



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CAMPUS CRATEÚS**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**AMANDA BARBOSA CASTRO**

**TESTES ECOTOXICOLÓGICOS COMO FERRAMENTA NA AVALIAÇÃO DA  
POLUIÇÃO AMBIENTAL CAUSADA POR ATERROS COMUNS (OU LIXÕES): O  
CASO DO RIACHO DOS CAVALOS EM CRATEÚS-CE**

**CRATEÚS**  
**2022**

AMANDA BARBOSA CASTRO

TESTES ECOTOXICOLÓGICOS COMO FERRAMENTA NA AVALIAÇÃO DA  
POLUIÇÃO AMBIENTAL CAUSADA POR ATERROS COMUNS (OU LIXÕES): O CASO  
DO RIACHO DOS CAVALOS EM CRATEÚS-CE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária do Campus de Crateús da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientadora: Prof. Dra. Thayres de Sousa Andrade

CRATEÚS

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- C35t Castro, Amanda.  
Testes ecotoxicológicos como ferramenta na avaliação da poluição ambiental causada por aterros comuns (ou lixões): o caso do Riacho dos Cavalos em Crateús-CE / Amanda Castro. – 2022.  
51 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (especialização) – Universidade Federal do Ceará, , Crateús, 2022.  
Orientação: Profa. Dra. Thayres de Sousa Andrade.
1. ecotoxicologia. I. Título.

CDD

---

AMANDA BARBOSA CASTRO

TESTES ECOTOXICOLÓGICOS COMO FERRAMENTA NA AVALIAÇÃO DA  
POLUIÇÃO AMBIENTAL CAUSADA POR ATERROS COMUNS (OU LIXÕES): O CASO  
DO RIACHO DOS CAVALOS EM CRATEÚS-CE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária do Campus de Crateús da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientadora: Prof. Dra. Thayres de Sousa Andrade

BANCA EXAMINADORA

---

Profa. Dra. Thayres de Sousa Andrade (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profa. Dra. Larissa Granjeiro Lucena  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profa. Dra. Lívia Pitombeira de Figueirêdo  
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

À Deus.

Aos meus pais, Denise e Evaldo.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar, por todo seu amor e misericórdia, bem como por ter me guiado durante toda essa árdua jornada dando-me força e coragem para seguir nas horas mais difíceis, só Ele e eu sabemos o quanto foi difícil, quantos momentos pensei em desistir, mas a minha fé me sustentou.

A minha orientadora, Prof. Dra. Thayres de Sousa, em todas suas considerações que contribuíram para a realização deste trabalho, por sua disponibilidade, paciência, dedicação e confiança depositada.

Aos meus pais, Denise e Evaldo, por me conderem o dom da vida e a maior preciosidade de todas, me ensinaram princípios que formaram a pessoa que sou hoje.

Ao meu irmão, Enzo, pelo amor fraternal, amizade, companhia e suporte.

Ao meu noivo, Marcos, por todo companheirismo e apoio emocional necessário nos dias mais difíceis dessa trajetória.

A todos os meus amigos do curso de graduação que compartilharam dos inúmeros desafios que enfrentamos, em especial àqueles que se tornaram amigos que irei levar para sempre, José Mota, Michele Pontes, Maria Giovanna, Hillary Silvério, Emanuel Andrade e Nadilly Oliveira.

Ao grupo de ecotoxicologia, em especial, Tiago e Vitória, pelo apoio, disposição em auxiliar nos experimentos e eventuais dúvidas.

As professoras participantes da banca examinadora, pelo tempo dedicado à leitura do trabalho, pelas valiosas contribuições e sugestões.

Ao Laboratório de Física da UFC-*Campus* Crateús pela utilização do espaço para a elaboração dos experimentos.

À Universidade Federal do Ceará, pelo apoio ao meu desenvolvimento profissional.

*“Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo o propósito debaixo do céu.”  
Eclesiastes 3:1*

## RESUMO

A geração de resíduos sólidos não é um problema pontual, mas um processo dinâmico reflexo do comportamento e capacidade de consumo de uma população. A geração exarcebada, aliada à destinação inadequada, tem-se tornado um problema na maioria dos municípios brasileiros. No município de Crateús - CE, esta realidade não é diferente. Os resíduos sólidos urbanos coletados têm como destino final o lixão (aterro não controlado) que encontra-se localizado às margens do Riacho dos Cavalos, um dos principais afluentes do Rio Poti, possivelmente causando contaminação do solo e, conseqüentemente, afetando a qualidade da água. Desse modo, o presente estudo pretende avaliar a ocorrência de toxicidade na água do Riacho dos Cavalos através de ensaios ecotoxicológicos utilizando o organismo modelo *Cucumis sativus L.* (pepino), com objetivo também de obter um provável potencial de contaminação deste manancial causada pela ação dos líquidos lixiviados advindos do lixão. A metodologia da pesquisa consistiu na realização de pesquisa de campo, de caráter exploratório, incluindo visitas *in loco* para coleta das amostras de água, seguido da utilização de registros fotográficos no intuito de caracterizar o local para constatar a devida influência do lixão à qualidade da água do Riacho dos Cavalos. Nos testes ecotoxicológicos com *Cucumis sativus L.*, a metodologia consistiu em dispor as sementes nas placas de Petri, com substrato de papel filtro e umedecidas com 5 ml de cada amostra, sob temperatura controlada de  $20 \pm 1$  °C por um período de 120 h. Ao final do período de incubação, foram avaliados os parâmetros de germinação, comprimento da radícula e do hipocótilo das plântulas. A partir das medições foram calculados: Média, Desvio Padrão, Análise de Variância (ANOVA), Índice de germinação (IG), Índice de porcentagem de germinação residual normalizado (IGN) e o Índice de porcentagem de alongamento radical residual normalizado (IER). Os resultados dos bioensaios apresentaram um nível de toxicidade moderada para o ponto mais próximo à área de lixão, identificado através da inibição do crescimento da radícula e hipocótilo para a espécie testada. Entretanto, de modo geral, os testes de toxicidade indicaram baixa toxicidade aguda nos demais pontos. Logo, recomenda-se estudos mais aprofundados, como por exemplo, a utilização de outros organismos modelos mais sensíveis ou o emprego de testes crônicos ou subcrônicos, além de fazer a caracterização físico-química da água do Riacho dos Cavalos.

**Palavras-chave:** resíduo sólido, lixão, ecotoxicologia, manancial.



## ABSTRACT

The generation of solid waste is not a one-off problem, but a dynamic process that reflects the behavior and consumption capacity of a population. Excessive generation, combined with inadequate disposal, has become a problem in most Brazilian municipalities. In the municipality of Crateús - CE, this reality is no different. The urban solid waste collected has as its final destination the dump (uncontrolled landfill) which is located on the banks of Riacho dos Cavalos, one of the main tributaries of the Poti River, possibly causing soil contamination and, consequently, affecting water quality. . Thus, the present study intends to evaluate the occurrence of toxicity in the water of Riacho dos Cavalos through ecotoxicological tests using the model organism *Cucumis sativus* L. (cucumber), with the general objective of obtaining a probable contamination potential of this source caused by the action of leached liquids from the landfill. The research methodology consisted of conducting field research, of an exploratory nature, including on-site visits to collect water samples, followed by the use of photographic records in order to characterize the location to verify the proper influence of the dump on water quality of Cavalos Creek. In the ecotoxicological tests with *Cucumis sativus* L., the methodology consisted of placing the seeds in Petri dishes, with filter paper substrate and moistened with 5 ml of each sample, under a controlled temperature of  $20 \pm 1$  °C for a period of 120 h. At the end of the incubation period, germination parameters, radicle and hypocotyl length of seedlings were evaluated. From the measurements, the mean, standard deviation, analysis of variance (ANOVA), germination index (GI), normalized residual germination percentage index (IGN) and the normalized residual radical elongation percentage index (IER) were calculated. The results of the bioassays showed a moderate level of toxicity for the point closest to the landfill area, identified through the inhibition of radicle and hypocotyl growth for the tested species. However, in general, the toxicity tests indicated low acute toxicity in the other points. Therefore, further studies are recommended, such as, for example, the use of other more sensitive model organisms or the use of chronic or subchronic tests, in addition to carrying out the physical-chemical characterization of the Riacho dos Cavalos water.

**Keywords:** solid waste, dump, ecotoxicology, spring.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma de caracterização e classificação dos resíduos sólidos.....	10
Figura 2 – Participação das regiões na geração de RSU (%).....	13
Figura 3 – Lixão.....	15
Figura 4 – Imagem de satélite do local de estudo.....	21
Figura 5 – Localização do lixão de Crateús-CE.....	22
Figura 6 – Visão geral de todo o procedimento experimental.....	24
Figura 7 – Morfologia da semente e da plântula.....	25
Figura 8 – Germinação e desenvolvimento das sementes expostas em 48h nos respectivos pontos de amostragem.....	31
Figura 9 – Aspectos e avaliação do crescimento da radícula.....	34

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Efeitos da exposição a amostras durante 24h e 48h de exposição.....	29
Gráfico 2 – Efeitos da exposição a amostras durante 72h a 120h de exposição.....	29
Gráfico 3 – Efeitos da exposição a amostras de água no comprimento da radí de <i>C. sativus</i> após 120h de exposição.....	32
Gráfico 4 – Efeitos da exposição a amostras de água no comprimento do hipocótilo de <i>C. sativus</i> após 120h de exposição.....	35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Disposição final de RSU no Brasil e regiões, por tipo de destinação (t/ano e %)	14
Tabela 2 – Coordenadas dos cinco pontos de coleta no Riacho dos Cavalos em Crateús-CE.	20
Tabela 3 – Valores de temperatura e pH das amostras	27
Tabela 4 – Média do comprimento, Desvio Padrão e Porcentagem de Inibição da radícula de <i>Cucumis sativus</i> para os diferentes pontos de coleta	32
Tabela 5 – Média do comprimento, Desvio Padrão e Porcentagem de Inibição do hipocótilo de <i>Cucumis sativus</i> para os diferentes pontos de coleta	34

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
SEMACE	Superintendência Estadual do Meio Ambiente
COEMA	Conselho Estadual de Meio Ambiente
PERS	Política Estadual de Resíduos Sólidos
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
GRS	Germinação Relativa de Sementes
IER	Índice de Porcentagem de Alongamento Radical Residual Normalizado
IG	Índice de Germinação
IGN	Índice de Porcentagem de Germinação Residual Normalizado

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
§	Seção
©	Copyright
®	Marca Registrada

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>6</b>
<b>1.1. Contextualização do tema</b> .....	<b>6</b>
<b>1.2. Objetivos</b> .....	<b>7</b>
<b>1.2.1. Objetivo Geral</b> .....	<b>7</b>
<b>1.2.2. Objetivos Específicos</b> .....	<b>7</b>
<b>1.3. Justificativa</b> .....	<b>7</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1. O conceito de Resíduos Sólidos</b> .....	<b>8</b>
<b>2.2. Classificação dos resíduos sólidos</b> .....	<b>9</b>
<b>2.3. Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos</b> .....	<b>11</b>
<b>2.4. Disposição Final dos Resíduos Sólidos</b> .....	<b>13</b>
<b>2.5. Poluição causada por lixões e os impactos ambientais na água e solo</b> .....	<b>16</b>
<b>2.6. Análise Ecotoxicológica</b> .....	<b>17</b>
<b>3 METODOLOGIA DE ESTUDO</b> .....	<b>19</b>
<b>3.1. Tipo de Estudo</b> .....	<b>20</b>
<b>3.2. Área de Estudo</b> .....	<b>21</b>
<b>3.3. Procedimentos de Coleta</b> .....	<b>22</b>
<b>3.3. Teste de toxicidade utilizando <i>Cucumis sativus L.</i></b> .....	<b>23</b>
<b>3.4. Análise e tratamento dos dados</b> .....	<b>25</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>27</b>
<b>4.1. Testes ecotoxicológicos</b> .....	<b>28</b>
<b>4.1.1. Germinação</b> .....	<b>28</b>
<b>4.1.2. Radícula</b> .....	<b>31</b>
<b>4.1.2. Hipocótilo</b> .....	<b>34</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>37</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>37</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1.Contextualização do tema

Hodiernamente, um dos maiores entraves da sociedade contemporânea está relacionado à demasiada geração de resíduos sólidos e sua disposição final. De acordo com os autores Brito e Lombardi (2007), o elevado estágio de desgaste ambiental é desencadeado através das características inerentes ao desenvolvimento econômico sustentado através das relações discrepantes de consumo da contemporaneidade.

Os resíduos sólidos sempre estiveram presentes desde o início da civilização humana e no decorrer do trajeto de vida dos seres humanos, desde o nascimento até a morte a geração dos seus restos provoca vestígios no meio ambiente (VELLOSO, 2004). Desse modo, há um grande desafio no que se refere ao gerenciamento e disposição ambientalmente adequada dos resíduos. Portanto, a disposição inadequada tem ocasionado sérios problemas de degradação do meio ambiente, sobretudo, relacionado aos impactos ambientais mais severos que levam a contaminação de solo e das águas pela ação de líquidos lixiviados em áreas próximas aos locais de disposição dos resíduos.

Sabe-se que devido ser a alternativa menos onerosa de disposição, os lixões ainda são bastantes utilizados. O solo recebe grandes quantidades desses resíduos sólidos, contaminando-os com substâncias químicas, potencialmente tóxicas, carcinogênicas ou mutagênicas (Accioly & Siqueira, 2000). Essa alternativa acarreta inúmeros problemas de saúde para a comunidade no entorno dessa área.

Os resíduos sólidos urbanos são fontes potenciais de metais pesados (Guedes, 2008) e outros contaminantes orgânicos e inorgânicos. Estes são capazes de liberar alguns metais, como Cd, Cu, Pb, Mn, Zn, Ni, Hg, aumentando a poluição e contaminação que estes materiais podem causar ao meio ambiente como afirma Moreira (2010). Os metais pesados que são agregados nos solos podem direcionar-se a diferentes vias de retenção ou transporte. São capazes de ficar contidos no solo, dissolvidos na solução do solo ou fixados por processos de adsorção, complexação e precipitação (Kabata-Pendias & Pendias, 2001). Essa complexa mistura de compostos orgânicos e inorgânicos pode ter elevado potencial tóxico para organismos expostos em ecossistemas terrestres e aquáticos.

Diante do exposto, vê-se que o monitoramento constante da qualidade do chorume e das águas superficiais e subterrâneas nas proximidades de lixões são fundamentais para garantir



a qualidade ambiental e proteger a saúde da população afetada pela disposição inadequada dos resíduos.

Dentre as formas de monitoramento, os testes ecotoxicológicos que utilizam organismos indicadores da qualidade ambiental vem sendo cada vez mais empregados para avaliar o potencial de contaminação destes. Teixeira (2016) utilizou a avaliação ecotoxicológica para estudar a toxicidade de dois aterros sanitários de grande porte e lixão inativo através de testes com quatro tipo de organismos, sendo estes, *Alivibrio Fischeri* (bactéria luminescente), *Lactuca sativa L.* (semente de alface), *Daphnia similis* (microcrustáceo) e *Danio rerio* (peixe).

Diante da real possibilidade dos lixiviados presentes nos lixões alcançarem os corpos hídricos superficiais e subterrâneos, o presente estudo pretende avaliar a ocorrência de toxicidade na água do Riacho dos Cavalos, corpo hídrico localizado próximo ao lixão do município de Crateús-CE.

## **1.2.Objetivos**

### ***1.2.1. Objetivo Geral***

Avaliar a ocorrência de toxicidade na água do Riacho dos Cavalos, corpo hídrico localizado próximo ao Lixão do município de Crateús-CE, através de testes ecotoxicológicos com o organismo modelo *Cucumis sativus L.*

### ***1.2.2. Objetivos Específicos***

De acordo com o objetivo geral, foram elencados os seguintes objetivos específicos:

- Identificar potencial de contaminação do manancial superficial causada pela lixiviação oriunda do lixão;
- Analisar a toxicidade aguda através de testes utilizando o organismo modelo *Cucumis sativus*;
- Determinar os parâmetros dos testes de toxicidade mais sensíveis para identificação de possível contaminação nas amostras testadas;

## **1.3.Justificativa**

O descarte dos resíduos sólidos em grande parte dos municípios brasileiros vem sendo feito de forma inadequada, e na cidade de Crateús não é diferente. A cada dia o volume dos resíduos aumenta, uma vez que de acordo com Gouveia (2012), no Brasil, é previsto um crescimento de 7% ao ano e coletado uma média diária de 200 mil toneladas de resíduos. Nesse sentido, é indispensável a aplicação de políticas públicas que prevejam a prevenção e redução dessa problemática.

Conforme dados da ABRELPE (2021), o relatório sobre o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, diz que cerca de 60% dos resíduos coletados ainda vão a aterros controlados e lixões. Na região nordeste uma parcela de 63,7% dos resíduos é disposta de maneira inadequada e apenas 36,3% são destinados à aterros sanitários (ABRELPE, 2021).

Mesmo perante esta realidade, a maioria dos municípios brasileiros ainda não possuem disposição final para os seus resíduos e, conseqüentemente, utiliza de maneira inadequada os lixões a céu aberto, ocasionando sérios problemas ambientais (COSTA et al, 2016). Dentre os inúmeros impactos ambientais, pode-se destacar, principalmente, a poluição das águas subterrâneas e cursos de água vizinhos, a proliferação de animais parasitas e os odores. Nesse contexto, o que ocorre nos lixões é, sobretudo, o acúmulo destes resíduos que acarretam a liberação de substâncias tóxicas que, em seu trajeto, possam chegar a rios e lagos e causar alterações nos ecossistemas aquáticos.

Percebe-se, portanto, a necessidade do uso de ferramentas auxiliares no monitoramento da qualidade ambiental. Nessa perspectiva, a ecotoxicologia vem sendo aplicada como importante parâmetro a fim de identificar a toxicidade de uma amostra, medindo o tempo e os efeitos para diferentes concentrações da amostra num organismo em análise.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. O conceito de Resíduos Sólidos**

A Associação Brasileira de Técnicas (ABNT) por meio da Norma Brasileira (NBR) n° 10.004 de 2004 conceitua, tecnicamente, os resíduos sólidos como lixos sólidos ou semissólidos que resultam de atividades antrópicas em sua grande diversidade. As suas características físicas, químicas ou biológicas são explicadas através de sua atividade geradora (ABNT, 2014).

O conceito de resíduos sólidos é bastante abrangente, pois é resultante de diversas variações ao longo do tempo, por exemplo, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), em seu art. 3°, inc. XVI, traz a definição como

[...] material, substância, objeto ou bem descartados resultantes de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidade tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

Ainda no tocante ao termo resíduo sólido, a Lei n° 12.305/2010, há necessidade de diferenciação do termo “resíduo” e “rejeito”, sendo que, rejeito é considerado tudo aquilo que

não há existam mais possibilidades de tratamento e recuperação tecnologicamente e economicamente viáveis destes e que também não apresentem uma alternativa, a não ser a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010a, Art. 3º, XV). Desse modo, entende-se que os rejeitos serão encaminhados para disposição final e os resíduos devem ser aproveitados de modo útil.

Nesse sentido, observa-se que as novas políticas públicas implementadas estão centralizadas na ideia de redução da produção, reaproveitamento energético dos resíduos sólidos, destinação ambientalmente adequada e participação social, ou seja, é promover a participação da sociedade para instalação da gestão integrada dos resíduos sólidos.

## **2.2. Classificação dos resíduos sólidos**

A NBR nº 10.004/2004 regulamenta a classificação dos resíduos sólidos de acordo com o potencial de poluição do meio ambiente e à saúde humana. Estes são classificados e caracterizados em três grupos: quanto à periculosidade, à origem e às suas propriedades.

a) Resíduos Classe I – Perigosos: podem apresentar risco à saúde humana e ao meio ambiente devido à suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas e que apresentem características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade (ABNT, 2004);

b) Resíduos Classe II – Não perigosos: estão subdivididos em Classe II A (não inertes) e Classe II B (inertes). Os resíduos não inertes são aqueles que não se enquadram nas classificações de Classe I ou II B e os que possam apresentar características de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Já inertes são aqueles que não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor (ABNT, 2004).

Na gestão dos resíduos, a classificação de acordo com a NBR é imprescindível em razão de tornar-se possível elaborar, planejar e efetuar corretamente a melhor forma de tratamento em conformidade com os seus riscos à saúde e/ou meio ambiente. (CAPAZ & HORTA NOGUEIRA, 2014).

Segundo a PNRS (2010), os resíduos ainda são classificados de acordo com a origem de maneira que:

- a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas “a” e “b”;
- d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços;
- e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico;

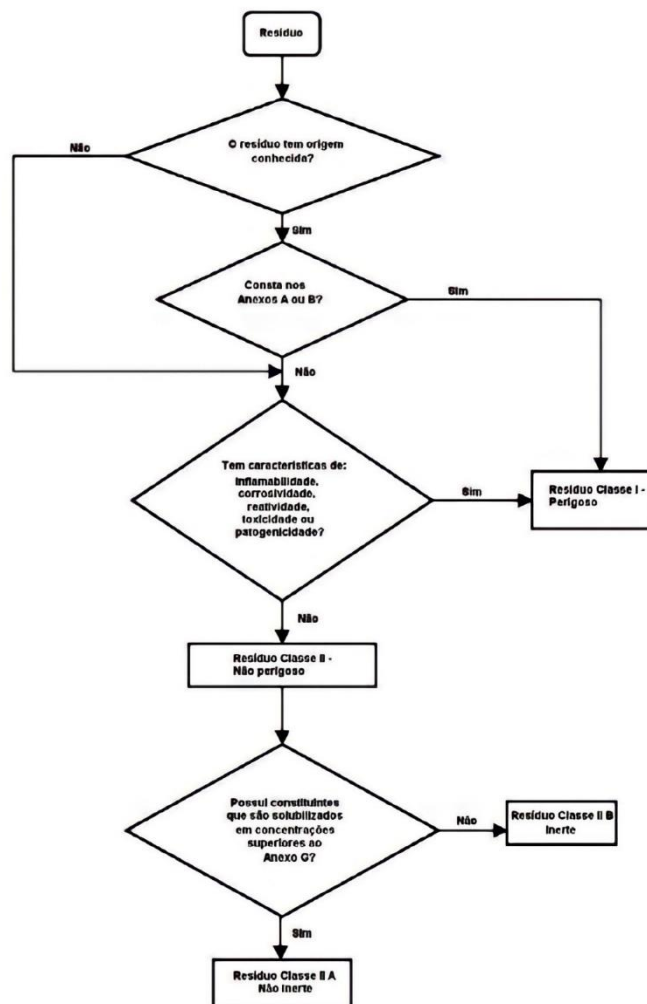
- f) resíduos industriais;
- g) resíduos de serviços de saúde;
- h) resíduos da construção civil;
- i) resíduos agrossilvopastoris;
- j) resíduos de serviços de transportes;
- k) resíduos de mineração; (BRASIL, 2010)

A Política Nacional de Resíduos Sólidos ainda faz a classificação quanto à periculosidade do resíduo. A PNRS abrange os resíduos sólidos em duas classes:

- a) resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;
- b) resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados na alínea a (BRASIL, 2010).

A Figura 1 representa o fluxograma para caracterização e classificação dos resíduos sólidos conforme as especificações da NBR n° 10004/2004.

Figura 1 - Fluxograma de caracterização e classificação dos resíduos sólidos



Fonte: ABNT, 2004.

### 2.3. Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos

A PNRS vem no sentido de tornar intersetorial a gestão dos resíduos sólidos. Essa normativa traz objetivos, princípios, instrumentos e diretrizes que estão relativas à gestão integrada e o gerenciamento destes. No ano de 2010, foi sancionada a Lei Federal nº 12.305 através do Decreto nº 7.404/2010 e trata sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos. A referida lei dispõe sobre os princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis.

O Estado do Ceará tem como a espinha dorsal da legislação ambiental no Estado, primeiramente, a Constituição Estadual, os arts. 259º a 271º descrevem que é de competência do Estado promover a proteção do meio ambiente e combater a poluição ambiental. Não obstante a isso, o Ceará estabeleceu a Política Estadual de Meio Ambiente (Lei nº 11.411/87), que é o reflexo da Lei Federal já existente. Essa norma estabelece a criação do COEMA (Conselho Estadual de Meio Ambiente) e da SEMACE (Superintendência Estadual de Meio Ambiente) e dá suas respectivas atribuições.

Nesse contexto, perante os dispositivos nacionais preconizados através da PNRS, teve-se a necessidade de elaboração do plano de resíduos sólidos para o Estado. Pretendendo os alcances da PERS (CEARÁ, 2016), foram descritos os seguintes objetivos dispostos no art. 7º na respectiva lei:

Art. 7º São objetivos da Política Estadual de Resíduos Sólidos:

- I – Proteger a saúde pública e a qualidade ambiental;
- II – Não gerar, reduzir, reutilizar, reciclar e tratar os resíduos sólidos, bem como realizar a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;
- III – Estimular o consumo consciente;
- IV – Estimular a adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços;
- V – Adotar sistema de controle e monitoramento de gestão e gerenciamento integrado de resíduos sólidos;
- VI – Adotar, desenvolver e aprimorar tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais;
- VII – Reduzir o volume e a periculosidade dos resíduos perigosos;
- VIII – Incentivar a indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados;
- IX – Fomentar a gestão integrada de resíduos sólidos;

O município de Crateús dispõe da Política Ambiental do Município, prevista na Lei nº 203 de 2012. Essa Lei prevê instrumentos para promover o controle ambiental, como as atividades de licenciamento, planejamento, zoneamento ambiental, educação ambiental, entre outros.

Ainda no que se diz respeito às normativas municipais, a Lei nº 227/2012 incentiva o desenvolvimento de programas de educação ambiental, recuperação de ambiente degradado e a preservação de áreas de preservação ambiental. Traz, ainda, a instituição do Fundo Municipal de Meio Ambiente (FUNDEMA).

O Conselho Municipal de Meio Ambiente foi criado por meio da Lei Municipal nº 566/2005, é atuante através da sua capacidade de ser um órgão consultivo e deliberativo do Poder Executivo, ou seja, as competências que lhes são atribuídas são as de propor diretrizes para a Política Municipal do Meio Ambiente, bem como colaborar nos estudos e elaboração de planejamento e nos instrumentos de gestão municipal. Dentre suas atribuições, este órgão, ainda, tem poder de deliberar sobre coleta, seleção, armazenamento, tratamento e eliminação das diversas classes de resíduos sólidos.

Na esfera de planejamento e gestão pública em Crateús é descrito através do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, elaborado em 2014, que teve como intuito, principalmente, entrar em conformidade com as diretrizes previstas pela PNRS. Este plano estratégico é um instrumento imprescindível para a intensificação de ações de educação ambiental, a promoção da inclusão social e o incentivo à indústria de reciclagem (CRATEÚS, 2014).

Atualmente, o gerenciamento dos resíduos sólidos do Município é regido através das diretrizes estabelecidas por este Plano. Inclusive, o sistema de coleta tipo seletiva que existe na cidade é proveniente deste documento. Relativo à coleta seletiva, são recolhidos materiais recicláveis tais como embalagens plásticas, papel e papelão, alumínio e vidro, os quais são separados no Centro de Triagem da RECICRATIÚ e após vendidos em Fortaleza. De acordo com dados do Plano, são coletadas cerca de 30.000 toneladas de resíduos sólidos recicláveis, por mês, no município (CRATEÚS, 2014).

Portanto, o sistema de limpeza urbana do Município faz a coleta convencional dos resíduos domiciliares e comerciais, como há o incentivo da coleta seletiva, os materiais recicláveis são triados para reciclagem e o restante dos resíduos são encaminhados para o lixão pertencente ao município. (CRATEÚS, 2014). É importante ressaltar que ainda há a presença de catadores informais dentro do lixão, um cenário social adverso enfrentado pela administração pública municipal, uma vez que estas pessoas necessitam de qualidade de vida digna. Embora isso ocorra, há um Protocolo de Intenções, firmado em 2010, para a construção de um aterro sanitário em consórcio entre os municípios cearenses de Independência, Ipaoranga, Novo Oriente e Crateús (CRATEÚS, 2014).

## 2.4. Disposição Final dos Resíduos Sólidos

A capacidade de esgotamento dos sistemas de disposição final dos resíduos sólidos está sendo, cada vez mais, uma questão preocupante. É imprescindível a adoção de meios de destinação final ambientalmente corretas no sentido de minimizar os impactos ambientais negativos. Segundo Gonçalves et al. (2013, p. 98), a importância deve-se a três fatores principais: a grande quantidade de RSU gerada, os gastos financeiros envolvendo o gerenciamento e os impactos ao ambiente e à saúde da população (GONÇALVES, 2013).

A geração de resíduos sólidos urbanos tem uma relação direta com o modo de vida da sociedade atual, pois, conforme os dados do relatório elaborado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE, no ano de 2020, a geração de RSU (Resíduos Sólidos Urbanos) sofreu interferência direta por causa da pandemia do COVID-19, sendo que, cada habitante gerou, em média, 1,07 kg de resíduo por dia. Nesse contexto, esse levantamento indica ainda os índices distribuídos entre as regiões brasileiras. A figura 2 faz a relação entre a geração de RSU apresentada de acordo com a região do Brasil.

Figura 2 - Participação das regiões na geração de RSU (%)



Fonte: ABRELPE, 2021.

Além disso, este documento indica que, no ano de 2021, a maior parte dos RSU coletados foram para disposição em aterros sanitários, com 46 milhões de toneladas enviadas,

superando a marca dos 60% dos resíduos coletados que tiveram destinação adequada no país. Em controverso ao que foi exposto, ainda há diversas áreas de disposição inadequada, incluindo lixões e aterros controlados, que ainda estão em operação e receberam quase 40% do total de resíduos coletados (ABRELPE, 2021).

Já sobre o diagnóstico da disposição final dos resíduos sólidos urbanos no país, o relatório traz uma relação entre as regiões do Brasil e sua colaboração em dispor seus resíduos. Vale salientar ainda que a região Nordeste é a segunda do ranking na contribuição de disposição final inadequada, representando uma parcela de 63,7%. (ABRELPE, 2021). A Tabela 1 abaixo demonstra as informações referente à porcentagem de resíduos sólidos dispostos em aterros e lixões fazendo um recorte entre o Brasil e suas regiões.

Tabela 1- Disposição final de RSU no Brasil e regiões, por tipo de destinação (t/ano e %)

Região	Disposição adequada		Disposição inadequada	
	t/ano	%	t/ano	%
Norte	1.773.927	35,6%	3.209.013	64,4%
Nordeste	6.016.948	36,3%	10.558.666	63,7%
Centro-Oeste	2.456.849	42,5%	3.323.972	57,5%
Sudeste	29.542.830	73,4%	10.706.257	26,6%
Sul	6.011.894	70,8%	2.479.482	29,2%
<b>Brasil</b>	<b>45.802.448</b>	<b>60,2%</b>	<b>30.277.390</b>	<b>39,8%</b>

Fonte: ABRELPE, 2021.

Os lixões são locais de disposição final dos resíduos sólidos, onde não há proteção e nem controle da área, isto é, são formas impróprias de deposição dos resíduos sólidos urbanos (MONTEIRO et al., 2001). Portanto, pode-se definir o lixão de modo que:

Lixão (ou Vazadouro, como também pode ser denominado o lixão) não existe nenhum controle quanto aos tipos de resíduos depositados e quanto ao local de disposição deles. Nesses casos, resíduos domiciliares e comerciais de baixa periculosidade são depositados juntamente com os industriais e hospitalares, de alto poder poluidor. Nos lixões pode haver outros problemas associados, como por exemplo a presença de animais, a presença de catadores (que na maioria dos casos residem no local), além de riscos de incêndios causados pelos gases gerados pela decomposição dos resíduos e de escorregamentos, quando da formação de pilhas muito íngremes, sem critérios técnicos (FORMAS, 2010, p.01).

O descarte final dos resíduos sólidos em lixões causa danos à saúde humana, pois é responsável por atrair vetores que podem disseminar doenças. Além disso, no âmbito social, tem-se a presença de catadores de materiais recicláveis nesses locais, em que uma das problemáticas existentes é que muitos destes tiram o sustento através da reciclagem, porém, estão sujeitos aos riscos ali oferecidos, com níveis de insalubridade altíssimos. A Figura 3 faz uma representação da realidade encontrada em lixões a céu aberto.



Figura 3 - Lixão



Fonte: FEAM, 2010.

Outro método que se pode destacar é o aterro controlado. A diferença está na compactação e cobertura do resíduo, porém, ainda não há a impermeabilização do solo, tratamento de lixiviado e gases, ausência de sistema de drenagem, dentre outros.

“A disposição dos resíduos é feita da mesma maneira que nos aterros comuns, porém os resíduos são cobertos com material inerte ou terra, não existindo, contudo, nenhum critério de engenharia ou controle ambiental” (ATERRO, 2018, p.01).

A administração pública municipal tem o papel de organizar, gerenciar e prestar serviços públicos de coleta dos resíduos bem como fazer a destinação final, que deverá ser adequada. Um dos métodos de disposição final dos resíduos é o aterro sanitário, apesar dos números de implantação de aterros sanitários no Brasil terem tido um aumento significativo, ainda estamos longe de alcançar percentuais satisfatórios.

O aterro sanitário, atualmente, é uma técnica que tem como característica ser um tipo de disposição final ambientalmente adequada, pois acarreta menores impactos ao meio

ambiente. A NBR 8419/1992 que estabelece os critérios para apresentação de aterros sanitários, traz uma definição, sendo da seguinte forma:

Aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos consiste na técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza os princípios de engenharia para confinar os 44 resíduos sólidos ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho ou a intervalos menores se for necessário (NBR, 1992, p. 62).

## **2.5. Poluição causada por lixões e os impactos ambientais na água e solo**

Devido às suas peculiaridades, os lixões são responsáveis por inúmeras complicações, tais como transmissão de doenças por macrovetores (cachorros, gatos, ratos, pombos etc.) e os micro vetores (moscas, mosquitos, fungos e bactérias). São capazes de causar, ainda, adversidades ao meio ambiente por meio da contaminação do ar, águas superficiais e subterrâneas, solo, prejuízo da estética e paisagem local (SISSINO, 2000; D'ALMEIDA, 2000).

No entanto, é no chorume gerado pela decomposição do lixo, que se encontra um dos principais problemas ambientais da disposição inadequada de resíduos sólidos (D'ALMEIDA, 2000). O percolado é decorrente da lixiviação de águas pluviais e bactérias encontradas no sistema, elas cumprem o papel de degradar a matéria orgânica no que resulta na formação de um líquido escuro composto por altas concentrações de materiais orgânicos e inorgânicos (PELEGRINE, et al., 2014).

Devido ao solo não conter impermeabilizantes no fundo, todo o líquido que percola no solo poderá poluir facilmente as águas superficiais e subterrâneas. A geração do lixiviado pode percorrer no período de até 15 anos após a deposição final do lixo (RODRIGUES & GRAVINATTO, 1997).

De acordo com Mota (1974) a formação do chorume é caracterizada por as fases de decomposição dos resíduos sólidos, sendo que no início da decomposição é constatada uma intensa atividade aeróbia devido à redução de oxigênio no meio e produção de gás carbônico. No entanto, devido a diminuição da concentração de oxigênio no meio, se dá condições propícias à anaerobiose, formando, assim, uma segunda fase. Nesta fase, ocorre intensa atividade digestiva de liquefação, com a formação de ácidos orgânicos que podem ser utilizados como alimento pelas bactérias metanogênicas (MOTA, 1974).

À vista disso, Christensen et. al. (2001) afirmou, de uma maneira geral, que o chorume pode ser caracterizado como uma matriz de extrema complexidade, pois é composto

principalmente de quatro frações principais: a matéria orgânica dissolvida (formada por metano, ácidos graxos voláteis, compostos húmicos, etc), compostos orgânicos (como os hidrocarbonetos, compostos de natureza fenólica, etc), macrocomponentes inorgânicos (como cálcio, manganês, sódio, potássio, ferro, cloro, magnésio, etc) e os metais potencialmente tóxicos (por exemplo, cromo, cobre, chumbo, níquel, zinco).

Segundo Batista (2010), dentre os contaminantes existentes no chorume, destacam-se os metais pesados que possuem uma concentração mais alta e contaminam o solo, o que acarreta a diminuição da atividade das enzimas microbióticas e reduz a diversidade da biota ali presente. Os metais pesados podem percorrer até chegar aos seres humanos por meio de plantas ou de águas contaminadas por estes. Além dos metais pesados, as altas concentrações de  $\text{NH}_4^+$ , demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO),  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , constituem outro grave problema (JONES *et al.*, 2006).

Nesse contexto, torna-se uma problemática tanto da poluição do solo, quanto da água, dado que através do escoamento superficial e da lixiviação, é possível atingir as águas superficiais e subterrâneas, implicando na qualidade da água (SISINNO; MOREIRA, 1996).

A Resolução do CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009, dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo com relação à presença de substâncias químicas e determina as orientações para o gerenciamento ambiental de áreas poluídas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. (BRASIL, 2009).

Já com relação aos parâmetros de índice de qualidade de água, a Resolução CONAMA nº 357, fixou limites superiores ou inferiores para diversas variáveis em sistemas de água doce, salobra e salina. Dessa forma, esta normativa é uma ferramenta para determinar a influência da contaminação de corpos hídricos no entorno de áreas de lixão. Essa contaminação pode comprometer a qualidade dos mananciais, visto a DBO dos líquidos percolados ser entre 30 e 100 vezes superior à presente em esgotos sanitários (ALMEIDA, 2005).

## **2.6. Análise Ecotoxicológica**

No geral, a qualidade da água e dos efluentes aquosos podem ser determinadas e controladas de duas formas diferentes, as análises físico-químico que identificam e quantificam os diversos parâmetros, e os testes com organismos bioindicadores de poluição. Com o avanço da ecotoxicologia, os testes com organismos vivos são complementos dos resultados das análises físico-químicas, visto que os testes de toxicidade são relevantes quando se refere sobre avaliação do potencial de risco ambiental dos contaminantes, dando uma dimensão mais completa no controle de qualidade das águas (COSTA *et al.*, 2008).

A ecotoxicologia compreende a área da toxicologia ambiental e que por muitas vezes provoca entendimentos diferentes dos conceitos de Ecotoxicologia e Toxicologia (ZAGATTO, 2008). De acordo com Blaise (1984), a ecotoxicologia analisa os efeitos dos poluentes e a forma como eles interagem nos organismos em seu habitat. Já a toxicologia examina o mecanismo de ação que os efeitos tóxicos causam num determinado organismo (BLAISE, 1984; HOFFMAN et al., 2003; ZAGATTO, 2008).

As espécies usadas nos testes ecotoxicológicos são intituladas de organismos-teste (MAGALHÃES; FERRÃO FILHO, 2008). Uma vez que estas são capazes de gerar respostas fisiológicas e morfológicas, por razão do nível de sensibilidade biológica destes bioindicadores (RAND et al., 1995). A toxicidade é a resposta do organismo a uma dose de uma determinada substância, sendo esta natural ou sintética, que esteja acima do nível de tolerância por um período de exposição curto ou longo (RAND et al., 1995). Os ensaios incluem alguns grupos representativos como os de ecossistemas marinhos, fluviais e terrestres, como por exemplo, microrganismos, plantas, invertebrados e peixes (TOTHILL e TURNES, 1996).

Os ensaios de ecotoxicológicos são caracterizados conforme os efeitos que os organismos-testes podem apresentar ao longo do período de exposição, sendo estes agudos ou crônicos. No que refere aos efeitos de toxicidade aguda, pode ser classificado através da exposição de organismos a agentes químicos, geralmente rápidos e agressivos e se manifestam em curtos períodos, podendo ser horas ou dias (ARAGÃO; ARAÚJO, 2008). Nesse aspecto, a menor dose ou concentração do contaminante tóxico nos testes de toxicidade aguda, visam produzir a letalidade ou imobilidade dos organismos-teste, em relação ao seu ciclo de vida (COSTA et al., 2008). Utiliza-se de testes de letalidade para espécies de organismos-teste vertebrados e imobilidade para espécies de invertebrados (ARAGÃO; ARAÚJO, 2008).

Os resultados dos ensaios de toxicidade aguda vem ser mensurados através de valores quantitativos de  $CE_{50}$  (Concentração Efetiva Média a 50% dos organismos no tempo de exposição de 24h ou 48h) e  $CL_{50}$  (Concentração Letal Média que causa mortalidade de 50% dos organismos no tempo de exposição de 24h à 96h) e também de caráter qualitativo em que são compreendidos entre tóxico e não tóxicos (COSTA et al., 2008). Dessa maneira, a menor dose letal de uma substância capaz de produzir uma resposta aguda indica que há maiores riscos de exposições, dado que essa amostra representa danos ao meio ambiente.

Os testes de toxicidade crônica têm como objetivo fazer uma avaliação dos efeitos crônicos diversos em que substâncias subletais podem causar em longo prazo (ARAGÃO; ARAÚJO, 2008; COSTA et al., 2008). Neste ensaio, investigam-se a sensibilidade de organismos-teste à exposição por um tempo prolongado, exceto o controle, sem exposição desse

agente, em que por muitas vezes, o tempo poderá ser todo o ciclo de vida do organismo - embrião à adulto - ou apenas parte de uma fase do ciclo - embrião, larva e adultos - estudando alguns efeitos como reprodução, crescimento, deformidades morfológicas, entre outros (ARAGÃO; ARAÚJO, 2008; DALZUCHIO et al., 2016).

No contexto atual, devido à urgência em avaliar os riscos causados pela inserção de diversos contaminantes ao meio ambiente, a ecotoxicologia se transformou em uma ferramenta importante para compreender as adversidades provenientes de contaminantes em ecossistemas aquáticos e tem se disseminado em âmbito mundial, integrando órgãos de fiscalização, proteção ambiental e da legislação ambiental de vários países, inclusive a brasileira (COSTA et al., 2008; SILVA et al., 2015).

Aliado a isso, a legislação brasileira estabeleceu o uso de testes toxicológicos como instrumento de avaliação da qualidade de água presente nas Resoluções do CONAMA n° 357/2005 e 430/2011 que dispõem sobre classificação dos corpos hídricos e os padrões para lançamentos de efluentes.

## **2.7 *Cucumis sativus L.* como organismo modelo em ecotoxicologia**

Atualmente os testes de toxicidade utilizando plantas como organismos modelos tem se tornado destaques em estudos e demonstram eficiência no monitoramento de poluentes e na observação de contaminantes em corpos hídricos (ŽALTAUSKAITĖ; ČYPAITĖ, 2008). As vantagens com relação aos bioensaios está relacionado a variedade de parâmetros que podem ser analisados, dentre eles, o índice de germinação de sementes, o ganho de biomassa, crescimento vegetal, comprimento radicular, além de parâmetros bioquímicos (ŽALTAUSKAITĖ; ČYPAITĖ, 2008). Alguns organismos modelos são comumente aplicados para avaliar a toxicidade em águas e efluentes, como por exemplo a semente de *Lactuca sativa L.* (Alface), *Allium cepa L.* (Cebola) e *Cucumis sativus L.* (Pepino) (FARRÉ; BARCELÓ, 2003; EOM et al., 2007). A Organization For Economic Cooperation And Development (OECD, 1994) indica o uso de várias espécies de plantas para análises fitotóxicas.

A utilização da espécie *Cucumis sativus L.* (pepino) em estudos ambientais tem se destacado devido a sua biologia comumente conhecida e estudada, além de que há protocolos de testes desenvolvidos por organizações mundiais renomadas. Uma das principais características do bioensaio com pepino é a sensibilidade aos compostos químicos, mostrar ser de fácil manipulação, boas condições cromossômicas e de baixo custo (STEINKELLNER et al., 1998; FISKESJÖ, 1985; CHARLES et al., 2011).

Alguns estudos comprovam a sensibilidade de *C. sativus* como organismo modelo, por exemplo, os autores Barbosa et al. (2013) e Guevara et al (2019) demonstram a validade do experimento utilizando esta espécie e ainda traz resultados referente a validação do ensaio e a comprovação de que este organismo se demonstra sensível à efeitos adversos causados por diferentes compostos e amostras ambientais. Ademais, pode-se ressaltar ainda que o pepino é amplamente utilizado como teste em estudo do metabolismo dos metais em plantas. O estudo de Wang, et al. (2001) confirmou a eficácia do teste com sementes de pepino (*C. sativus*) em que evidenciou estabilidade e reprodutibilidade tanto para o índice de germinação quanto para o crescimento da raiz.

### 3 METODOLOGIA DE ESTUDO

#### 3.1. Tipo de Estudo

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de campo e se enquadra na modalidade de pesquisa em laboratório. Nesse estudo, foi empregado uma observação sistemática, isto é, visitas *in loco*, para coleta das amostras para constatar a devida influência do lixão no Riacho dos Cavalos. Quanto à forma de abordagem, o presente estudo pode ser classificado como abordagem quantitativa Segundo Richardson (1999), a pesquisa quantitativa definida através da quantificação, tanto nas modalidades de coleta de informações quanto no tratamento delas por métodos estatísticos. Requer o uso de recursos e de técnicas estatísticas (percentagem, média, moda, mediana, desvio-padrão, coeficiente de correlação, análise de regressão, etc.)

Para a coleta das amostras foram estabelecidos 5 pontos de amostragem. Os três primeiros pontos de coleta foram escolhidos para compreender toda a extensão do corpo hídrico (Figura 4). O primeiro ponto foi fixado na entrada do riacho e os demais sucessivamente, onde possa alcançar toda a área de estudo. A Tabela 2 a seguir mostra as coordenadas dos locais de amostragem e a Figura 4 representa uma imagem de satélite indicando os locais de coleta.

Tabela 2:Coordenadas dos cinco pontos de coleta no Riacho dos Cavalos em Crateús-CE

Pontos	Coordenadas Geográficas
P1	5°10'15.1"S 40°45'13.7"O
P2	5°10'19.4"S 40°45'13.7"O
P3	5°10'10.3"S 40°44'55.4"O

<b>P4</b>	5°10'34.3"S 40°46'19.5"O
<b>P5</b>	5°10'31.1"S 40°40'56.6"O

Fonte: Autoria própria, 2022.

Figura 4 - Imagem de satélite dos pontos de coleta no local de estudo



Fonte: modificado de Google Earth, 2022.

Neste estudo as amostras que foram coletadas em diferentes pontos, foram analisadas em laboratório para determinar as características e o potencial tóxico das amostras. Onde, nesses experimentos, todos os dados obtidos foram tratados estatisticamente.

### 3.2. Área de Estudo

O objeto de estudo, o Riacho dos Cavalos, está localizado no território do município de Crateús, no extremo oeste do Estado do Ceará, entre as coordenadas 5°10'14.7"S 40°45'12.4"O. O Riacho dos Cavalos é um dos principais afluentes da margem esquerda do rio Poti. A microbacia hidrográfica possui aproximadamente 457 km<sup>2</sup> e faz parte da bacia de drenagem do Rio Poti, que por sua vez integra a grande bacia hidrográfica do Parnaíba. Esta microbacia possui ainda características marcantes no que diz respeito às condições geológicas, pois está inserida entre dois domínios geológico-geomorfológicos: a Depressão Sertaneja (Embasamento Cristalino Pré-Cambriano) e o Planalto Sedimentar da Ibiapaba (Formação Serra Grande, período Siluro-Devoniano).

O município de Crateús ocupa uma área de extensão territorial de 2.981,459 km<sup>2</sup> e uma população estimada em 75.241 habitantes. Segundo dados do IPECE (2017), o município



de Crateús pertence à 13ª Região administrativa, onde a macrorregião e microrregião de planejamento é o Sertão de Crateús.

Com relação aos aspectos climáticos, o clima do local é caracterizado como Tropical Quente Semiárido, a temperatura média de 26°C a 28°C e a pluviosidade média de 731 mm com o período chuvoso nos meses de janeiro a abril. Os solos são classificados como argissolos, latossolos, luvisolos, neossolos e planossolos. A vegetação é constituída por caatinga arbustiva aberta, carrasco, caatinga arbórea e mata seca (IPECE, 2017).

A Figura 5 representa a área de lixão do município de Crateús, onde, está as margens do Riacho dos Cavalos, que fica localizado na rodovia estadual CE-469, sentido ao distrito de Queimadas.

Figura 5 - Localização do lixão de Crateús-CE



Fonte: modificado de Google Earth, 2022.

### 3.3. Procedimentos de Coleta

A coleta foi realizada no mês de outubro de 2022. Os frascos de coleta foram triados com os procedimentos padrões de esterilização, tomando os devidos cuidados necessários como, por exemplo, preenchendo totalmente com volume de amostra para minimizar a presença de ar.

Após coletadas, as amostras foram armazenadas, transportadas e manipuladas no menor tempo possível, antes de sua análise, de maneira a manter suas características, prezando pelo cuidado em preparar bolsas térmicas para promover a refrigeração, bem como proteger da



luz, para transportar até o laboratório da UFC- Campus Crateús, onde foram realizados todos os testes.

### 3.3. Teste de toxicidade utilizando *Cucumis sativus* L.

O bioensaio de toxicidade foi realizado em placas de Petri, previamente lavadas com água destilada e identificadas. Posteriormente, foram inseridos discos de papel filtro como substrato e foram colocadas dez sementes em cada placa com o auxílio de uma pinça, de modo que as sementes estivessem distribuídas uniformemente para crescimento das raízes.

O papel filtro foi umedecido com 5 mL de água destilada em cada placa de Petri. As placas foram então vedadas com plástico filme do tipo PVC para evitar perda de umidade durante o teste, e incubadas durante o período de 5 dias (120 horas) à temperatura  $22\pm 2^\circ\text{C}$ . O controle negativo utilizado foi a água destilada do laboratório de química da UFC-Crateús. Já o controle positivo utilizou-se uma alíquota de 5 mL da solução de sulfato de zinco ( $\text{ZnSO}_4$ ) a 1%. Todo o experimento foi conduzido de acordo com protocolos padronizados e metodologias recomendadas pela OECD (2003) e US EPA (1996) com adaptações de Sobrero e Ronco (2004). Portanto, para a aceitação dos resultados do ensaio adotou-se como critério para o controle negativo: o percentual de germinação superior a 90% (SOBRERO E RONCO, 2004).

Os ensaios foram realizados em triplicata, onde foram utilizadas, no total, 150 sementes de *Cucumis sativus* (pepino), da marca Isla®, todas pertencentes ao lote 154206-001, com 100% de pureza, validade prevista para maio de 2024 e índice de germinação de 98%. Todo o procedimento foi executado conforme as condições experimentais descritas no Quadro 1.

Ao final do ensaio, as raízes das sementes foram medidas com auxílio de régua graduada e paquímetro para que após fossem medidos os parâmetros de tamanho das radículas e hipocótilos. Com base neles, foram calculados os Índice de Germinação (IG), Índice de Porcentagem de Germinação Residual Normalizado (IGN), Índice de Porcentagem de Alongamento Radical Residual Normalizado (IER). A Figura 6 a seguir ilustra as etapas do procedimento experimental descrito acima.

Quadro 1 - Condições de ensaio para *Cucumis sativus*

Parâmetros	<i>C. sativus</i>
Tipo de ensaio	Estático
Temperatura	$22\pm 1^\circ\text{C}$
Fotoperíodo	12:12h
Volume	5 mL

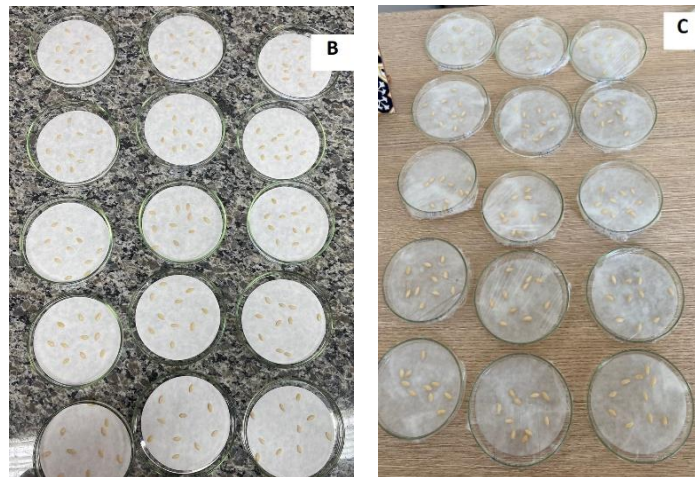
<b>Nº de sementes</b>	10
<b>Nº de réplicas</b>	3
<b>Duração do ensaio</b>	120h
<b>Parâmetros medidos</b>	Germinação; alongamento da radícula e do hipocótilo
<b>Resultado Final</b>	IG%; IGN%; IER%;
<b>Aceitabilidade dos Resultados</b>	Germinação > 90%
<b>Controle negativo</b>	Água destilada
<b>Controle positivo</b>	Sulfato de Zinco 1%

Fonte: Autoria própria, 2022.

IG- Índice de Germinação; IGN- Índice de Porcentagem de Germinação Residual Normalizado; IER- Índice de Porcentagem de Alongamento Radical Residual Normalizado

Figura 6 - Visão geral de todo o procedimento experimental. Disposição dos pontos de coleta (8A), placas de Petri com o substrato (8B), procedimento finalizado com adição das amostras (8C).



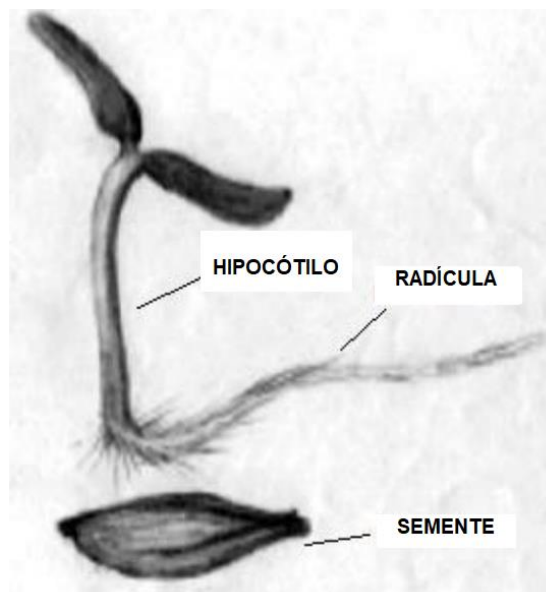


Fonte: Acervo pessoal, 2022.

### 3.4. Análise e tratamento dos dados

Para a obtenção dos resultados provenientes do bioensaio, primeiramente, realizou-se, em todos os dias, a contagem de sementes germinadas em cada placa e posteriormente, ao final dos 5 dias, mediu-se a radícula e hipocótilo de cada uma delas, conforme a especificação da figura 7.

Figura 7 - Morfologia da semente e da plântula



Fonte: Sobrero e Ronco (2008), adaptado pela autora.

Ao final do período experimental, foi avaliado alguns parâmetros como Índice de Germinação (Equação 1); Índice de Porcentagem de Germinação Residual Normalizado (Equação 4); Índice de Porcentagem de Alongamento Radical Residual Normalizado (Equação

5), de acordo com González et al. (2011), o IGN e IGR estes funcionam como indicadores de nível de toxicidade para de nível de toxicidade para a *Lactuca Sativa L.* e outras sementes.

O IG(%) é um parâmetro muito utilizado como resposta a toxicidade, visto que as concentrações de nutrientes e compostos contidos no meio aquoso são parâmetros importantes no estímulo para a germinação das sementes, (BRITO et. al, 2010). O percentual de germinação das sementes é definido a partir da Equação 1.

**a) Índice de Germinação**

$$IG(\%) = \frac{GRS(\%) * CRR(\%)}{100} \quad (1)$$

Sendo,

- GRS: Germinação Relativa das Sementes;
- CRR: Crescimento Relativo da Radícula;

Para o cálculo da germinação relativa das sementes e do crescimento relativo da radícula utilizou-se as equações 2 e 3.

$$GRS(\%) = \frac{n^{\circ} \text{ de sementes germinadas com amostra}}{n^{\circ} \text{ de sementes germinadas no controle negativo}} * 100 \quad (2)$$

$$CRR(\%) = \frac{\text{comprimento médio da radícula com amostra}}{\text{comprimento médio da radícula no controle negativo}} * 100 \quad (3)$$

**b) Índice de Porcentagem de Germinação Residual Normalizado**

$$IGN(\%) = \frac{Germy - Germcontrole}{Germcontrole} \quad (4)$$

Sendo,

- *Germy*: porcentagem média de sementes germinadas em cada amostra;
- *Germcontrole*: é a porcentagem de sementes germinadas no controle;

**c) Índice de Porcentagem de Alongamento Radical Residual Normalizado**

$$IER(\%) = \frac{alongy - alongcontrole}{alongcontrole}$$

Sendo,

- *alongy*: é o comprimento médio da radícula das sementes germinadas em cada amostra;
- *alongcontrole*: é o comprimento médio da radícula das sementes germinadas no controle.

Esses índices dois últimos itens permitem avaliar o nível de toxicidade conforme o Quadro 2 (GONZÁLEZ et al., 2011).

Quadro 2: Nível de toxicidade com relação ao IGN e IER

Nível de toxicidade	IGN(%)	IER(%)
Baixa	0 a -0,25	0 a -0,25
Moderada	-0,25 a -0,5	-0,25 a -0,5
Alta	-0,5 a -0,75	-0,5 a -0,75
Muito Alta	-0,75 a -1,0	-0,75 a -1,0
Hormese	>0	>0

Fonte: (GONZÁLEZ et al., 2011).

As diferenças entre os grupos tratados e não tratados serão avaliadas por meio de Análise de Variância (ANOVA) seguido pelo pós-teste de Dunnett ( $p < 0,05$ ), estes serão utilizados para dados dos possíveis efeitos na germinação. Posteriormente, para os dados relativos à crescimento radicular e hipocótilo, serão realizados testes de ANOVA e pós-teste de Tuckey (dados não paramétricos) ( $p < 0,05$ ), por meio da comparação com todos os possíveis pares de médias e se baseado em detectar a diferença mínima significativa; o programa estatístico manuseado para obter as análises foi o Sigmaplot® 11.0 San Diego, CA, USA.

Por fim, foi calculada a Porcentagem de Inibição do Crescimento (PIC) com relação aos parâmetros de alongamento da radícula e hipocótilo, descrito através da equação 6 abaixo.

$$PIC(\%) = \frac{\text{compcontrole} - \text{comp.ponto}}{\text{compcontrole}} * 100 \quad (6)$$

Sendo,

- *Compcontrole*: comprimento da radícula/hipocótilo do controle negativo;
- *Comp.ponto*: comprimento da radícula/hipocótilo em cada respectivo ponto;

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na realização dos testes ecotoxicológicos foram medidos pH e temperatura (°C) para as amostras utilizadas na exposição das sementes. Os valores de pH foram obtidos através de fita teste e análises por escala de pH. Os dados obtidos são apresentados na tabela 3.

Tabela 3: Valores de temperatura e pH das amostras

Amostras	pH	Temperatura
P1	6	23°
P2	6	23°
P3	7	23°
P4	7	23°

P5	6	24°
----	---	-----

Fonte: Autoria própria, 2022.

De acordo com a tabela, podemos perceber que os valores de pH estão obedecendo os padrões de qualidade de água, previsto através da CONAMA nº 357/2005, onde esta recomenda que o pH deve estar entre 6 a 9. Dentro da escala de pH, as águas do Riacho dos Cavalos estão em um padrão de neutralidade a levemente ácidas. Segundo ESTEVES (2011) a redução do pH poderá ser ocasionada pelo aumento da matéria orgânica e a própria constituição química do solo.

A temperatura da água ficou entre 23 e 24 °C. A coleta foi realizada no início da manhã, o que pode explicar as temperaturas mais baixas. Além disso, a temperatura foi medida já no laboratório, em virtude da ausência de equipamento portátil de campo. Conforme SPERLING (2007), a temperatura média em corpos hídricos varia entre 22 a 30° C em território brasileiro, sendo um importante fator ecológico que pode influenciar uma diversidade de indivíduos aquáticos e a semelhança que pode existir entre a mesma e o teor de gases dissolvidos.

#### 4.1. Testes ecotoxicológicos

No presente estudo, sementes de *Cucumis sativus* foram expostas a amostras de água do Riacho dos Cavalos nas proximidades do lixão de Crateús para avaliar a possível influência do lixão na qualidade da água. Os testes de toxicidade apresentam-se cada vez mais eficiente para diversos fins, tais como, estabelecer a toxicidade de compostos químicos, efluentes líquidos e lixiviados de resíduos sólidos, determinar os limites máximos para lançamentos de contaminantes e realizar o monitoramento ambiental (NASCIMENTO et al., 2008).

O ensaio de alongamento da radícula e hipocótilo é vantajoso para permitir a análise de concentrações de contaminantes mais baixas que não são capazes de inibir a germinação, apenas diminui o desenvolvimento da plântula. Devido a isso, estes parâmetros são considerados indicadores subletais, ou seja, se apresenta muito sensível para a avaliação da toxicidade de contaminantes em organismos vegetais (SOBRERO; RONCO, 2008).

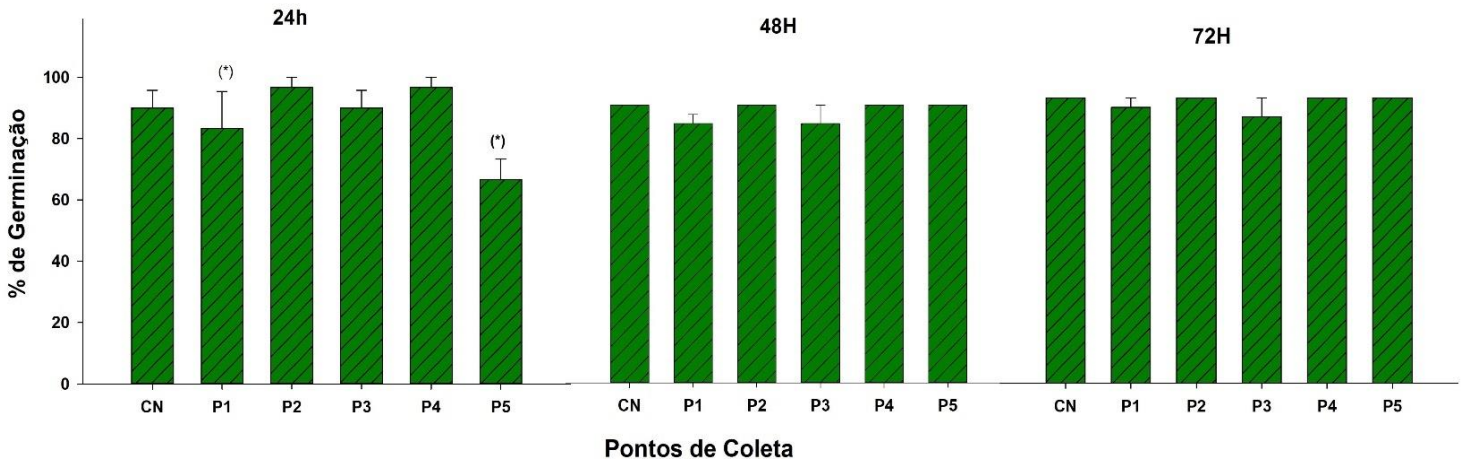
##### 4.1.1. Germinação

A contagem das sementes se deu, de 24h em 24h, até ao final do período de 120h, ou seja, 5 dias. A medida de germinação, representa, em porcentagem, uma relação entre as sementes germinadas em cada placa e no controle negativo. Com relação a germinação, foi possível observar que para as sementes de *Cucumis sativus L.* expostas ao controle negativo obtiveram uma média de 100%, estando assim dentro dos limites de aceitabilidade do teste.



Com relação às demais amostras, a média de germinação foi entre 95% a 100%. O Gráfico 1 abaixo demonstra os resultados obtidos nos ensaios.

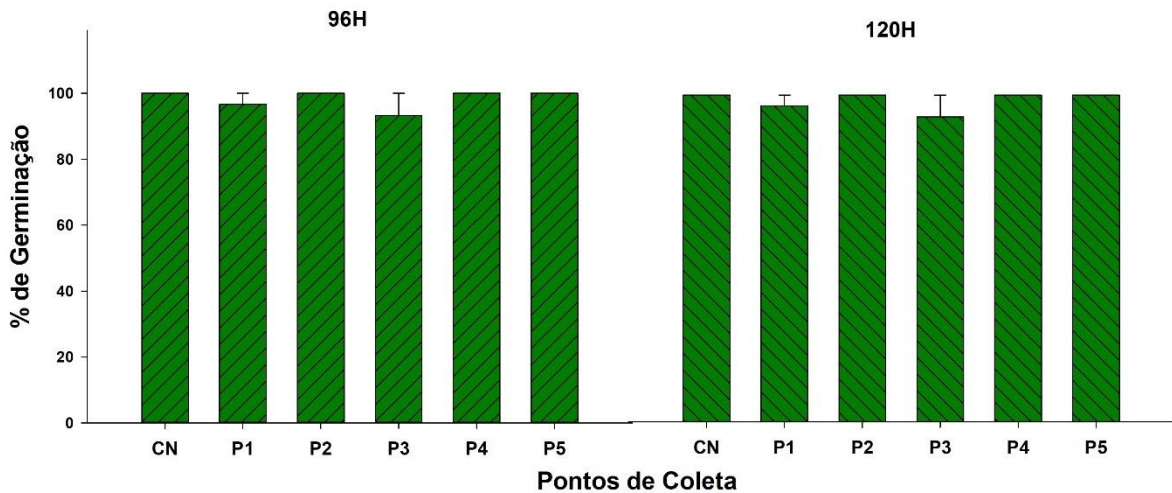
Gráfico 1 – Efeitos da exposição a amostras durante 24h a 72h de exposição (IG±P)



(\*): indica uma diferença significativa entre a amostra e o controle.

Fonte: Autoria própria, 2022.

Gráfico 2 – Efeitos da exposição a amostras durante 96h a 120h de exposição (IG±P)



Fonte: Autoria própria, 2022.

A germinação ocorre quando há uma protrusão da radícula através do pericarpo (EMBRAPA, 2002). Observa-se que nas primeiras 24h, a diferença significativa apresentou apenas nas amostras do ponto 1 e ponto 5, pois, apresentaram uma menor média de germinação comparada ao controle negativo. Entretanto, nos demais resultados não foi possível identificar diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) em todo o período analisado.

Ao final do teste, foi possível observar 100% de germinação em praticamente todos os pontos de análise. Além disso, a taxa de germinação do controle foi de 100%, estando assim

dentro dos limites de aceitabilidade do teste. Esse índice de germinação alto pode ser devido as amostras estarem com grande quantidade de sólidos suspensos e ainda por se tratar de um corpo hídrico que, provavelmente, tem uma quantidade considerável de matéria orgânica. Por exemplo, nas primeiras 24h o ponto 1 e ponto 5 demonstraram menor taxa de germinação em comparação ao ponto 2. Esse aumento da taxa de germinação pode estar relacionado, possivelmente, a maiores concentrações de nutrientes presentes, que são essenciais para o desenvolvimento inicial de plantas (CUBA et al., 2015).

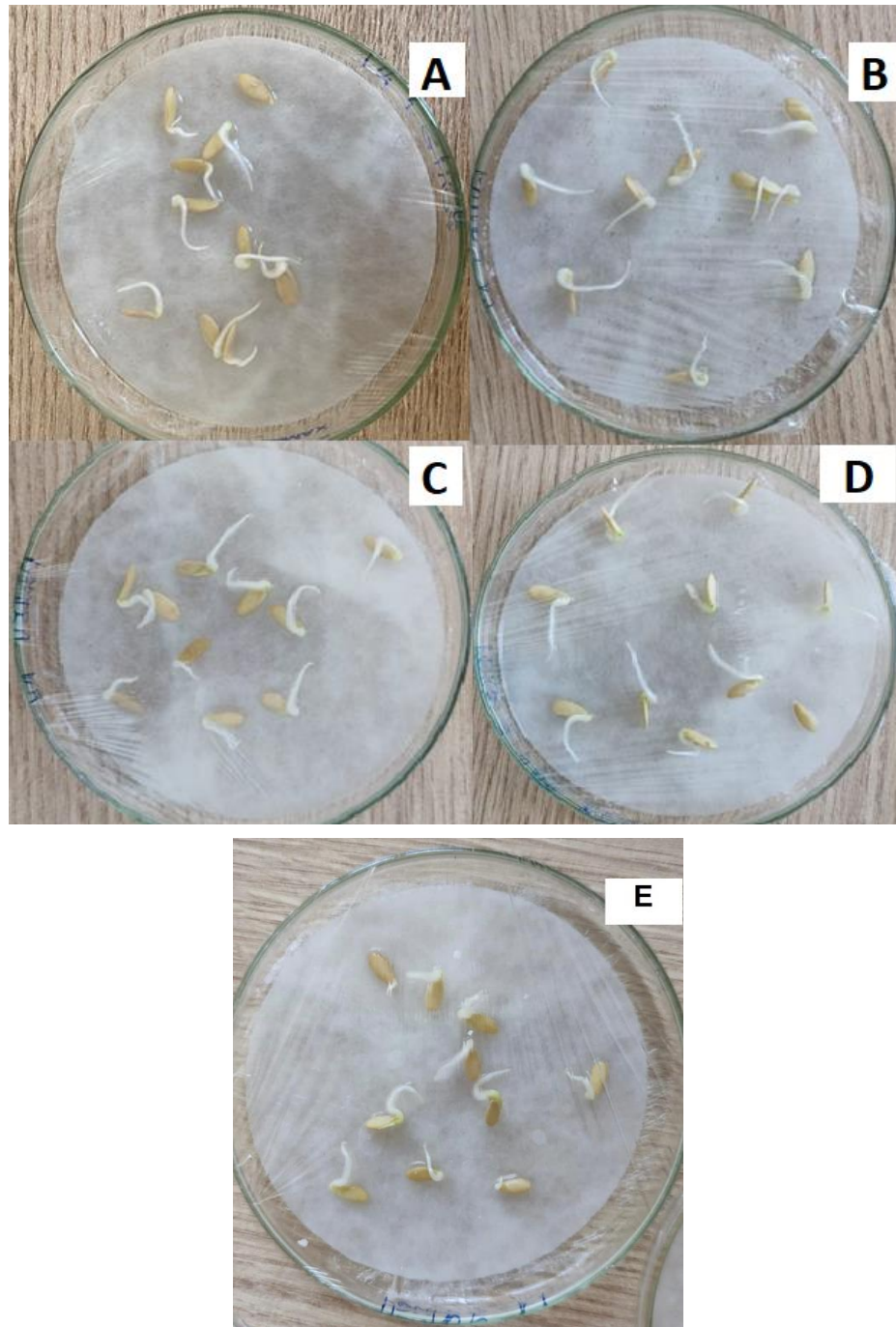
Por outro lado, as altas taxas de germinação podem indicar uma baixa sensibilidade desse parâmetro para detecção de toxicidade utilizando sementes de *Cucumis sativus*. Peduto et al. (2019) avaliando a sensibilidade de diferentes sementes em testes de fitotoxicidade, identificaram uma baixa sensibilidade de *C.sativus* em relação ao parâmetro germinação das sementes. Guevara et al (2018), avaliando a fitotoxicidade de efluentes utilizando *C.sativus* como modelo, também não identificaram efeitos tóxicos para o parâmetro de germinação.

Para que haja germinação da semente é necessário que ocorra o processo de osmorregulação e a partir disso uma série de atividades enzimáticas acontecem, pois, o tecido começa a ser consumido pelo embrião que aumenta que tamanho e há o rompimento da semente (EMBRAPA, 2002). Alguns fatores dificultam o processo de osmorregulação, como o aumento da concentração de sais na água e o aumento da condutividade que, conseqüentemente, implica na absorção da quantidade necessária de água para a semente germinar (RODRIGUES, 2013).

A Figura 8 apresenta como se deu o desenvolvimento da semente de pepino a partir de 48h de exposição às amostras. Nessa perspectiva, é possível observar, visualmente, o processo de germinação, possivelmente afetado em alguns pontos. De maneira geral, o parâmetro de germinação, segundo Kapustka (1997), é relativamente insensível para algumas substâncias.

Figura 8 – Germinação e desenvolvimento das sementes expostas em 48h nos respectivos pontos de amostragem. (A) – Ponto 1 (mais próximo ao lixão); B – Ponto 2 (ponto médio); C – Ponto 3 (ponto mais distante); D – Ponto 4; E – Ponto 5





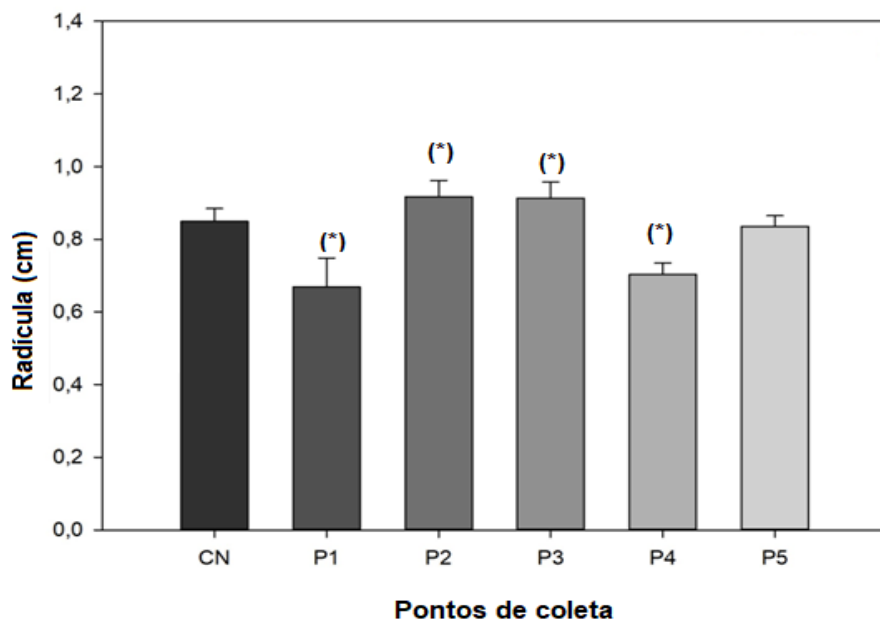
Fonte: Acervo pessoal, 2022.

#### ***4.1.2. Radícula***

O estudo do crescimento radicular é um parâmetro indicado para ser utilizado em teste de toxicidade, pois as raízes são as primeiras estruturas a estarem expostas às substâncias tóxicas (FISKESJO, 1988). A absorção pela raiz, seguida pelo transporte de todas as substâncias pela planta, desencadeia uma variedade de efeitos que vão desde alterações macroscópicas, como no comprimento da raiz, até alterações microscópicas (SHARMA; DUBEY, 2005).

Para avaliar o crescimento da radícula das sementes, após 120h dos ensaios experimentais, foram analisados os tamanhos das radículas dos organismos expostos com o auxílio de uma régua e paquímetro digital. O Gráfico 3 apresenta os resultados das sementes expostas às amostras de água dos diferentes pontos de coleta.

Gráfico 3 - Efeitos da exposição a amostras de água no comprimento da radícula de *C. sativus* após 120h de exposição



Fonte: Autoria própria, 2022.

(\*): indica uma diferença significativa entre a amostra e o controle.

Por meio das análises estatísticas, foi constatada diferença significativa entre os Pontos 1, 2, 3 e 4, quando comparados entre si. Em contrapartida, nas amostras dos Pontos 4 e 5 o comprimento das radículas se mostrou ligeiramente maior (Tabela 4). Isto pode estar relacionado a quantidade de nutrientes que estão presentes na germinação.

Tabela 4 - Média do comprimento, Desvio Padrão e Porcentagem de Inibição da radícula de *Cucumis sativus* para os diferentes pontos de coleta

Amostra	Média de comprimento da radícula (cm)	Desvio Padrão	Porcentagem de Inibição(%)
CN	0,86	0,12	0
P1	0,53	0,25	38,5

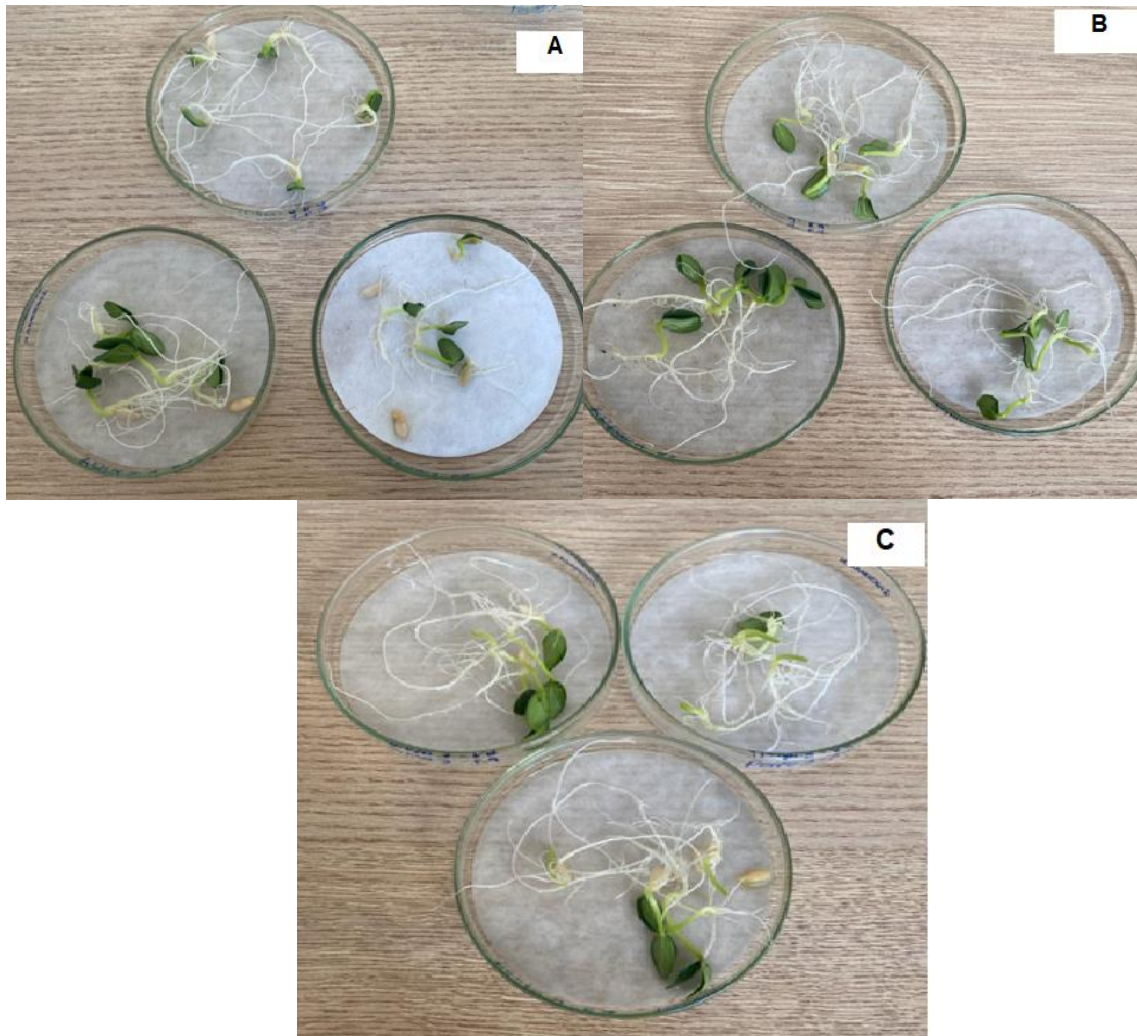
<b>P2</b>	0,93	0,12	-8,1
<b>P3</b>	0,91	0,19	-6,0
<b>P4</b>	0,69	0,05	19,5
<b>P5</b>	0,80	0,08	7,2

Fonte: Aatoria própria, 2022.

Em relação à porcentagem de inibição, as amostras P2 e P3 obtiveram valores negativos, demonstrando que o crescimento da raiz foi maior quando comparado ao controle negativo. Portanto, para esse grupo houve um estímulo de crescimento decorrente de algum elemento ou composto presente nas amostras. O estudo de Alves (2015) realizou a avaliação ecotoxicológica da água do rio Siriri, em Sergipe, e confirmou que os efeitos estimulantes ou de inibição encontrados nas amostras do rio, podem ter ocorrido devido ao aumento relativo da concentração de contaminantes não quantificados e seus respectivos efeitos tóxicos.

Algumas pesquisas demonstram que outros elementos presentes no meio podem afetar diretamente o desenvolvimento da radícula. De acordo com Kochian et al. (2004), a primeira e principal influência da presença de alumínio em hortaliças é a atenuação do crescimento radicular, inibição do alongamento e expansão celular. Outrossim, a interferência de metais, como o alumínio, pode ser ocasionado pelo acúmulo de lignina nas raízes e, conseqüentemente, impede o seu alongamento (Peixoto et. al, 2007).

Figura 9 – Aspectos e avaliação do crescimento da radícula (A): ponto 1; (B): ponto 2; (C): ponto 3



Fonte: Acervo pessoal, 2022.

#### 4.1.3. Hipocótilo

Outro parâmetro utilizado neste estudo para identificar a toxicidade é a medição do hipocotilo. Este parâmetro, juntamente com o alongamento da radícula, é uma medida da capacidade da planta crescer e se desenvolver. A Tabela 5 abaixo apresenta a média, desvio padrão e porcentagem de inibição do hipocótilo da *C. sativus*, em centímetros, após 120 horas de exposição.

Tabela 5: Média do comprimento, Desvio Padrão e Porcentagem de Inibição do hipocótilo de *Cucumis sativus* para os diferentes pontos de coleta

Amostra	Média de comprimento do hipocótilo (cm)	Desvio Padrão	Porcentagem de Inibição(%)
CN	1,22	0,29	0
P1	0,81	0,57	33,5
P2	1,38	0,12	-13,3
P3	1,56	0,32	-27,9
P4	1,54	0,41	-26,1

**P5**

0,91

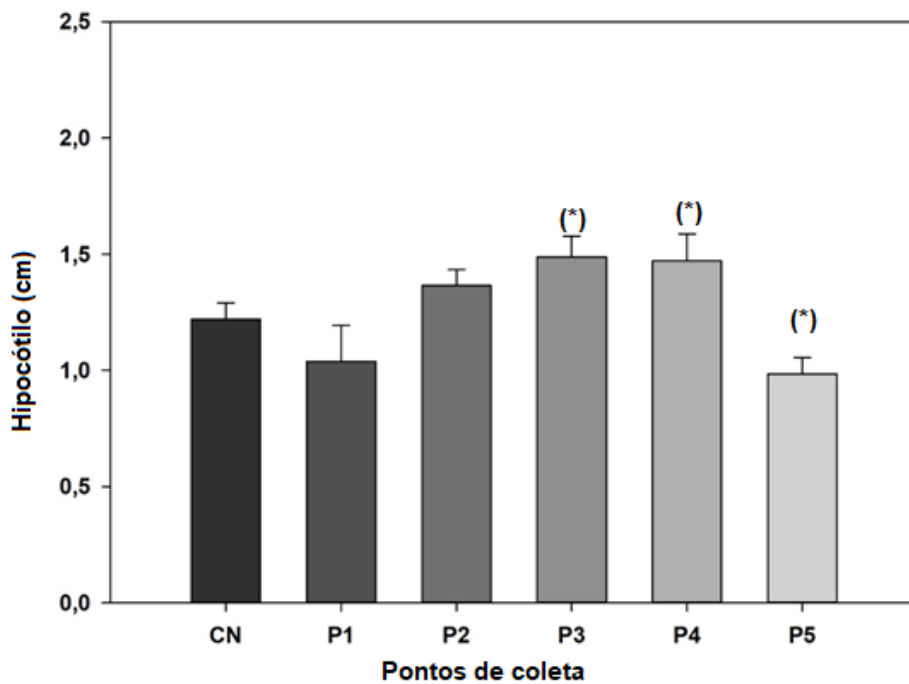
0,26

25,0

Fonte: Autoria própria, 2022.

Os dados obtidos demonstram que a média do comprimento do hipocótilo no CN é menor quando comparada aos pontos P2, P3 e P4. Em contrapartida, para os pontos P1 e P5, houve uma redução do comprimento do hipocótilo quando comparado ao controle. O Gráfico 4 abaixo apresenta como se deu a evolução do crescimento do hipocótilo.

Gráfico 4 - Efeitos da exposição a amostras de água no comprimento do hipocótilo de *C. sativus* após 120h de exposição



Fonte: Autoria própria, 2022.

(\*) : indica uma diferença significativa entre a amostra e o controle.

Conforme pode ser visto no Gráfico 4, há um significativo aumento do comprimento do hipocótilo em comparação das amostras para os Pontos 3 a 5 ( $p < 0,05$ ). Entretanto, uma redução no comprimento do hipocótilo pode ser observada para os Ponto 1, isso pode ser explicado através devido ao desvio padrão entre as amostras.

Os resultados obtidos demonstram uma maior sensibilidade dos parâmetros de alongamento da radícula e hipocótilo na avaliação da qualidade da água. Cruz et al (2013) avaliando a toxicidade de solo contaminado com petróleo e derivados, concluíram que o

alongamento radicular foi o melhor parâmetro analisado para avaliar a redução da toxicidade dos compostos testados.

O Quadro 3 a seguir apresenta a análise da germinação e comprimento das radículas de *C. sativus* através da obtenção dos Índices: GRS (%); CRR (%); IG%; IGN% e IER (%).

Quadro 3 – Germinação das sementes de *Cucumis sativus* L.: Porcentagem, Germinação Relativa da Semente (GRS), Crescimento Relativo da Radícula (CRR), Índice de Germinação (IG), Índice de Porcentagem de Germinação Residual Normalizado (IGN), Índice de Porcentagem de Alongamento Radical Residual Normalizado (IER).

Amostra	Nº de sementes expostas	Média do Nº de sementes germinadas	Porcentagem média de germinação (%)	GRS%	CRR%	IG(%)	IGN (%)	IER(%)
CN	10	10,0	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00
P1	10	9,50	95,00	95,00	61,48	58,41	0,05	-0,39
P2	10	10,0	100,00	100,00	108,12	108,12	0,00	0,08
P3	10	10,00	100,00	100,00	106,03	106,03	0,00	0,06
P4	10	10,0	100,00	100,00	80,51	80,51	0,00	-0,19
P5	10	10,0	100,00	100,00	92,81	92,81	0,00	-0,07

Fonte: Autoria própria, 2022.

Analisando a porcentagem média de germinação, observou-se que foi positivo em todos os pontos. Conforme a classificação de González et al. (2011), com os valores obtidos no IGN a maioria dos pontos indicam um nível de toxicidade baixa, porém, o ponto 1 apresenta efeito de hormese ( $IGN > 0$ ). O efeito hormese está relacionado a substâncias tóxicas ou estressoras, e ocorre quando em altas concentrações causam toxicidade, já em doses baixas provocam efeitos benéficos aos organismos, apresentando reações positivas (SILVA *et. al.*, 2020).

Entretanto, para o IER, apenas o ponto 1 apresenta um nível de toxicidade moderada. O fato de os valores de IER expressarem maior toxicidade pode estar relacionado com a maior sensibilidade à toxicidade do IER em relação ao IGN.

Constata-se que nos índices apresentados aos pontos mais distantes da área de influência do lixão, a toxicidade foi baixa aos organismos, ou seja, exatamente no ponto 1, o que está mais próximo à área, ocorreu uma diminuição no crescimento da semente, bem como na sua estrutura e, conseqüentemente, o organismo demonstrou-se maior sensibilidade àquela amostragem. Ademais, é possível notar que em amostras de água, é mais improvável que as

plantas apresentem imediata inibição, visto que, provavelmente, estes contaminantes estão mais dissolvidos e em menor concentração.

Steinkellner et al (1998) e Lopez et al (2008) reiteram que os bioensaios de germinação com plantas são relevantes por serem sensíveis a vários compostos químicos, como por exemplo, pesticidas, amostras de solo, substâncias orgânicas, entre outros. Todavia, pelos resultados obtidos no presente estudo, é imprescindível que também seja realizada a caracterização físico-química da água do Riacho dos Cavalos.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O objetivo deste trabalho foi analisar, por meio dos testes de toxicidade com o organismo *Cucumis Sativus L.*, uma possível toxicidade relacionada à área de lixão de Crateús. Os resultados demonstraram que, para as condições de testes e espécie testada, em geral, as amostras de água do Riacho dos Cavalos apresentaram baixa toxicidade em testes agudos, ou seja, demonstra uma elevada tolerância do pepino com relação as amostras. Entretanto, no Ponto 1, é possível indicar efeitos fitotóxicos à semente utilizada. Os parâmetros de alongamento da radícula e comprimento do hipocótilo se mostraram ser parâmetros mais sensíveis para avaliar a toxicidade de águas superficiais quando comparados à taxa de germinação.

Em futuros estudos recomenda-se que sejam analisados e quantificados os parâmetros físico-químicos a fim de detectar a presença de metais e outros contaminantes na água, de modo a explicar melhor os resultados de testes ecotoxicológicos.

O emprego de testes crônicos ou mesmo a utilização de outros organismos modelo de diferentes níveis tróficos, podem ser empregados em estudos futuros para avaliar a influência do lixiviado nos corpos hídricos nas proximidades do lixão. Além disso, o fator sazonalidade pode ser determinante no comportamento dos contaminantes que podem afetar a comunidade aquática e comprometer os usos da água do Riacho dos Cavalos.



## REFERÊNCIAS

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. NBR 8.419. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2004b. NBR 10.004: **Resíduos sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro.

ABRELPE. **Panorama Nacional de Resíduos Sólidos**, 2021.

ACCIOLY, A.M.A.; SIQUEIRA, J.O. **Contaminação química e biorremediação do solo**. In: NOVAIS, R.F.; ALVARES, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. *Tópicos em ciência do solo*, Viçosa : SBCS, 2000. V. 1, p.299–352.

ALVES, Jose Bruno Melo. **AVALIAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA DA ÁGUA DO RIO SIRIRI, SERGIPE**. 2015. 24 f. TCC (Doutorado) - Curso de Ecologia, Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, 2015.

ARAGÃO, M. A.; ARAÚJO, R. P. A. Métodos de ensaios de toxicidade com organismos aquáticos. In: ZAGATTO, A. P.; BERTOLETTI, E. **Ecotoxicologia aquática: princípios e aplicações**. São Carlos: Editora RiMa, 2008. cap. 6, p. 117-152.

ATERRO SANITÁRIO. **Aterro Controlado**. Disponível em: <<https://www.portalsaofrancisco.com.br/meio-ambiente/aterro-sanitario>>. Acesso em 1 de Junho de 2022.

BARBOSA R. M. et al. **Eficiência do pepino como modelo em bioensaios de fitotoxicidade**. In: I CONICBIO / II CONABIO / VI SIMCBIO. Recife. Resumos [...]. Recife, v. 2, 2013.

Brasil, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Embrapa Hortaliças**. ISSN 1415-3033 de 22 de Dezembro de 2002, 10p.

BRASIL. 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Lei nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm). Acesso em: 20 de maio de 2022.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 430**, de 13 de maio de 2011. Brasília: CONAMA, 2011. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 23 de junho de 2022.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 420**, de 28 de dezembro de 2009. Brasília: CONAMA, 2011. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2017/09/resolucao-conama-420-2009-gerenciamento-de-ac.pdf> . Acesso em: 23 de junho de 2022.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357**, de 17 de março de 2005. Brasília: CONAMA, 2005. Disponível em: [https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res\\_conama\\_357](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357)



\_2005\_classificacao\_corpos\_agua\_rtfcd\_a\_altrd\_res\_393\_2007\_397\_2008\_410\_2009\_430\_2011.pdf. Acesso em: 23 de junho de 2022.

BRITO, E. P. Z.; LOMBARDI, M. S. **Desenvolvimento sustentável como fator de competitividade**. In: ENANPAD, 31, 2007, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: ANPAD, 2007.

BRITO, N.N.; BROTA, G.A.; SANTOS, E.M.; SILVA, N.B.; PELEGRINI, R.T.; PATERNIANI, J.E.S. **Ensaio toxicológico com sementes para avaliação do tratamento do chorume por filtração lenta e fotocatalise**. Revista HOLOS Environment, v.10, n.2, p. 146, 2010.

CAPAZ, Rafael S.; HORTA NOGUEIRA, Luiz A. **Ciências ambientais para engenharia**.

CEARÁ. SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos**. Ceará, 2016.

CHARLES, J. et al. Evaluation of the phytotoxicity of polycontaminated industrial effluents using the lettuce plant (*Lactuca sativa*) as a bioindicator. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. Saskatoon, v. 74, p. 2057-2064, 2011.

CHRISTENSEN, T. et al. **Biogeochemistry of Landfill Leachate Plumes Applied Geochemistry**, v. 16, p. 659-718, 2001.

COSTA, Carla Regina. **A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação**. Química Nova, [s.i], v. 31, n. 7, p.1820-1830, 2008

COSTA, **Impactos ambientais de lixão a céu aberto no Município de Cristalândia, Estado do Piauí, Nordeste do Brasil**, 2016. Disponível em:<[revista.ecogestaobrasil.net/v3n4/v03n04a08.pdf](http://revista.ecogestaobrasil.net/v3n4/v03n04a08.pdf)>. Acesso em 22 de maio de 2022.

CRATEÚS. **Plano Municipal de Coleta Seletiva**. Ceará, 2015.

CRATEÚS. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos**. Ceará, 2014.

CUBA, R. S. et al. **Potencial de efluente de esgoto doméstico tratado como fonte de água e nutrientes no cultivo hidropônico de alface**. Rev. Ambient. Água. Taubaté, v.10, n. 3, p.574-586, 2015.

D'ALMEIDA, Maria Luiza Otero. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 2ª. ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000. DUEÑAS, M. A. F.; CÂMARA, A. R.; ROCHA, B. O.;

EOM, I. C. et al. Ecotoxicity of a polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH)-contaminated soil. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 67, p. 190-205, 2007.

FISKESJÖ, G. The Allium test — an alternative in environmental studies: the relative toxicity of metal ions. **Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis**, v. 197, n. 2, p. 243–260, fev. 1988.

FORMAS DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS, **Disposição de Resíduos**. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/residuos/res12.html>>. Acesso em: 1 de junho de 2022.

GONÇALVES. **A VIDA NO LIXO: UM ESTUDO DE CASO SOBRE OS CATADORES DE MATERIAIS RECICLÁVEIS NO MUNICÍPIO DE IPAMERI, GO**. 2013. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/viewFile/841/673>>. Acesso em: 29 de maio de 2022

GOUVEIA, N., **Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social**. Cien Saude Colet , 2012. Disponível em: <<http://cienciaesaudecoletiva.com.br/artigos/residuos-solidos-urbanos-impactos-socioambientais-e-perspectiva-de-manejo-sustentavel-com-inclusao-social/9929?id=9929>>. Acesso em 22 de maio de 2022.

GUEDES, M. R. 2008. **Metais pesados em solos: ocorrência**. Disponível em:<<http://scienceblogs.com.br/geofagos/2008/07/metais-pesados-em-solos-ocorrencia.php>>. Acesso em: 20 de maio de 2022.

GUEVARA, M. D. F. et al. **Fitotoxicidade em águas residuárias domésticas utilizando sementes como bioindicadores**. Revista DAE. Pelotas, v. 67, n. 216, p. 45-49, 2019.

IPECE, **Perfil Básico Municipal**, 2017. Disponível em: [www.ipece.ce.gov.br/publicacoes](http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes). Acesso em 25 de junho de 2022.

CRUZ; P.R.M., Lopes; R.N., Montagnolli; I.S., Tamada; N.M.M.G., Silva; E.D., Bidoia. Phytotoxicity of Soil Contaminated with Petroleum Derivatives and Biodiesel. **Journal Of The Brazilian Society Of Ecotoxicology**, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 49-54, 1 jul. 2013. Ecotoxicology and Environmental Contamination. <http://dx.doi.org/10.5132/eec.2013.01.007>.

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

KOCHIAN, L.V., HOEKENGA, O.A., PIÑEROS, M.A. How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. *Annual Review of Plant Physiology and Molecular Biology*, v.55, p. 459-493, 2004.

LOPEZ, G.D., CAMBERO, J.P.G., CALVO, A.C. **Germination of Lactuca sativa seeds as pre-screening in toxicology studies in higher plants**. *Toxicology Letters* 180S, S32–S246, 2008.

MAGALHAES, Danielly; FERRÃO-FILHO, Aloysio da S.. **A ecotoxicologia como ferramenta no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos**. 2008. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/40836288\\_A\\_ecotoxicologia\\_como\\_ferramenta\\_n\\_o\\_biomonitoramento\\_de\\_ecossistemas\\_aquaticos](https://www.researchgate.net/publication/40836288_A_ecotoxicologia_como_ferramenta_n_o_biomonitoramento_de_ecossistemas_aquaticos)>. Acesso em: 14 de junho de 2022.

MONTEIRO, J.H.P. et al. **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

MOREIRA, D. A.; MARTINEZ, M. A.; SOUZA, J. A. R.; MATOS, A. T.; REIS, C. REIS, E. L. **Determinação das características de resíduo sólido urbano aterrado**. Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal, v. 7, n. 1, p. 099-108, 2010.

MOTA, F.S.B. **Aterro sanitário e poluição da água**. São Paulo: USP, 1974. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Saúde Pública, da Universidade de São Paulo, 1974.

NASCIMENTO, I.A. et al. Biomarcadores como instrumentos preventivos de poluição. **Ecologia Aquática: Princípios e Aplicações**, São Carlos-SP, p.413-429, 2008

PEIXOTO, P.H.P., PIMENTA, D.S., CAMBRAIA, J. **Alterações morfológicas e acúmulo de compostos fenólicos em plantas de Sorgo sob estresse de Alumínio**. Bragantia, Campinas. V.66, n.1, p. 17 – 25, 2007.

KAPUSTKA, L. A., Selection of phytotoxicity tests for use in ecological risk assessments. In WANG, W., GORSUCH, J.W., HUGHES, J.S. **Plants for environmental studies**. 536p. 1997.

RAND, G. M.; WELLS, P. G.; MCCARTY, L. S. **Fundamentals of Aquatic Toxicology: Effects, Environmental Fate, and Risk Assessment**. 2. ed. Washington: Taylor & Francis, 1995

Rodrigues LCA, Barbosa S, Pazin M, Maselli BS, Beijo LA, Kummrow F. **Fitotoxicidade e citogenotoxicidade da água e sedimento de córrego urbano em bioensaios com *Lactuca sativa***. Ver. Bras. de Engenharia Agrícola e Ambiental 2013; v. 7 n 12: 1099-1108

RODRIGUES, F. L. R.; GRAVINATTO, V. M. **Lixo: de onde vem? Para onde vai**. São Paulo: Moderna, 1997

SHARMA, P.; DUBEY, R. S. **Lead toxicity in plants**. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v. 17, n. 1, p. 35–52, 2005

SILVA, D. C. V. R.; POMPÊO, M.; DE PAIVA, T. C. B. **A ecotoxicologia no contexto atual no Brasil**. In: POMPÊO et al. (orgs.). **Ecologia de reservatórios e interfaces**. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2015. p. 340-353.

SILVA, T. R. et al. Efeito de subdoses de sulfentrazone em plantas aquáticas e ecotoxicologia para bioindicadores. **Ciência e Cultura**. Barretos, v. 16, p. 2 – 10, 2020. Disponível em: [http://www.unifeb.edu.br/uploads/final\\_rcc162020.pdf](http://www.unifeb.edu.br/uploads/final_rcc162020.pdf). Acesso em: 2 novembro de 2022.

SISINNO, C. L. S.; MOREIRA, J. C. Avaliação da contaminação e poluição ambiental na área de influência do aterro controlado do Morro do Céu. Niterói, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 12, p. 515-523, 1996.

SOBRERO, M. C.; RONCO, A. **Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga *Lactuca sativa* L**. In: ROMERO, P. R.; CANTÚ, A. M. (Eds). **Ensayos toxicológicos para la evaluación de sustancias químicas en agua y suelo: la experiencia en México**. México: Instituto Nacional de Ecología, 2008. Disponível em: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/573/cap4.pdf>. Acesso em: 5 novembro de 2022.

STEINKELLNER, H et al. Genotoxic Effects of Heavy Metals: Comparative Investigation With Plant Bioassays. *Environmental and Molecular Mutagenesis*. [S. l.]. v. 31, n. 2, p. 183-191, 1998.

TEIXEIRA, Caroline Almeida et al. Avaliação Ecotoxicológica de Lixiviados de Dois Aterros Sanitários de Grande Porte e de um Lixão Desativado Localizados na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. **XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia. Geotécnica**, COBRAMSEG 19-22 Outubro, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil © ABMS, 2016.

TOTHILL, I.E. e TURNER, A.P.F. Developments in bioassay methods for toxicity testing in water treatment. *Trends in analytical chemistry*, Vol.15, Nº 5, pp. 178-188, 1996.

VELLOSO, Marta Pimenta. **Criatividade e resíduos resultantes da atividade humana: na produção do lixo à nomeação do resto**. 2004. 173 f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2004.

SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 3.ed. Belo Horizonte: UFMG, v. 7, p. 588, 2007

WANG, X. SUN, C.; GAO, S. WANG, L.; SHOUKUI, H. **Validation of germination and root elongation as indicator to assess phytotoxicity with *Cucumis sativus***. *Chemosphere*, v. 44, n. 8, p. 1669-1782, 2001.

ZAGATTO, P. A. 2014. **Ecotoxicologia Aquática: Princípios e Aplicações**. São Carlos, RiMa, 2ª ed. 496p

ŽALTAUSKAITĖ, J.; ČYPAITĖ, A. Assessment of landfill leachate toxicity using higher plants. *Environmental Research. Engineering and Management*, v. 4, p. 42-47, 2008.