

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA  
UNIDADE DE PÓS-GRADUAÇÃO, EXTENSÃO E PESQUISA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E TECNOLOGIA EM  
SISTEMAS PRODUTIVOS

ANA PAULA PAGLIONE ANICETO.

GESTÃO AMBIENTAL DE PASSIVOS INDUSTRIAIS: MÉTODO PARA  
REMEDIAÇÃO BIOLÓGICA EM SOLOS CONTAMINADOS COM METAIS.

São Paulo

Março /2023.

ANA PAULA PAGLIONE ANICETO.

GESTÃO AMBIENTAL DE PASSIVOS INDUSTRIAIS: MÉTODO PARA  
REMEDIAÇÃO BIOLÓGICA EM SOLOS CONTAMINADOS COM METAIS.

Dissertação apresentada como exigência parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos do programa de Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivo do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, sob a orientação da Profa. Dra. Sílvia Pierre Irazusta

São Paulo  
Março /2023

A597g Aniceto, Ana Paula Paglione  
Gestão ambiental de passivos industriais: método para  
remediação biológica em solos contaminados com metais / Ana  
Paula Paglione Aniceto. – São Paulo: CPS, 2023.  
81 f: il.

Inclui relatório técnico conclusivo

Orientadora: Profa. Dra. Silvia Pierre Irazusta

Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em  
Sistemas Produtivos) – Centro Estadual de Educação Tecnológica  
Paula Souza, 2023.

1. Gestão de resíduos sólidos. 2. Inovação e sustentabilidade. 3.  
*Syngonium podophyllum*. 4. *Eisenia andrei*. 5. Sistemas produtivos.  
I. Irazusta, Silvia Pierre. II. Centro Estadual de Educação  
Tecnológica Paula Souza. III. Título.

ANA PAULA PAGLIONE ANICETO.

GESTÃO AMBIENTAL DE PASSIVOS INDUSTRIAIS: MÉTODO PARA REMEDIAÇÃO  
BIOLÓGICA EM SOLOS CONTAMINADOS COM METAIS.



---

Profa. Dra. Silvia Pierre Irazusta  
Orientadora - CEETEPS



---

Prof. Dr. Sandro Donnini Mancini Examinador  
Externo - UNESP



---

Prof. Dr. Rosinei Batista Ribeiro Examinador  
Interno - CEETEPS

São Paulo, 23 de março de 2023.

A Deus, por sempre estar presente, mesmo quando menos acreditava. À minha mãe, Regina Clementina Paglione, a pessoa mais importante da minha vida e a Luci de Carvalho Pinto, pela amizade incondicional, nos momentos mais difíceis da vida.

### Agradecimentos:

Minha orientadora, Profa. Dra. Silvia Pierre Irazusta, agradeço o apoio, a confiança e por todas as contribuições dadas neste trabalho, especialmente pela paciência e pelo auxílio nas análises e participações em congressos e eventos. Uma grande parceira que ensinou muito em tão pouco tempo, gratidão eterna!

Ao professor Dr. Francisco Tadeu Degasperi por auxiliar na realização da liofilização e sempre ter uma palavra de conforto em seu laboratório.

Ao senhor Ubiratan Zchetti pelo prestimosa atenção e liberação de acesso ao terreno de passivo ambiental em Sorocaba, São Paulo.

Ao Laboratório de Análises LABCRIS pela realização das análises de solos e plantas e o auxílio na interpretação das informações fornecidas.

Às alunas Luisa Lima e Anabelle de Almeida Pollitti por terem confiado em meu trabalho e aceitado participar do Programa de bolsas PIBIC EM do CPS e auxiliado com muito esmero na confecção dessa dissertação, nas análises e organização do material.

Ao Prof<sup>o</sup> Dr Felipe Carneiro da Silva, por ter colaborado na realização da metalização das amostras liofilizadas na Faculdade de Engenharia Metalúrgica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP;

Ao Ms Cesar Antonio Augusto Antonio, aluno do Programa de Pós-graduação em Materiais - laboratório de Pesquisa de Bioenergia e Materiais Lignocelulósicos da Universidade Federal de São Carlos – Campus Sorocaba (UFSCar Sorocaba). pela disponibilização das análises de identificação dos metais nas oligoquetas, por EDS;

A todos os professores do programa de mestrado do CEETEPS por abrirem os nossos olhos para o conhecimento científico e nos auxiliarem durante essa jornada.

A minha amiga irmã Luci, cujo nome é Lucinete de Carvalho Pinto, por compreender meu tempo afastada e jamais me deixar sozinha. Que a nossa amizade siga por outras vidas.

“Todas as substâncias são venenos. O que diferencia um medicamento de um veneno é a dose”.

Theophrastus Paracelsus (1493-1541).

## RESUMO

ANICETO, A. P. P.; **Gestão ambiental de passivos industriais: protocolo para remediação biológica em solos contaminados com metais.**

81 folhas. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos) Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2023.

A ação antropogênica foi responsável pela contaminação das matrizes ambientais, impactando todos os ecossistemas, degradando a paisagem, os organismos e o homem. Os seres vivos de cadeia trófica inferior presentes nesses locais acumulam esses poluentes e podem transferi-los ao longo da cadeia superior, levando à biomagnificação da contaminação. O objetivo deste trabalho foi propor um método simples, de baixo custo e sustentável para remediação de solos contaminados por metais, provenientes de passivos industriais urbanos. O cenário de estudo foi o terreno de uma indústria de acumuladores elétricos localizado na cidade de Sorocaba, São Paulo, cujo local foi contaminado pela deposição irregular de resíduos sólidos metálicos deixados desde a falência da fábrica, com identificação de contaminação desde 1995. Esses materiais estavam enterrados no solo e foram removidos por pessoas, que destruíram as carcaças, despejando o resíduo tóxico no solo, constituindo também um problema de saúde pública. A fim de demonstrar o potencial poluidor e tóxico do terreno, procedeu-se um ensaio de ecotoxicidade utilizando o bioindicador *Eisenia andrei*. Para o processo de fitorremediação foi realizada a coleta do solo no local e a amostra foi levada para o laboratório. A planta utilizada para a fitorremediação foi a espécie bioacumuladora *Syngonium podophyllum*, num período de experimentação de 30 dias e 60 dias *ex situ*. Antes e após esse período o solo e as partes da planta (raiz, caule e folhas) foram analisados. Os resultados confirmaram a eficiência do método de fitorremediação pela *Syngonium podophyllum* após 30 dias de plantio, não havendo incremento após este tempo. Os dados mostraram a retirada de 36,88% de Bário, de 98,6% de Chumbo e de 79,92% para o Cobre, com efeito bioacumulativo nas partes do vegetal, tratando-se de um processo de fitoextração. A literatura sobre o tema não é abundante, e não há registro de estudos com amostras reais. Os resultados dos testes de ecotoxicidade com o anelídeo, após 14 dias de exposição ao solo problema, confirmam a importância da adequada gestão desses passivos, uma vez que a legislação dispõe sobre os limites individuais dos metais, mas não considera a complexidade da amostra ambiental, onde os efeitos da mistura podem ser sinérgicos, com reais impactos nos ecossistemas.

**Palavras-chave:** Gestão de Resíduos sólidos; Inovação e Sustentabilidade; *Syngonium podophyllum*; *Eisenia andrei*; Sistemas produtivos.

## ABSTRACT

ANICETO, A. P. P. **Environmental management of industrial liabilities: protocol for biological remediation in soils contaminated with metals.**

81 folhas. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos) Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2023.

The anthropogenic action was responsible for the contamination of environmental matrices, impacting all ecosystems, degrading the landscape, organisms and man. The lower trophic chain living beings present in these places accumulate these pollutants and can transfer them along the upper chain, leading to the biomagnification of the contamination. The objective of this work was to propose a simple, low-cost and sustainable method for remediation of soils contaminated by metals from urban industrial liabilities. The study scenario was the local of an electric accumulator industry located in Sorocaba's City, São Paulo, whose local was contaminated by the irregular deposition of solid metallic waste left since the bankruptcy of the plant, with identification of contamination since 1995. These materials were buried in the ground and were removed by people, who destroyed the carcasses, dumping the toxic waste into the soil, also constituting a public health problem. In order to demonstrate the polluting and toxic potential of the land, an ecotoxicity test was carried out using the bioindicator *Eisenia andrei*. For the phytoremediation process, the soil was collected on site and the sample was taken to the laboratory. The plant used for phytoremediation was the bioaccumulator species *Syngonium podophyllum*, in a period of experimentation of 30 days and 60 days ex situ. Before and after this period the soil and the parts of the plant (root, stem and leaves) were analyzed. The results confirmed the efficiency of the phytoremediation method by *Syngonium podophyllum* after 30 days of planting, with no increase after this time. The data showed the removal of 36.88% of Barium, 98.6% of Lead and 79.92% for Copper, with bioaccumulative effect on the parts of the vegetable, being a process of phytoextraction. The literature on the subject isn't abundant, and there is no record of studies with real samples. The results of the ecotoxicity tests with annelid, after 14 days of exposure to the problem soil, confirm the importance of the proper management of these liabilities, since the legislation provides for the individual limits of the metals, but does not consider the complexity of the environmental sample, where the effects of the mixture can be synergistic, with real impacts on ecosystems.

Keywords: Solid waste management; Innovation and Sustainability; *Syngonium podophyllum*; *Eisenia andrei*; Productive systems.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Divisão de solo contaminado por caixa com anelídeo.....	44
Tabela 2: Teores de contaminantes no solo na amostra inicial, 30 e 60 dias após remediação (mg. Kg <sup>-1</sup> ) .....	47
Tabela 3: Teores de contaminantes nas três partes da planta, no tempo de estudo (em mg. Kg <sup>-1</sup> ) .....	49
Tabela 4: Período total analisado de MT, em mg. Kg <sup>-1</sup> .....	50
Tabela 5 - Medições em cm da Singônio, após 30 dias de contato com o solo contendo MT.....	52
Tabela 6 - Medições em cm da Singônio, após 60 dias de contato com o solo contendo MT.....	52
Tabela 7: As porcentagens de perda de biomassa, no período estudado.....	56
<b>APÊNDICE I</b> Tabela I – Tamanho, em cm da Singônio (Orelha de Burro), período inicial.....	76
<b>APÊNDICE II</b> Tabela II: Massa dos anelídeos, em gramas no período inicial.....	77
<b>APÊNDICE II</b> Tabela III: Massa dos anelídeos, em gramas, após 7 dias.....	77
<b>APÊNDICE II</b> Tabela IV – Massa dos anelídeos, em gramas, após 14 dias de análise.....	78
<b>APÊNDICE II</b> Tabela V – Porcentagem de metais encontrados nos anelídeos, após período analisado (exceto o Pd) .....	79
<b>ANEXO I</b> Chamadas de reportagens sobre o Caso da falida indústria.....	80

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sal de Bário.....	24
Figura 2: Exemplo de uso do Cádmio e um exemplar ainda na forma metálica.....	25
Figura 3: Exemplar de galena (Sulfeto de Chumbo II, PbS) .....	27
Figura 4: Sulfato de cobre II pentahidratado ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) .....	29
Figura 5: Sais de cromo.....	30
Figura 6: Exemplar de <i>Syngonium podophyllum</i> , pata de ganso, orelha de burro ou simplesmente Singônio.....	31
Figura 7: Possíveis processos de bioacumulação de MT em uma fitorremediadora.....	34
Figura 8: Representação da interação MT com Ft e MT com MeT na célula do vegetal.....	35
Figura 9: Imagem do Brasil, do estado de SP e a localização da cidade de Sorocaba, como grande região metropolitana do estado de São Paulo (sem escalas) .....	38
Figura 10: Imagem de satélite da antiga indústria e imagem do início dos trabalhos no local.....	39
Figura 11: Diagrama de representação da metodologia aplicada neste estudo. ....	40
Figura 12: Esquema demonstrativo de vasos-controle e vasos contaminados.....	41
Figura 13: As mudas do vegetal em local aberto, dentro da UE.....	42
Figura 14: Procedimento de medição, pós lavagem da espécie vegetativa, em água abundante.....	43
Figura 15: Caixa de adaptação, de polipropileno, para a adaptação das oligoquetas.....	44
Figura 16: As caixas contendo minhocas, em observação por 14 dias.....	44
Figura 17: Comprimento comparativo das raízes. Em 1,2 e 3 tem-se as raízes do solo contaminado e em 4, a raiz controle.....	51
Figura 18. Variação do tamanho de cada parte da planta em relação ao grupo controle.....	53
Figura 19: Variação de massa dos organismos expostos ao solo contaminado.....	55
Figura 20 A, B, C: Imagens do revestimento externo e os parâmetros metálicos detectados nos tecidos das minhocas, após exposição ao solo contaminado.....	57

## LISTA DE SIGLAS

As	Arsênio
Ba	Bário
Ca	Cálcio
CCA	arseniato de cobre cromado
Cd	Cádmio
CO <sub>2</sub>	Gás carbônico
COO <sup>-</sup>	Agrupamento carboxílico
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente.
CTC	Capacidade de Troca Iônica
Cu	Cobre
Cr	Cromo
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
Fe	Ferro
Ft	Fitoquelatina
Hg	Merúrio
IUPAC	<i>International Union of Pure and Applied Chemistry</i>
K	Potássio
Mg	Magnésio
MT	Metal tóxico
Ni	Níquel
MCN	Micronúcleo
MeT	Metalotioneína
Mg	Magnésio
OH <sup>-</sup>	Íon hidroxila
P	Fósforo
Pb	Chumbo
PVC	Policloreto de Vinila
RNA	Ácido ribonucleico
EROS	Espécies Reativas de Oxigênio
Se	Selênio
SH <sup>-</sup>	Agrupamento sulfidril
UE	Unidade educacional
VRQ	Valores orientadores de qualidade do solo
Zn	Zinco

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>19</b>
2.1. ORIGEM E CARACTERIZAÇÃO DO SOLO .....	19
2.2. QUALIDADE DO SOLO E CONTAMINAÇÕES NAS GRANDES CIDADES. ....	21
2.3. METAIS TÓXICOS .....	22
2.3.1. Bário .....	23
2.3.2. Cádmio .....	24
2.3.3 Chumbo.....	26
2.3.4. Cobre .....	28
2.3.5. Cromo.....	30
2.4. <i>Syngonium Podophyllum</i> ( <i>S. Podophyllum</i> OU SOMENTE SINGÔNIO).....	31
2.5. FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO E HIPERACUMULAÇÃO .....	32
2.6 <i>Eisenia andrei</i> .....	36
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>38</b>
3.1. CENÁRIO DE ESTUDO .....	38
3.2 O SOLO CONTROLE E AS MUDAS DE <i>Syngonium podophyllum</i> .....	40
3.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL DE FITORREMEDIAÇÃO.....	41
3.4. COLETA DAS AMOSTRAS.....	42
3.5 PREPARO DO BIOENSAIO DE TOXICIDADE COM A <i>Eisenia andrei</i> .....	43
3.6 LIOFILIZAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE METAIS .....	45
3.7. MEV-EDS .....	45
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>47</b>
4.1 – <i>Eisenia andrei</i> COMO BIOINDICADORA DE QUALIDADE DE SOLO.....	54
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>59</b>
<b>6 - CONTINUIDADE DO TRABALHO .....</b>	<b>60</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>61</b>
<b>APÊNDICE I.....</b>	<b>76</b>
<b>APÊNDICE II .....</b>	<b>77</b>
Tabela II: Massa dos anelídeos, em gramas no período inicial. ....	77
Tabela III: Massa dos anelídeos, em gramas, após 7 dias. ....	77
<b>ANEXO I.....</b>	<b>80</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e a exploração ambiental são algumas das causas do descarte incorreto de diversos compostos poluentes em solos e cursos d'água. Mesmo sendo regulamentado pelas leis nº 14.026/2020, 12.305 de agosto de 2010 e nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007, o descarte de diversos tipos de resíduos sólidos, urbanos ou industriais, e aqueles que são provenientes do saneamento básico são ainda negligenciados, muitas vezes (dos SANTOS *et al*, 2021). O despejo incorreto de atividades humanas gera resíduos que acumulam no meio ambiente por vários processos. Esses materiais inservíveis podem conter metais que, mesmo em quantidades pequenas, podem ser considerados tóxicos para os seres vivos, impactando o ecossistema e se torna um passivo ambiental (ZUMEL-MARNE *et al*, 2019). Fica evidente, portanto, a urgência do avigoreamento dessas leis, com melhor fiscalização e a proposição de meios eficientes de manejo dos resíduos sólidos.

Entende-se por passivo ambiental os depósitos e sítios contaminados que apresentem riscos para a sociedade e/ou meio ambiente (LINO, 2022). Essas áreas, apesar de impactados ou degradados, são também, frequentemente utilizados como espaços de lazer, apresentando risco à comunidade, suscitando ainda, questionamentos sobre como recuperar e o que fazer com essas áreas (CORREIA, 2022). Avalia-se que a poluição de muitos desses terrenos é derivada da atividade industrial, com a deposição irregular de resíduos, em especial aqueles constituídos por metais tóxicos (MT) (TCHOUNWOU *et al*, 2012). Elementos químicos como o cobre (Cu), o chumbo (Pb) e o cádmio (Cd) são compostos inorgânicos que contaminam com alta permeação os ecossistemas, sendo comprovadamente tóxicos para a maioria dos organismos, bem como aos seres humanos. Fábricas de baterias, de agroquímicos, de tintas, fundição de recursos minerais, galvanoplastia, constituem fontes desses contaminantes na superfície do solo (DINU *et al*, 2021; CHENG *et al*, 2020).

A correta e eficiente gestão de resíduos sólidos, especialmente, os originados nos processos produtivos industriais ainda constitui um grave problema a ser equacionado no país. Exemplo disso é que a PNRS, promulgada em 2010 previa a extinção de lixões até 2014, meta que foi posteriormente adiada para 2024 com uma alteração de lei, em decorrência da incapacidade de se cumprir esse objetivo no período (BRASIL, 2020). Este fato denota não só as dificuldades técnicas e gerenciais das organizações, como também a falta de ações públicas direcionadas à solução definitiva do problema.

Atualmente sabe-se que é possível além de tratar, descontaminar áreas de grandes passivos ambientais, remediando o solo de uma maneira saudável para a fauna e flora naturais

e conseqüentemente para a saúde humana. Neste contexto, a fitorremediação tem sido estudada como uma alternativa de manejo do solo, cujo potencial de retenção de metais e adaptação à matriz contaminada dependem da espécie vegetal de estudo e da quantidade de material orgânico, em solo (BHAT *et al*, 2022). Essas plantas, ao necessitarem de nutrientes presentes na matéria orgânica, se nutrem também dos MT, se tornam mais biodisponíveis e assimiláveis pelas raízes, o sistema radicular (TIODAR, VÁCAR, PODAR, 2021). Esses metais contaminantes não são considerados essenciais para os vegetais e constituem grave ameaça aos ecossistemas. A exposição frequente à essas fontes de contaminação causam um fenômeno chamado bioacumulação, o qual resulta em graves impactos à diversas espécies e, ainda que não provoquem necessariamente a sua morte, podem causar efeitos subletais incapacitantes (de LIMA, GUTJAHR, BRAGA, 2022; CASTRO, 2020; NEUFELD, 2015).

Dentro da linha de pesquisa do mestrado profissional em gestão e tecnologia em sistemas produtivos na unidade de pós-graduação, extensão e pesquisa do Centro Paula Souza, os profissionais podem receber a qualificação após identificar uma solução para os problemas de gestão, incrementando mudanças positivas, inovadoras e criativas para a solução do desafio. Para a linha de gestão da inovação tecnológica e sustentabilidade, o impacto ambiental é um dos caminhos a trilhar, cuja ecoinovação frugal foi adotada nessa pesquisa de gestão de resíduos sólidos de um passivo industrial contendo múltiplos metais. Neste contexto, o presente trabalho tem como propósito propor uma técnica viável de remediação para solos de passivos industriais contaminados com metais tóxicos.

Para esse estudo, considerou-se uma área que contém resíduo de produção industrial armazenado por duas décadas, impactado por uma contaminação por metais tóxicos, em particular, o Pb, representando um grave problema ambiental para o município de Sorocaba, não só pelo mau uso do terreno, mas pelos graves prejuízos que causaram à região, como incêndios, derivações de evaporação de gases voláteis, retirada desses resíduos pelos municípios, gerando uma possível contaminação desses indivíduos pela má gestão de resíduos.

O problema da pesquisa consiste em verificar se a planta bioacumuladora escolhida pode ser eficiente e ambientalmente sustentável ao realizar a remoção dos metais tóxicos contidos em solos contaminados oriundos de passivos industriais.

Para isso, o objetivo principal é propor um método simples, de baixo custo e ambientalmente adequado para bio/ fitorremediação de solos contaminados por metais tóxicos provenientes de passivos industriais.

Como objetivos específicos, foi necessário realizar as caracterizações física e química

do solo, antes e após a aplicação do método de fitorremediação, cultivar o vegetal *Syngonium podophyllum* de acordo com o preconizado na literatura e inseri-las no solo contaminado por períodos de 30 e 60 dias e em seguida validar a caracterização das partes das plantas (raiz, caule e folhas), antes e após o período de experimentação, a fim de verificar a absorção dos metais após o período de remediação. Como metodologia adjuvante, expor o bioindicador *Eisenia andrei* ao solo contaminado, a fim de demonstrar a ecotoxicidade desse passivo, sugerindo este ensaio aos protocolos previstos em norma, avaliando os parâmetros mortalidade, comportamento e variação de massa dos bioindicadores após exposição, observando a possível absorção dos metais pelas minhocas por meio do processo de conservação da amostra por liofilização dos organismos, seguida da análise por EDS e por fim, desenvolver um protocolo de fitorremediação de passivos ambientais contaminados com metais.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. ORIGEM E CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

O solo tem grande importância para a sociedade desde os primórdios, com o desenvolvimento da agricultura como base de existência (VEZZANI, MIELNICZUK, 2009). Na união dos termos *pedon*, grego, que significa solo, e *logos*, de estudo, surgiu a pedologia, como a ciência do solo. Nessa arte estuda-se os horizontes do solo, suas colorações e identificações características, como a textura, teor de areia, silte ou argila, entre outras definições (LEPSCH, 2011). Uma parte muito importante do solo é a quantificação de material orgânico e mineral e essas equivalências se modificam conforme a mudança de pH do solo (SOUZA, 1995). O potencial orgânico presente nessa matriz ambiental controla a propriedade do solo e é dependente do fluxo do carbono, na forma de gás carbônico (CO<sub>2</sub>). Esse volume de CO<sub>2</sub> sofre alterações ao realizar o manejo do solo, alterando a cobertura vegetal, influenciando na fertilização do solo e na presença de organismos presentes nesse habitat (TRUMBORE, CAMARGO, 2009).

Já os minerais facilitam o desenvolvimento dos vegetais e são divididos em minerais primários e secundários (SAMPAIO, 2011). Os primeiros são aqueles herdados da camada rochosa originária, que se decompõe por intemperismo e gera o solo, determinando a evolução do material. Já os minerais secundários podem resultar da decomposição dos materiais primários *–in situ* –formando os cátions por perda de elétrons e por isso, podem se ligar àqueles com cargas negativas. São exemplos, o Potássio (K), Ferro (Fe) (bi e trivalentes), Magnésio (Mg), Fósforo (P) e Cálcio (Ca). Todos esses podem variar sua reatividade influenciados por alterações de pH (ARAÚJO *et al*, 2012).

Segundo o sistema brasileiro de classificação de solos (SANTOS *et al*, 1983), os horizontes de solo se formam por meio de chuvas, sol, umidades, as chamadas intempéries, não somente da rocha original, mas de acúmulos de materiais em sua superfície, os quais podem ser arrastados para as camadas inferiores (LEPSCH, 2011; NAIME, SANTOS, 2005). A camada superficial não alterada é denominada de horizonte O e sustenta as estruturas vegetais mais simples, geralmente e podem ter boa drenagem, dependendo de sua composição e do grau de compactação do solo. Abaixo dessa, a quantidade de matéria orgânica acumulada tende a ser menor. As próximas camadas recebem as letras A, B, C, D e são mais saturadas, compactadas

e há redução da quantidade de materiais orgânicos ali depositados provenientes das camadas superiores (dos SANTOS *et al*, 2022). A interação dessas camadas ocorre naturalmente pela passagem da água, por percolação. Ao serem depositados na camada superficial (horizonte O), os resíduos podem penetrar nas camadas inferiores e formarem novos compostos, dependendo da natureza da substância, do pH, da composição do solo, material húmico, entre outros fatores (PINHEIRO JUNIOR *et al*, 2020). A interação de sais de metais ou até mesmo metais originados de ações antrópicas, como os resíduos industriais e urbanos são capazes de interrelacionar-se com as camadas de solo (ROCHA, de MACEDO, 2014).

O solo natural é um recurso finito e dependente do manejo que se faz. A partir das análises de solo, pode-se estabelecer a sua qualidade, sem ignorar a produtividade e o ecossistema envolvido. Ao fazer essa avaliação, é possível quantificar e qualificar o solo a partir das propriedades físicas, químicas e biológicas e finalmente, estabelecer o seu adequado uso (ARAÚJO *et al*, 2007). Assim, a agricultura e agropecuária mal planejadas por exemplo, a monocultura e não preservação de áreas naturais, levam a diminuição da fertilidade natural dos solos (KÁTAI *et al*, 2020). Além disso, com o crescimento da população, o uso de defensivos agrícolas tem aumentado, gerando resíduos danosos ao ambiente, não só pelo uso do princípio ativo, mas a sua associação com emulsificantes, surfactantes e metais tóxicos em sua composição. São produtos como os pesticidas, fungicidas, nematicidas, biocidas entre outros (LEITE *et al*, 2019; STEFFEN *et al*, 2011), compostos que, dependendo do pH do local, da frequência de uso e da quantidade, são capazes de degradar o meio ambiente, não somente na região, mas também, por escoamento e lixiviação, podendo comprometer os corpos d'água receptores em outras áreas (STEFANOSKI *et al*, 2013; NÚÑEZ *et al*, 1999). Esses agroquímicos são absorvidos nas raízes, a rizosfera, por enzimas vegetais ou associação com microrganismos (RIBEIRO, ÖSTERREICHER-CUNHA, SILVA, 2015). Entretanto, não só o solo rural sofre desse dano, já que, com o desenvolvimento urbano e a industrialização, esses agravos têm se tornado mais significativos pelo descuido com materiais descartados de forma errônea. As invasões de áreas contaminadas em busca de substâncias valiosas são exemplos recentes, desde lixões a céu aberto (DAHMER, SOARES, 2018; KOWALSKA *et al*, 2018) até áreas que possuem contaminantes como o caso da busca pela carcaça metálica de um aparelho de teleterapia abandonado, contendo Césio-137, em Goiânia, em 1987 (UCHOA, 2021). Apesar da determinação na lei nº 12305/2010 da Política Nacional de Resíduos Sólidos prever a eliminação de lixões, eles ainda persistem em muitas localidades no Brasil (BRASIL, 2020; BRASIL, 2010).

## 2.2. QUALIDADE DO SOLO E CONTAMINAÇÕES NAS GRANDES CIDADES.

A revolução industrial foi muito benéfica para o crescimento das grandes metrópoles, trazendo desenvolvimento e inovação tecnológica. Contudo, todo esse benefício também teve consequências, com a formação de passivo ambiental urbano (ZUMEL-MARNE *et al*, 2019), seja das indústrias que aportaram próximo às grandes cidades, seja pelo impacto na saúde ambiental e das populações, com a poluição dos rios, água e ar (PINTO, BRUNA, 2020). Com a diminuição dos espaços físicos, percebe-se que o resíduo destinado de forma incorreta contamina muito mais do que o seu local de origem, trazendo consequências graves para a população ao redor (MONDELLI, GIACHETI, HAMADA, 2016; VALENTIM, 2007).

A destinação final dos resíduos das grandes cidades não pode ser ignorada, devido às experiências já vividas, como as grandes contaminações pelas infiltrações ocorridas em postos de combustíveis (LEITE, 2014), assim como pelo lançamento de águas residuárias industriais e domésticas (PEREIRA, GONÇALVES, 2020). Esses materiais dissolvidos podem afetar não só a saúde humana, mas também a biota local, pois, a depender das concentrações, são capazes de alterar o metabolismo de certas espécies sensíveis, induzindo a danos permanentes, inviabilizando ou ocasionando doenças graves (AQUINO, 2019). Um exemplo de biomarcador para esses seres é o efeito tóxicocinético em suas reservas energéticas, com alterações nas taxas respiratórias e de metabolismos celulares (ŚWIĄTEK, BEDNARSKA, 2019). Essas mudanças estruturais não são facilmente detectáveis em organismos humanos (CARUSILLO, MUSSOLINO, 2020), mas pode-se extrapolar os dados obtidos com organismos sentinelas ou bioindicadores, que demonstram de forma mais rápida, com respostas mais simples para analisar as injúrias causadas por xenobióticos presentes no ambiente. (HOEHNE *et al*, 2019; MUSSAK, 2014).

Para compreensão do comportamento dos elementos metálicos em solo, é necessário recordar que os metais, a princípio estáveis, facilmente se ligam a elementos químicos originários das rochas, como o calcário, sulfetos e óxidos. Ao se ligarem a essas substâncias, podem doar elétrons e esses cátions podem formar sais que são espécies químicas solúveis em água (BACCAN *et al*, 1988). Os processos físico-químicos e trato em meio aquoso são capazes de facilitar a interação desses elementos químicos com o solo (ALVES, ROSA, AGUIAR, 2015), dependendo do raio atômico do metal e número de oxidação sendo que, a interação é inversamente proporcional à massa atômica (TAVARES<sup>2</sup>, 2013), podendo-se, deste modo, encontrar o metal na forma molecular ou de sais solúveis (LEPSCH, 2011). Outras formas de

biodisponibilizar os metais são pela alteração de pH, a interação matéria orgânica–metal, o potencial de oxirredução e formação de substâncias mais estáveis, com sequestro de ligantes e a adsorção de ligações estáveis (TCHOUNWOU *et al*, 2012; RUSSEL, 1994). Ao interagir com as moléculas orgânicas, esses metais podem fazer ligações mais estáveis, comprometendo a função dessas biomoléculas nos organismos vivos, demonstrando de diversas formas. Uma delas é a liberação de radicais livres como os grupos carboxílicos ( $\text{COOH}^-$ ) ou íons hidroxilas ( $\text{OH}^-$ ) e a formação de agrupamentos sulfidríla de proteínas entre outros (RODRIGUES *et al*, 2016).

Para identificar e estabelecer o teor de metal em um solo e seus limites de segurança, legislações foram feitas ao longo do tempo, como a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente 420, de 2009 (CONAMA, 2009), que dispõe em seu primeiro artigo, sobre a presença de substâncias químicas de ação antrópica que podem causar problemas à saúde humana, que devem ter valores orientadores, denominados Valores Orientadores de Referência de Qualidade (VRQ). Para o diagnóstico de contaminação de uma área, as diretrizes desta resolução indicam o nível de intervenção a ser adotado, podendo ser contenção, remoção do contaminante ou a redução de sua concentração (BRASIL, 2009).

### 2.3. METAIS TÓXICOS

Metais são elementos químicos encontrados na crosta terrestre em geral oxidados ou misturados a sais, como os óxidos de ferro, de cálcio ou ainda como carbonatos, sulfatos entre outros (de JESUS, MOREIRA, 2015). Muito conhecido desde a Antiga Roma, os metais eram utilizados com propriedades medicinais (RODRIGUES, SILVA, GUERRA, 2012). Durante os anos seguintes, muitos cientistas desenvolveram medicamentos com uso de metais para diversas enfermidades, mostrando que eles desempenham funções nos seres vivos, sendo vitais em oligoconcentrações ao interagem na formação de biomoléculas (BERALDO, 2005). Alguns metais são considerados essenciais para várias espécies vegetativas e contribuem para seu crescimento, como o zinco e o ferro. Baixos teores de zinco em solo podem afetar a produção de cereais, por exemplo, alterando a qualidade do grão por interferir na sua síntese proteica, causando retardo vegetativo, clorose foliar (a falta de produção de clorofila), perda de turgescência e necroses radicular e foliar (BROADLEY *et al*, 2007). O outro mineral essencial para atividades metabólicas de vegetais é o ferro, que participa como cofator enzimático da

enzima catalase e é indispensável nos processos fotossintéticos, fixação do nitrogênio, entre outras atividades (ALEXANDRE *et al*, 2012).

Em 2002 a *International Union of Pure and Applied Chemistry* – união internacional de química pura e aplicada - (IUPAC) definiu que, para ser considerado “metal pesado” a massa específica de um elemento químico precisa ser maior ou igual a 3,5 e 7,0 g. cm<sup>-3</sup> (DUFFUS, 2002), formar hidróxidos insolúveis ao reagir com sulfetos, e serem comprovadamente tóxicos (LIMA, MERÇON, 2011). Contudo, alguns metais são considerados tóxicos e letais, mesmo em reduzidos teores, por isso muitos deles foram chamados de metais pesados, hoje apenas metais tóxicos (BARBOSA *et al*, 2013). Para definir a toxicidade em cada ser vivo é necessário averiguar a necessidade do componente, ou seja, se os metais são essenciais ou não aos organismos e esse fator é verificado pela quantidade necessária para o desempenho fisiológico e/ou bioquímico de cada organismo (TCHOUNWOU *et al*, 2012).

### **2.3.1. Bário**

O elemento químico bário, cujo símbolo é Ba, possui número atômico 56 e massa atômica 137 (SKOOG *et al*, 2015) é considerado muito tóxico e forma compostos insolúveis em presença de carbonatos e cromatos, sendo um potencial incrustante em indústrias (BACCAN *et al*, 1988). É utilizado como insumo para as indústrias petrolífera, no refino de açúcar, de inseticidas, na indústria eletrônica, terras raras como o BaWO<sub>4</sub> e BaMoO<sub>4</sub> e carga de pigmentos (MOREIRA, 2021; MARTINS *et al*, 2019). A figura 1 mostra uma imagem de um sal de bário.

Figura 1: Sal de Bário.



Fonte: Autora, 2023.

Na área médica é bastante utilizado como material para contraste em exames de imagens médicas (KALLER, AN, 2022). Do ponto de vista de contaminação ambiental, sabe-se que, dependendo do tempo de absorção e concentração sistêmica do metal, cadáveres ao entrar em decomposição produzem chorume que podem constituir um dos efluentes bastante tóxicos em terrenos de cemitérios (ARAUJO *et al*, 2020; KEMERICH *et al*, 2012).

Para organismos mais sensíveis como os vegetais que se encontram nessa região, pode-se notar a inibição do crescimento vegetativo, com baixa absorção de nutrientes, cloroses e redução foliar pela presença do contaminante (SLEIMI *et al*, 2021). Esse problema é amenizado em solos que apresentem altos teores de calcário que, ao entrar em contato com o Ba na forma solúvel, origina um composto inertizado, insolúvel e pouco provável de gerar contaminações em outros locais (PASQUOTO, 2020).

### 2.3.2. Cádmi

Relatos do uso de nicotina para controle de insetos remontam do século XIX. Mais tarde observou-se que a planta tabaco extrai do solo o elemento cádmio (PERES, 2003) e a toxicidade ao metal era a responsável por causar danos aos insetos (JACOMINI *et al*, 2016). O elemento químico Cádmi (Cd) possui número atômico 48 e massa atômica 112 (SKOOG *et al*, 2015). A figura 2 apresenta a rotulação de uma bateria comum de Cd e o seu metal, na forma bruta.

Figura 2: Exemplo de uso do Cádmiio e um exemplar ainda na forma metálica.



Fonte: Autora 2023.

A partir da primeira década dos anos 2000, equipamentos eletrônicos foram desenvolvidos contendo altos teores desse elemento, por ser excelente armazenador de energia elétrica, propriedade que foi aprimorada a partir de 2013, ao ser confeccionada a bateria Níquel - Cádmiio, cuja propriedade de armazenamento de energia foi otimizada pelo uso desses metais (SOUSA *et al*, 2021). Entretanto, ao descartar de forma incorreta esses acumuladores, os danos são persistentes, devido à formação de contaminantes em solo e podem sofrer bioacumulação em organismos vivos, como os vegetais (NUNES, 2021). A presença de Cd nesses organismos simples podem perturbar as condições necessárias para a preservação da vida - homeostase - de certas espécies, reduzindo a biossíntese da clorofila nas partes aéreas do vegetal (clorose), por substituir o Mg pelo Cd, resultando em necrose foliar (EL-MAHROUK *et al*, 2019).

Em anelídeos como a *Eisenia Foetida*, o Cd pode causar alterações em processos enzimáticos, comportamento fisiológico por redução da celulase e enzimas digestivas elevadas (PATTNAIK, REDDY, 2011; LI *et al*, 2009). Dependendo da concentração, pode provocar perda de peso, alterações na reprodução, estresse e mortalidade (MUSSAK, 2014; LUKKARI, 2004). Essa acumulação pode ocorrer também na extração do carvão mineral, que possui quantidades desse elemento, advindos da matriz rochosa e, ao serem utilizados em processos de queima, formam materiais particulados contendo esse metal que se deposita em solo e constitui fonte de poluição nas matrizes ambientais (DIAS, 2022).

Em humanos, ao entrar em contato com o Cd, pode ser absorvido e transportado pela

corrente sanguínea, acumulando-se nos rins e fígado (NORDBERG *et al*, 2018), causando efeitos deletérios principalmente nos rins, tendo efeito cumulativo (ORRE, PONTES, 2017; KLAASSEN, WATKINS III, 2012). Para compensar esses efeitos, o organismo possui algumas formas de proteção contra os metais tóxicos, especialmente o Cd. Uma dessas biomoléculas protetoras é representada pelas metalotioneínas (MeT), que são proteínas funcionais, cuja característica é ter alto teor em cisteína. Esse aminoácido é capaz de realizar ligações com os MT, atuando como quelantes orgânicos, retardando efeitos tóxicos (RODRIGUES *et al*, 2016). Especificamente para o Cd, o elemento interage com o agrupamento sulfidril (SH<sup>-</sup>), formando o sulfeto de cádmio, que é eliminado pela urina, em mamíferos (BAIRD, CANN, 2008). Sabe-se que a dose letal do cádmio para humanos, é a partir de 5µg.g<sup>-1</sup> em creatinina urinária (SUPELCO, 2021). O cádmio é considerado um contaminante emergente em águas residuárias, devido à sua presença em medicamentos e seus efeitos ecotoxicológicos em peixes, por exemplo, são sobre os rins, fígados e brânquias, com possíveis letalidades em até 1 µg L<sup>-1</sup> (ARAUJO, 2019; BÁRBARA *et al*, 2017).

### 2.3.3 Chumbo

O chumbo é um metal de peso molecular 207, número atômico 82, de cor cinza azulada, encontrado no solo ligado a sulfetos e óxidos, estando em 0,002% da crosta terrestre (SKOOG *et al*, 2015). Apesar dos baixos teores ocorrendo naturalmente no solo, a ação antrópica é determinante para a ocorrência de contaminação, decorrente dos descartes incorretos (SANTOS, 2020). A figura 3 é um exemplo de um sal insolúvel de Chumbo.

Figura 3: Exemplar de galena (Sulfeto de Chumbo II, PbS).



Fonte: autora, 2023.

Moldável e formador de ligas com outros metais, pode ser encontrado junto às substâncias orgânicas ou inorgânicas. É considerado um dos metais mais tóxicos para organismos vivos (KUMAR *et al*, 2020). Em roedores houve evidência de hipertensão arterial, devido a redução dos níveis de óxido nítrico, pela produção de espécies reativas do oxigênio (EROs), indução de estresse oxidativo e, conseqüente danos celulares (BRIFFA, SINAGRA, BLUNDELL, 2020; KHOROBRYKH *et al*, 2020). Em humanos, é capaz de se ligar a proteínas, formando interações biometálicas resistentes e de difícil eliminação, além de imitar a ação do cálcio e interagir em ossos (KLAASSEN, WATKINS III, 2012).

Assim como no Brasil, nos EUA o chumbo tetraetila era usado como aditivo na gasolina e, como consequência, observou-se que as crianças das áreas urbanas americanas apresentavam exposições a concentrações mais altas que em subúrbios. Em 1976, os níveis plúmbicos de americanos eram mais elevados do que aqueles considerados de atenção clínica, além do registro de casos de doenças degenerativas em idosos (WANG, ZHANG, XU, 2020; REUBEN, 2018).

Sabe-se que o Pb pode se acumular no sangue, ossos, fígado, pele, rins e cérebro, além de sistemas reprodutor, endócrino e imunológico (RAI *et al*, 2019). Na sua forma inorgânica, sob a forma catiônica, dificilmente é absorvido, pois é necessária a passagem pelo sistema digestório para ser absorvido e distribuído pelo organismo (SANTOS, 2020).

Esse poluente pode ser derivado de atividades industriais, ser absorvido de diversas formas e causar neuropatologias, como a doença de Parkinson (WILLIS *et al*, 2010). É quase

impossível eliminar o chumbo do organismo, mas calcula-se que seja necessário um tratamento de até 20 anos, cujos estudos apontam o uso de cálcio em excesso (CHARKIEWICZ, BACKSTRAND, 2020; MOREIRA, MOREIRA, 2004).

Com relação aos vegetais, o metal tóxico modifica processos fisiológicos e trocas gasosas ao realizar o transporte e fixação do metal, formando biomoléculas, iniciando pelas raízes (BRUZZI *et al*, 2019). Esses complexos estáveis causam o retardo no crescimento vegetativo, danos nas membranas, nos pigmentos fotossintéticos e proteínas, como respostas às injúrias e a redução de oxigenação nas células (NADARAJAH, 2020).

Em anelídeos como a *Eisenia foetida*, a presença sinérgica de Pb, Cr e Ni pode reduzir a biomassa em 28 dias de análise (ŽALTAUSKAITĖ, SODIENĖ, 2010). E a sinergia Cd-Pb mostra-se promissora para esse anelídeo, reduzindo a assimilação do Cd, apesar da biodisponibilidade muito maior de Pb em áreas contaminadas (OLIVEIRA, 2019).

#### **2.3.4. Cobre**

O elemento químico Cobre (Cu), tem número atômico 29 e peso atômico 63, 54 e está posicionado como um elemento de transição na Tabela Periódica. Esse elemento facilmente pode se tornar íon com perda de um ou dois elétrons e se tornar solúvel nesses estados de oxidação (BACCAN *et al*, 1988; RUSSELL, 1994). Alguns sais como o sulfato de cobre II (figura 4) foram utilizados na Antiga Roma para provocar regurgitações, mas ao mesmo tempo, provocou a contaminação dos indivíduos que faziam uso dessa forma química (FONSECA, BRASILINO, 2007). Muito conhecido no Oriente Médio, seu uso também marcou a América pré-colombiana, na confecção de armas e ferramentas (RODRIGUES, SILVA, GUERRA, 2012).

Figura 4: Sulfato de cobre II pentahidratado ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ).



Fonte: Autora, 2023.

A Calda Bordalesa é uma mistura de Sulfato de Cobre II (figura 4) com algum hidróxido (hidróxido de Cálcio ou de potássio), muito utilizada atualmente em lavouras, para reduzir o crescimento de fungos e microrganismos nos vegetais, tornando-se, desta forma, mais um contaminante ambiental (MENDONÇA *et al*, 2022; dos SANTOS, 2019). O gado pode se contaminar com o lixiviado das lavouras que fazem uso desse composto e demonstram o acúmulo ao excretar em suas fezes (RIBEIRO *et al*, 2012). Ao se utilizar as fezes bovinas como esterco orgânico, podem carrear o contaminante e levar o Cu para áreas não contaminadas (DOMINGOS, 2020). No solo, a adsorção do metal com as camadas húmicas forma complexos cúpricos solúveis em meio aquoso, facilmente absorvidos pelas raízes das plantas (SPOSITO, 1989), causando diminuição das raízes e, por consequência, diminuição da produtividade do vegetal, sendo observadas necrose foliar, redução do crescimento e morte da planta (BASSO, 2015). No entanto, em baixos teores formam algumas metaloenzimas nas plantas e pode ser considerado um micronutriente para as espécies vegetativas (ALVA, HUANG, PARAMASIVAM, 2000; REILLY, REILLY, 1973).

Para os anelídeos, o Cu e Cd são intimamente associados aos danos celulares, sendo que esses organismos são particularmente sensíveis ao elemento Cu utilizado, por exemplo, em defensivos agrícolas (MESTRE *et al*, 2022, ABDUL RIDA, BOUCHE, 1995).

A exposição crônica para humanos causa sintomas vagos, como irritação com espirros, coceira nos olhos e garganta e, em casos graves, a necrose dos rins, insuficiência hepática e cirrose (APPELA *et al*, 2006). Os seres humanos podem sofrer contaminação por meio da ação antropogênica, da mineração e o beneficiamento do MT, além da queima de combustíveis fósseis, a galvanoplastia e o uso constante de corretivos agrícolas (MANTOVANI, 2009).

### 2.3.5. Cromo

De número atômico 24, massa atômica 52 e densidade  $7,2 \text{ g/cm}^3$ , o metal cromo (Cr) é um mineral brilhante e muito utilizado como metal de sacrifício, uma forma de proteção de superfícies metálicas, ou seja, além da camada protetiva, ele sofre oxidação ao proteger o metal interno de uma placa, por exemplo (MARINHO, 2018; ALMODOVAR, 1995). As indústrias petroquímica, siderúrgica, química, ambiental, de papel e celulose, vidro, cimento, couro, galvanoplastia e têxtil são dependentes desse metal em seus processos industriais (TOREM, CUNHA, CASQUEIRA, 2002). A figura 5 mostra exemplares de sais de cromo.

Figura 5: Sais de cromo.



Fonte: Autora, 2023.

Uma substância conhecida como arseniato de cobre cromado (CCA) ainda é utilizada para o tratamento em madeira em algumas regiões do mundo, levando à sua acumulação no ambiente, como resíduo após aplicação na madeira, (VIEIRA, 2023; BAIRD, CANN, 2008). O Cr especificamente tem a facilidade de formar cátions, sendo a forma trivalente essencial para formação de glicose, potencializando a ação da insulina e no complexo oligopeptídico cromodulina, em humanos (ATSDR<sup>1</sup>, 2016; MONTEIRO *et al*, 2002). Já na forma hexavalente é mutagênico e bioacumulativo em todos os seres vivos. Para os humanos, o Cr inalado pode danificar pulmão e até reações de hipersensibilidade e dermatites cutâneas, por contato (SHRISVASTAVA *et al*, 2002), além de danos irreparáveis ao DNA (RASO, 2017, ATSDR<sup>2</sup>, 2016).

Em solo, dependendo do pH, se torna menos solúvel (forma trivalente) e pouco absorvido em pH alcalino. Uma contaminação de conhecida repercussão nos Estados Unidos foi com a forma hexavalente de cromo, após o abandono das instalações da *Pacific Gas Electric*

*Company*, atingindo o lençol freático e solo, ocasionando inclusive mortes de pessoas expostas (JORNAL DA USP, 2017). Independente da forma catiônica que o metal que se encontra e por converter de maneira simples seu estado oxidativo em solos, os vegetais podem sofrer com a sua presença, degradando pigmentos fotossintéticos, a produtividade e crescimento vegetativos (GIANELLO *et al*, 2011).

#### 2.4. *Syngonium Podophyllum* (*S. Podophyllum* OU SOMENTE SINGÔNIO)

A Singônio é uma monocotiledônea, isto é, a semente possui apenas um cotilédone, uma só área para nutrição embrionária. É muito utilizada no Brasil como planta ornamental, do gênero Araceae, pertencente ao gênero *Syngonium*, que possui 33 espécies. Originária do México (HOSSAIN *et al*, 2017), é utilizada como trepadeira de jardins. É bastante tolerante ao clima tropical e apresenta cores bege, mesclada com tons de verde e formato pontiagudo na fase jovem, lembrando uma ponta de fecha ou orelha de burro (SOUZA *et al*, 2018) (Figura 6). A fase adulta ganha tons mais escuros e vai mudando a sua aparência, com mais divisões foliares (TOMITA, 2014; CROAT, 1981).

Figura 6: Exemplar de *Syngonium podophyllum*, pata de ganso, orelha de burro ou simplesmente Singônio.



Fonte: Autora, 2023.

A *Syngonium podophyllum* tem se destacado como fitorremediadora para áreas de contaminação ambiental, algumas vezes com microrganismos associados, como fungos ou, ainda com outros vegetais (YUE *et al*, 2021; CHAO *et al*, 2019). Estudos anteriores (BATISTA, 2013), demonstraram a contaminação na biomassa radicular de uma espécie de Singônio, em sistema hidropônico, onde apresentou um acúmulo radicular de 98,41% de Pb na forma

catiônica num experimento de 31 dias, interferindo no desenvolvimento da raiz. Esse encurtamento da arquitetura radicular foi relatado por outros autores (LEAL *et al*, 2013; DI SALVATORE *et al*, 2008; IANNACONE, ALVARIÑO, 2005) com outros fitorremediadores. As raízes são sensíveis aos elementos catiônicos metálicos, porque seu potencial aniônico é alto em suas células, destruindo-as após a fixação, por EROs (MATIAS, 2011). Os MT na forma de cátions de deslocam para as outras células da raiz e o Pb especificamente substitui o Ca até o xilema, que pode alcançar toda a parte aérea (DENG *et al*, 2009).

Na parte superior do vegetal não demonstrou taxas de acúmulo do metal (BATISTA, 2013), denotando resistência na transferência aérea. No entanto, em solo, foi demonstrado aumento de biomassa nas partes aéreas em outro estudo (SOUZA *et al*, 2018), com maior quantidade de folhas e crescimento de caule, num estudo de 75 dias. Alguns ensaios com urânio também demonstraram bioacumulação nesta espécie (YUE *et al*, 2021; CHEN, HENNY, 2005), demonstrando seu potencial bioacumulador. Essa espécie vegetal também mostrou seu potencial fitorremediador em contaminações de matrizes ambientais por compostos orgânicos voláteis como formaldeído, benzeno e outras substâncias orgânicas (ANDRADE, TAVARES, MAHLER, 2014).

Alguns agroquímicos possuem sequestrantes de metais, também conhecidos como quelantes e um exemplo muito utilizado é o EDTA. Sua utilização favorece a bioacumulação de metais em solo, aumentando o passivo ambiental, por provocar a formação de sua forma metálica não reagente (SILVA *et al*, 2021). O uso associado de quelantes externos em vegetais facilita a associação dos MT e seu transporte pelo vegetal (KUMAR *et al*, 2015; KUMAR *et al*, 2014), aumentando a sua solubilidade e facilitando o acúmulo nas raízes dos vegetais hiperacumuladores (BATISTA, 2012).

## 2.5. FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO E HIPERACUMULAÇÃO

Estratégias de remediação de solos vêm sendo aprimoradas, com o uso de organismos vivos para reduzir o impacto poluidor. A biorremediação tem demonstrado bons resultados (ACCIOLY, SIQUEIRA, 2000) e o uso de plantas para essa função recebe o nome de fitorremediação, cuja característica é apresentar resistência às pragas, grande quantidade radicular, adequação ao clima e crescimento rápido (PRABAKARAN *et al*, 2019; GUPTA, HUANG, CORPAS, 2013). Derivada da palavra grega *phyto* (planta) e do latim *Remedium*

(corrigir), fitorremediação significa o emprego de plantas para a recuperação das matrizes ambientais e essa forma de descontaminação têm apresentado relevância ao utilizar fitorremediadores para reduzir a permanência desses contaminantes antrópicos em solo (MORITA, MORENO, 2022).

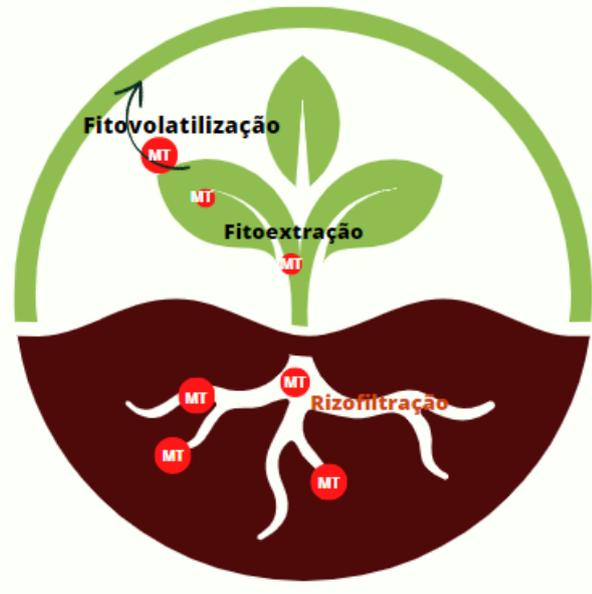
O baixo custo, a proteção contra as erosões eólica e hídrica, o não deslocamento do contaminante para outras áreas, o tratamento eficiente com a fitoimobilização e a melhoria estética do local são fatores relevantes para a escolha dessa forma de descontaminação de áreas degradadas (SILVA *et al*, 2019). Esses fitorremediadores estão em um nível mais elevado, pois são mais resistentes que outros seres, devido ao seu mecanismo de proteção mais desenvolvido.

Os métodos tecnológicos de fitorremediação dos vegetais são os de fitoextração, rizofiltração, fitoestabilização, rizodegradação entre outros (VASCONCELLOS, PAGLIUSO, SOTOMAIOR, 2012).

A fitoextração se inicia pela retirada de contaminantes como organoclorados, substâncias tóxicas ou radiativas, Cd, Pb, Cu, Cr, Mercúrio (Hg) e Selênio (Se) que se acumulam no sistema radicular na planta fitorremediadora (RAI *et al*, 2019). Ao se nutrir, o vegetal conduz os nutrientes e contaminantes para as outras partes da planta e demonstrará seu acúmulo nas partes aéreas (ANDRADE, TAVARES, MAHLER, 2007). É considerada uma tecnologia emergente para a despoluição de solos contaminados (LEITE *et al*, 2019).

A rizofiltração é o depósito dos contaminantes somente na raiz, seja por adsorção, absorção ou precipitação dos contaminantes presentes em água, no sistema radicular (PREUSSLER, 2014). A fitoestabilização ou também conhecida como fitomobilização, ocorre em espécies, cuja característica é fixar o MT na raiz, limitando a ação desse poluente ambiental e aumentando a sobrevivência das plantas vizinhas mais sensíveis (NAZ *et al*, 2022). Metais como Arsênio (As), Hg e Se em contato com fitorremediadores podem volatilizar pelas folhas se esses poluentes migrarem para as partes aéreas, uma conversão biológica para a forma volátil do MT. Esse processo denomina-se fitovolatilização (PEREIRA, 2022; HANSEN *et al*, 1988) (Figura 7).

Figura 7: Possíveis processos de bioacumulação de MT em uma fitorremediadora.



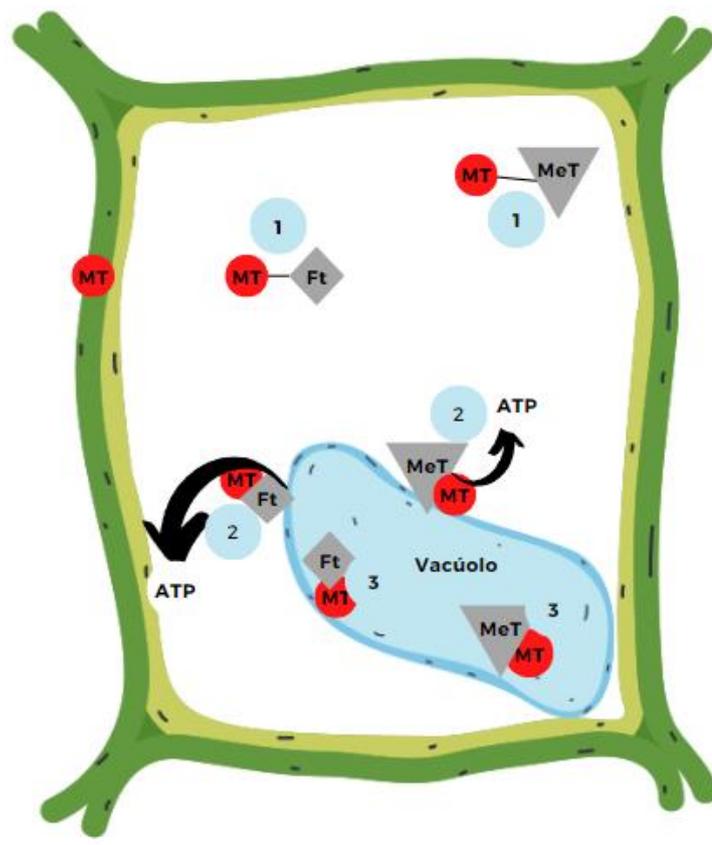
Fonte: Autora, 2023.

Na maioria das espécies vegetais, ao ocorrer a deposição dos contaminantes, o cátion é bioabsorvido e induz a formação de compostos altamente reativos no sistema radicular, conhecidos como radicais livres (RL), como as espécies reativas do oxigênio (EROS), causando distúrbios metabólicos, como a alteração na síntese de proteínas (HODŽIĆ *et al*, 2021; PIACENTINI *et al*, 2020; MOURO, 2018). Esse estresse oxidativo causado pela presença dos MTs nos tecidos provoca a peroxidação de lipídeos das membranas, podendo levar até a alterações do material genético (MIRZA *et al*, 2014), o que favorece a inibição de processos celulares, danos às estruturas principais de células e oxidações de moléculas proteicas (FERREIRA *et al*, 2020).

Já os vegetais fitorremediadores passaram por evoluções e o transporte de material tecidual com os íons de metais tóxicos são facilitados pela ação de quelantes intracelulares que encaminham esses MT para as partes menos ativas do vegetal. As plantas remediadoras evitam esses danos porque possuem uma inter-relacionada e sofisticada rede de estratégias para tolerar os MT e facilitar a desintoxicação com reduzido tempo de exposição, favorecendo a formação de complexantes a partir do sistema radicular (NEGRÃO, 2022; EL-MAHROUK *et al*, 2019). As raízes desse vegetal possuem mecanismos protetivos ao promover a passagem desses íons para o citossol, na matriz citoplasmática (MIRZA *et al*, 2014; DALVI, BHALERAO, 2013). Essa interação metal - proteína tecidual é induzida por fitoquelatinas (Ft) e metalotioneínas (MeT), cuja função é inertizar os metais por meio da complexação com esses íons.. Essa

interação MT e os quelantes Ft e MeT desloca os MTs para os vacúolos, dentro do citoplasma, segregando-os (SOUSA, 2020) (Figura 8). A ligação MT com o quelante fitoquelatina reduz a atividade tóxica na planta, para a proteção de sua estrutura (MIRZA et al, 2014). A Figura 8 mostra uma representação esquemática desse mecanismo

Figura 8: Representação da interação MT com Ft e MT com MeT na célula do vegetal.



Fonte: Autora, 2023.

A representação esquemática da Figura 8 demonstra a fixação do MT no vacúolo, onde a entrada do contaminante se dá pela passagem através da parede celular do vegetal. As Ft e a MeT têm a função de quelante, ao mobilizar o MT (1) que é um cátion, transportando esse íon até o vacúolo. Para depositar essa interação, há consumo de energia, na forma de ATP (2). No vacúolo a ligação quelante – MT, promove sua segregação (3).

As Ft e as MeT se prestam ainda, como indicadores de injúrias e indiretamente, de poluição ambiental, quando se observa a elevação de seus níveis nas células vegetais (USMAN *et al*, 2020).

## 2.6 *Eisenia andrei*

A *Eisenia andrei* é uma espécie classificada como um anelídeo, possuindo metâmeros que são as segmentações características desse organismo. Por serem hermafroditas, fazem fecundação cruzada, onde a parte reprodutiva está alojada em forma de um anel mais largo em seu corpo, o clitelo (PEREIRA, 1997). Esse organismo é bastante útil ao ecossistema terrestre, uma vez que, ao escavarem o solo em busca de alimento, há a oxigenação do local (HUSSAIN *et al*, 2021). É adaptável às condições ambientais, capaz de consumir o equivalente ao seu peso em produção de vermicomposto (ALENCAR, NETTO, NOGUEIRA, 2016), também conhecido como húmus (SAKAKIBARA, 2021; LOURENÇO, 2014). Esse tratamento de solo é de baixo custo e pode ser associado a microrganismos, fertilizando e aerando o solo em regiões de compactação (DOMÍNGUEZ, EDWARDS, 2010). Todos os detritos presentes no solo são digeridos por esses organismos classificados como detritívoros, adsorvendo os componentes do solo pela sua cutícula ou pela ingestão (MENDES, DUARTE, RODRIGUES, 2020; SANTANA, 2018; MENDES, 2012).

As minhocas da espécie *E. andrei* são consideradas pelos órgãos ambientais dos Estados Unidos e União Europeia como organismos padronizados, para bioensaios, com respostas rápidas aos impactos ambientais (LI *et al*, 2009; MARIÑO, MORGAN, 1999). Os anelídeos revelam respostas às alterações no ecossistema, a ponto de serem considerados marcadores biológicos da presença de contaminantes (TAVARES<sup>1</sup>, 2013). Podem ser utilizados para avaliar os efeitos deletérios em ensaios de toxicidade aguda ou crônica (SALES JUNIOR, 2019). Esses engenheiros de solo são bioindicadores de qualidade de solo, por estarem em camadas superficiais (SIERRA, GUERREIRO, SOLOLSKI, 2021; BERNARDINO, 2019; MACHADO, 2016; MORGAN, MORGAN, 1988). Ao absorverem contaminantes, podem apresentar danos celulares, alterações em suas estruturas teciduais, alterações nas taxas de reprodução, comportamentos, variação de massa, e até a letalidade (ABNT, 2014; MA *et al*, 1978; PRESTES, VICENZI, 2019; ROMANOSKI, GUMBOSKI, 2021). Esses alertas com respostas variadas são os denominados “*endpoints*” padronizados nos bioensaios (LUQUE *et al*, 2020). Posto que esses anelídeos são base alimentar para outras espécies (BOUGHATTAS *et al*; 2021; BOUGHATTAS *et al*, 2019; AZEVEDO, CORONAS, 2018), compreende-se que, ao estar em um ambiente contaminado, podem carrear essa contaminação, resultando em biomagnificação pela transferência aos níveis tróficos superiores (VÁSQUEZ-LUNA, CUEVAS-DIAZ, 2019; PERES, 2003). Esses problemas têm potencial para se multiplicarem,

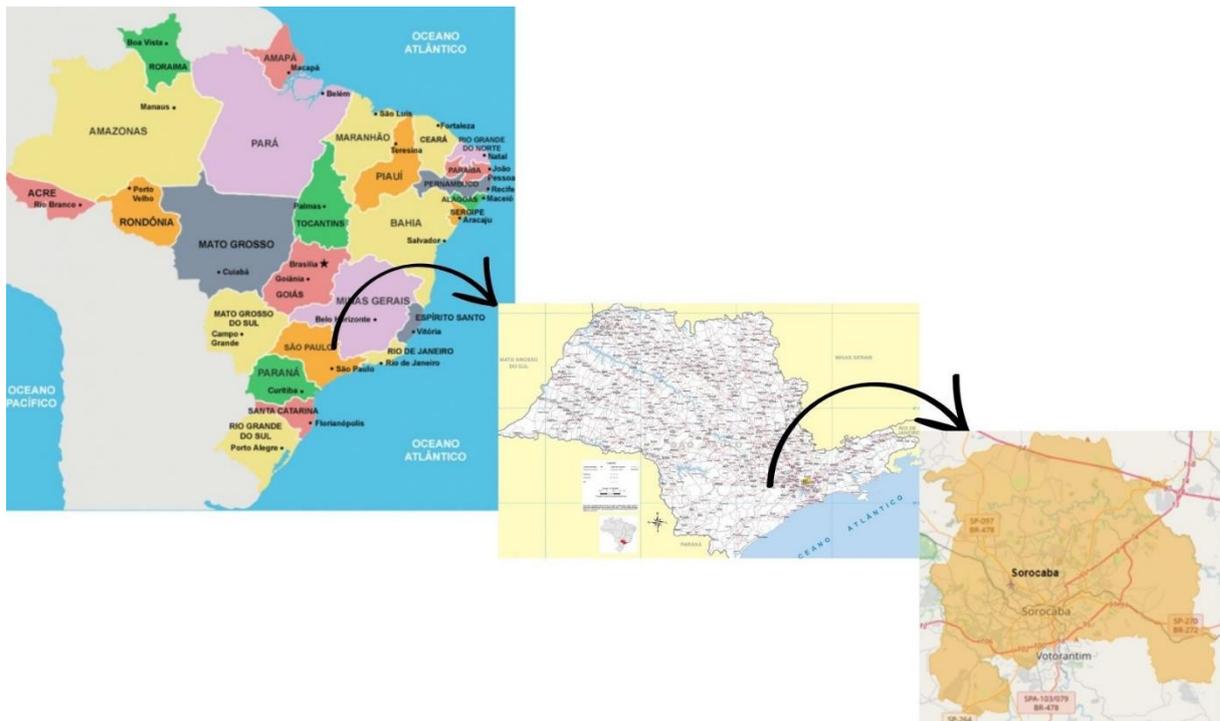
devido à complexidade e alta demanda de processos das ações antrópicas cada vez mais danosas ao ambiente (VEZZONE *et al*, 2019). Nos anelídeos, a cinética de absorção ocorre de forma diferenciada para cada metal e é dependente do tempo de exposição, do pH, das características do solo, do potencial húmico, entre outros fatores e a interação influencia na absorção dos contaminantes (SALES JUNIOR, 2021; MUTHUKARUPPAN, 2015), principalmente quando há sinergia atômica entre os metais (ABDUL RIDA, BOUCHÉ, 1995).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. CENÁRIO DE ESTUDO

A área do solo contaminado em estudo pertence a uma falida empresa de produção de baterias a base de chumbo, na cidade de Sorocaba, no estado de São Paulo. (Figura 9). Esta área vem sendo degradada desde o fechamento da empresa, há 20 anos. Além da ação de processos naturais, a área em questão foi impactada pelos resíduos e carcaças de baterias que foram deliberadamente enterrados no solo. O resultado é a degradação desta paisagem pelo passivo ambiental derivado desse processo industrial.

Figura 9: Imagem do Brasil, do estado de SP e a localização da cidade de Sorocaba, como grande região metropolitana do estado de São Paulo (sem escalas).



Fonte: Datageo e Google, adaptados, 2023.

A indicação da Grande Sorocaba, dentro do Estado de São Paulo está demonstrada em um mapa sem escalas.

A figura 10 apresenta uma imagem de satélite de setembro de 2021, da área de passivo ambiental industrial e bem como uma fotografia do cenário de estudo do local.

Figura 10: Imagem de satélite da antiga indústria e imagem do início dos trabalhos no local.



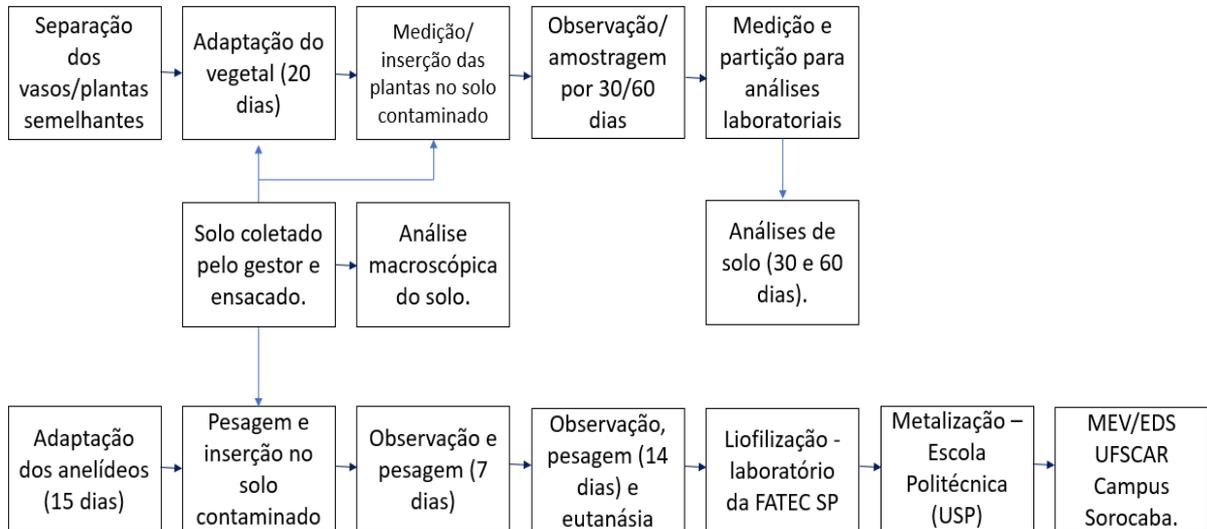
Fonte: Google Earth 2021 e foto da autora, 2022.

Na antiga fábrica de acumuladores elétricos, os proprietários enterraram esses materiais em solo e os antigos funcionários e munícipes, ao longo do tempo, invadiram a área em busca do metal de valor no mercado, destruindo a estrutura plástica e deixando os resíduos em toda a área (figura 10).

O advogado que representa os proprietários do terreno e o gestor ambiental contratado pelos proprietários dialogaram sobre a gestão dos resíduos sólidos que buscavam realizar e, após algumas conversas, os dois se mostraram bastante acessíveis para que a retirada do solo fosse feita por eles, abaixo da camada de resíduos plásticos, para que fosse analisada a real presença de metais tóxicos em solo industrial, como proposta neste estudo.

Apresenta-se a seguir o diagrama de representação da metodologia utilizada para esse estudo (Figura 11).

Figura 11: Diagrama de representação da metodologia aplicada neste estudo.



Fonte: Autora, 2023.

O solo contaminado foi coletado pelo gestor ambiental e o advogado responsável pela área no início de fevereiro de 2022, de acordo com o Decreto Estadual que regulamenta a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, de 5 de junho de 2013 (DOE, 2013). Eles escavaram a partir da retirada de detritos inservíveis de superfície. Esse material de cerca de 7 quilos foi depositado em dois sacos de rafia (polipropileno), num total aproximado de 14 quilos de solo industrial que foi transportado para São Paulo para ser pré analisado na ETEC Guaracy Silveira, sendo esse o local de trabalho da metodologia proposta (*ex situ*). A análise inicial do solo apresentou-se com baixo teor de umidade, com algumas pedras e carcaças do invólucro protetor, odor muito forte de enxofre e pH de 6,2. Deste material pré analisado foi retirado uma amostra de 300g para análise e caracterização prévia do solo, por meio de técnica de espectrofotometria de emissão atômica no laboratório LabCris, no município de São Paulo, validado e credenciado sob as normas ambientais NBR ISO/IEC 17025:2005. As análises seguiram a recomendação da norma *Test Methods for Evaluating Solid Waste* da EPA, denominada SW 846, método 3050B (EPA, 2022).

### 3.2 O SOLO CONTROLE E AS MUDAS DE *Syngonium podophyllum*

O solo adubado foi uma mistura de vermicomposto (40%), cinzas (35%) e esterco sólido de gado (25%), adquirido no comércio, sem marca registrada.

Sessenta mudas da planta *Syngonium podophyllum* foram adquiridas de uma floricultura no dia 01 de fevereiro, contendo em cada vaso três mudas, com solo do próprio produtor. Uma amostra contendo três mudas destas plantas foi retirada, lavada e foram separados a raiz, o caule e as folhas para análise prévia do teor de metais, servindo como controle (item 3.1)

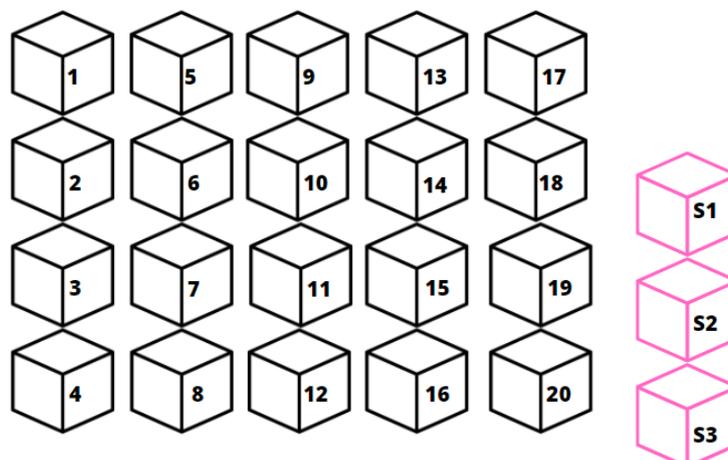
As demais mudas de *Syngonium podophyllum* foram alocadas numa área externa e tratadas por um período de vinte (20) dias, em condições atmosféricas, sendo regadas a cada quatro dias e observadas quanto ao brotamento e a saúde das plantas.

### 3.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL DE FITORREMEDIAÇÃO

No dia 20 de fevereiro de 2022 foram separadas 40 mudas de *Syngonium podophyllum* do total das adquiridas anteriormente e verificadas a sua simetria, para serem caracterizadas como amostras de trabalho. Dessas amostras iniciais, foram separadas 23 plantas com dimensões s próximas e a restante das 40 foram doadas. Dessas 23 amostras, 3 unidades se tornaram vasos controle, sendo anotadas como S1, S2 e S3. Em seus vasos foram adicionados 200g de solo adubado, contendo produto de vermicompostagem (40%), cinzas (35%) e esterco sólido de gado (25%).

Para o solo contaminado foram preparados 20 vasos com mudas, igualmente separadas pelas dimensões o mais parecidas possível, as quais foram enumerados para identificar cada vegetal. Nesses vasos colocou-se 200g de solo contaminado em cada um. As mudas foram previamente medidas quanto ao tamanho de raiz, de caule e de folha.

Figura 12: Esquema demonstrativo de vasos-controle (S1, S2 e S3) e vasos com solo contaminado.



Fonte: Autora, 2023.

Ao finalizar todo o processo, todas as unidades foram regadas e ficaram expostas às condições idênticas de clima e temperatura em local aberto, com iluminação natural. A rega e observação aconteceram a cada quatro dias. A Figura 13 mostra os vasos com solo contaminado plantados com a Singônio.

Figura 13: As mudas do vegetal em local aberto, dentro da UE.



Fonte: Autora, 2023.

### 3.4. COLETA DAS AMOSTRAS

Após 30 dias de cultivo (dia 21 de março de 2022), com variações de temperatura máxima de 32°C e mínima de 17°C, com 10 dias de algumas precipitações atmosféricas, três vasos escolhidos ao acaso, contendo solo contaminado foram separados para a coleta das plantas. Cada planta foi retirada e lavada em água em abundância e em seguida com água deionizada (Figura 14). Após isso, o excesso de água foi retirado delicadamente e procedeu-se a medida das partes vegetativas, que foram separadas e inseridas em sacos plásticos, lacrados, assim como o solo dos vasos contaminados. O conjunto foi encaminhado para o mesmo laboratório para as análises físicas e químicas. O mesmo procedimento foi realizado após 60 dias de observação iniciais, período onde se registrou menos precipitações e clima mais ameno, próprio da estação.

Figura 14: Procedimento de medição, pós lavagem da espécie vegetativa, em água abundante.



Fonte: Autora, 2023.

### 3.5 PREPARO DO BIOENSAIO DE TOXICIDADE COM A *Eisenia andrei*

Oligoquetas da espécie *Eisenia andrei* foram adquiridas da empresa Minhocas De Minas em Belo Horizonte, MG. Os organismos foram colocados em solo padrão (NORMA ABNT NBR 15537/2007), constituído de produto de vermicompostagem (40%), cinzas (35%) e esterco sólido de gado (25%), numa caixa de polipropileno de 30 litros, de medidas de  $1,7 \cdot 10^{-1}$  m de altura,  $3,6 \cdot 10^{-1}$  m de profundidade e  $2,6 \cdot 10^{-1}$  m de largura. Sua tampa foi perfurada com ponta metálica quente com separação aproximada de  $2 \cdot 10^{-2}$  m entre os furos, para permitir a ventilação da caixa. Nestas condições, as minhocas foram deixadas para adaptação por 14 dias, controlando-se a umidade a cada 3 dias (Figura 15).

Figura 15: Caixa de adaptação, de polipropileno, para a adaptação das oligoquetas.



Fonte: Autora, 2023.

Para o ensaio de ecotoxicidade, as minhocas foram previamente separadas e pesadas e depois foram expostas a diferentes proporções de solo contaminado em caixas de plástico, de medidas  $1,87 \cdot 10^{-1} \text{ m} \times 5,2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ , como demonstrado na Figura 16.

Figura 16: As caixas contendo minhocas, em observação por 14 dias.



Fonte: Autora, 2023.

Cada uma delas teve a tampa perfurada em pequenos furos, de espaços de 0,5 cm entre eles e enumeradas de 1 a 10. Para o preenchimento de solo, seguiu-se a conformação da tabela 1.

Tabela 1 – Divisão de solo contaminado por caixa com anelídeo.

Caixa	% de solo contaminado	Média da massa do anelídeo inicial (g)
1	25%	0,205
2	25%	0,228
3	25%	0,214
4	50%	0,250

5	50%	0,227
6	50%	0,225
7	75%	0,225
8	75%	0,199
9	75%	0,0232
10	0%	0,227

Fonte: autora, 2023.

Em cada caixa foram colocadas 10 minhocas com 500g de solo, no total. As caixas assim montadas foram deixadas ao abrigo da luz em ambiente climatizado. Após 14 dias todas as minhocas foram novamente pesadas e registrou-se também, alterações de comportamento e mobilidade.

### 3.6 LIOFILIZAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE METAIS

A liofilização das minhocas foi proposta com o objetivo de preservar as amostras para posterior análise por MEV-EDS. Deste modo, após os 14 dias de exposição, três indivíduos de cada tratamento foram retirados para análise de metais. Os organismos foram primeiramente eutanasiados a frio (4 - 8 °C). Após esse passo, cada grupo de três indivíduos foi embalado em filme de PVC. Cada grupo de amostra foi colocado em uma cápsula metálica e colocadas dentro sistema de liofilização em câmara de vácuo a 0,5 torr, por 12 h, em temperatura de -14 °C no Laboratório de Tecnologia do Vácuo da Fatec São Paulo. Ao finalizar, todas foram reembaladas sem a presença de ar e com uso de luvas, ficando armazenadas em local fechado.

### 3.7. MEV-EDS

As amostras que passaram pela liofilização foram metalizadas por meio de um *sputtering* com deposição de ouro/paládio, para posterior análise por microscópio eletrônico de varredura (MEV). Esta etapa foi realizada no laboratório da Faculdade de Engenharia Metalúrgica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (POLI- USP).

O MEV tem a função de interagir com o material a ser analisado por meio de um feixe de elétrons focalizado. Esses sinais auxiliam na interpretação da morfologia e composição

absorvida do material analisado. A espectroscopia por energia dispersiva (EDS) utiliza os raios-x gerados pela interação dos elétrons com a superfície da amostra (DUARTE *et al*, 2003) Como os anelídeos da amostra tiveram uma redução de massa, a ideia do MEV e em seguida EDS identificar quais seriam os metais ingeridos/adsorvidos. Esta etapa foi realizada no laboratório de Pesquisa de Bioenergia e Materiais Lignocelulósicos na Universidade Federal de São Carlos – Campus Sorocaba (UFSCar - Sorocaba).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 demonstra os teores dos contaminantes no solo da área do passivo industrial descrito, ao momento da coleta, e também com as determinações realizadas após 30 e 60 dias do processo de remediação com a *Syngonium podophyllum*, mostrando os teores individuais estabelecidos na legislação vigente, ou Valor de Referência de Qualidade (VRQ) para um solo de investigação industrial.

Tabela 2: Teores de contaminantes no solo na amostra inicial, 30 e 60 dias após remediação (mg. Kg<sup>-1</sup>).

Parâmetros	Inicial	30 dias	60 dias	CONAMA* 420/2009
Antimônio	< 0,500	< 0,500	< 0,500	25
Arsênio	< 0,500	< 0,500	< 0,500	150
<b>Bário</b>	<b>77,232</b>	<b>23,665</b>	<b>48,748</b>	<b>750</b>
Boro	< 20,000	< 20,000	< 20,000	-
Cádmio	< 0,100	< 0,100	< 0,100	20
<b>Chumbo</b>	<b>252,491</b>	<b>6,555</b>	<b>3,525</b>	<b>900</b>
Cobalto	< 2,000	< 2,000	< 2,000	90
<b>Cobre</b>	<b>62,38</b>	<b>8,545</b>	<b>12,525</b>	<b>600</b>
Cromo	< 0,500	7,454	18,151	400
Ferro	347,355	19,999	29,625	-
Mercúrio	< 0,100	< 0,100	< 0,100	70
Molibdênio	< 3,000	< 3,000	< 3,000	120
Níquel	1,999	4,515	< 2,000	130
Prata	< 0,500	< 0,500	< 0,500	100
Selênio	< 0,500	< 0,500	< 0,500	-
Zinco	27,405	64,585	< 10,000	2000

Fonte: Autora, 2023 e legislação Brasil\*, 2009 (adaptado).

Nota-se que houve a redução dos valores de Ba, Pb e Cu, a partir dos 30 dias e a continuidade do processo em menor escala, para os 60 dias, exceto para o Pb, que continuou a ser bioextraído. Esse comportamento de bioacumulação do Pb pela espécie em questão corrobora estudo anterior realizado após contaminação experimental em sistemas hidropônicos (BATISTA, 2013), sugerindo que a bioacumulação se inicia pelo sistema radicular (RAI *et al*, 2019). Estes achados falam a favor do potencial fitorremediador desse vegetal que, apesar da absorção dos íons metálicos, não demonstrou danos visíveis em seus tecidos e a absorção radicular de metais com essas características também foi demonstrada anteriormente (LEAL *et al*, 2013; MATIAS, 2011; DI SALVATORE *et al*, 2008; IANNACONE, ALVARIÑO, 2005),

considerando períodos distintos de extração, em contaminações experimentais de solo pelos elementos Pb, Cu e outros, por exposição de contaminantes de foram induzida.

Neste estudo demonstrou-se a redução de 36,88% de Ba, de 98,6% de Pb e de 79,92% para o Cu, sendo que esse material aparece acumulado na biomassa vegetal, conforme se observa das determinações de metais nos tecidos vegetais (Tabela 3).

Tabela 3: Teores de contaminantes nas três partes da planta, no tempo de estudo (em mg. Kg<sup>-1</sup>).

Parâmetros	Raiz 0	Raiz 30	Raiz 60	Caule 0	Caule 30	Caule 60	Folha 0	Folha 30	Folha 60
Antimônio	< 0,500	< 0,500	< 0,500	< 0,500	< 0,500	< 0,500	< 0,500	< 0,500	< 0,500
Arsênio	< 0,500	< 0,500	< 0,500	< 0,500	< 0,500	< 0,500	< 0,500	< 0,500	< 0,500
<b>Bário</b>	<b>&lt; 0,500</b>	<b>39,128</b>	<b>28,585</b>	<b>&lt; 0,500</b>	<b>33,941</b>	<b>29,585</b>	<b>&lt; 0,500</b>	<b>70,998</b>	<b>61,215</b>
Boro	< 20,000	< 20,000	< 20,000	< 20,000	< 20,000	< 20,000	< 20,000	< 20,000	< 20,000
Cádmio	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,1000	< 0,100	< 0,100	< 0,1000	< 0,100	< 0,100
<b>Chumbo</b>	<b>2,625</b>	<b>203,538</b>	<b>215,155</b>	<b>4,915</b>	<b>439,957</b>	<b>215,144</b>	<b>3,210</b>	<b>&lt; 0,100</b>	<b>&lt;1,000</b>
Cobalto	< 0,200	< 0,200	< 2,000	< 0,200	< 0,200	< 2,000	< 0,200	< 0,200	< 2,000
<b>Cobre</b>	<b>4,914</b>	<b>42,399</b>	<b>31,525</b>	<b>2,594</b>	<b>48,764</b>	<b>37,848</b>	<b>2,697</b>	<b>51,099</b>	<b>41,525</b>
Cromo total	< 0,500	66,256	56,252	<0,500	29,001	21,515	< 0,500	68,278	55,262
Ferro	41, 145	218,838	185,855	29,598	35,338	33,202	29,598	< 20,000	< 20,000
Mercurio	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,100
Molibdênio	< 3,000	< 3,000	< 3,000	< 3,000	< 3,000	< 3,000	< 3,000	< 3,000	< 3,000
Níquel	2,302	107,503	85,958	4,5911	75,939	52,121	2,497	< 2,000	< 2,000
Prata	< 0,500	< 0,500	< 0,500	< 0,500	< 0,500	< 0,500	< 0,500	< 0,500	< 0,500
Selênio	< 0,500	< 0,500	< 0,500	< 0,500	< 0,500	< 0,500	< 0,500	< 0,500	< 0,500
Zinco	14,515	21,077	15,141	17,004	24,274	21,515	9,007	28,866	19,585

Fonte: Autora, 2023.

Os resultados foram considerados promissores, uma vez que, com a redução dos contaminantes, é possível restaurar o solo e recuperar a fauna e flora naturais nessa camada superior do solo do passivo industrial, com a melhoria das funcionalidades desse material.

Observam-se na tabela valores registrados de parâmetros metálicos nas raízes (inicial, 30 e 60 dias), no caule (inicial, 30 e 60 dias) e também nas folhas (inicial, 30 e 60 dias). Quanto aos metais absorvidos, notou-se que o sistema radicular absorveu sinergicamente os MT presentes no solo e transferiu alguns desses para as partes aéreas, principalmente no período de 30 dias de análise. Essa absorção dos elementos metálicos pela raiz também tem sido descrita para outras espécies bioacumuladoras (ANDRADE, TAVARES; MAHLER, 2014).

Os teores altos de ferro e zinco nas partes da planta não são agressivos ao vegetal, pois são considerados nutrientes minerais essenciais para os vegetais (ALEXANDRE *et al*, 2012, BROADLEY *et al*, 2007). O níquel não causou danos para a fitorremediadora, apenas acumulando nas raízes e caule da planta e não foi transferido para as folhas, provavelmente porque se apresentou como um nutriente para o vegetal (SANTOS NETO *et al*, 2018; JAYAKUMAR, JALEEL, 2009).

Os parâmetros Pb, Cu, Fe, Ni e Zn embora tenham sido detectados na *Syngonium Podophyllum* no início das análises, os teores se encontravam próximos ao limite mínimo de detecção do método. Após 30 dias de contato com o solo, notou-se que o vegetal absorveu os MT nas raízes e caule de forma semelhante, apresentando os elementos Ba, Pb, Cu, Cr, Fe, Ni e Zn em quantidades superiores ao padrão inicial. No entanto, a folha não apresentou acúmulo de Pb, Fe ou Ni em suas estruturas.

Para 60 dias, o acúmulo de metais não se modificou em relação aos primeiros 30 dias, demonstrando possíveis saturações para cada um dos MT em cada estrutura. Deste modo, pode-se concluir que o potencial hiperacumulador desta planta no processo de fitorremediação ocorreu num período de até 30 dias de contato.

Tabela 4: Teores dos elementos em cada período do teste em mg. Kg<sup>-1</sup>.

	<b>Raiz 0</b>	<b>Raiz 30</b>	<b>Raiz 60</b>	<b>Caule 0</b>	<b>Caule 30</b>	<b>Caule 60</b>	<b>Folha 0</b>	<b>Folha 30</b>	<b>Folha 60</b>
<b>Ba</b>	< 0,500	39,13	28,59	< 0,500	33,941	29,585	< 0,500	70,998	61,215
<b>Pb</b>	2,625	203,5	215,2	4,915	439,96	215,14	3,210	< 0,100	< 0,100
<b>Cu</b>	4,914	42,4	31,53	2,594	48,764	37,848	2,697	51,099	41,525

Fonte: Autora, 2023.

A Tabela 4 apresenta um resumo do material apresentado anteriormente demonstrado, apontando os MT encontrados nas partes vegetativas, apontando que ocorreu o acúmulo dos principais metais nos tecidos do vegetal de estudo. Após 30 dias de processo de remediação, obteve-se acumulação nas partes aéreas da planta, que foi de  $929,824 \text{ mg. Kg}^{-1}$  e após 60 dias foi de  $682,417 \text{ mg. Kg}^{-1}$ , para o elemento Pb. Batista (2013) apresentou em seu resultado uma quantidade de até  $5,99 \text{ mg}$  de Pb nas partes vegetativas para uma espécie semelhante, ao contaminar  $400 \text{ mg}$  de sal de Pb em água, ou seja, os resultados apresentados nesse estudo estão condizentes, apesar da condição diferenciada, com uma contaminação de multi metais.

Após 30 dias da aplicação do procedimento de fitorremediação, conforme descrito, observou-se também, a redução radicular e do crescimento do caule e folhas (Figura 17).

Figura 17: Comprimento comparativo das raízes. Em 1,2 e 3 tem-se as raízes do solo contaminado e em 4, a raiz controle.



Fonte: Autora, 2023.

As amostras 1, 2 e 3 apresentadas na Figura 17 exibem a exposição de 30 dias em vasos com solos contaminados. As raízes são menores que a planta controle (4). Quanto ao aspecto visual, notou-se que a parte aérea do vegetal controle (planta 4) teve um crescimento menor que em relação às suas correspondentes expostas a contaminação desses xenobióticos, Observa-se ainda as folhas com colorações mais intensas, brotamento (amostra 1e 2). Em nenhum dos casos há indícios de pragas ou outros possíveis danos, como descrito por autores (PRABAKARAN

*et al*, 2019; GUPTA, HUANG, CORPAS, 2013).

Os fitorremediadores demonstram ter maior resistência aos contaminantes ambientais, apresentando resultados promissores em presença de resíduos farmacêuticos, corantes, metais, entre outros. Essas substâncias xenobióticas descartadas em matrizes ambientais podem ser absorvidas pela fauna e flora (BRUZZI *et al*, 2019; CHEN *et al*, 2005). Alguns fitorremediadores podem auxiliar na remoção desses contaminantes antrópicos. Assim, acredita-se que, para se proteger dos efeitos xenobióticos, o vegetal responde aumentando sua biomassa, o que permite explicar o processo de fitoextração, que trata do acúmulo de contaminantes nas partes vegetativas para os parâmetros analisados (COPETTI *et al*, 2022). A imagem da Figura 17 mostra as diferenças nas dimensões das raízes após fitoextração.

Nota-se que esse efeito sobre o desenvolvimento das plantas ocorreu nos 30 dias de exposição, não havendo efeito adicional após os 60 dias (Tabelas 5 e 6).

Tabela 5 - Medições em cm da Singônio, após 30 dias de contato com o solo contendo MT.

Início Planta				Após 30	Dias	
	Raiz	Caule	Folha	Raiz	Caule	Folha
2	20,4	12,5	9,9	13,1	17,5	20,1
9	22,1	17,1	9,5	10,1	19,9	18,6
18	18	12,1	11,0	11,2	22,2	16,2

Fonte: Autora, 2023.

A Tabela 5 demonstra a redução da arquitetura radicular em 56, 30% após 30 dias de inserção de solo com multi metais. Entretanto, há aumento do tamanho de caule e de folhas em 27,01% e 37, 53%, respectivamente.

Tabela 6 - Medições em cm da Singônio, após 60 dias de contato com o solo contendo MT.

Início Planta				Após 60	Dias	
	Raiz	Caule	Folha	Raiz	Caule	Folha
11	21,1	17,1	10,5	9,6	18,1	26,3
16	13,2	19,5	13,1	9,1	47,3	23,4
19	15,1	21	11,5	13,1	17,5	13,7

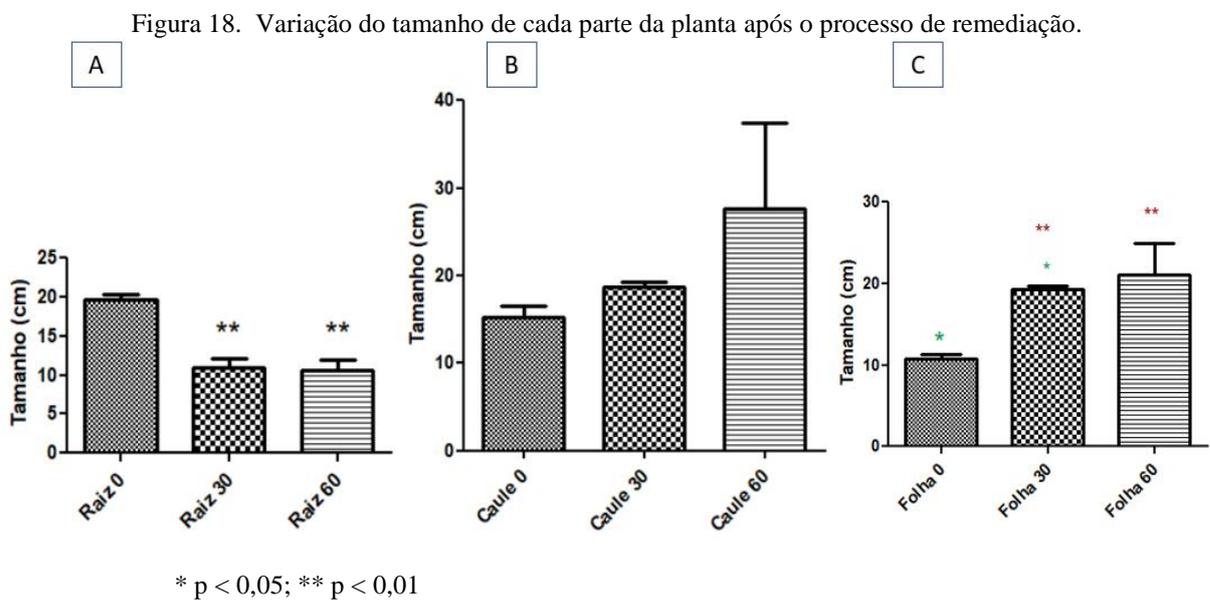
Fonte: Autora, 2023.

A tabela 6 aponta uma redução de 64, 37% na arquitetura radicular para o período de 60 dias. Para o mesmo período, houve um aumento de 30,52% no caule e 9,15% nas folhas.

A redução radicular induzida pelos elementos Ba, Cu e Cr já foi descrita anteriormente

em espécies e condições distintas das realizadas neste estudo (BATISTA, 2013; LEAL *et al*, 2013; DI SALVATORE *et al*, 2008; IANNACONE, ALVARIÑO, 2005). Esses autores realizaram seus experimentos em condições de contaminação da amostra induzida, diferentemente do presente trabalho que utilizou um solo real, de contaminação industrial que ocorreu durante a produção de acumuladores elétricos, por anos.

Utilizando as medidas demonstradas nas tabelas 3 e 4, foi construída a figura 18, que mostra os resultados comparativos entre os tratamentos.



Fonte: Autora, 2023.

Estes dados, juntamente com as determinações de metais na planta (Tabela 3), permitem afirmar que o processo de remediação pela *Singônio* se dá por fitoextração, pela transferência dos MT para as partes aéreas, corroborando estudos anteriores em distintas condições experimentais (ANDRADE, TAVARES, MAHLER, 2007; LEITE *et al*, 2019; RAI *et al*, 2019). Os vegetais fitorremediadores são considerados evoluídos, devido às estratégias de tolerância de contaminantes antrópicos (EL-MAHROUK *et al*, 2019).

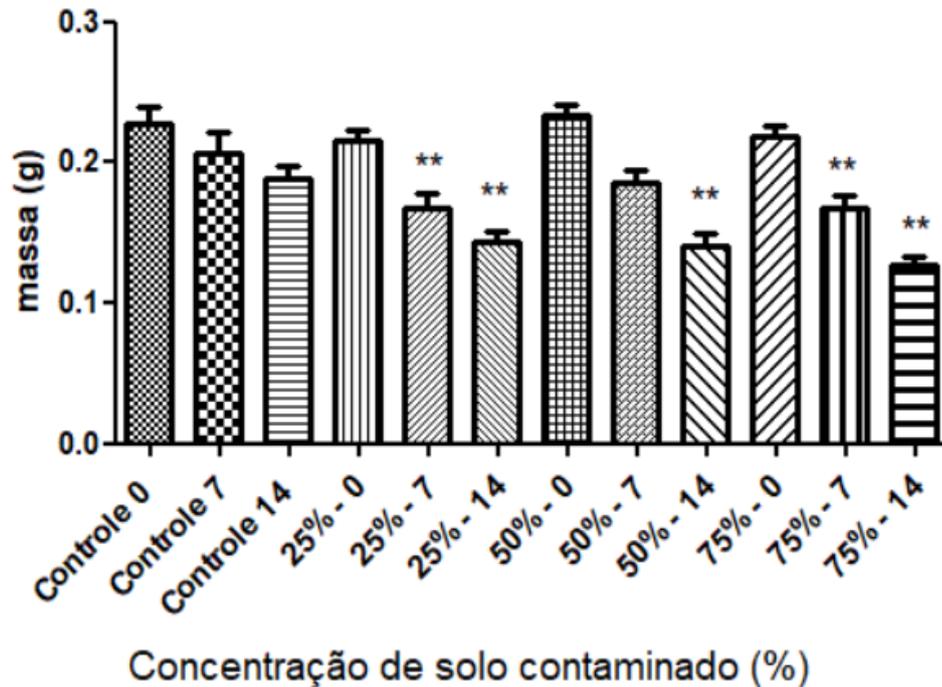
#### 4.1 – *Eisenia andrei* COMO BIOINDICADORA DE QUALIDADE DE SOLO.

Conforme descrito, as oligoquetas consomem o equivalente ao seu peso em um dia (MENDES, DUARTE, RODRIGUES, 2020; ALENCAR, NETTO, NOGUEIRA, 2016; MENDES, 2012) e respondem a qualquer anormalidade, apresentando alterações como respostas ao solo com contaminações.

As tabelas II, III e IV no Apêndice 2 apresentam as massas dos indivíduos de *E. andrei* inseridos nas caixas. O teste com 100% do solo contaminado não foi realizado, uma vez que, no local não foram encontrados esses organismos, tampouco insetos e, conforme se observou nos testes, apesar da concentração do MT ter sido detectada nas oligoquetas, não foi o suficiente para causar óbito. Efeitos semelhantes também foram observados anteriormente por Novotny *et al* (2022) com *Eisenia foetida* ao analisar aparas de grama das laterais de um Aeroporto Internacional no Brasil, determinando contaminantes na área, utilizando biochar e fosfato em dosagens variadas e Abdul Rida, Bouché (1995) que analisou 186 locais diferentes no Sudoeste da França com organismos autóctones (*Nicodrilus caliginosus*, *Allolobophora rosea*, *Allolobophora chlorotica*, *Octolasion cyaneum*, *Lumbricus terrestris* entre outros), determinando contaminantes nas múltiplas áreas analisadas

No apêndice II, em tabela II encontram-se as massas dos anelídeos, em gramas, no tempo zero, depositados nas embalagens. Os dados brutos das massas após 7 e 14 dias estão no mesmo Apêndice, identificadas como tabelas III (para 7 dias de observação) e tabela IV (para 14 dias), Utilizando as tabelas apresentadas no Apêndice II (tabelas II, III e IV) foi configurada a figura 19.

Figura 19: Variação de massa dos organismos expostos ao solo contaminado.



Fonte: Autora, 2023.

A figura 19 demonstra a redução de massa dos indivíduos durante o período estudado. O invólucro com solo controle está representado pelo termo Controle e nos tempos zero, 7 dias e 14 dias. O termo 25% é a quantidade de solo contaminado existente na amostra, também para o mesmo período. Os termos 50% e 75% também equivalem, respectivamente, para a quantidade de solo depositado proveniente da área contaminada.

Após 7 dias de análise notou-se a redução da massa das oligoquetas (Figura 19), que após o fim do período de exposição de 14 dias. Observou-se também que aos 7 dias de análise foi necessário adicionar cerca de 3 ml de água deionizada em cada embalagem contendo solo contaminado, possivelmente pela evaporação de gases que ali existiam, provenientes da contaminação com ácido sulfúrico liberado dos resíduos. Na pesagem final, após 14 dias de observação, as minhocas apresentavam redução de massa em relação aos valores s iniciais. Observou-se ainda, alteração de comportamento com aumento da sensibilidade ao toque. Essa sensibilidade pode demonstrar sinais de injúrias internas, como descrito anteriormente pelos autores (LUQUE *et al*, 2020; VÁSQUEZ-LUNA, CUEVAS-DIAZ, 2019; AZEVEDO; CORONAS, 2018). Alterações na coloração da cutícula também foram observadas, na análise final, fenômeno também já descrito por outros autores (SCHIEDECK *et al*, 2010).

A tabela 7 é um resumo dos dados apresentando as porcentagens de perdas de massa.

Ao analisar comparativamente os grupos nas diferentes misturas de solo, notou-se que houve progressão de perda de massa, em função da concentração do solo contaminado. Possivelmente as minhocas reduziram a sua alimentação na presença de metais e alteraram seus processos metabólicos, fato que já foi descrito por Žaltauskaitė e Sodienė (2010) em teste sinérgico de Cd e Pb, com *Eisenia foetida*, por 28 dias.

Tabela 7: As porcentagens de perda de biomassa, no período estudado.

Tempo	25%	50%	75%	Controle
7 dias	19,05%	21,74%	22,73%	8,70%
14 dias	33,33%	39,13%	40,91%	17,39%

Fonte: Autora, 2023.

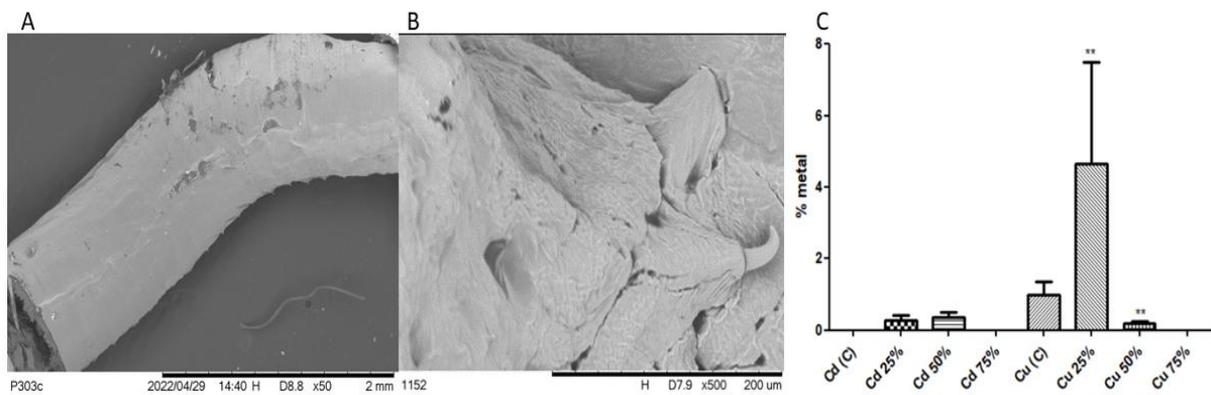
Apesar dos teores dos contaminantes estarem dentro de limites previstos em norma estabelecida, a ISO 17512-1, os resultados obtidos demonstram a importância da inclusão de bioensaios de ecotoxicidade como importantes adjuvantes nos protocolos de análises físico-químicas constantes em normas ambientais. Os bioindicadores anelídeos se sensibilizaram devido à presença de contaminantes na amostra ambiental que constitui uma mistura complexa. Apresentaram respostas confiáveis e sensíveis às perturbações do seu habitat, mesmo na presença de teores permitidos pela legislação vigente.

Ao analisar os resultados obtidos por MEV-EDS (figura 20 A, B, C), verificou-se que houve provável interação da matéria orgânica do solo adubado com os contaminantes Cu e Cd (Figura 20 C). Esse efeito sinérgico pode ter auxiliado na solubilização dos dois contaminantes, como descreveram Li *et al* (2009) e Abdul Rida, Bouché (1995) em trabalhos distintos, de modo que com o Cd, mesmo em valores quase indetectáveis em solo, teve absorção pelos organismos, os quais são sabidamente sensíveis a esses elementos (MATIAS, 2011). Em última análise explica as mudanças comportamentais apresentadas, que foram as fugas, sensibilidade ao toque e danos em cutículas. A figura 20 aponta, a partir de ainda diferentes aumentos, o revestimento externo do corpo e os detalhes da cutícula do anelídeo.

Os valores brutos estão no Apêndice II, tabela V. Foram excluídos os valores de Pd, pois se referem ao processo de metalização. O parâmetro Fe não altera o metabolismo do anelídeo, e, portanto, não foi demonstrado na figura 20, estando apenas indicado no Apêndice II, tabela V. Em A e B apresentam-se imagens da superfície do corpo da *E. andrei*, em aumentos de 50x e 500x, respectivamente, nas imagens obtidas por MEV. É possível observar a cutícula

com os pelos. Em C observa-se a detecção dos parâmetros metálicos de Cu e Cd nos anelídeos e somente esses MT foram representativos, mesmo com solo com mínima quantidade inicial de Cd. Esse parâmetro, mesmo em quantidade mínima, favoreceu a absorção do Cu, interação esta já descrita na literatura (ROMANOSKI, GUMBOSKI, 2021; PRESTES; VICENZI, 2019). A ausência de Pb nessa análise é justificada também pela preferência em assimilar o Cd quando há a sinergia Cd-Pb, reduzindo a biodisponibilidade de Pb em sua massa, fenômeno já observado anteriormente em outros estudos com esses organismos (OLIVEIRA, 2019; ŽALTAUSKAITĖ, SODIENĖ, 2010).

Figura 20: Imagens do revestimento externo e os parâmetros metálicos detectados nos tecidos das minhocas, após exposição ao solo contaminado.



Fonte: Autora, 2023.

Apesar do metal Pb ser mais disponível nas contaminações antrópicas, (ŽALTAUSKAITĖ, SODIENĖ, 2010) os danos são muito reduzidos nas oligoquetas de estudo, para as *Eisenia andrei* e a *Eisenia foetida*, por serem mais tolerantes ao metal. Entretanto, embora não se tenha avaliado outros parâmetros por não ser o foco deste trabalho, a perda de massa observada é indicativa de efeitos metabólicos sub-letais, onde o organismo necessita mobilizar sua reserva energética para o processo de desintoxicação, em detrimento das demais demandas metabólicas (ŚWIĄTEK, BEDNARSKA, 2019). Os efeitos adversos observados aqui, corroboram a necessidade de se avaliar as amostras ambientais como misturas complexas, onde o sinergismo entre os contaminantes pode determinar e ampliar os efeitos dos compostos individuais (SALES JUNIOR, 2019; TAVARES<sup>1</sup>, 2013; MARIÑO, MORGAN, 1999). A presença de Cu na amostra controle provavelmente se deve ao uso de solo adubado com presença do esterco bovino (DOMINGOS, 2020). Áreas pastoris estão sendo contaminadas com

as lixiviações advindas do uso da Calda Bordalesa em lavouras, rica em cobre e utilizada como fungicida “natural” (MENDONÇA *et al*,2022) em sistemas de irrigação de plantações (RIBEIRO *et al*, 2012).

## 5 CONCLUSÕES

- Os resultados apresentados confirmaram a propriedade da espécie vegetal *Syngonium podophyllum* em realizar a retirada de metais de solo, demonstrada pela redução do teor de metais nas amostras e sua acumulação nos tecidos vegetais, num processo denominado fitoextração;

- A espécie vegetal utilizada, conhecida por suas características de hiperacumuladora, já havia sido descrita em trabalhos anteriores, em condições distintas das desse estudo, em trabalhos com 10 anos ou mais. Até onde se pode investigar na literatura, não há trabalhos que demonstrem o uso de vegetais hiperacumuladores em uma situação real como a realizada aqui, o que demonstra a relevância desse estudo de remediação de passivos ambientais industriais;

- Demonstrou-se com esse estudo que é necessário o tratamento de solo do local escolhido e de terrenos semelhantes, na intenção de reduzir a degradação, as possíveis desertificações e promover a revitalização desses passivos ambientais industriais;

- Os efeitos tóxicos subletais observados indicam que, mesmo em concentrações não letais, os contaminantes, neste caso os MT, podem levar a um desvio metabólico de organismos ali presentes, para o seu processo de desintoxicação, que se refletiu na redução da massa dos indivíduos. Esses dados corroboram a necessidade de se avaliar as amostras ambientais como misturas complexas, onde o sinergismo entre os contaminantes pode determinar e ampliar os efeitos de compostos individuais. Deste modo, defende-se o emprego de bioensaios de ecotoxicidade como importantes métodos adjuvantes nos protocolos de análises físico-químicas constantes em normas ambientais;

- Os resultados apresentados neste estudo permitem descrever um procedimento de fitorremediação de solos contaminados com metais, pela utilização de uma espécie hiperacumuladora, a *Syngonium podophyllum*. Foi possível estabelecer um método simples, de baixo custo e execução, com resultados em apenas 30 dias de exposição, como uma proposta de gestão de resíduos sólidos;

- O trabalho demonstra umaecoinovação frugal, isto é, processos simples, de baixo custo e com resultados rápidos, que podem ser aplicados em solos contaminados. A retirada desses componentes diminui a desertificação da área, evitam a contaminação nos arredores e em outras matrizes ambientais, além de promover o restauro paisagístico.

## 6 - CONTINUIDADE DO TRABALHO

- Como sugestão de aprofundamento do trabalho, é necessário avaliar o uso do vegetal associado a outras substâncias, como biochar, EDTA ou microrganismos, por exemplo, na intenção de reduzir o tempo de fitoextração no local, bem como a retirada de outros contaminantes presentes. Também fazer uma análise em períodos intermediários aos 30 dias utilizados, analisando as partes vegetativas e a verificação de acúmulo nos vacúolos, por meio de técnicas histológicas;

- Para um processo contínuo de gestão de resíduos sólidos, os vegetais contaminados também devem ser tratados. Dependendo da quantidade, a digestão ácida e posterior obtenção dos metais por reações químicas ou por secagem (matéria seca) é uma possibilidade. Para maiores massas, o co processamento em indústrias cimenteiras ou de vidro podem ser uma boa hipótese de gestão. O solo descontaminado será devolvido para o local de origem.

## REFERÊNCIAS

- ABDUL RIDA, A. M. M.; BOUCHÉ, M. B.; The eradication of an earthworm genus by heavy metals in southern France; **Applied Soil Ecology**; 2; 45-52; 1995;
- ACCIOLY A. M. A.; SIQUEIRA, J. O.; Contaminação química e biorremediação do solo. In: **NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. A.; SCHAEFER, C. E. G. R. (eds). Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 299–315, 2000.
- ALENCAR, A. P.; NETTO, A. J.; NOGUEIRA, B. D.; Efeito de substratos na produção e multiplicação de *Eisenia fetida Savigny (1826)*; **Acta Kariri Pesq. e Des. Crato/CE**, V.1, N.1, p.21-28, 2016;
- ALEXANDRE, J. R.; OLIVEIRA, M. L. F.; DOS SANTOS, T. C.; CANTON, G. C.; DA CONCEIÇÃO, J. M.; EUTRÓPIO, F. J.; CRUZ, Z. M. A.; DOBBS, L. B.; RAMOS, A. C.; Zinco e ferro: de micronutrientes a contaminantes do solo; **Natureza on line** 10 (1): P 23-28; 2012;
- ALEXIEVA, D.; CHOBANOVA, S.; ILCHEV, A.; Study of the level of heavy metal contamination in feed materials and compound feed for pigs and poultry in Bulgaria. **Trakia Journal of Sciences**, 5, 61–66, 2007;
- ALI, H.; KHAN, E.; SAJAD, M. A.; Phytoremediation of heavy metals—Concepts and applications; **Chemosphere**, vol. 91, n° 7, pp. 860-881, 2013;
- ALMODOVAR, M. L. N.; Estudo da anomalia de cromo nas águas subterrâneas da região noroeste do estado de São Paulo; **dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia, USP**, São Paulo, SP, 115 páginas, 1995.
- ALVA, A. K.; HUANG, B.; PARAMASIVAM, S. Soil pH affects copper fractionation and phytotoxicity, **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.64, n.3, p.955-962, 2000;
- ALVES, A. C. M.; ROSA, P. F.; AGUIAR, M. L.; determinação da concentração de chumbo (Pb) presente no material particulado fino (MP2,5) e grosso (MP10) da região central de GOIÂNIA - GO; **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia**, v.11 n.21; p. 2556- 2564, 2015;
- ALVES, A. R. A.; DA SILVA, E. F.; NOVO, L. A. B. Fitominação de níquel em Portugal: estado atual e perspectivas futuras; **Scotland's Rural College; Comunicações Geológicas**, 107(Special Issue 2), p.155-159, 2020;
- ANDRADE, J. C. M.; TAVARES, S. R. L. MAHLER, C. F.; Fitorremediação: O uso das plantas na melhoria da qualidade ambiental; Edição digital, **Editora Oficina de Textos**, 176 páginas, 2007;
- ANDRADE, J. C. M.; TAVARES, S. R. L.; MAHLER, C. F.; O uso das plantas na melhoria da qualidade ambiental; edição digital de 2014, **Editora Oficina de Textos**, 176 p.
- APPELA, J. S.L.; TERESCOVA, V.; RODRIGUES, V. C. B. VARGAS, V. M. F.; Aspectos toxicológicos do preservativo de madeira CCA (arseniato de cobre cromatado). **Revista Brasileira de Toxicologia**, Instituto de Toxicologia Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUCRS, Porto Alegre - RS. 19, n.1, 33-47, 2006.
- AQUINO, I. N.; Técnicas de análise de danos em DNA e cromossomos: uma revisão sistemática de literatura. **Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Serra Talhada**, 78 páginas, 2019.
- ARAÚJO, E. A. DE. KER, J. C.; NEVES; J. C. L.; LANI, J. L.; Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 5, n. 1, p. 187–206, 26 jul. 2012.
- ARAÚJO, G. F.; Avaliação do estresse oxidativo de exposições unitárias e combinadas de carbamazepina, acetamiprida e cádmio em peixes *Danio rerio*; **Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saúde Pública e Meio Ambiente, da Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, na Fundação Oswaldo Cruz, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências, área de concentração: Toxicologia Ambiental; Rio de Janeiro**, 109 f, 2019.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob Cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1099–1108, out. 2007;

ARAUJO, T. M.; NASCIMENTO, V. O.; PRINTES, V. H.; SILVA, M. T.; LIMA, R. Q.; Fatores associados à contaminação do solo: Decomposição, tratamento de cadáveres e materiais funerários; **Braz. J. Hea. Rev, Curitiba**, v. 3, n. 6, p.18145-18157, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NOMAS TÉCNICAS (ABNT); **Ecotoxicologia terrestre - Toxicidade aguda - Método de ensaio com minhocas (Lumbricidae)**. São Paulo, outubro de 2014;

ATSDR<sup>1</sup>; **Agency for Toxic Substances and Disease Registry; Cap 3 - Health Effects**; p.49 - 332, 2016; disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp7-c3.pdf>, acessado em 07/01/2023;

ATSDR<sup>2</sup>; **Agency for Toxic Substances and Disease Registry; Cap 6 - Potential for human exposure**; p 363 - 399, 2016; disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp7-c6.pdf> acessado em 07/01/2023;

AZEVEDO, A. R.; CORONAS, M. V.; Uso de testes de fuga com minhocas *Eisenia andrei* e *Eisenia fetida* para identificação da toxicidade de agrotóxicos no Brasil: Uma breve revisão da literatura. **Ciência e Natura**, p. 18-26, 2018;

BACCAN, N.; GODINHO, O. E. S.; ALEIXO, L. M.; STEIN, E.; Introdução à semimicroanálise qualitativa; **Editora UNICAMP**, Campinas, 2ª edição, 1988.

BAIRD, C.; CANN, M.; Environmental chemistry, 4ª edição, **W. H. Freeman and Company editora**, New York, 847 páginas, 2008.

BÁRBARA, V. F.; PEREIRA, J.; MELO E SILVA, D.; CARVALHO, W.; ANTONIOSI FILHO, N. R.; Avaliação química, ecotoxicológica e genotoxicológica de águas de cavas de minerações a céu aberto, GOIÁS, BRASIL; **Congresso ABES FENASAN**, 12 p, São Paulo, 2017;

BARBOSA, M. V. S.; MOURA, M. T. S.; CABRAL, P. M. P.; SILVA, C. L. L.; FREITAS, J. C. R.; FREITAS, L. P. S. R.; Os metais pesados e a função social do ensino de química. **53º Congresso Brasileiro de Química Realizado no Rio de Janeiro/RJ, de 14 a 18 de Outubro de 2013**;

BASSO, A.; Nutrição mineral e distribuição de cobre nas raízes de aveia preta e videiras jovens em solo contaminado submetido à calagem; **Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Agroecossistemas, Florianópolis**, 82 p., 2015;

BATISTA, A. A.; Seleção de espécies com potencial fitorremediador de chumbo; **Dissertação submetida ao curso de Pós-graduação em Solos e Qualidade de Ecossistemas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Solos e Qualidade de Ecossistemas**, Área de concentração: Manejo de Resíduos e Remediação de Áreas Impactadas; Cruz das Almas, Bahia, 57 p, 2013;

BATISTA, E. C. L.; Fitorremediação: uma visão do método aplicado a solos contaminados e apresentação de tópicos relevantes da fitoextração; **Monografia apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção de título de Especialista em Saneamento e Meio Ambiente**. Área de concentração: Controle Ambiental na Indústria; Belo Horizonte, MG, 64 páginas, 2012.

BERALDO, H.; Contribuições da Química Inorgânica para a Química Medicinal; **Revista Química Nova na Escola**, Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola; N° 6, 3 páginas – Julho, 2005;

BERNARDINO, M. M.; Comportamento e ecotoxicologia de pesticidas em solos do cerrado; **Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM AGROQUÍMICA, no Programa de Pós-Graduação em Agroquímica do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – Área de concentração Agroquímica**; 77 Páginas, 2019;

BHAT, S. A.; BASHIR, O.; HAQ, S. A.; AMIN, T.; RAFIQ, A.; ALI, M.; AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P.; SHER, F.; Phytoremediation of heavy metals in soil and water: An eco-friendly, sustainable and multidisciplinary approach; **Chemosphere**; Volume 303, Part 1, 134788, 2022;

BOUGHATTAS, I., HATTAB, S., ALPHONSE, V.; LIVET, A.; GIUSTI-MILLER, S.; BOUSSETTA, H.; BANNI, M.; SOUSSERRHINE, N.; Use of earthworms *Eisenia andrei* on the bioremediation of contaminated area in north of Tunisia and microbial soil enzymes as bioindicator of change on heavy metals speciation. **J Soils Sediments** 19, 296–309; 2019;

BOUGHATTAS, I.; HATTAB, S.; ZITOUNI, N.; MKHININI, M.; MISSAWI, O.; BOUSSERRHINE, N.; BANNI, M.; Assessing the presence of microplastic particles in Tunisian agriculture soils and their potential toxicity effects using *Eisenia andrei* as bioindicator, **Science of The Total Environment**, Volume 796, 148958, p 1 - 10; 2021;

BRASIL, LEI Nº 14.026 DE 15 DE JULHO DE 2020; **Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados**; D.O.U de 16/07/2020, pág. nº 1, 2020.

BRASIL, RESOLUÇÃO Nº 420, DE 28 DE DEZEMBRO DE 2009; **Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas**. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE; CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, publicado no Publicado no DOU nº 249, de 30/12/2009, págs. 81-84;

BRASIL; LEI Nº 12.305 DE 02 DE AGOSTO DE 2010; **Institui a política nacional de resíduos sólidos; altera a lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**; PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, publicado no D.O.U de 03/08/2010, n147, p 3 – 7;

BROADLEY, M. R.; WHITE, P. J.; HAMMOND, J. P.; ZELKO, I.; LUX, A.; Zinc in plants. **New Phytologist**, 173: 677-702, 2007.

BRIFFA, J.; SINAGRA, E.; BLUNDELL, R.; Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. **Heliyon**. Sep 8;6(9):e04691., 2020;

BRUZZI, S. C. F.; LELES NETO, J. C.; FRANCO, E. S.; CAMARGO, J. A.; ROSA, C. S.; Potencial fitorremediador da *Salvinia sp.* na remoção de chumbo em efluente sintético; **Vértices, Campos dos Goitacazes, Instituto federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense**; v 21, n3, 11p, 2019;

CARUSILLO, A.; MUSSOLINO, C.; DNA Damage: From Threat to Treatment. **Cells**. 10;9(7):1665; 2020;

CARVALHO, F. M. S.; FUNGARO, D.A.; CUNHA, E. F.; ABRÃO, A.; GOMES, L. F.; EPA; Environmental protection Agency, Table of Contents for the Test Methods for Evaluating Solid Waste: Physical/Chemical Methods Compendium (SW-846), disponível em <https://www.epa.gov/hw-sw846/table-contents-test-methods-evaluating-solid-waste-physicalchemical-methods-compendium-sw>, atualizado em 29/11/2022, acessado em 01/12/2022;

CASTRO, I. O.; Remediação termal de contaminação por hidrocarbonetos e a relação com as propriedades do solo; **Projeto de Graduação apresentado ao curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro**, 78 P.; 2020;

- CHAO, Z.; YIN-HUA, S.; DE-XIN, D.; GUANG-YUE, L.; YUE-TING, C.; NAN, H.; HUI, Z.; ZHONG-RAN, D.; FENG, L.; JING, S.; YONG-DONG, W.; *Aspergillus niger* changes the chemical form of uranium to decrease its biotoxicity, restricts its movement in plant and increase the growth of *Syngonium podophyllum*. **Chemosphere**. 2019 Jun; 224:316-323;
- CHARKIEWICZ, A.E.; BACKSTRAND, J.R.; Lead Toxicity and Pollution in Poland. **Int J Environ Res Public Health**. 2020 Jun 18;17(12):4385.
- CHEN, Q. Z. J.; HENNY, R. J.; Regeneration of *Syngonium podophyllum* 'Variegatum' through direct somatic embryogenesis; **Plant Cell, Tissue and Organ Culture; IFAS**; Environmental Horticulture Department and Mid-Florida Research and Education Center; University of Florida; USA; 2005;
- CHENG, S.; CHEN, T.; XU, W.; HUANG, J.; JIANG, S.; YAN, B.; Application Research of Biochar for the Remediation of Soil Heavy Metals Contamination: A Review. **Molecules**. 2020 Jul 10;25(14):3167;
- COPETTI, C. M.; JUNG, M.S.; SILVA, J. A. G. da.; FACHINETTO, J. M.; COSTA, R. S.; OLIVEIRA, G. H. de.; FRAGA, D. da R.; JUNG, J. S.; Biorremediação: metodologia sustentável na remoção de xenobióticos da água. **Investigação, Sociedade e Desenvolvimento**, [S. l.], v. 11, n. 9, pág. e29811931978, 2022;
- CORREIA, J. L. T.; Revitalização de Brownfields em Espaços Urbanos e Reabilitação de Áreas Contaminadas – O Caso do Antigo Incinerador de Pinheiros; **Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a obtenção do título de Especialista em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields**; Escola Politécnica USP, SP, 42 p, 2022;
- CROAT, T.B.; A Revision of *Syngonium* (Araceae); **Annals of the Missouri Botanical Garden**, 68(4), 565 - 651; 1981;
- DAHMER, D. I. E.; SOARES, P. R.; Determinação de metais pseudo-totais e disponíveis em solo e sedimentos em um lixão desativado no município de Medianeira-PR; **Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira**, 80 páginas, 2018;
- DALVI, A. A.; BHALERAO, S. A.; Response of plants towards heavy metal toxicity: an overview of avoidance, tolerance and uptake mechanism. **Ann. Plant Sci.**, v. 2, p. 362–368, 2013;
- de ARAÚJO, D. L. M.; ELOI, D. V.; GONTIJO, JUNIOR, G. S.; NASCIMENTO, A. T.; BRANDÃO, G. V. B.; MARÇAL, G. F.; RIBEIRO, M. G.; FARIA, T. A. V.; Lesões cranianas por Projéteis de Arma de Fogo (PAF): possíveis efeitos do chumbo; **Revista Eletrônica Acervo Científico**; VOL 28,6 P.; 2021;
- DE CAROLI, M. FURINI, A.; DAL CORSO, G.; ROJAS, M.; SANSEBASTIANO, G.-P.; Endomembrane Reorganization Induced by Heavy Metals; **Plants**, 9(4), 482; 14 p, 2020;
- de JESUS, L. F.; MOREIRA, M. F. R.; Riscos ocasionados pelos elementos metálicos para a saúde pública e meio ambiente; Saúde Ambiente para as Populações do Campo, da Floresta e das Águas; Brasil; **Ministério da Saúde; Secretaria de Gestão Estratégica e Participativa; Departamento de Apoio à Gestão Participativa**; p. 155 - 173; 1ª Edição, 2015;
- de LIMA, W. F.; GUTJAHR, A. L. N.; BRAGA, C. E. S.; Potencial de bioacumulação e translocação da espécie *montrichardia linifera* (arruda) *schott*, (araceae) em água contaminada por chumbo; **Revista Diálogos & Ciência**, fluxo contínuo, v 2. n1, p 48 - 59, 2022;
- DENG, H.; YE, Z. H.; WONG, M.H.; Lead, zinc and iron (Fe<sup>2+</sup>) tolerances in wetland plants and relation to root anatomy and spatial pattern of ROL. **Environmental and Experimental Botany** 65: 353- 362, 2009;
- DENG, Q.-W.; WANG, Y.-Y.; DING, D.X.; HU, N.; SUN, J.; HE, J. D.; XU, F.; Construction of the *Syngonium podophyllum*-*Pseudomonas* sp. *XNN8* Symbiotic Purification System and Investigation of Its Capability of Remediating Uranium Wastewater; **Environ Sci Pollut Res**; 24 (6); P 5134-5143; 2016;
- DIAS, L. M. M.; Produção de zeólita a partir de cinza volante de carvão mineral para adsorção de metais em chorume gerado no lixão/aterro controlado na região amazônica; **Proposta de Tese de Doutorado apresentada**

**ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, ITEC, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutora em Engenharia de Recursos Naturais; 141 P, 2022**

DI SALVATORE, M., CARAFA, A.M., GARRATÙ, G. Assessment of heavy metals phytotoxicity using seed germination and root elongation tests: A comparison of two growth substrates. **Chemosphere** 73: 1461 – 1464, 2008.

DINU, C.; GHEORGHE, S.; TENA, A. G.; STOICA, C.; VASILE, G. G.; POPESCU, R. L.; SERBAN, E. A.; PASCU, L. F.; Toxic Metals (As, Cd, Ni, Pb) Impact in the Most Common Medicinal Plant (*Mentha piperita*); **Int. J. Environ. Res. Public Health**, 18(8), 3904; 21 páginas; 2021;

DOE - decreto Nº 59.263, DE 5 DE JUNHO DE 2013 (DOE, 2013), **que regulamenta a Lei nº 13.577, de 8 de julho de 2009, dispondo sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá providências correlatas**, publicado em 06/06/2013, página 3, 1 Poder Executivo - Seção I;

DOMINGOS, D. M.; Toxicidade das cinzas volantes geradas pela utilização de madeira tratada com Arseniato de Cobre Cromatado (CCA) como material combustível; **Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Energia e Sustentabilidade da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Energia e Sustentabilidade**. 70 páginas, Araranguá, 2020;

DOMÍNGUEZ J., EDWARDS C. A.; Relationships between composting and vermicomposting. Em Edwards CA, Arancon NQ, Sherman RL (Eds.) Vermiculture Technology: **Earthworms, Organic Waste and Environmental Management**. CRC Press. Boca Raton, FL, EEUU. pp. 1-14, 2010;

dos SANTOS, C. C. A.; Potencial de remoção de cobre do solo por técnica de fitorremediação; **Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Vale do Rio Verde (UninCor) como parte das exigências do programa de Pós-graduação Mestrado Profissional Sustentabilidade em Recursos Hídricos, área de concentração em Recursos Hídricos, para obtenção do título de mestre**; três Corações, MG, 2019;

dos SANTOS, F. S.; SOBRINHO, N. M. B. A.; MAZUR, N.; CARBISU, C.; BARRUTIA, O.; BECERRIL, J. M.; Resposta antioxidante, formação de fitoquelatinas e composição de pigmentos fotoprotetores em *Brachiaria decumbens Stapf* submetida à contaminação com Cd e Zn; **Quim. Nova**, Vol. 34, No. 1, 16-20, 2011;

dos SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; Proposta de Atualização da Quinta Edição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - Ano 2022, **Documentos 233, EMBRAPA solos**, Rio de Janeiro, 1ª edição, versão online, 133 p, 2022;

dos SANTOS, S. C.; VIEIRA, Z. C.; TAVARES, G. S.; MELO, B. X. S.; LIMA, C. S.; Descarte de pilhas e baterias em condomínios residenciais de ARACAJU/SE; **Anais da Semana Nacional de Ciência e Tecnologia (SNCT) - Resumo expandido**; V 1, n1, p 160 - 167, 2021;

DUARTE, L. C.; JUCHEM, P. L.; PULZ, G. M.; BRUM, T. M. M.; CHODUR, N.; LICCARDO, A.; FISCHER, A. C.; ACAUAN, R. B.; Aplicações de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Sistema de Energia Dispersiva (EDS) no Estudo de Gemas: exemplos brasileiros; **Pesquisas em Geociências**, Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre, RS, 30(2): p 3-15, 2003;

DUFFUS, J.; "Heavy metals" a meaningless term?; IUPAC Technical Report - **Pure and Applied Chemistry**. 74; p 793-807, 2002.

EKEKE, C.; ELECHI, A.; OKOLI, B. E.; karyological and anatomical studies On *Syngonium Podophyllum* Schott (Araceae); **Ife Journal of Science** vol. 21, no. 1 p 99 - 107, 2019;

EL-MAHROUK, EL-S. M.; EISA, E. A.-H.; HEGAZI, M. A.; ABDEL-GAYED, M. EL-S.; DEWIR, Y. H.; EL-MAHROUK, M. E.; NAIDOO, Y.; Phytoremediation of Cadmium-, Copper-, and Lead-contaminated Soil by *Salix mucronata* (Synonym *Salix safsaf*); **American Society for Horticultural Science**; v 54, issue 7, 9 p, 2019;

EPA; Environmental protection Agency; **Table of Contents for the Test Methods for Evaluating Solid Waste: Physical/Chemical Methods Compendium (SW-846)**, disponível em <https://www.epa.gov/hw-sw846/table-contents-test-methods-evaluating-solid-waste-physicalchemical-methods-compendium-sw>, atualizado em 29/11/2022, acessado em 01/12/2022;

FERREIRA, J. G. S.; DA SILVA, F. V. V.; de ALMEIDA COSTA, F.; de LIMA SANTOS, I. L. V.; da SILVA, C. R. C.; Envelhecimento e a influência degenerativa dos radicais livres nesse processo. In: **VII Congresso Internacional de Envelhecimento Humano**; Centro de Convenções Raimundo Asfora, Campina Grande, PB; 12 P; 2020;

FONSECA, M. G.; BRASILINO, M. G. A.; Química básica experimental; **Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Departamento de Química**, João Pessoa, 110 páginas, 2007;

GIANELLO, C.; DOMASZAK, S. C.; BORTOLON, L.; KRAY, C. H.; MARTINS, V.; Viabilidade do uso de resíduos da agroindústria coureiro-calçadista no solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 2, p. 242-245, 2011;

GUPTA, D. K.; HUANG, H. G.; CORPAS, F. J. Lead tolerance in plants: strategies for phytoremediation. **Environmental Science and Pollution Research** 20: 2150 – 2161, 2013.

HANSEN, D.; DUDA, P. J.; ZAYED, A.; TERRY, N.; Selenium removal by constructed wetlands: Role of biological volatilization. **Environmental Science and Technology**. 1988; 32:591-597;

HAZARDOUS WASTE TEST METHODS / SW-846; 2022; Disponível em <https://www.epa.gov/hw-sw846>, acessado em 15/10/2022;

HOEHNE, L.; DE CASTRO, C. R.; KUHN, D.; SCHWEIZER, Y. A.; CORDEIRO, S. G.; avaliação do processo de vermicompostagem em solo contendo fármaco cefalexina; **Revista Destaques Acadêmicos; UNIVATES, Lajeado**, v. 11, n. 4, p. 8-17, 2019;

HOSSAIN, M. S.; UDDIN, M. S.; KABIR, M. T.; BEGUM, M. M.; KOUSHAL, P.; HERRERA, O.; In Vitro Screening for Phytochemicals and Antioxidant Activities of *Synгонium podophyllum* L.: An Incredible Therapeutic Plant. **Biomedical and Pharmacology Journal**, v. 10, n. 3, p. 1267–1277, 25,2017;

HUSSAIN, M.; BUKHARI, S. M.; KHAN, F. S.; ADALAT, R.; SALMAM SHAFIQUE, M.; AZAM, S. M.; ALI, A.; KHALID, M.; SHAHID, Z.; JAVED IQBAL, M.; SLAHUDDIN; EHSAN, A.; The impact of cow dung augmentation on soil restoration and bio-accumulation of metals (Lead and Cadmium) in *Pheretima posthuma* (Annelida: Clitellata); **Brazilian Journal of Biology**; 2023, vol. 83, e247562; 7 p; 2021.

HODŽIĆ, E.; GALIJAŠEVIĆ, S.; BALABAN, M.; REKANOVIĆ, S.; MAKIĆ, H.; KUKAVICA, B.; MIHAJLOVIĆ, D.; The protective role of melatonin under heavy metal-induced stress in *Melissa Officinalis* L. *Turk; J Chem.*; 30;45(3):737-748; 2021;

IANNACONE, J., ALVARIÑO, L. Efecto ecotoxicológico de tres metales pesados sobre el crecimiento radicular de cuatro plantas vasculares. **Agricultura Técnica**. 65 (2): 198-203, 2005.

INTERNATION STANDARD ISO 17512 - 1, primeira edição, 11 páginas, 2008, disponível em: <https://www.sis.se/produkter/miljo-och-halsoskydd-sakerhet/jordkvalitet-pedologi/biologiska-egenskaper-hos-jord/iso1751212008/>, acessado em 15/11/2022;

JACOMINI, D.; TEMPONI, L.G.; ALVES, L.F. A.; SILVA, E. A. A.; Extrato de tabaco no controle do besouro cascudinho de aviário; **NOTAS CIENTÍFICAS • Pesq. agropec. bras., Brasília**, v.51, n.5, p.680-683, maio 2016;

JAYAKUMAR, K.; JALEEL, C. A.; Uptake and accumulation of cobalt in plants: a study based on exogenous cobalt in soybean. **Botany Research International**, v. 2, n. 4, p. 310-314, 2009;

JORNAL DA USP; Cientistas buscam alternativa ao cromo VI, metal altamente tóxico; **Ciências ambientais**, publicado em 18/04/2017, disponível em: <https://jornal.usp.br/?p=78123>, acessado em 20/12/2022;

KABATA-PENDIAS, A.; ADRIANO, D.C. Trace metals. In: **REICHCIGL, J. E.** Soil amendments and

environmental quality. p.139-167, 1995.

KALLER, M. O.; AN, J.; Contrast Agent Toxicity; StatPearls [Internet]. **Treasure Island (FL): StatPearls Publishing**; 2022;

KÁTAI, J.; ZSUPOSNÉ, Á. O.; TÁLLAI M.; ALSHAAL, T.; Would fertilization history render the soil microbial communities and their activities more resistant to rainfall fluctuations? **Ecotoxicol Environ Saf.** 2020 Sep 15; 201:110803;

KEMERICH, P. D. C.; BORBA, W. F.; SILVA, R. F.; BARROS, G.; GERHARDT, A. E.; FLORES, C. E. B.; Valores anômalos de metais pesados em solo de cemitério; **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**: v. 7, n. 1, P. 140 - 156; 2012;

KHOROBYKH S, HAVURINNE V, MATTILA H, TYYSTJÄRVI E. Oxygen and ROS in Photosynthesis. **Plants (Basel)** 2020; 9(1):91, 63 P;

KLAASSEN, C. D.; WATKINS III, J. B.; **Fundamentos em toxicologia de Casarett e Doull, AMGH editora LTDA, 2ª edição, 472 páginas, 2012;**

KOWALSKA, J.B.; MAZUREK, R.; GAŚCIOREK, M; ZALESKI, T.; Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination-A review. **Environ Geochem Health.** 2018 Dec; 40 (6): 2395-2420;

KUMAR, A.; KUMAR, A., CABRAL-PINTO M. M. S.; CHATURVEDI, A. K.; SHABNAM, A. A.; SUBRAHMANYAM, G.; MONDAL, R.; GUPTA, D. K.; MALYAN, S. K.; KUMAR, S. S.; KHAN, S. A.; YADAV, K.K.; lead toxicity: health hazards, influence on food chain, and sustainable Remediation Approaches. **Int J Environ Res Public Health.** 2020 Mar 25;17(7):2179;

KUMAR, S.; DWIVEDI, A.; KUMAR R.; PANDEY, A.K.; Preliminary Evaluation of Biological Activities and Phytochemical Analysis of *Syngonium podophyllum* Leaf. **Nacional Acad. Sci. Lett.** 38, 143-146; 2015;

KUMAR, S.; KUMAR, R.; DWIVEDI, A.; PANDEY, A. K.; In Vitro Antioxidant, Antibacterial, and Cytotoxic Activity and In Vivo Effect of *Syngonium podophyllum* and *Eichhornia crassipes* Leaf Extracts on Isoniazid Induced Oxidative Stress and Hepatic Markers; **Hindawi Publishing Corporation; BioMed Research International; Article ID 459452, 11 pages, 2014;**

LEAL, E. F.; MOREIRA, F. M.; CARVALHO, M. A.; AMORIM, L. O.; SANTOS, J. A. G.; SOUZA, L. S.; Fitorremediação de chumbo pelas espécies Vetiver (*Vetiveria zizanioides*L), Feijão de porco (*Canavalia ensiformis* L.), e Singônio (*Syngonium angustatum*); XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Costão do Santinho Resort, Florianópolis, SC, 4 p.; 2013;

LEITE, M.; GUAJAJARA, E. P. V.; SILVA, S.; DA SILVA, W. L.; DOS SANTOS, S. C. Fitorremediação de Solo Contaminado por Metais Pesados. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, ano 2019, v. 12, ed. 2, p. 327-335, 2019;

LEITE, M. S.; identificação e análise dos processos de remediação para hidrocarbonetos e etanol resultantes da contaminação dos postos de combustíveis; **Revista Educação**, Capa, v. 9, n. 2 ESP (2014);

LEPSCH, I. F.; 19 lições de pedologia; **Editores Oficina De textos**, São Paulo, p 10 – 54; 2011;

LI, M.; LIU, Z.; XU, Y.; CUI, Y.; LI, D.; KONG, Z.; Comparative effects of Cd and Pb on biochemical response and DNA damage in the earthworm *Eisenia fetida* (Annelida, Oligochaeta); **Chemosphere**, 74(5), 621-625, 2009;

LIMA, V. F.; MERÇON, F.; Metais Pesados no Ensino de Química; **Revista Química Nova Na Escola** Vol. 33, Nº 4, 7 páginas, novembro 2011;

LINO, J. S.; Desenvolvimento de um índice de sustentabilidade ambiental para análise e classificação de áreas contaminadas; **Tese apresentada como parte dos Requisitos para obtenção do Grau de Doutor em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Materiais**, IPEN, São Paulo, 223 p, 2022;

LOURENÇO, N. M. G.; Manual de vermicompostagem e Vermicultura para a Agricultura orgânica; **Publindústria, Edições Técnicas LTDA.**, Porto, 2014;

LUKKARI, T.; Earthworm Responses to Metal Contamination Tools for Soil Quality Assessment; Dissertação (Mestrado) - Curso de Faculty of Mathematics And Science, University Of Jyväskylä, Jyväskylä, 56 p.; 2004.

LUQUE, S.; BALSAMO, P. J.; SANTOS, V.; IRAZUSTA, S. P.; Possíveis Impactos Da Presença De Microplásticos Em Ambiente Terrestre; **XV simpósio dos programas de mestrado profissional; unidade de pós-graduação, extensão e pesquisa**; P 1079 - 1089, 2020;

MA, T. H.; SPARROW, A. H.; SCHAIRER, L. A.; NAUMAN, A. F.; Efeito do 1,2-dibromoetano (DBE) nos cromossomos meióticos das células-mãe do pólen de *Tradescantia* aos raios-X; 58: **251258**; 1978;

MACHADO, B. R.; Avaliação da toxicidade ambiental do agrotóxico Glifosato em solo utilizando como bioindicador minhocas da espécie *Eisenia andrei*; **Trabalho acadêmico apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenheiro Ambiental e Sanitarista, 64 páginas**, Universidade federal de Pelotas, 2016;

MALIK, A.; BUTT, T. A.; NAQVI, S. T. A.; YOUSAF, S.; QURESHI, M. K.; ZAFAR, M. I.; FAROOQ, G.; NAWAZ, I.; IQBAL, M.; Lead tolerant endophyte *Trametes hirsuta* improved the growth and lead accumulation in the vegetative parts of *Triticum aestivum L.*, **Heliyon**, Volume 6, Issue 7, 2020;

MANTOVANI, A.; Composição química de solos contaminados por cobre: formas, sorção e efeito no desenvolvimento de espécies vegetais; **Tese apresentada como um dos requisitos à obtenção do Grau de Doutor em Ciência do Solo; Universidade federal do Rio Grande do Sul; faculdade de agronomia; programa de pós-graduação em ciência do solo, Porto Alegre**, 178 páginas, 2009;

MARINHO, G. L. L.; CAMADAS DE CONVERSÃO SUBSTITUTAS AO CROMO HEXAVALENTE NA PROTEÇÃO ANTICORROSIVA DO AÇO GALVANIZADO; **Trabalho de Conclusão de Curso, TCC, apresentado ao Curso de Graduação em Tecnologia em Processos Metalúrgicos, da UEZO como requisitos para obtenção do grau de Tecnólogo em Processos Metalúrgicos**, Rio de Janeiro, 68 p, 2018;

MARIÑO, F.; MORGAN, A. J. The time-course of metal (Ca, Cd, Cu, Pb, Zn) accumulation from a contaminated soil by three populations of the earthworm, *Lumbricus rubellus*. **Applied Soil Ecology**, v. 12, n. 2, p. 169–177, 1999;

MARTINS, M. A.; NAKASHIMA, D. P.; MURITIBA, L. G. A.; MACHADO, H.; TEIXEIRA, L. S.; Estudo da viabilidade da utilização de um resíduo sólido como fonte de bário: hortaliças como indicadoras dos limiares de sua toxicidade; **2º Congresso sul-americano de Resíduos sólidos e sustentabilidade; Foz do Iguaçu**, 6 páginas, 2019;

MATIAS, M. I. A. S. Transferência de cobre e zinco para citros em solos do Grupo Barreiras. Tese (doutorado) – Curso de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, 116f., 2011.

MENDES, L. A.; Estudo para utilização de vermicomposto com vistas à remediação de solos contaminados com cromo, cobre e chumbo. **Dissertação apresentada ao Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, para obtenção do título de mestre em Ciências Química Analítica. Universidade de São Paulo**, 111 páginas, 2012;

MENDES, M. P.; DUARTE, M. N.; RODRIGUES, W. C.; Levantamento de insetos com potencial bioindicador de qualidade ambiental em fragmento de floresta Atlântica no estado do Rio de Janeiro. **Entomology Beginners**, 1, e001-e001. 4 páginas, 2020;

MENDONÇA, C. C. S.; RODRIGUES, A. F.; COLOMBO, D. R. S.; SANTIAGO, M. R.; BADARÓ-PEDROSO, C.; Sensibilidade de metodologias alternativas de ensaios de ecotoxicidade aguda ao sulfato de cobre; **I Encontro Latino Americano de Peixes de Cultivo – ELAPC**, 24 a 26 de maio de 2022, São José do Rio Preto - SP, 3 páginas.

MESTRE, L. A. C.; IRAZUSTA, S. P.; ALMEIDA, L. S.; DEGASPERI, F. T.; Liophilization as a tool for analytic determinations in biological organisms used as bioindicators; **XLIII Congresso Brasileiro de Aplicações**

de Vácuo na indústria e na Ciência; De 8 - 12 agosto de 2022; Sorocaba, SP; 1 página, 2022;

MIRZA, N.; MAHMOOD, Q.; MAROOF, S.M., PERVEZ, A.; SULTAN, S. Plants as Useful Vectors to Reduce Environmental Toxic Arsenic Content. **The Scientific World Journal**, Article ID 921581, 11 P, 2014.

MONDELLI, G.; GIACHETI, H. L.; HAMADA, J.; Avaliação da contaminação no entorno de um aterro de resíduos sólidos urbanos com base em resultados de poços de monitoramento; **Eng. Sanit. Ambient.** 21 (01), 14 P; Mar 2016;

MONTEIRO, M. I. C.; FRAGA, I. C. S.; YALLOUZ, A. V.; OLIVEIRA, N. M. M.; RIBEIRO, S. H.; Determination of total chromium traces in tannery effluents by electrothermal atomic absorption spectrometry, flame atomic absorption spectrometry and UV-visible spectrophotometric methods; **Talanta**, Volume 58, Issue 4, Pages 629-633, 2002;

MOREIRA, F. R.; MOREIRA, J. C.; Os efeitos do chumbo sobre o organismo humano e seu significado para a saúde. **Rev Panam Salud Publica.** 2004;15(2):119-29;

MOREIRA, R. P.; Síntese de nanopartículas de molibdatos e tungstatos de bários dopados com íons terras raras para aplicação em LED's; **Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências, na área de tecnologia nuclear - materiais, IPEN, SP**, 134 páginas, 2021;

MORGAN, J. E., MORGAN A. J.; Earthworms as biological monitors of cadmium, copper, lead and zinc in metalliferous soils. **Environ. Pollut.** 54: 123-138, 1988;

MORITA, A. K. M.; MORENO, F. N.; Fitorremediação aplicada a áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos; **Eng Sanit Ambient**, v.27 n.2, p 377-384, 2022;

MOURA, M. J. A.; Métodos de aplicação de níquel e seus efeitos sobre as características agrônômicas e teor de proteína da soja; **Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do solo).** 42 P, 2021;

MOURO, V. G. S.; Ação antioxidante do açaí (*Euterpe oleracea* MART.) frente ao estresse oxidativo induzido pelo cádmio no testículo de camundongos adultos; **Tese (Doutorado em Biologia Celular e Estrutural) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG;** 120 f., 2018;

MUSSAK, J.; Toxicidade crônica de solos contaminados por cinzas de fornos termoelétricos em *Eisenia foetida* (*savigny, 1826*) (minhoca vermelha-da-califórnia); **Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de Bacharel no Curso de Ciências Biológicas da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, Criciúma, SC,** 2014;

MUTHUKARUPPAN, G.; Heavy metal induced biomolecule and genotoxic changes in *earthworm Eisenia fetida*; **Invertebrate Survival Journal;** 12(12):237-245; 2015;

NAIME, U. J.; SANTOS, H. G.; Identificação Automática de Horizontes Diagnósticos Superficiais e Horizonte B Textural de Solos; **EMBRAPA SOLOS, Comunicado n° 30, 1ª impressão,** 3 páginas, 2005;

NADARAJAH, K.K.; ROS Homeostasis in Abiotic Stress Tolerance in Plants. **Int J Mol Sci.** 2020 Jul 23;21(15):5208;

NAZ, R.; KHAN, M. S.; HAFEEZ, A.; FAZIL, M.; KHAN, M. N.; ALI, B.; JAVED, M. A.; IMRAN, M.; SHATI, A. A.; ALFAIFI, M. Y.; ELBEHAIRI, S. E. I. AHMED, A. E.; Assessment of phytoremediation potential of native plant species naturally growing in a heavy metal-polluted industrial soils; **Brazilian Journal of Biology**, 2024, vol. 84, 13 P, 2022;

NEGRÃO, L. M. V.; A FITORREMEDIAÇÃO E SEUS MECANISMOS EM PLANTAS SUBMETIDAS À METAIS PESADOS: UMA REVISÃO DE LITERATURA; **Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal Rural da Amazônia como parte das exigências do Curso de Graduação em Engenharia Florestal para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Florestal. Área de Concentração: Fisiologia Vegetal,** 43 P, 2022;

- NEUFELD, A. B.; Bioacumulação de metais pesados em *Sargassum*: influência na distribuição e aptidão de anfípodas herbívoros; **Dissertação apresentada ao Instituto de Biologia da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de mestra em Biologia Animal na área de Biodiversidade Animal**; 56 P, 2015.
- NORDBERG, G. F.; BERNARD, A.; DIAMOND, G. L.; DUFFUS, J. H.; ILING, P.; NORDBERG, M.; BERGDAHL, I. A.; JIN, T.; SKERFVING, S.; Risk assessment of effects of cadmium on human health (IUPAC Technical Report); **Journal Pure and Applied Chemistry**; 90, p. 755-808; 2018;
- NOVOTNY; E. H.; BALIEIRO, F. C.; AUCCAISE, R.; BENITES, V. M.; COUTINHO, H. L. C.; Spectroscopic Investigation on the Effects of Biochar and Soluble Phosphorus on Grass Clipping Vermicomposting; **Agriculture**, 12P; (7), 1011; 2022;
- NUNES, R. M. A.; Fundição de precisão utilizando cinza volante de termoelétrica para a produção de peças de zinco com geometria complexa; **Trabalho de conclusão de curso apresentada ao Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Metalúrgica**; 41 P; 2021;
- NÚÑEZ, J. E. V.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; PALMIERI, F.; MESQUITA, A. A.; Conseqüências de diferentes sistemas de preparo do solo sobre a contaminação do solo, sedimentos e água por metais pesados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 4, p. 981–990, dez. 1999;
- OLIVEIRA, R. B.; Estudo de bioacumulação de Cd, Pb e mistura de ambos pela *Eisenia andrei* e de homeostase metálica; **Trabalho apresentado como requisito para a obtenção do título de Bacharel pelo Programa de Graduação em Química do Departamento de Química, PUC RJ**, 43p, 2019;
- OLIVEIRA, T. C. R.; Fitorremediação de solos contaminados com metais pesados utilizando culturas energéticas; **Dissertação de Mestrado, Integrado em Engenharia Biológica; Ramo Tecnologia do Ambiente, Escola de Engenharia**, Universidade do Minho, Portugal, 106 páginas, 2022;
- ORRE, S. E.; PONTES, C. C.; Chronic Kidney Disease and Exposure to Nephrotoxic Metals; **Int. J. Mol. Sci.**, 18, 1039, 35p; 2017;
- PASQUOTO, C. G.; Estudo das interações de bário, chumbo e zinco com solos de áreas urbanas do estado de São Paulo; **Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências**, São Paulo, 85 páginas, 2020;
- PATNAIK, S.; REDDY, M. V.; Heavy metals remediation from urban wastes using three species of earthworm (*Eudrilus eugeniae*, *Eisenia foetida* and *Perionyx excavatus*); **Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology**, Vol. 3(14), p. 345-356, 2011;
- PEREIRA, A. R.; Espécies de plantas nativas brasileiras com potencial de fitorremediação de metais: uma revisão de literatura; **Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel, em Engenharia Ambiental**. 39 páginas, 2022;
- PEREIRA, J. E.; Minhocas: manual prático sobre minhocultura; **Editora Nobel, São Paulo**, 69 páginas, 1997;
- PEREIRA, G.S.; GONÇALVES, J.A.C.; Avaliação do processo de implantação de uma estação de tratamento de água residencial turística: estudo de caso do Clube Náutico Alvorada - Caratinga/MG. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, [S. l.], v. 9, n. 7, pág. e92973725, 2020;
- PERES, F.(org.); É veneno ou é remédio? Agrotóxicos, saúde e ambiente; **Editora FIOCRUZ**, 384 páginas, 2003;
- PIACENTINI, D.; RONZAN, M.; FATTORINI, L.; DELLA ROVERE, F.; MASSIMI, L.; ALTAMURA, M. M.; FALASCA, G.; Nitric oxide alleviates cadmium- but not arsenic-induced damages in rice roots. **Plant Physiol Biochem**; 151:729-742, 2020;

PINHEIRO JUNIOR, C. R.; PEREIRA, M. G.; SILVA NETO, E. C.; ANJOS, L. H. C.; FONTANA, A.; Ciências Exatas e da Terra: Conhecimentos Estratégicos para o Desenvolvimento do País; cap. 15 - Solos do Brasil: gênese, classificação e limitações ao uso; Editora Atena, Ponta Grossa, PR, p. 183-199, 2020;

PINTO, N. DA M. M.; BRUNA, G.C.; Formação do passivo industrial no solo de São Paulo; **XII Seminário Internacional de Investigação em Urbanismo. São Paulo-Lisboa, 2020.** Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa, 2020, DOI 10.5821 / siiu.9750;

PRABAKARAN, K.; LI, J.; ANANDKUMAR, A; LENG, Z.; ZOU, C. B.; DU. D.; Managing environmental contamination through phytoremediation by invasive plants: A review. **Ecological Engineering.** 2019 Nov 1; 138:28-37;

PRESTES, R. M.; VINCENZI, K. L.; Bioindicadores como avaliação de impacto ambiental; **Braz. J. Anim. Environ. Res.**, Curitiba, v. 2, n. 4, p. 1473-1493, 2019;

PREUSSLER, K. H.; Avaliação de um sistema de wetlands no tratamento de lixiviado de aterro; **Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil**, 119 P, 2014;

RAI, P.K.; LEE, S.S.; ZHANG M.; TSANG Y.F.; KIM, K.H.; Heavy metals in food crops: Health risks, fate, mechanisms, and management. **Environ Int.** 2019 Apr; 125:365-385;

RASO, C. C. M.; Estudo da remediação eletrocinética de cromo em solo contaminado por processos galvânicos; **Tese apresentada como requisito parcial a obtenção do grau de Doutorado em Engenharia Mecânica, área de Concentração Engenharia de Superfície, no programa de Pós Graduação em Engenharia mecânica, setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná**, 105 P, 2017;

REILLY, A.; REILLY, C. Zinc, lead and copper tolerance in the grass *Stereochlaena cameronii* (Stapf) Clayton. **New Phytologist**, New York, v.72, n.4, p.1041-1046, 1973;

REUBEN A.; Childhood Lead Exposure and Adult Neurodegenerative Disease. **J Alzheimers Dis.** 2018; 64(1):17-42;

RIBEIRO, R.; HOEHNE, L.; CARLESSO, W. M.; ETHUR, E. M.; STÜLP, S.; A absorção de cobre por minhocas da espécie *Eisenia andrei* em solos e húmus contaminados; **revista destaques acadêmicos**, VOL. 4, N. 4, CETEC/UNIVATES, P 31 - 39, 2012;

RIBEIRO, T, S.; ÖSTERREICHER-CUNHA, P.; SILVA, L. A. P.; Avaliação do Potencial de Biorremediação de Solos Contaminados: Método de Hidrólise de Diacetato de Fluoresceína (FDA) como Indicador de Atividade Microbiana; **Revista Interdisciplinar da Universidade Veiga de Almeida**; P 105 - 120, RJ, 2015;

ROCHA, G. C.; de MACEDO, J. A. B.; Contaminação de solos: características e impactos; **Ed UFJF**, 1 edição, 140 p, 2014;

RODRIGUES, A. C. D.; SANTOS, A; M.; SANTOS, F. S.; PEREIRA, A. C. C.; SOBRINHO, N. M. B. A.; Mecanismos de Respostas das Plantas à Poluição por Metais Pesados: Possibilidade de Uso de Macrófitas para Remediação de Ambientes Aquáticos Contaminados; **Rev. Virtual Quim.**, 8 (1), 262-276, 2016;

RODRIGUES, M. A.; SILVA, P. P.; GUERRA, W.; Cobre; **Química Nova na Escola** Vol. 34, Nº 3, P. 161-162, Agosto 2012;

ROMANOSKI, D. L.; GUMBOSKI, E. L.; Líquens enquanto bioindicadores da qualidade ambiental; **XIV Encontro Nacional de pós-graduação e pesquisa em geografia, Revista Thema**, v.19 n.2, p 356-366; 2021;

RUSSELL, J. B.; Química geral, volume 1, **Ed. Pearson University**, 2ª edição, 822 páginas, 1994;

SAKAKIBARA, J.; Análise físico química do húmus obtido por vermicompostagem em diferentes alimentações da espécie *Eisenia andrei*; **Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química, do Departamento de Engenharia Química, da**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2021;

SALES JUNIOR, S. F.; Avaliação Ecotoxicológica de Lixiviado de Aterro de Resíduos Sólidos Utilizando Minhocas da Espécie *Eisenia andrei*: Estresse Oxidativo, Citotoxicidade e Genotoxicidade; **Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saúde Pública e Meio Ambiente, da Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, na Fundação Oswaldo Cruz, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências.** Subárea de concentração: Toxicologia Ambiental; 108 P, 2019;

SAMPAIO, E.; Mineralogia do solo; **MED - publicações de carácter pedagógico; Instituto Mediterrâneo para Agricultura, Ambiente e Desenvolvimento; Departamento de Geociências, Universidade de Évora, Portugal, 2011;**

SANTANA, N. A.; Fitorremediação do cobre em vinhedos: efeito do fungo micorrízico arbuscular, minhocas e vermicomposto; **Tese apresentada ao Programa de pós-graduação em Ciência do solo, área de concentração em Biodinâmica e manejo do solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, 126 páginas, 2018;**

SANTOS, H. G. dos; CAMARGO, M. N.; LARACH, J. O I.; JACOMINE, P. K. T.; CARVALHO, A. P.; Definição e Notação de Horizontes e Camadas do Solo; **EMBRAPA; Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Documentos SNLCS n°3, 34 páginas, 1983, Rio de Janeiro, RJ;**

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; LUMBRERAS, J. F.; OLIVEIRA, J. B. de; OLIVEIRA, V. A. de; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F. DA; Proposta de atualização da segunda edição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos: ano 2012; **Embrapa Solos. Documentos, 140, 59 páginas, 2012 e atualizado em 2016;**

SANTOS, M. R.; Avaliação da eficiência dos carvões ativados produzidos a partir da casca da banana nanica (*Musa paradisiaca*) na biossorção de íons chumbo em água; **Dissertação apresentada, como exigência para obtenção do título de mestre em agroquímica no programa de pós-graduação em agroquímica do instituto federal de educação, ciência e tecnologia goiano – campus Rio Verde – agroquímica / química ambiental; Rio Verde - GO; 65 páginas; março – 2020;**

SANTOS, V. M.; Caracterização dos sedimentos do arroio dilúvio e avaliação do potencial de fitorremediação por plantas espontâneas do sistema para a carga de elementos potencialmente tóxicos; **Dissertação apresentada como um dos requisitos à obtenção do grau de mestre em ciência do solo; Universidade federal do Rio Grande do Sul; Faculdade de agronomia; Programa de pós-graduação em ciência do solo; Porto Alegre, RS; 77 páginas, 2019;**

SANTOS NETO, J. V.; LIMA, L. C.; CARDOSO, A. F.; LANA, R. M. Q.; TORRES, J. L. R. Micronutrientes na cultura da soja em sistema plantio direto em solos do cerrado sob condições adversas. **Scientific Electronic Archives**, v. 11, n. 5, p. 33-39, 2018;

SCHIEDECK, G.; STRASSBURGER, K. F. S.; SILVEIRA, E. F.; HOLZ, F. P.; Alimentação de Minhocas: teste de aceitação do alimento; **Comunicado Interno 236, EMBRAPA ISSN 1806-9185, Pelotas, RS, dezembro de 2010, 8 páginas;**

SCHÜTZENDÜBEL, A.; POLLE, A.; Plant responses to abiotic stresses: heavy metal-induced oxidative stress and protection by mycorrhization; **Journal of Experimental Botany**, Volume 53, Issue 372, 15, Pages 1351–1365, 2002;

SHRISVASTAVA, R.; UPRETI, R. K.; SETH, P. K.; CHATURVEDI, U. C.; Effects of chromium on the immune system. **FEMS Immunology and Medical Microbiology**, v. 34, n. 1, p.1-7, 2002;

SIERRA, B. E. G.; GUERREIRO, J. M.; SOLOLSKI, S.; Phytoremediation of Heavy Metals in Tropical Soils an Overview; **Sustainability**, 13, 2574, 24 p, 2021;

SILVA, M. S.; DE SOUZA, H. B. F.; BRITO BISPO, J. B.; GÓES, N. H.; RODRIGUES, T. C.; CERQUEIRA, L. R. S.; SANTANA, A. N.; DIAS, I. A.; Desafios e Estratégias da Fitorremediação no Meio Ambiente;

Pesquisas Agrárias e Ambientais, volume III, Capítulo 1, Organizadores Zuffo, A. M.; Aguilera, J. G. – Nova Xavantina, MT: **Editora Pantanal**, p.6 - 17; 2021;

SILVA, T. J.; HANSTED, F.; TONELLO, P. S.; GOVEIA, D.; Fitorremediação de Solos Contaminados com Metais: Panorama Atual e Perspectivas de uso de Espécies Florestais; **Rev. Virtual Quim.**, 11 (1), 18-34, 2019.

SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R.; Fundamentos de Química Analítica, 9ª edição, **Cengage Learning editora**, 1090 páginas, 2015;

SLEIMI, N.; KOUKI, R.; AMMAR, M. H.; FERREIRA, R.; CLEMENTE, R. P.; Barium effect on germination, plant growth, and antioxidant enzymes in *Cucumis sativus L.* plants; **Food science & nutrition**; V 9; Issu 4, P 2086 - 2094; 2021;

SOUSA, G. M. C.; RAMOS, R. A.; SALVIANO, A. M.; MOREIRA, M. B.; **O desfazimento de equipamentos de tecnologia da informação e suas possíveis implicações à saúde**; São Paulo, **Editora Dialética (e-book)**, 1ª edição, 128 páginas, 2021;

SOUSA, G. V.; Mecanismos de tolerância e alterações metabólicas em plantas de linhaça dourada (*linum usitatissimum l.*) expostas e co-expostas a arsênio e selênio; **Tese apresentada ao Departamento de Química do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Ciências - Química**, Belo Horizonte, MG, 128 f.; 2020;

SOUZA, C. G.; FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (EDS.). **Manual técnico de pedologia**. Rio de Janeiro: **IBGE**, p 1 -10; 1995;

SOUZA, N. U.; VICAKAS, O. M.; ANICETO, A. P. P.; NEGRÃO, G. N.; Potencial fitorremediador da *Syngonium podophyllum* sob os efeitos de Chumbo no solo; **Anais do IV CONSEAAG – XIV Semana Acadêmica de Geografia – XXII Semana Acadêmica de Ciências Biológicas – I Colóquio de Pós-Graduação do SEAA**; UNICENTRO, Guarapuava – Paraná – Brasil 8 páginas, 2018;

SPOSITO, G. The chemistry of soils. **New York: Oxford University Press**, 1989. 277p.;

STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P.; Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 1301–1309, dez. 2013;

STEFFEN, G. P. K.; STEFFEN, R. B.; ANTONIOLLI, Z. I. CONTAMINAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA PELO USO DE AGROTÓXICOS. **Tecno-Lógica**, v. 15, n. 1, p. 15–21, 21 jan. 2011;

SUPELCO, Ficha de informação de segurança de produto químico, produzida pela **Sigma Aldrich, versão 8.7, em 17 de julho de 2021**, disponível em [https://www.merckmillipore.com/BR/pt/product/msds/MDA\\_CHEM-102004?Origin=PDP](https://www.merckmillipore.com/BR/pt/product/msds/MDA_CHEM-102004?Origin=PDP), acessado em 15/10/2022;

ŚWIĄTEK, Z. M.; BEDNARSKA, A. J.; Energy reserves and respiration rate in the earthworm *Eisenia andrei* after exposure to zinc in nanoparticle or ionic form; **Environmental Science and Pollution Research**, 26; p.24933–24945, 2019)

TAVARES<sup>1</sup>, A. C. L. B. Leveduras como bioindicadores de cádmio no solo. **Dissertação (mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo**. Piracicaba, p. 93. 2013;

TAVARES<sup>2</sup>, S. R. DE L.; Remediação de solos e águas contaminadas por metais pesados: Conceitos básicos e fundamentos; **EMBRAPA SOLOS**; Rio de Janeiro, RJ, 1ª edição, 147 páginas, 2013;

TCHOUNWOU, P. B.; YEDJOU, C. G.; PATLOLLA, A. K.; SUTTON, D. J.; Heavy Metal Toxicity and the Environment; **Experientia supplementum**, vol. 101, pp. 133-164, 2012;

TIODAR, E. D.; VÁCAR, C. L.; PODAR, D.; Phytoremediation and Microorganisms-Assisted Phytoremediation of Mercury-Contaminated Soils: Challenges and Perspectives; **Int. J. Environ. Res. Public Health**, 18(5), 2435, 37 páginas, 2021;

TOKUHO, M. Y.; Uso de *Brassica juncea* (L.) Czern, *Helianthus annuus* L. e *Mimosa bimucronata* (DC.) O. Kuntze na fitorremediação de solos contaminados com Chumbo e Níquel; **Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito à obtenção do título de Engenheira Ambiental pela coordenação de Engenharia Ambiental do Campus Campo Mourão da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)**, 36 f.; 2019;

TOMITA, L. K.; Caracterização fitoquímica e ensaios biológicos de *Syngonium podophyllum*; **Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Farmácia Bioquímica da Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Araraquara, da Universidade Estadual Paulista para obtenção do grau de Farmacêutico Bioquímico**. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”; Faculdade de Ciências Farmacêuticas; Araraquara – SP; 2014;

TOREM, M. L.; CUNHA, F. O; CASQUEIRA, R.G. Remoção de metais tóxicos e pesados por eletroflotação. **Saneamento Ambiental**, v. 85, p. 46-51, 2002.

TRUMBORE, S.; CAMARGO, P. B.; Dinâmica do Carbono do Solo; **Amazonia and Global Change; Geophysical Monograph Series** 186; 2009 by the American Geophysical Union., P 1 - 16;

UCHOA E. M. G. S.; Césio 137: Revisão Integrativa do biomonitoramento genético de pessoas expostas à radiação ionizante no acidente radiológico de Goiânia, no período de 1988 a 2021; **Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação Mestrado em Genética - MGene, Pontifícia Universidade Católica de Goiás – PUC Goiás, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Genética**, 91 P; 2021;

USMAN, K., ABU-DIEYEH, M.H., ZOUARI, N., AL-GHOUTI, M. A.; Lead (Pb) bioaccumulation and antioxidative responses in *Tetraena qataranse* **Rep** 10, 17070, 2020;

VALENTIM, L. S. O.; Requalificação urbana, contaminação do solo e riscos à saúde: Um caso na cidade de São Paulo; **Editora Annablume FAPESP**, p 15 – 43.; 2007;

VASCONCELLOS, M. C.; PAGLIUSO, D.; SOTOMAIOR, V. S.; Fitorremediação: Uma proposta de descontaminação do solo; **Estud. Biol., Ambiente Divers.**, 34(83), 261-267; 2012;

VÁSQUEZ-LUNA, D.; CUEVAS-DIAZ, M. C.; Soil contamination and alternatives for sustainable development; **Editora IntechOpen**; 139 páginas, 2019;

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 743–755, ago. 2009;

VEZZONE, M.; CESAR, R. G.; POLIVANOV, H.; SERRANO, A. F.; NASCIMENTO, M. T.; SIQUEIRA, D. M.; RODRIGUES, A. P. C.; MONTE, C.; CASTILHOS, Z. C.; CAMPOS, T. M. P.; Influência da Salinidade na Toxicidade de Sedimentos Dragados da Lagoa Rodrigo de Freitas e Baía de Guanabara (RJ): Efeitos Tóxicos em Minhocas; **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**; Vol. 42 - 4 / 2019, p. 07-17;

VIEIRA, T. R.; RESPIRAÇÃO BASAL E INDUZIDA PELO SUBSTRATO DE SOLOS CONTAMINADOS COM ARSENIATO DE COBRE CROMATADO (CCA); **Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito para obtenção do grau de Engenheira Ambiental e Sanitarista**, 40 P, 2023;

YUE, Z.; DING DEXIN, D.; GUANGYUE, L.; HAITAO, Y.; KAIGE, Z.; NAN, H.; HUI, Z.; ZHONGRAN, D.; JIANHONG, M.; FENG, L.; JING, S.; YONGDONG, W.; Enhanced effects and mechanisms of *Syngonium podophyllum*-*Peperomia tetraphylla* co-planting on phytoremediation of low concentration uranium-bearing wastewater, *Chemosphere*, Volume 279, 9 p; 2021;

WANG, T.; ZHANG, J.; XU, Y.; Epigenetic Basis of Lead-Induced Neurological Disorders; **Int. J. Environ. Res. Public Health**, 17 (13), 4878, 23 p, 2020;

WILLIS, A.W.; EVANOFF, B.A.; LIAN, M.; GALARZA, A.; WEGRZYN, A.; SCHOOTMAN, M.; RACETTE, B.A.; Metal emissions and urban incident Parkinson disease: a community health study of Medicare beneficiaries by using geographic information systems. **Am J Epidemiol.** 2010 Dec 15;172(12):1357-63;

ZUMEL-MARNE, A.; CASTANO-VINYALS, G.; KUNDI, M.; ALGUACIL, J.; CARDIS, E.; Environmental Factors and the Risk of Brain Tumours in Young People: A Systematic Review. **Neuroepidemiology**. 2019;53(3-4):121-141;

ŽALTAUSKAITĖ, J.; SODIENĖ, I. Effects of total cadmium and lead concentrations in soil on the growth, reproduction and survival of earthworm *Eisenia fetida*. **Ekologija**, v. 56, n. 1, p. 10–16, 2010.

## APÊNDICE I

Tabela I – Tamanho, em cm da Singônio (Orelha de Burro), período inicial.

Planta	Raiz	Caule	Folha
1	18,6	15,0	13,5
2	20,4	12,5	9,9
3	18,1	14,6	10,0
4	13,5	11,5	12,1
5	15,2	15,1	11,5
6	25,1	9,5	9,1
7	25,5	18,2	11,2
8	10,2	14,3	9,5
9	22,1	17,1	9,5
10	16,2	13,5	12,0
11	21,1	17,1	10,5
12	13,8	15,9	8,2
13	8,2	13,1	10,1
14	30,3	35,3	10,0
15	28,7	19,9	14,2
16	13,2	19,5	13,1
17	32,3	14,2	11,3
18	18,0	12,1	11,0
19	15,1	21,0	11,5
20	25,2	18,1	9,1

Fonte: Autora, 2023.

## APÊNDICE II

Tabela II: Massa dos anelídeos, em gramas no período inicial.

25% (1)	25% (2)	25% (3)	50% (4)	50% (5)	50% (6)	75% (7)	75% (8)	75% (9)	Controle
0,15	0,17	0,14	0,18	0,18	0,17	0,17	0,15	0,18	0,15
0,17	0,19	0,16	0,18	0,19	0,17	0,19	0,15	0,19	0,18
0,17	0,2	0,18	0,21	0,2	0,2	0,19	0,18	0,19	0,21
0,19	0,21	0,21	0,25	0,21	0,21	0,2	0,19	0,21	0,22
0,19	0,23	0,22	0,25	0,22	0,22	0,21	0,2	0,22	0,23
0,21	0,24	0,22	0,26	0,23	0,23	0,23	0,21	0,23	0,24
0,22	0,24	0,23	0,27	0,24	0,25	0,24	0,22	0,25	0,25
0,23	0,25	0,24	0,27	0,25	0,25	0,25	0,22	0,27	0,24
0,24	0,27	0,26	0,28	0,26	0,26	0,28	0,24	0,3	0,29
0,28	0,28	0,28	0,35	0,29	0,29	0,29	0,23	0,28	0,26
0,205	0,228	0,214	0,25	0,227	0,225	0,225	0,199	0,232	0,227
0,036946	0,033407	0,04128	0,048166	0,032265	0,036946	0,038013	0,029816	0,039446	0,037961

Fonte: Autora, 2023.

Na tabela II, o valor descrito em azul é a média de cada uma das caixas de amostras correspondentes, Em vermelho, o desvio padrão. Os valores de 25%, 50% e 75% correspondem à quantidade de solo contaminado inserido em cada caixa de amostra enumerada. Os mesmos dados valem para as tabelas III e IV.

Tabela III: Massa dos anelídeos, em gramas, após 7 dias.

25% (1)	25% (2)	25% (3)	50% (4)	50% (5)	50% (6)	75% (7)	75% (8)	75% (9)	Controle
0,12	0,13	0,13	0,12	0,15	0,14	0,15	0,16	0,13	0,21
0,18	0,09	0,17	0,33	0,19	0,11	0,11	0,19	0,15	0,15
0,19	0,17	0,17	0,19	0,2	0,14	0,16	0,1	0,19	0,21
0,17	0,16	0,16	0,25	0,18	0,15	0,25	0,14	0,19	0,17
0,15	0,21	0,21	0,17	0,19	0,2	0,18	0,16	0,19	0,15
0,25	0,17	0,23	0,18	0,11	0,18	0,12	0,19	0,19	0,17
0,14	0,28	0,28	0,24	0,19	0,27	0,17	0,08	0,2	0,23
0,05	0,23	0,09	0,2	0,12	0,21	0,17	0,17	0,22	0,23
0,24	0,09	0,09	0,22	0,23	0,11	0,17	0,09	0,24	0,26
0,21	0,14	0,14	0,21	0,22	0,15	0,21	0,12	0,25	0,29
0,17	0,167	0,167	0,211	0,178	0,166	0,169	0,14	0,195	0,207
0,059255	0,060194	0,060194	0,055867	0,039665	0,04971	0,040401	0,040552	0,036591	0,047152

Fonte: Autora, 2023.

Tabela IV – Massa dos anelídeos, em gramas, após 14 dias de análise.

25% (1)	25% (2)	25% (3)	50% (4)	50% (5)	50% (6)	75% (7)	75% (8)	75% (9)	Controle
0,09	0,07	0,16	0,15	0,06	0,04	0,15	0,13	0,05	0,15
0,16	0,21	0,13	0,15	0,17	0,15	0,15	0,13	0,09	0,19
0,17	0,16	0,14	0,17	0,13	0,15	0,14	0,13	0,1	0,15
0,13	0,09	0,14	0,14	0,11	0,04	0,14	0,16	0,1	0,21
0,18	0,18	0,12	0,18	0,15	0,13	0,2	0,13	0,14	0,21
0,15	0,19	0,18	0,19	0,14	0,22	0,11	0,08	0,15	0,15
0,19	0,17	0,14	0,16	0,14	0,17	0,08	0,1	0,16	0,17
0,09	0,15	0,1	0,26	0,08	0,13	0,11	0,14	0,16	0,24
0,21	0,09	0,12	0,1	0,12	0,15	0,19	0,05	0,17	0,19
0,17	0,13	0,11	0,14	0,15	0,16	0,12	0,07	0,17	0,22
0,154	0,144	0,134	0,164	0,125	0,134	0,139	0,112	0,129	0,188
0,040056	0,047422	0,023664	0,041952	0,033747	0,055618	0,036652	0,035214	0,041218	0,032249

Fonte: Autora, 2023.

Tabela V – Porcentagem de metais encontrados nos anelídeos, após período analisado (exceto Pd).

C - Cd	C - Cu	C - Fe	25% - Cd	25% - Cu	25% - Fe	50% - Cd	50% - Cu	50% - Fe	75% - Cd	75% - Cu	75% - Fe
0,424033	59,03374	40,11819	0,160942	74,03631	19,91162	17,12897	30,30038	34,47755	0,313568	0,313568	99,05929
0,127983	36,64134	63,1027	0,005826	89,7572	10,23115	46,10789	0,16752	53,55708	0,518987	0,518987	98,44304
0,143198	21,37322	78,34038	50,36573	29,75779	13,73711	51,99028	13,05414	0,037779	0,169077	0,169077	99,49277
0,048854	91,55326	8,349029	0,204797	65,9757	33,61471	53,62602	0,074678	46,22462	0,127593	0,127593	99,61722
0,135942	99,59217	0,135942	15,99162	11,43462	72,47432	0,402885	98,79134	0,402885			
0,07094	80,81426	19,04386	58,45962	0,445204	0,067071	1,155511	1,155511	96,53347			
0,037921	99,88624	0,037921				0,121927	57,85859	41,89755			
						1,463895	1,463895	95,60832			
						65,41345	0,058508	14,12362			
						48,70541	20,80594	16,16036			
						0,143044	99,57087	0,143044			
0,141267	69,84203	29,87543	20,86476	45,23447	25,006	26,02357	29,39103	36,28784	0,282306	0,282306	99,15308
0,131866	31,48498	31,39331	26,82538	36,41443	25,77029	26,83915	38,7872	35,19201	0,176779	0,176779	0,530336

Fonte: Autora, 2023.

A tabela V apresenta as leituras da porcentagem de metais presentes nas amostras de anelídeo, com exceção para o Paládio que não era um metal do local contaminado. Os dados descritos em azul são as médias para cada uma das colunas apresentadas e em vermelho o cálculo de desvio padrão.

## ANEXO I

Chamadas de reportagens sobre o Caso da falida indústria.

1)

# Caso Saturnia: veja o passo a passo do inquérito aberto pelo MP e arquivado oito anos depois

Denúncia foi arquivada sem o documento mais importante: um relatório sobre as condições de segurança e trabalho na antiga fábrica de baterias, localizada em Sorocaba.

Por Daniela Golfieri, Malu Martins e Wilson Gonçalves Jr., TV TEM

04/12/2018 19h54 · Atualizado há 4 anos



Link de acesso: <https://g1.globo.com/sp/sorocaba-jundiai/noticia/2018/12/04/caso-saturnia-veja-o-passo-a-passo-do-inquerito-aberto-pelo-mp-e-arquivado-oito-anos-depois.ghtml>

2)

## Comitê de estudos da área contaminada Satúrnia teve sua primeira reunião

Por: Mariana Campos - macampos@sorocaba.sp.gov.br quinta-feira, 7 de novembro de 2019 - 17h17

O Comitê de estudos referentes à área da antiga empresa Satúrnia – Sistemas de Energia realizou sua primeira reunião nesta quinta-feira (7) no Ciesp Sorocaba (Centro das Indústrias do Estado de São Paulo). O objetivo foi de reunir representantes do poder público e da sociedade civil a fim de achar a melhor solução a curto, médio e longo prazo para a área da Satúrnia, antiga fábrica de baterias automotivas, localizada no bairro Iporanga, que está contaminada por chumbo e outros metais, e garantir segurança e qualidade de vida à população.

O diretor do Ciesp Sorocaba, Eryl Syllós, deu as boas-vindas a todos. “Este é um fórum bastante adequado para todos juntos buscarmos caminhos para resolver essa questão, que é de grande importância para a nossa cidade”, ressaltou. Já o secretário do Meio Ambiente, Parques e Jardins, Maurício Tavares da Mota, que preside o comitê, agradeceu Eryl por acolhê-los e falou da importância da interlocução do Ciesp nesta questão.

“A primeira medida que temos que tomar será para impedir que as pessoas façam garimpo na área. Foram feitas escavações no terreno, que deixaram o material exposto, facilitando a ação de garimpo, que causa principalmente risco à vida dessas pessoas”, destacou. O material recolhido, sem nenhum equipamento de segurança, é utilizado para comercialização de cobre e da “escória”. Em razão disso, por determinação da prefeita Jaqueline Coutinho, a Patrulha Ambiental da Guarda Civil Municipal (GCM) está realizando, desde setembro deste ano, blitzes fiscalizatórias no local para evitar que essas pessoas se contaminem com o material depositado. A média é de duas a quatro blitzes diárias.

O vereador João Donizeti Silvestre, que faz parte da Comissão Especial de Investigação (CEI) criada pela Câmara Municipal, participou da reunião e elogiou a ação do poder público municipal pela criação do comitê e ressaltou também que não são os moradores do Iporanga que estão fazendo o garimpo ilegal e que, pelo contrário, a comunidade do entorno está sofrendo bastante com a situação. Inclusive, nesta semana, teve queimadas na área, quando a Sema acionou o Corpo de Bombeiros para combater os focos.

O chumbo é um dos principais componentes da fabricação da bateria automotiva e, ao final do seu uso, a bateria deveria ser reciclada, porém isso não foi feito pela empresa. O descarte irregular era feito na própria área particular, contaminando o local, configurando num grave crime ambiental.

Link de acesso: <https://agencia.sorocaba.sp.gov.br/comite-de-estudos-da-area-contaminada-saturnia-teve-sua-primeira-reun/>

3)

### **Área da antiga Saturnia tem 'seis campos de futebol' com resíduos poluentes**

---

12 de Dezembro de 2019 às 19:42

ANA CLAUDIA MARTINS  
ana.martins@jornalcruzeiro.com.br

Link de acesso: <https://www.jornalcruzeiro.com.br/sorocaba/area-da-antiga-saturnia-tem-seis-campos-de-futebol-com-residuos-poluentes/>