical/Journal of Neotropical Biology*, 5(2), 23-31. 2018

COLMAN, B. A.; NUNES, C. M.; MASSON, G. L.; BARBOSA, R. H.; NUNES, A. S. Indução de tolerância ao estresse hídrico na germinação de sementes de feijão-caupi. *Comunicata Acientiae* 5(4), p. 449-455, 2014.

COMPTON, M.E. Use of statistics in plant biotechnology. *Methods in Molecular Biology*, v. 318, p. 145-163, 2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília, 18 de março 2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução n. 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Diário Oficial da União. Brasília, 16 de maio 2011

CORREA, G. P. A.; LOPES, L. N.; REZENDE, S. S. R. Análise da qualidade da água para consumo humano de uma nascente localizada no bairro do Registro em Taubaté, SP. *Revista Biociências*, v. 26, n. 1, p. 52-69, 2020.

COSSA, N. H. D. S.; CARVALHO, E. R.; LIMA, J. M. E.; MORAES, L. F. D. S.; MIQUICENE, F. V. C.; ZEVO, I. N. J. An alternative approach to conducting germination tests on chemically treated and untreated stored cotton seeds. *Journal of Seed Science*, v. 45, p. e202345027, 2023.

COSTA, C. R.; OLIVI, P.; BOTTA, C. M. R.; ESPINDOLA, E. L. G. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. *Química Nova*, v. 31, n. 7, p. 1820-1830, 2008.

COSTA, A. F. Feijão-caupi no semiárido brasileiro. *Cadernos do Semiárido: riquezas & oportunidades*, Recife, 2020

COSTA, L. F. *et al.* Utilização de biocarvão e Processos Oxidativos Avançados para remoção do propranolol de efluentes aquosos simulados. *Virtual Quim.*, 10(2), p. 295-312, 2018.

DA SILVA, N. R. Efeitos de diferentes águas residuais em características morfológicas, fisiológicas e bromatológicas de sementes e mudas de milho (VAR. BRS Gorutuba), girassol dobrado anão (*Helianthus dwarf double sungold*) e feijão-vagem macarrão trepador (*phaseolus vulgaris* L.). Dissertação (mestrado), Universidade Federal de Pernambuco, 2020

DE SOUSA, E. S.; MALPASS, G. R. P., TONHELA, M. A., FERNANDES, D. M., MALPASS, A. C. G.; SCATENA, L. M. Processos Eletroquímicos Oxidativos Avançados para Degradação do Complexo EDTA-Ni (II). *Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação*, v. 2, n. 2, p. 125- 138, 2017.

EMBRAPA. Algodão. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, DF, 2004. Disponível em: <<https://mais500p500r.sct.embrapa.br/view/pdfs/90000001-ebook-pdf.pdf>>. Acesso em: 25 ago 2022

EMBRAPA. Embrapa Agrossilvipastoril, 2023. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agrossilvipastoril/sitio-tecnologico/trilha-tecnologica/tecnologias/culturas/algodao>>. Acesso em: 25 ago 2023

EMBRAPA. Feijão-Caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios. Embrapa Meio-Norte, Piauí, 2011. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/84470/1/feijao-caupi.pdf>>. Acesso em: 16 out 2023

EMBRAPA. Feijão-caupi: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1075578/1/500P500RFeijaocaupi.pdf>>. Acesso em: 25 ago 2022

ENGELA, M. R. G. S. Variações no conteúdo e na composição de carboidratos solúveis e de compostos fenólicos em espécies arbóreas de Floresta Estacional Semidecidual em resposta a poluentes aéreos. Dissertação (Mestrado), Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2016.

ENGELHARDT, M. M., LIMA, F. R. D. DE, MARTINS, G. C., VASQUES, I. C. F., SILVA, A. O., OLIVEIRA, J. R., REIS, R. H. C. L., GUILHERME, L. R. G., & MARQUES, J. J. G. DE S. E M. Fitotoxicidade do cobre em culturas agrícolas cultivadas em solos tropicais. *Semina: Ciências Agrárias*, 41(6Supl2), 2883–2898, 2020.

FENZL, N. (1988) Composição química das águas naturais. *In*: FENZL, N. (Ed.).

Introdução à hidrogeoquímica. Belém: Gráfica e Editora Universitária (UFPA). p. 49-74 in PIZATO, E., LOPES, A. C., ROCHA, R. D. C., BARBOSA, A. D. M., & CUNHA, M. A. A. D. Caracterização de efluente têxtil e avaliação da capacidade de remoção de cor utilizando o fungo *Lasiodiplodia theobromae* MMPI. Engenharia Sanitaria e Ambiental, 22, 1027-1035, 2017.

FERREIRA, B. C.S.; LIMA, R. M. F.; LEÃO, V. A. Remoção de sulfato de efluentes industriais por precipitação. Eng. Sanit. Ambient., v. 16, n. 4, p. 361-368, 2011.

FRANÇA, A. A. C.; MOITA NETO, J. M.; RIOS, M. A.; PEREIRA, A. D.; LIRA, M. A. T.;

MARTINS, L. M., MATOS, J. M. E.; SÁ, J. L. S.; SILVA, C. E. Degradação de Efluente Têxtil Sintético Utilizando os Processos Oxidativos Avançados Foto-Fenton Artificial e Foto-Fenton Solar. Revista Virtual de Química, 13 (2), 2020.

FRANCO, M. S. Estudo da otimização do processo 'H IND. 2"O IND. 2'/UV para o descolorimento de um efluente de indústria têxtil. 2010. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

FREITAS, A. M.; SOLCI, M. C. Caracterização do MP10 E MP2,5 e distribuição por tamanho de cloreto, nitrato e sulfato em atmosfera urbana e rural de Londrina. Química Nova, v. 32, n. 7, p. 1750-1754, 2009.

GIRARD, J. E. Princípios de Química Ambiental. São Paulo: Editora Exemplo, 2020.

GONÇALVES, E. M. P. Acompanhamento da fase pós-licenciamento ambiental para prevenção de passivos ambientais na região hidrográfica II – Guandu, RJ. Tese (Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2013.

GOUIDER, M.; FEKI, M.; SAYADI, S. Bioassay and use in irrigation of untreated and treated wastewaters from phosphate fertilizer industry. Ecotoxicology and Environmental Safety, v. 73, pp. 932 – 938, 2010.

GRILLO, A. C.; GUEDES, I. M. S.; NICOLAI, J. C.; FERNANDEZ, W. S. Importância e atuação dos sais minerais no organismo. Revista Científica eletrônica de enfermagem da FAEF, v. IV, n. III, 2020.

GUEVARA, M. D. F., MELLO, A. G., CORREA, E. K., GUEDES, H. A. S., CORRÊA, L. B., NAZARI, M. T. Fitotoxicidade em águas residuárias domésticas utilizando sementes como bioindicadores. Revista DAE, v. 67, n. 216, p. 44-51, 2019.

HASSEMER, M. E. N.; SENS, M. L. Tratamento do efluente de uma indústria têxtil. Processo físico-químico com ozônio e coagulação/floculação. Engenharia sanitária e ambiental, v. 7, n. 1, p. 30-36, 2002.

KLEINE, T. Desenvolvimento de método de ensaio de toxicidade com *Daphnia magna* para aplicações em estudos de saúde ambiental – estudo de caso: análise de toxicidade do efluente

de sistema de absorção de ar atmosférico. Tese de doutorado, UNIVILLE, 2018.

KUMAR, V.; SHAHI, S. K.; FERREIRA, L. F. R.; BILAL, M.; BISWAS, J. K.; BULGARIU, L. Detection and characterization of refractory organic and inorganic pollutants discharged in biomethanated distillery effluent and their phytotoxicity, cytotoxicity, and genotoxicity assessment using *Phaseolus aureus* L. and *Allium cepa* L. *Environmental Research*, V. 201, n. 111551, 2021.

LABRE, J. C. C. *et al.* Testes ecotoxicológicos baseados na exposição de anelídeos e sementes de alface através da adição de diferentes concentrações de surfactantes ao solo. *Holos Environment*, 2008.

LACERDA, C. D., CAMBRAIA, J., OLIVA, M. A., RUIZ, H. A. Influência do cálcio sobre o crescimento e solutos em plântulas de sorgo estressadas com cloreto de sódio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, p. 289-295, 2004.

LAMARINO, L. Z. *et al.* Nitritos e nitratos em produtos cárneos enlatados e/ou embutidos. *Gestão em foco*, n. 7, 2015

LANDAU, E., da SILVA, G. A., MOURA, L., HIRSCH, A., GUIMARAES, D. Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas: sistemas agrícolas, paisagem natural e análise integrada do espaço rural. Embrapa Milho e Sorgo-Livro científico, 2020.

LEAL, T. W. Tratamento de efluentes têxteis por processos adsorptivos visando o reúso da água. 2014.

LES, N.; HENNEBERG, L., NADAL, V. G. R., MULLER, M., SZEMOCOWIAKI, A. G., CARNEIRO, F. T., & DE SOUZA JACCOUD FILHO, D. Controle de *Rhizoctonia solani* com produtos biológicos no tratamento de sementes na cultura da soja. *Brazilian Journal of Development*, 6(12), 99919-99935, 2020.

LI, Y.; TIAN, X.; LIANG, J.; CHEN, X.; YE, J.; LIU, Y.; LIU, Y.; WEI, Y. Remediation of hexavalent chromium in contaminated soil using amorphous iron pyrite: Effect on leachability, bioaccessibility, phytotoxicity and long-term stability. *Environmental Pollution*, v. 264, n. 114804, 2020.

LIMA, F. C.; NORONHA FILHO, F. A.; MIRANDA, S. B. A.; MARTINS, C. M.; DIAS, G. F. M. Uso de resíduos no setor têxtil na Cidade de Belém: uma análise por meio da economia circular. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 7, e112973756, 2020

LIMA, J. C. S. Avaliação da toxicidade de metais sobre os macroinvertebrados bentônicos tropicais *Tamea cophysa* (Libellulidae, Odonata), *Chlamydotheca* sp. (Cyprididae, Ostracoda) e *Strandesia trispinosa* (Cyprididae, Ostracoda). Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2019.

LINHARES, J. E.; PESSA, S. L. R.; BORTOLUZZI, S. C.; LUZ, R. P. D. Capacidade para o trabalho e envelhecimento funcional: análise Sistêmica da Literatura utilizando o PROKNOW-C (Knowledge Development Process-Constructivist). *Ciência & Saúde Coletiva*,

24, 53-66, 2019.

LOBO JUNIOR, M. Importância dos patógenos habitantes do solo na cultura do feijoeiro-comum. EMBRAPA Arroz e Feijão, 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao/producao/doencas/doencas-fungicas/doencas-fungicas-do-solo>>. Acesso em: 26 ago 2023

MARIA, M. A. Caracterização de lixiviados de aterros sanitários e industrial da região metropolitana de Belo Horizonte. Dissertação (mestrado), UFMG, 2010.

MARTINS, C. R.; PEREIRA, P. A. P.; LOPES, W. A.; ANDRADE, J. B. Ciclos globais de Carbono, Nitrogênio e Enxofre. Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, n. 5, 2003

MARTINS, F. L., TERAN, F. J. C., TAVARES, A. M. Tratamento de efluente farmacêutico por meio de processo anaeróbico e processos oxidativos avançados em reator de leito fluidizado. Congresso ABES FENASAN, 2017

MASELLI, B. S.; LUNA, L. A. V.; PALMEIRA, J. O.; BARBOSA, S.; BEIJO, L. A.; UMBUZEIRO, G. A.; KUMMROW, F. Ecotoxicidade de efluentes brutos e tratados gerados por uma fábrica de medicamentos veterinários. Revista Ambiente & Água – Na Interdisciplinary Journal of Applied Science: v.8, n. 2, 2013

MEDEIROS FILHO, S.; SILVAS, S. O.; DUTRA, A. S.; TORRES, S. B. Metodologia do teste de germinação em sementes de algodão, com linter e deslintada. Revista caatinga, v. 19, n. 1, p. 56-60, 2006.

MENDES, P. M. *et al.* Phytotoxicity test in check: Proposition of methodology for comparison of different method adaptations usually used worldwide. Journal of Environmental Management, V. 291, n. 112698, 2021.

MICHEL, D. C., VASQUES, I. C. F., ARAÚJO, G. D. C. R., CASTRO, J. L. D., ASSIS, L. L. R. D., REIS, R. H. C. L. D., FAQUIM, V. Influence of Molybdenum doses in inoculation and mineral fertilization in cowpea beans. Biosci. j.(Online), p. 102-112, 2020.

MONTAGNER, C. C.; VIDAL, C. ACAYABA, R. D. Contaminantes emergentes em matrizes aquáticas do Brasil: cenário atual e aspectos analíticos, ecotoxicológicos e regulatórios. Química Nova, V. 40, n. 9, p. 1094-1110, 2017.

MORAES JUNIOR, J. R. Degradação de efluentes da indústria têxtil pelo processo eletrolítico e avaliação ecotoxicológica em diferentes níveis tróficos. Dissertação (mestrado), Universidade Estadual Paulista, 2015.

NEVES, Ludmila Carvalho *et al.* Phytotoxicity indexes and removal of color, COD, phenols and ISA from pulp and paper mill wastewater post-treated by UV/H₂O₂ and photo-Fenton. Ecotoxicology and Environmental Safet, v. 202, p. 110939, 2020.

NOVEMBRE, A. D. L.C. Estudo da metodologia para a condução do teste de germinação em

sementes de algodão (*Gossypium hirsutum* L.) deslindadas mecanicamente. Tese (Doutorado), Piracicaba, 1994.

NUNES, A. S.; LOURENÇÃO, A. L. F.; PEZARICO, C. R.; SCALON, S. P. Q.; GONÇALVES, M. C. Fontes e níveis de salinidade na germinação de sementes de *Crotalaria juncea* L. Ciênc. Agrotec., v. 33, n. 3, p. 753-757, 2009.

OLIVA, L. D. C., LIMA, J. M. E., SANTIAGO, I., SMIDERLE, O. Germinação e vigor de sementes de feijão-caupi em função da coloração do tegumento. In: Congresso Nacional De Feijão- Caupi, 3., 2013, Recife. Feijão-Caupi como alternativa sustentável para os sistemas produtivos familiares e empresariais. Recife: IPA, 2013.

OLIVEIRA, A. C. C.; SOUZA, P. E.; POZZA, E. A.; DORNELAS, G. A.; MONTEIRO, F. P. Influência da temperatura sobre isolados de *Rizhoctonia solani* (kuhn) obtidos em áreas produtoras de algodão nos estados brasileiros. Biosci, J., v. 30, p. 119-130, 2014.

OLIVEIRA, L. G., FERNANDES, F. H., MESQUITA, W. D., JUNIOR, M. G., SANTOS, M. R. D. C., GURGEL, M. F. D. C. Uma revisão do uso de processos oxidativos avançados para descoloração de águas residuais de efluentes. Revista Processos Químicos, v. 13, n. 26, p. 105-112, 2019.

OLIVEIRA, R. M. D. (2023). Nitrato nas águas subterrâneas de fortaleza: ocorrências, causas e riscos a saúde da população. Tese (Doutorado em Geologia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, 2023.

OLIVEIRA, T. S. Avaliação de risco agudo em peixes frente ao uso de produtos a base de Glifosato utilizando a ferramenta Pesticide in Water Calculator (PWC) para estimativa de exposição em um cenário brasileiro. Dissertação de mestrado, Instituto Biológico (São Paulo), 2020.

PAIVA, E. P. D., SÁ, F. V. D. S., TORRES, S. B., BRITO, M. E., MOREIRA, R. C., SILVA, L. D. A. Germination and tolerance of cowpea (*Vigna unguiculata*) cultivars to water stress. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 22, p. 407-411, 2018.

PALÁCIO, S. M. *et al.* Estudo da toxicidade de efluente têxtil tratado por foto-fenton artificial utilizando as espécies *Lactuca Sativa* e *Artemia Salina*. Engevista, v. 14, n. 2, p. 127-134, 2012.

PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. F.; PEREIRA, C. M. Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água. Embrapa Florestas, Paraná, 2011.

PEDROTTI, A., CHAGAS, R. M., RAMOS, V. C., PRATA, A. P. DO N., LUCAS, A. A. T., SANTOS, P. B. Causes and consequences of the process of soil salinization. Revista Eletrônica Em Gestão, Educação E Tecnologia Ambiental, 19(2), 1308–1324, 2015.

PEDUTO, T. A. G; de JESUS, T. A.; KOHATSU, M. Y. Sensibilidade de diferentes sementes em ensaio de fitotoxicidade. Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação, v. 4, n. 2, p. 200- 2012, 2019.

PELLI, A.; *et al.* Toxicidade aguda e crônica de diflubenzuron para o jaú, *Zungaro zungaro* (humboldt, 1821) (Pisces, Pimelodidae). *Revista Brasileira de Zoociências* 10 (1). P. 51-54, 2008.

PHOTIOU, P.; VYRIDES, I. Recovery of phosphate from dewatered anaerobic sludge and wastewater by thermally treated P.oceanica residues and its potential application as a fertilizer. *Journal of Environmental Management*, v. 29815, n. 113441, 2021.

PIZATO, E., LOPES, A. C., ROCHA, R. D. C., BARBOSA, A. D. M., & CUNHA, M. A. A. D. Caracterização de efluente têxtil e avaliação da capacidade de remoção de cor utilizando o fungo *Lasioidiplodia theobromae* MMPI. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 22, 1027-1035, 2017.

POSTHUMA, L.; TRAAS, T. P.; De ZWART, D.; SUTER, G.W., 2002. Conceptual and technical outlook on Species Sensitivity Distributions in Posthuma, L., Suter, G. W. II Traas, T. P., eds, *Species Sensitivity Distributions in Ecotoxicology*. Lewis, Boca Raton, USA, 475-510.

RADZIEMSKA, M.; GUSIATIN, Z. M.; KOWAL, P.; BES, A.; MAJEWSKI, G.; JEZNACH- STEINHAGEN, A.; MAZUR, Z.; LINIAUSKIENE, E.; BRTNICKY, M. Environmental impact assessment of risk elements from railway transport with the use of pollution indices, a biotest and bioindicators. *Human and Ecological Risk Assessment*, v. 27, pp. 517, 2021.

RAMOS, M. D. N.; CLAUDIO, C. C.; REZENDE, P. H. V.; CABRAL, L. P.; SANTOS, L. A.; COSTA, G. G.; MESQUITA, P. L.; AGUIAR, A. Análise crítica das características de efluentes industriais do setor têxtil no Brasil. *Revista Virtual de Química*, v. 12, n. 4, 2020.

RANGEL, A. S.; SILVA, M. M.; COSTA, B. K. Competitividade da indústria têxtil brasileira. *Revista de Administração e Inovação*, v. 7, n. 1, p. 151-174, São Paulo, 2010.

RIBEIRO, J. P.; ARAUJO, D. S.; SOUSA, F. W.; CORREIA, L. M.; MACHADO FILHO, N.S.; NASCIMENTO, R. F. Uso do processo H2O2/UV – Adsorção no tratamento de efluente têxtil. *DAE*, 2010.

RODRIGUES, L. C. A.; BARBOSA, S.; PAZIN, M.; MASELLI, B. S.; BEIJO, L. A.; KUMMROW, F. Fitotoxicidade e citogenicidade da água e sedimento de córrego urbano em bioensaio com *Lactuca sativa*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 10, p. 1099-1108, 2013.

RODRIGUES, N. L. V. B.; PAWLOWSKY, U. Testes de toxicidade aguda através de bioensaios no extrato solubilizado dos resíduos classe IIa – não inertes e classe IIb – inertes. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.12, nº 1, 2007.

ROSSI, P.; MIRANDA, J. H.; DUARTE, S. N. Curvas de distribuição de efluentes do íon nitrato em amostras de solo deformadas e indeformadas. *Engenharia Agrícola*, v. 27, n.3, p. 675-682, 2007.

RUBIO, J.; OLIVEIRA, C.; SILVA, R. Aspectos ambientais nos setores minero e

metalúrgico. Comunicação Técnica elaborada para o Livros de Tratamento de Minérios, ed. 5, cap. 17, p. 753- 793, 2010

RUBIO, J.; SILVA, R. D. R.; COSTA, C. Imobilização de ânions de efluentes líquidos da mineração, com sais hidrolisáveis de alumínio. XXV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, GO, 2013.

SALAZAR, R., GALLARDO-ARRIAZA, J., VIDAL, J., RIVERA-VERA, C., TOLEDO-NEIRA, C., SANDOVAL, M. A., CORNEJO-PONCE, L. THIAM, A. Treatment of industrial textile wastewater by the solar photoelectro-Fenton process: influence of solar radiation and applied current. *Solar Energy*, v. 190, p. 82-91, 2019.

SANTANA, R. M. R.; NAPOLEÃO, D. C.; SANTOS JÚNIOR, S. G.; GOMES, R. K. M.; LUCENA, A. L. A.; NASCIMENTO, G. E.; LIMA, V. M. E.; MELO NETO, A. A.; MACHADO, G.; MELO, A. M. M. A.; DUARTE, M. M. M. Sunlight irradiated Pyrite-Fenton system for advanced oxidative treatment of textile dyes mixture. *Water Air Soil Pollut*, 170, 2022.

SANTANA, R. M. R.; CHARAMBA, L. C. V.; NASCIMENTO, G. E.; OLIVEIRA, J. G. C.; SALES, D. C. S.; DUARTE, M. M. M. B.; NAPOLEÃO, D. C. Degradation of textile dyes employing Advanced Oxidative Processes: kinetic, equilibrium modeling and toxicity of seeds and bactéria. *Water Air Soil Pollut*, 2019.

SANTOS, J. F.; CARDOSO, M. J.; BASTOS, E. A. Desempenho produtivo de cultivares de feijão- caupi no Agreste Paraibano. In: Embrapa Meio-Norte-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 3., 2013, Recife. Feijão-Caupi como alternativa sustentável para os sistemas produtivos familiares e empresariais. Recife: IPA, 2013.

SCANDELAI, A. P. J., MARTINS, D. C. C., DE SYLLOS, R. S., TAVARES, C. R. G. Ozonização como tratamento de lixiviado de aterro sanitário: um estudo de revisão. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, v. 4, n. 3, p. 3404-3417, 2021.

SCHOSSLER, T. R.; MACHADO, D. M.; ZUFFO, A. M.; ANDRADE, F. R.; PIAUILINO, A. C. Salinidade: efeitos na fisiologia e na nutrição mineral de plantas. *Centro Científico Conhecer*, v. 8, n. 15, p. 1563, 2012.

SELIM, M. T.; SALEM, S. S.; MOHAMED, A. A.; EL-GMAL, M.; AWAD, M. F.; FOUDA, A. Biological Treatment of Real Textile Effluent Using *Aspergillus flavus* and *Fusarium oxysporium* and Their Consortium along with the Evaluation of Their Phytotoxicity. *Journal of Fungi*, v. 7, n. 193, 2021.

SEN, S. & DEMIRER, G.N. (2003) Anaerobic treatment of real textile wastewater with a fluidized bed reactor. *Water Research*, v. 37, n. 8, p. 1868-1878. In PIZATO, E., LOPES, A. C., ROCHA, R. D. C., BARBOSA, A. D. M., & CUNHA, M. A. A. D. Caracterização de efluente têxtil e avaliação da capacidade de remoção de cor utilizando o fungo *Lasiodiplodia theobromae* MMPI. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 22, 1027-1035, 2017.

SEN, S. K., DAS, J. K., RAJHANS, G., BARIK, A., RAUT, S. Immobilized fungal

consortium- GR: A novel textile effluent treatment alternative for removal of azo dyes and other pollutants. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 96(7), 2021.

SHAFQAT, U.; HUSSAIN, S.; SHAHZAD, T.; SHAHID, M.; MAHMOOD, F. Elucidating the phytotoxicity thresholds of various biosynthesized nanoparticles on physical and biochemical attributes of cotton. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, v. 10, n. 1, p. 1-15, 2023.

SILVA, L. A.; MARTINS, C. R.; ANDRADE, J. B. Por que todos os nitratos são solúveis?. *Química Nova*, v. 27, n. 6, 2004

SILVA, R. C. et al. Vigor de sementes de milho: influência no desenvolvimento de plântulas em condições de estresse salino. *Revista Ciência Agronômica*, v. 47, n. 3, p. 491-499, 2016. In MARTINS, L. P.; DE OLIVEIRA, R. M. Germinação e desenvolvimento inicial de sorgo submetido ao estresse salino. *Cerrado Agrociências*, v. 11, p. 56-64, 2020.

SILVA, V. B. Diagnóstico da desertificação no município de Ibimirim-PE. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, 2006.

SILVA FILHO, L. C. P. Durabilidade do concreto à ação de sulfatos: análise do efeito da permeação da água e da adição de microsilica. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994. In VEIGA, K. K. (2011). Desempenho do cimento Portland branco com escória de alto-forno e ativador químico frente ao ataque por sulfato de sódio. Dissertação (mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil-RS, 2011

SOBRERO, M.C; RONCO, A. Ensayo de toxicidade aguda com semillas de lechuga (*Lactuca Sativa*). In: MORALES, G.C. Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas. Estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones. México: IMTA, 2004.

SOUSA FILHO, P.H. et al. Efeito do estresse salino na germinação de sementes de *Erythrina mulungu* Mart. ex Benth. Uberaba. Anais do seminário de Pesquisa e inovação tecnológica, Uberaba: SEPIT, v. 2, n. 1, p. 172 - 180, 2017. In MARTINS, L. P.; DE OLIVEIRA, R. M. Germinação e desenvolvimento inicial de sorgo submetido ao estresse salino. **Cerrado Agrociências**, v. 11, p. 56-64, 2020.

SOUZA, R. C.; ALMEIDA, A. C. S.; COUTO JUNIOR, O. M.; VAZ, A. P. M. S. Tratamento de efluentes têxteis por coagulação/floculação. IX Encontro Internacional de Produção Científica UniCesumar (anais eletrônicos), n. 9, p. 4-8, 2015.

STARLING, M. C. V. M. Aplicação de foto-fenton solar em efluente têxtil visando à obtenção de água de reuso. Dissertação (mestrado), Universidade Federal de Minas Gerais, 2016.

SZYMANSKI, M.; NOWICKA, J.; DOBRUCKA, R. Biodegradability and biotoxicity of the modified starch matrix with biologically synthesized ZnO nanoparticles, *Environmental Progress & Sustainable Energy*, v. 42, n. 4, 2023.

TAVARES, R. D. Avaliação físico-química e ecotoxicológica de efluentes provenientes de estações de tratamento de esgoto. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 5, n. 1, p. 303-318, 2014.

TIOSSI, F. M., SIMON, A. T., TERNERO, E. M., MARQUES, C. S. A., & PRETE, M. D. Economia circular: um modelo de negócios complementar à sustentabilidade. 2º ConReSol, 2019.

TIOSSI, F. M.; SIMON, A. T. Economia Circular: suas contribuições para o desenvolvimento da Sustentabilidade. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 2, p. 11912-11927, 2021.

TREVIZANI, J. L. B.; CARVALHO, K. Q.; PASSIG, F. H.; SCHIAVON, G. J.; PEREIRA, I. C.; MEDEIROS, F. V. S. Determinação da cinética de ozonização de efluente têxtil na remoção de cor e matéria orgânica. *Revista Matéria*, v. 24, n. 01, 2019.

TUKEY, J. W. (1949). One Degree of Freedom for Non-Additivity. **Biometrics**, v. 5, p. 232 – 242.

VEIGA, K. K. (2011). Desempenho do cimento Portland branco com escória de alto-forno e ativador químico frente ao ataque por sulfato de sódio. Dissertação (mestrado), Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil-RS, 2011

VIEIRA, L. A. Compostagem de biossólido de estação de tratamento de efluentes de frigorífico com serragem e cama de aves. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pelotas, Rio Grande do Sul, 66p, 2016.

USIQUIMICA. Sulfato de sódio. Disponível em: < <https://usiquimica.com.br/produto/sulfato-de-sodio/#:~:text=O%20Sulfato%20de%20S%C3%B3dio%20%C3%A9,e%20na%20ind%C3%BAstri%20de%20vidro.>>. Acesso em: 14 Ago 2023

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Princípios de tratamento biológico de águas residuárias, v. 1, Minas Gerais, 2011.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

ZAGATTO, P.A.; BERTOLETTI, E. Método de Ensaio de Toxicidade com Organismos Aquáticos. In: ZAGATTO, Pedro A.; BERTOLETTI, Eduardo. *Ecotoxicologia Aquática: Princípios e Aplicações*. 2. ed. São Carlos: Rima, 2014.

APÊNDICES

APÊNDICE A – TESTES DA DEFINIÇÃO DAS CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

Tabela 15. Teste de germinação das sementes de algodão e feijão retiradas em 5 dias (T1).

CONTROLE NEGATIVO (5 dias)			
Água destilada (osmose reversa)			
Réplica	Número	Comprimento das plântulas (cm)	
		Algodão	Feijão comum
1	1	2,70	2,30
	2	4,10	3,60
	3	7,10	1,40
	4	6,20	6,80
	5	5,70	5,50
	6	6,10	4,50
	7	7,40	3,90
	8	5,40	3,90
	9	4,20	2,40
	10		1,80
média	-	5,43	3,61
2	1	6,80	2,40
	2	6,10	1,70
	3	3,70	6,80
	4	6,70	3,60
	5	5,40	1,60
	6	5,60	6,10
	7	3,50	5,80
	8	5,30	4,60
	9	5,60	
	10	3,40	
média	-	5,21	4,08
MÉDIA		5,0500	3,7875
DESVIO		1,7811	1,9774
Coeficiente de variação (CV)		35%	52%
Sementes germinadas		19	18
% Germinação		95%	90%

Tabela 16. Teste de germinação das sementes de algodão e feijão retiradas em 7 dias (T1)

CONNTROLE NEGATIVO (7 dias)			
Água destilada			
Réplica	Número	Comprimento das plântulas (cm)	
		Algodão	Feijão comum
1	1	11,10	7,40
	2	5,60	11,50
	3	8,80	5,30
	4	9,70	5,60
	5	7,70	7,50
	6	10,50	4,30
	7	7,20	8,40
	8	7,50	2,50
	9	8,30	2,20
	10	5,90	
média	-	8,23	6,08
MÉDIA		7,4818	6,2500
DESVIO		3,0278	3,3935
Coeficiente de variação (CV)		40%	54%
Sementes germinadas		10	9
% Germinação		100%	90%

Tabela 17. Teste de germinação das sementes de algodão e feijão retiradas em 5 dias (T2)

CONTROLE NEGATIVO (5 dias)					
Água destilada					
Réplica	Número	Comprimento das plântulas (cm)			
		Um filtro		Dois filtros	
		Algodão	Feijão caupi	Algodão	Feijão caupi
1	1	6,60	6,10	8,00	2,20
	2	5,50	4,20	6,90	3,30
	3	4,60	3,20	4,40	1,60
	4	3,00	6,60	4,20	1,30
	5	6,20	1,60	5,80	1,90
	6	2,50		4,20	3,20
	7	6,90		3,10	2,70
	8	4,40			1,20
	9	5,10			3,40
	10	5,20			2,20
média	-	5,00	4,34	5,23	2,30
2	1	6,60	3,60	9,10	11,00
	2	5,10	6,10	6,10	7,80
	3	3,80	6,50	3,10	8,80
	4	4,50	7,90	1,90	8,00
	5	3,40	4,10	6,60	8,40
	6	5,50	4,40	2,10	7,90
	7	4,30	7,20	5,80	4,90
	8	4,40	2,10	5,40	7,40
	9	4,10	5,80	8,20	1,60
	10			7,20	5,40
média	-	4,63	5,30	5,55	7,12
MÉDIA		4,5850	4,6267	5,4176	4,7100
DESVIO		1,6053	2,2521	2,4416	3,1870
Coeficiente de variação (CV)		35%	49%	45%	68%
Sementes germinadas		19	14	17	20
% Germinação		95%	70%	85%	100%

Tabela 18. Teste de germinação das sementes de algodão e feijão retiradas em 7 dias (T2)

CONTROLE NEGATIVO (7 dias)					
Água destilada					
Réplica	Número	Comprimento das plântulas (cm)			
		Um filtro		Dois filtros	
		Algodão	Feijão caupi	Algodão	Feijão caupi
1	1	6,10	3,10	7,50	1,70
	2	5,60	2,90	10,40	7,50
	3	6,40	2,60	9,50	7,70
	4	6,90	2,90	3,20	6,10
	5	5,10	2,20	8,40	6,00
	6	4,10	3,10	4,30	4,20
	7	2,80		7,40	6,80
	8	4,10		7,50	7,60
	9			9,10	
	10				
média	-	5,14	2,80	7,48	5,95
2	1	8,30	8,30	9,60	8,20
	2	8,20	4,10	10,90	12,50
	3	4,70	9,80	12,90	6,40
	4	5,60	3,90	10,00	10,60
	5	7,40	5,90	4,90	5,30
	6	6,90	4,90	10,90	6,80
	7	8,60	8,00	7,20	8,30
	8	7,60	5,20	7,90	7,30
	9	6,20		8,10	6,20
	10	5,80		7,00	7,40
média	-	6,93	6,26	8,94	7,90
MÉDIA		5,8105	4,4600	8,2474	7,0333
DESVIO		2,0933	2,6197	2,9832	2,7512
Coeficiente de variação (CV)		36%	59%	36%	39%
Sementes germinadas		18	14	19	18
% Germinação		90%	70%	95%	90%

Tabela 19. Teste de germinação das sementes de algodão retiradas em 5 dias (T3)

CONTROLE NEAGTIVO (5 dias)							
Água destilada (osmose reversa)							
Réplica	Número	Comprimento das plântulas (cm)					
		Um filtro			Dois filtros		
		2 ml	4 ml	6 ml	2 ml	4 ml	6 ml
1	1			3,20	1,20	7,00	4,80
	2		3,90	5,70	0,60	6,90	
	3	0,70	2,20	4,10	2,00	4,50	7,30
	4	2,10	6,30	5,90	1,50	4,80	7,40
	5	3,30	4,70	8,40	2,10	5,50	6,10
	6	0,80	5,50	6,40	1,10	4,20	2,70
	7	2,30	4,50	8,20	2,00	3,40	2,90
	8	4,30	4,60	5,10	2,40	3,20	4,80
	9				1,80	4,50	
	10				1,30	3,10	
média	-	2,25	4,53	5,88	1,60	4,71	5,14
2	1	2,60	2,50	4,90	1,80	4,00	6,40
	2	3,80	5,70	6,90	2,20	3,50	6,30
	3	2,40	3,00	3,40	2,70	2,80	3,30
	4	1,70	3,40	7,90	2,10	4,20	6,40
	5	3,90	3,70	7,30	1,20	3,20	3,90
	6	2,90	2,60	4,30	1,90	6,00	4,40
	7		3,40	4,10	2,00	4,50	4,70
	8	3,70		6,20	1,70	4,00	4,90
	9		4,50	4,60	2,50	4,60	2,60
	10			3,60		5,50	1,90
média	-	3,00	3,60	5,32	2,01	4,23	4,48
3	1	2,90	5,50	8,60	1,90		7,90
	2	3,30	3,30	6,10	2,80	6,30	
	3		6,00	5,30	2,60	4,40	6,70
	4	3,80	5,60	3,60		7,60	
	5		3,50	6,40	1,90	5,00	5,90
	6	4,00	4,90	6,60	2,10	4,80	6,40
	7	3,30	3,50	8,60	2,20	3,80	6,40
	8	4,60		5,90	2,70	4,50	6,10
	9	3,30	2,50	5,70	2,60	6,50	8,10
	10	3,30	2,90	7,00		2,50	6,10
média	-	3,56	4,19	6,38	2,35	5,04	6,70
MÉDIA		3,0000	4,0917	5,8571	1,9593	4,6483	5,3760
DESVIO		1,0474	1,2321	1,6363	0,5479	1,3165	1,7333
Coeficiente de variação (CV)		35%	30%	28%	28%	28%	32%

Sementes germinadas	26	29	28	28	30	28
% Germinação	87%	97%	93%	93%	100%	93%

Tabela 20. Teste de germinação das sementes de algodão retiradas em 7 dias (T3)

CONTROLE NEGATIVO (7 dias)							
Água destilada							
Réplica	Número	Comprimento das plântulas (cm)					
		Um filtro			Dois filtros		
		2 ml	4 ml	6 ml	2 ml	4 ml	6 ml
1	1	3,50	5,90	4,20	1,90	6,40	
	2	1,30			2,50	5,70	10,70
	3	1,80	7,10	5,50	3,30	8,40	8,00
	4	2,70	5,10	8,30	2,30	5,40	9,00
	5	2,00	4,30	6,00	2,70		4,00
	6	2,20	3,60	5,00	3,30	1,40	4,60
	7		5,70	5,00	2,60	4,20	4,40
	8	2,50	3,40	4,00	2,60	9,70	7,50
	9	1,60	4,30			5,60	8,90
	10	1,70	3,90			5,70	
média	-	2,14	4,81	5,43	2,65	5,83	7,14
2	1	2,40	3,90	8,50	3,10	3,40	13,50
	2	2,00	5,80	11,60		8,40	4,60
	3	2,50	3,20	5,50		8,10	6,90
	4	2,10	5,10			5,10	8,00
	5	2,10	2,10	11,50	1,20	5,40	
	6		2,90	9,00	1,10	4,10	5,00
	7	1,60		8,50	1,80	7,10	4,00
	8		2,60	6,30	1,90	8,30	
	9		2,80	6,50	1,20		5,50
	10		6,20	11,30	1,60		6,90
média	-	2,12	3,84	8,74	1,70	6,24	6,80
3	1	3,30	9,90	12,30	3,40	7,20	13,50
	2	3,20	9,60	9,70	2,70	7,10	13,40
	3	4,40	4,90	9,30	1,50	7,90	8,20
	4		6,60	5,50	3,30	3,80	11,30
	5	4,90		7,00	2,20	5,90	10,50
	6	5,50	5,50	5,50	2,70	3,40	5,00
	7	4,00	4,20	9,60		2,30	4,00
	8	2,00	8,50		2,60		
	9	6,00	8,50	12,50	3,10		6,50
	10	2,60	5,40		2,10		

média	-	3,99	7,01	8,93	2,62	5,37	9,05
MEDIA		2,8292	5,2222	7,8375	2,3625	5,8333	7,6087
DESVIO		1,2821	2,0971	2,6907	0,7162	2,1245	3,1378
Coeficiente de variação (CV)		45%	40%	34%	30%	36%	41%
Sementes germinadas		27	30	27	29	28	28
% Germinação		90%	100%	90%	97%	93%	93%

Tabela 21. Teste de germinação das sementes de feijão retiradas em 5 dias (T3)

CONTROLE NEGATIVO (5 dias)							
Água destilada							
Réplica	Número	Comprimento das plântulas (cm)					
		Um filtro			Dois filtros		
		4 ml	6 ml	8 ml	4 ml	6 ml	8 ml
1	1	1,10	5,10	5,50			
	2		4,20	4,20	7,70	13,10	1,00
	3	3,40	1,70	3,00	2,30	12,00	0,50
	4	2,00	6,20	2,00	3,90	6,90	3,50
	5	3,00	5,10		4,90		3,40
	6	3,50		0,60	4,60	6,70	
	7		2,70	1,20	4,30	11,60	
	8		1,80	2,00	5,70	9,90	
	9	3,70			3,30	6,70	
	10	8,30				9,40	
média	-	3,57	3,83	2,64	4,59	9,54	2,10
2	1	4,30	4,90	2,10			2,10
	2	4,00	3,20	3,10	4,30	11,10	
	3	2,70	3,60	5,00	5,50	9,20	1,20
	4	5,30	1,90		5,10	8,30	4,00
	5		6,70		8,60	3,90	1,80
	6	3,60	0,90	1,10	5,80	7,20	4,00
	7	4,90			5,30		3,50
	8	4,00	0,80		5,50	6,70	
	9				3,00	4,90	
	10				2,70	6,20	
média	-	4,11	3,14	2,83	5,09	7,19	2,77
3	1	2,40	5,40		5,40	4,90	2,50
	2	3,80	5,30	5,50	6,00	15,10	
	3	3,20	3,30		4,80	9,90	3,50
	4	3,20	1,10	3,50	5,30	9,40	2,50
	5	3,30	3,30	3,00	6,10	10,60	
	6	4,60	1,30	1,00	4,80	7,10	

	7	5,10				7,40	
	8	3,80			6,30	8,90	
	9	3,60			3,00		
	10	4,40					
média	-	3,74	3,28	3,25	5,21	9,16	2,83
MÉDIA		3,8000	3,4250	2,8533	4,9680	8,6292	2,5769
DESVIO		1,3574	1,8637	1,6322	1,4722	2,7433	1,1840
Coeficiente de variação (CV)		36%	54%	57%	30%	32%	46%
Sementes germinadas		29	23	20	28	29	16
% Germinação		97%	77%	67%	93%	97%	53%

Tabela 22. Teste de germinação das sementes de feijão retiradas em 7 dias (T3)

CONTROLE NEGATIVO (7 dias)							
Água destilada							
Réplica	Número	Comprimento das plântulas (cm)					
		Um filtro			Dois filtros		
		4 ml	6 ml	8 ml	4 ml	6 ml	8 ml
1	1	3,50	1,30	4,50	5,80	8,50	8,40
	2	6,10	2,30	2,90	8,10	1,00	6,10
	3	4,80	3,00	3,40	5,00	5,50	13,10
	4	4,60	1,40	4,90	2,40		12,10
	5	4,90	1,00	1,40	5,70	1,10	8,10
	6	5,70	2,50		9,50	6,00	7,60
	7	5,70	3,60		5,10	7,00	11,40
	8	2,60	2,00			1,00	7,70
	9	4,80				1,10	
	10	3,30				1,20	
Média	-	4,60	2,14	3,42	5,94	3,60	9,31
2	1	7,50	1,30	1,90		8,30	11,20
	2	5,00	1,70	1,80	5,30	6,10	7,10
	3	5,70	2,50	1,10	9,00	9,00	10,20
	4	5,70	2,00		4,60	1,10	5,20
	5	3,10			7,00	9,60	4,60
	6	5,10			9,60		4,70
	7				5,70	1,90	
	8	4,80				5,50	
	9				7,50	10,00	
	10					2,50	
Média	-	5,27	1,88	1,60	6,96	6,00	7,17
	1	7,80	4,70	5,90	5,30	3,00	7,20
	2	6,90	2,70	5,10	9,40	7,70	7,60

3	3		2,10		10,30		8,20
	4	6,10	4,20		6,80	9,90	6,40
	5	3,90	2,90		5,50	9,30	
	6	5,50	1,50		10,60	9,00	8,60
	7	4,60	3,10		6,00	2,90	9,40
	8	7,60	1,10		8,00	7,00	4,40
	9	6,20			7,80	9,00	
	10	5,50				6,50	
Média	-	6,01	2,79	5,50	7,74	7,14	7,40
MÉDIA		5,2692	2,4105	3,2900	6,9565	5,5462	8,0133
DESVIO		1,3428	1,0077	1,7266	2,1116	3,3239	2,4818
Coeficiente de variação (CV)		25%	42%	52%	30%	60%	31%
Sementes germinadas		30	23	12	27	30	24
% Germinação		100%	77%	40%	90%	100%	80%

LEGENDA	
	Fungo
	Podridão
	Podridão rosada
	Podridão e fungo

APÊNDICE B – TESTES DA INVESTIGAÇÃO DA FITOTOXICIDADE AGUDA DOS SAIS

Tabela 23. Teste de fitotoxicidade das sementes de algodão com Cloreto de Sódio

CONTROLE POSITIVO – NaCl							
Algodão							
Réplica	Número	Comprimento das plântulas (cm)					
		CN	0,12	0,14	0,16	0,18	0,2
1	1	2,90	1,30	2,20	0,30	1,40	
	2	3,90		0,20		0,50	
	3	3,20		1,20			
	4	4,20					
	5	2,10					
	6	2,80					
	7	2,60					
	8	1,20					
	9						
	10						
média	-	2,86	1,30	1,20	0,30	0,95	0,00
2	1	3,40	0,70		1,60	1,20	
	2	2,00	0,80		0,40		
	3	1,60	0,90		0,20		
	4	2,90	2,00				
	5	2,30	0,30				
	6	3,70					
	7	2,00					
	8	3,70					
	9	3,80					
	10						
média	-	2,82	0,94	#DIV/0!	0,73	1,20	0,00
3	1	3,50					
	2	4,00					
	3	3,50					
	4	7,70					
	5	1,00					
	6	3,50					
	7	3,60					
	8	4,10					
	9	1,60					
	10	3,90					
média	-	3,64	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0,00
MÉDIA		3,1370	1,0000	1,2000	0,6250	1,0333	#DIV/0!
DESVIO		1,3077	0,5865	1,0000	0,6551	0,4726	#DIV/0!

Coeficiente de variação (CV)	42%	59%	83%	105%	46%	#DIV/0!
IG	100,0%	7,1%	4,3%	3,0%	3,7%	#DIV/0!
ICRP		68%	62%	80%	67%	#DIV/0!
Sementes germinadas	27	6	3	4	3	0
% Germinação	90%	20%	10%	13%	10%	0%

Tabela 24. Teste de fitotoxicidade das sementes de algodão com Sulfato de Sódio

CONTROLE POSITIVO - Na ₂ SO ₄							
Algodão							
Réplica	Número	Comprimento das plântulas (cm)					
		CN	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1
1	1	2,90	1,30	1,50	1,10	1,10	0,7
	2	3,90	1,20	1,50	0,60	0,20	
	3	3,20	1,30	1,80			
	4	4,20	1,50	1,60			
	5	2,10	1,50	0,30			
	6	2,80	1,50	0,50			
	7	2,60					
	8	1,20					
	9						
	10						
média	-	2,86	1,38	1,20	0,85	0,65	0,07
2	1	3,40	3,00	1,70	0,90	1,30	
	2	2,00	1,50	0,50	1,10	0,50	
	3	1,60	4,40	0,40			
	4	2,90	3,10				
	5	2,30	4,00				
	6	3,70	3,50				
	7	2,00	0,70				
	8	3,70	2,90				
	9	3,80	1,40				
	10		2,40				
média	-	2,82	2,69	0,87	1,00	0,90	0,00
3	1	3,50	3,80	0,60	2,00		
	2	4,00	3,80	1,50	1,90		
	3	3,50	5,00	0,70	2,90		
	4	7,70	2,30	0,50	0,90		
	5	1,00	1,10	0,50	1,00		
	6	3,50	2,90	1,80	0,70		
	7	3,60	1,30		2,20		
	8	4,10			0,80		

	9	1,60			0,70		
	10	3,90					
média	-	3,64	2,89	0,93	1,46	#DIV/0!	0,07
MÉDIA		3,1370	2,4087	1,0267	1,2923	0,7750	0,7000
DESVIO		1,3077	1,2376	0,5958	0,7170	0,5123	#DIV/0!
Coeficiente de variação (CV)		42%	51%	58%	55%	66%	#DIV/0!
IG		100,0%	65,4%	18,2%	19,8%	3,7%	0,8%
ICRP			23%	67%	59%	75%	78%
Sementes germinadas		27	23	15	13	4	1
% Germinação		90%	77%	50%	43%	13%	3%

Tabela 25. Teste de fitotoxicidade das sementes de Feijão-caupi com Cloreto de Sódio

CONTROLE POSITIVO – NaCl							
Feijão-caupi							
Réplica	Número	Comprimento das plântulas (cm)					
		CN	0,12	0,14	0,16	0,18	0,2
1	1	6,50	5,60	0,60	1,70	0,60	
	2	6,50	3,50				
	3	8,60	1,90				
	4	8,00	2,40				
	5	5,40	3,30				
	6	10,00	1,80				
	7	5,70	0,40				
	8	8,80	1,70				
	9	5,00	1,20				
	10	3,60					
média	-	6,81	2,42	0,60	1,70	0,60	0,00
2	1	7,40	4,40	1,60	2,10	1,50	
	2	4,50	3,30	1,70	0,70	1,20	
	3	6,40	2,50	2,00	1,40		
	4	6,10	2,90	2,90	0,60		
	5	3,20	5,60	3,00			
	6	11,40	3,60				
	7	11,30	3,20				
	8	10,90	1,90				
	9	4,30					
	10	7,20					
média	-	7,27	3,43	2,24	1,20	1,35	0,00
	1	9,90	2,10	3,10	2,50	0,40	
	2	4,40	2,20	5,20	3,90	0,90	
	3	10,60	3,50	1,70	3,20	0,50	

3	4	10,50	3,90	3,70	1,90	1,40	
	5	9,70	3,10	1,90	1,10	1,60	
	6	4,50	1,00	2,80	1,20		
	7	8,60	5,30	2,00	1,30		
	8	5,10		4,00	1,10		
	9	4,40		3,70	1,00		
	10	4,30					
média	-	7,20	3,01	3,12	1,91	0,96	0,00
MÉDIA		7,0933	2,9292	2,6600	1,6929	1,0125	#DIV/0!
DESVIO		2,5757	1,3858	1,1789	0,9547	0,4764	#DIV/0!
Coeficiente de variação (CV)		36%	47%	44%	56%	47%	#DIV/0!
IG		100,0%	33,0%	18,8%	11,1%	3,8%	#DIV/0!
ICRP			59%	63%	76%	86%	#DIV/0!
Sementes germinadas		30	24	15	14	8	0
% Germinação		100%	80%	50%	47%	27%	0%

Tabela 26. Teste de fitotoxicidade das sementes de Feijão-caupi com Sulfato de Sódio

CONTROLE POSITIVO - Na ₂ SO ₄							
Feijão-caupi							
Réplica	Número	Comprimento das plântulas (cm)					
		CN	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1
1	1	6,50	5,90	0,70	2,00	2,70	1,5
	2	6,50	3,90	3,60	3,10	2,10	1,2
	3	8,60	1,30	3,50	2,20	2,80	0,40
	4	8,00	2,50	6,10	3,30	2,50	
	5	5,40	1,30	4,20	2,70	1,30	
	6	10,00	2,40	5,30	3,10	3,20	
	7	5,70	2,60	4,00	3,60	1,00	
	8	8,80	2,70	2,10	1,10		
	9	5,00	2,10	2,00	2,30		
	10	3,60	3,40	1,20			
média	-	6,81	2,81	3,27	2,60	2,23	0,00
2	1	7,40	4,40	3,90	2,20	2,20	2,70
	2	4,50	5,70	3,00	5,00	1,80	2,00
	3	6,40	8,90	4,60	4,30	2,60	2,00
	4	6,10	5,80	3,10	4,20	2,40	3,00
	5	3,20	4,00	4,70	2,90	3,20	1,40
	6	11,40	3,00	2,20	4,50	2,20	2,50
	7	11,30	2,90	7,90	3,50	3,00	
	8	10,90	2,80	4,30	2,40	3,60	
	9	4,30	2,70	4,20	2,20	3,50	

	10	7,20	2,10				
média	-	7,27	4,23	4,21	3,47	2,72	0,00
3	1	9,90	9,40	8,00	3,10	4,70	1,30
	2	4,40	3,20	7,60	4,00	4,00	1,40
	3	10,60	8,60	8,50	3,60	3,90	0,60
	4	10,50	3,60	10,50	3,80	4,00	
	5	9,70	7,30	5,60	5,30	3,00	
	6	4,50	5,20	0,80	4,00	2,90	
	7	8,60	6,50	1,90	3,10	4,80	
	8	5,10	5,40	10,50	1,10	1,50	
	9	4,40	5,30	6,10	3,20	3,00	
	10	4,30	7,60	3,40	2,80		
média	-	7,20	6,21	6,29	3,40	3,53	0,00
MÉDIA		7,0933	4,4167	4,6034	3,1643	2,8760	1,6667
DESVIO		2,5757	2,2817	2,6677	1,0332	0,9752	0,7992
Coeficiente de variação (CV)		36%	52%	58%	33%	34%	48%
IG		100,0%	62,3%	62,7%	41,6%	33,8%	9,4%
ICRP			38%	35%	55%	59%	77%
Sementes germinadas		30	30	29	28	25	12
% Germinação		100%	100%	97%	93%	83%	40%

APÊNDICE C – TESTES DE FITOTOXICIDADE DO EFLUENTE TÊXTIL REAL BRUTO E FOTOTRATADO

Tabela 27. Teste de fitotoxicidade das sementes de algodão com efluente têxtil bruto

EFLUENTE TÊXTIL BRUTO							
Algodão							
Réplica	Número	Comprimento das plântulas (cm)					
		CN	EB 5%	EB 10%	EB 15%	EB 25%	EB 50%
1	1	3,3	1,9	2,3	1,5	0,4	4,4
	2		1,5	2	0,8	5,7	1,5
	3	3,4	3,1	1,7	0,7	0,5	4,7
	4	2	1,6	1,6	2,4	0,4	4
	5	1,9	2,4	2,3	5,5	1,7	3
	6	1,5	0,5	0,4	4,9	2,1	4,5
	7	1,2	1,3	1,7	3	1	
	8		2		1	4,9	
	9		1,4		2,1	1,4	
	10		3			1,8	
média	-	2,22	1,87	1,71	2,43	1,99	3,68
2	1	2,4	0,8	4	4,5	2,2	2,5
	2	3,5	3,5	2,3	1	1,6	2,1
	3	2,7	2,3	2	1,5	3,5	4
	4	3,8	2	1	2	2	5,4
	5	1,3	1,8	1	3	2,1	0,5
	6	2,3	2	2,5	2,8	1,9	1,5
	7	2,9	4,7	1,5	3,2	1,8	6,1
	8	1,5	1,5	1,5	3,5	1,9	3,9
	9		2,5		3,5	4	3,5
	10				3,5		0,1
média	-	2,55	2,34	1,98	2,85	2,33	2,96
3	1	1,7	1	2,5	3	2,6	2,5
	2	2,6	1	4	4,2	2,3	0,7
	3	2	4,3	2,8	1,2	1,8	5
	4	2,7	0,7	2,3	3	5	5
	5	3	2,5	1,5	1,4	2	6
	6	2,5	0,6	4	3	2,6	2,5
	7	2	1,6	2	2,5	3	2,5
	8		2,1	1,9	2,5	2	3
	9		2	1,5	2,1	2,3	
	10		1,9	5	1,8		
média	-	2,36	1,77	2,75	2,47	2,62	3,40
MÉDIA		2,3905	1,9828	2,2120	2,5897	2,2407	3,4261
DESVIO		0,7523	1,0444	1,0663	1,2661	1,2840	1,5984

Coeficiente de variação (CV)	31%	53%	48%	49%	57%	47%
Sementes germinadas	23	29	25	29	28	23
% Germinação	77%	97%	83%	97%	93%	80%
IG	100%	104,58%	100,58%	136,59%	114,11%	149,55%
ICRP		0,1706	0,0747	-0,0833	0,0626	-0,4332

Tabela 28. Teste de fitotoxicidade das sementes de algodão com efluente têxtil fototratado

EFLUENTE TÊXTIL FOTOTRATADO (4 ml)								
Algodão								
Réplica	Número	Comprimento das plântulas (cm)						
		CN	ET 10%	ET 20%	ET 30%	ET 40%	ET 50%	ET 100%
1	1	3,3		2	1	1,8	2,1	0,5
	2		0,8					1
	3	3,4	2,4	1,8		1,7	0,6	1,7
	4	2	1,1	3,2	1,3	1,9	1,1	1,5
	5	1,9	1,6	3,1	3	1,4	1	1,5
	6	1,5	2,4	3,8	3,1	1,7	2,5	1
	7	1,2		2,7		0,9	1,7	3,1
	8			3,9			2,8	2,2
	9			3,8			1	
	10			2,2				
Média	-	2,22	1,66	2,94	2,10	1,57	1,60	1,56
2	1	2,4	1,3	1,5		2,9	1,3	2,1
	2	3,5	3,1	2	0,4	2,8	1,6	2
	3	2,7		2,9	1,6	2,3	3,5	1
	4	3,8	2,6	5,5	1,4	1,4	0,6	0,9
	5	1,3	3,8	4,1	1,6	2,4	2	1
	6	2,3	0,8	1,7	2,6	1,2	3,5	1
	7	2,9		2,6	2,8	2,7		2
	8	1,5		3,3	3	2,6	2,3	3
	9				3,6		3,1	
	10				1,3		2	
Média	-	2,55	2,32	2,95	2,03	2,29	2,21	1,63
3	1	1,7	1,3	1,9	2,5	1,9	1,5	
	2	2,6	1,3	0,5	3,2	2,5	1,5	
	3	2	1,8	2,3	1,7	2,1	1,2	0,4
	4	2,7	1,6	1,7	2	2,1	2,5	1
	5	3	1,1	2	3,2	2,1	3	3,5
	6	2,5	2,3	1,5	3,5	2,3	1,8	3,5
	7	2	1,4		1,9	2,8		

		8		1,6			2	
		9		1,7		1,7	2,5	
		10		1,8			1,5	
média	-	2,36	1,59	1,65	2,57	2,19	1,94	2,10
MÉDIA		2,3905	1,7900	2,6087	2,2350	2,0545	1,9280	1,6263
DESVIO		0,7523	0,7718	1,1147	0,9000	0,5518	0,8409	0,9344
Coeficiente de variação (CV)		31%	43%	43%	40%	27%	44%	57%
Sementes germinadas		23	28	26	24	25	29	22
% Germinação		77%	93%	87%	80%	83%	97%	73%
IG		100%	91,16%	123,36%	97,56%	93,42%	101,69%	65,08%
ICRP			0,2512	-0,0913	0,0650	0,1405	0,1935	0,3197

Tabela 29. Teste de fitotoxicidade das sementes de feijão-caupi com efluente têxtil bruto

EFLUENTE TÊXTEL BRUTO							
Feijão-caupi							
Réplica	Número	Comprimento das plântulas (cm)					
		CN	EB 5%	EB 10%	EB 15%	EB 25%	EB 50%
1	1	6,5	1,4	5,8	2,6	4,2	2
	2	6,4	1,7	2,5	1,8	3,1	1,1
	3	5,6	1	2	1,6	1,2	2,1
	4	4,9	1,1	1,8	4,4	1,1	2,7
	5	3,8	1	5,5	0,9	1,2	1,9
	6	2,2	1,3	2,2			2,9
	7		1,5	3			1
	8						
	9						
	10						
média	-	4,90	1,29	3,26	2,26	2,16	1,96
2	1	3,9	4,5	1,1	4,5	5	3,5
	2	3,4	4,5	1	7,7	6,3	6,7
	3	2,6	5,2	1,2	3	1	4,4
	4	3,5	2,2	1,9	1	3,5	3,8
	5	2,9	5	1,5	1,5	3,3	8,3
	6	3,5	1,3	1,4	3,4	3,2	3,5
	7	4	1,5	1,5	0,5	2,1	5,6
	8	4,4	1,1				0,5
	9	4	2,5				
	10						
média	-	3,58	3,09	1,37	3,09	3,49	4,54

3	1	4,7	2,5	4	6	5,7	5,4
	2	3,6	6	1,4	4,2	6	7,3
	3	5	4,9	4,9	2,5	4,8	9
	4	6,4	8,4	4,5	1,3	5,1	6,2
	5	5,1	1,2	3,9	1,4	7,9	6
	6		2	3,3	3,5	6,7	1,5
	7	4,5	6,2	1,3	3,6	1,9	2
	8	3		2,7	3,4		
	9				1		
	10						
média	-	4,61	4,46	3,25	2,99	5,44	5,34
MÉDIA		4,2682	2,9565	2,6524	2,8476	3,8579	4,1381
DESVIO		1,2179	2,1367	1,4994	1,8351	2,1146	2,4933
Coeficiente de variação (CV)		29%	72%	57%	64%	55%	60%
Sementes germinadas		24	23	22	21	19	22
% Germinação		80%	77%	73%	70%	63%	73%
IG		100,00%	66,38%	56,96%	58,38%	71,56%	88,87%
ICRP			0,3073	0,3786	0,3328	0,0961	0,0305

Tabela 30. Teste de fitotoxicidade das sementes de feijão-caupi com efluente têxtil fototratado

EFLUENTE TÊXTEL FOTOTRATADO								
Feijão-caupi								
Réplica	Número	Comprimento das plântulas (cm)						
		CN	ET 10%	ET 20%	ET 30%	ET 40%	ET 50%	ET 100%
1	1	6,5	9	6,2	5,6		8	11,2
	2	6,4	10,1	5,3	3	2,5	6,7	7,4
	3	5,6	8,4	4,1	5,4		7,2	5
	4	4,9	3,3	1,7	3,8	2,1	2,3	2,5
	5	3,8	5,1	4,3	0,7	2,6	3,6	0,9
	6	2,2	6	1,2	1,2	6,5	3,6	6,9
	7		1,6	1			1,6	12,7
	8		6	0,9			1,7	7,5
	9		1,5				2,5	0,9
	10							
média	-	4,90	5,67	3,09	3,28	3,43	4,13	6,11
	1	3,9	5	2,6	2,4	5,2	8	4,5
	2	3,4	2	6,2	3,1	5,1	7	6
	3	2,6	1,3	3,9	1,4	5,9	7,3	4,5
	4	3,5	1,5	3,9	2	2,1	4,8	8

2	5	2,9	2	5,6	1	9,1	5	8,2
	6	3,5	6	3,7	2,4	5,6	4,1	7
	7	4	1,4	1,3	0,3	4,3	5	7,5
	8	4,4	0,9	1	1,1	11,7		1
	9	4	2,9	0,4	0,7	7,3		5
	10			1,7		13,1		
média	-	3,58	2,56	3,03	1,60	6,94	5,89	5,74
3	1	4,7	4,5	8,5	4,2	1,5	8,4	11,5
	2	3,6	4,6	6,9	3	0,8	6,6	8
	3	5	6,4	8,5	1,5	1,9	1,2	9,5
	4	6,4	2,6	4,1	0,5	0,7	1	9
	5	5,1	6,5	3,8	5		1,3	12,5
	6		2	6,3	9,2		3	10,3
	7	4,5	2	5,4	10,5			8,5
	8	3		2,3	6,2			5,5
	9			2,4	1,8			6
	10							6,6
média	-	4,61	4,09	5,36	4,66	1,23	3,58	8,74
MÉDIA		4,2682	4,1040	3,9640	3,1667	3,7267	4,7850	7,2810
DESVIO		1,2179	2,6592	2,3467	2,6850	3,6231	2,5203	3,2408
Coeficiente de variação (CV)		29%	65%	59%	85%	97%	53%	45%
Sementes germinadas		24	25	27	24	20	22	28
% Germinação		80%	83%	90%	80%	67%	73%	93%
IG		100,00%	100,16%	104,48%	74,19%	72,76%	102,77%	199,02%
ICRP			0,0385	0,0713	0,2581	0,1269	-0,1211	-0,7059