

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

KARLA FAUST TEIXEIRA

**TOXICIDADE DE SOLUÇÃO AQUOSA DE Pb (II) APÓS TRATAMENTO POR
ADSORÇÃO COM NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDOS DE FERRO**

FRANCISCO BELTRÃO

2021

KARLA FAUST TEIXEIRA

**TOXICIDADE DE SOLUÇÃO AQUOSA DE Pb (II) APÓS TRATAMENTO POR
ADSORÇÃO COM NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDOS DE FERRO**

**Toxicity of Pb(II) aqueous solution after adsorption treatment with iron oxide
nanoparticles**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Thalita Grando Rauen

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Elisângela Düsman

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Irede Angela Lucini Dalmolin

FRANCISCO BELTRÃO

2021



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

KARLA FAUST TEIXEIRA

**TOXICIDADE DE SOLUÇÃO AQUOSA DE Pb (II) APÓS TRATAMENTO POR
ADSORÇÃO COM NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDOS DE FERRO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em engenharia Química da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

08 de dezembro de 2021.

Thalita Grando Rauen
Doutora
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Elisângela Dusman
Doutora
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Irede Angela Lucini Dalmolin
Doutora
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

FRANCISCO BELTRÃO

2021

Dedico este trabalho à minha família e amigos, pelos momentos que estiveram presente durante esse processo de evolução profissional.

AGRADECIMENTOS

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas de que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Agradeço primeiramente a Deus por ter me guiado nessa árdua trajetória durante o período de graduação.

Agradeço imensamente a minha família, meus pais Inês Faust e Nilson Teixeira, por todo apoio, afeto e colaboração durante todos esses anos, se não fosse vocês esse percurso não seria finalizado. Aos meus irmãos Luiz Fernando Teixeira e Henrique Faust Teixeira, por todo amor, carinho e empatia.

Ao meu namorado, Willian Cucchi Bottin, por todo amor, auxílio, afeto e por não ter me abandonado em nenhum momento, mesmo com todo estresse e dificuldade.

Agradeço minha amiga e irmã, Maria de Fátima Longo, sem ela nada disso seria possível. Obrigado por ter me auxiliado em tantos momentos, sendo eles os melhores ou os piores desse percurso. Obrigado por todo amor, carinho e empatia.

A minha amiga Kamila Rocha Klem, que mesmo distante sempre se fez presente durante todo tempo de graduação e de vida.

Agradeço aos meus amigos Emanuel Stingelin Dornelles, Larissa Rocha, Rafael Cazarotto, Christopher Ferreira, Mauricio Romano, Rafael Romano, Ana Cristina Mariott, Gersiane Barp, Matheus Mineli, Adrieli Mariane por toda amizade que construímos.

Agradeço a minha orientadora Profa. Dra. Thalita Grando Rauen, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória e por toda colaboração e generosidade no auxílio para realização do presente trabalho.

As minhas coorientadoras Elisângela Dusman e Iredé Angela Lucini Dalmolin, por todo carinho, auxílio e por acreditarem na minha capacidade.

À Coordenação do Curso, pela cooperação.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

Nas grandes batalhas da vida o primeiro
passo para vitória é o desejo de vencer
(Mahatma Gandhi).

RESUMO

A contaminação de corpos hídricos se tornou um problema eminente, buscando-se então tratamentos para poluentes a fim de diminuir cada vez mais essa contaminação. Utilizou-se no presente trabalho o método de adsorção com nano-óxidos de ferro, recuperados de drenagem ácida de minas da Carbonífera de Criciúma, para tratamento de uma solução aquosa contendo nitrato de chumbo, sendo sua eficiência monitorada pelos testes de mortalidade/imobilidade com *Artemia salina* e de fuga com *Eisenia fetida*. Os testes foram realizados utilizando amostras de solução aquosa de Pb (II) (100 mg de nitrato de chumbo por litro de água destilada) tratada com goetita ou hematita (50 g L⁻¹) pelo método de adsorção em batelada, sob pH 4,0. Após o tratamento, o teste de mortalidade/imobilidade com *A. salina* foi realizado com as concentrações de 3,1; 6,2; 12,5; 25; 50 e 100% da amostra bruta, tratada com goetita ou hematita, diluída em solução salina, por 24 horas. O teste de fuga com *E. fetida* foi realizado expondo as minhocas a 48 horas das amostras tratamento, em solo artificial tropical. Para os dois testes de toxicidade foi possível observar a eficácia, em termos de redução ou ausência de toxicidade, do tratamento de adsorção para o nano-óxido goetita, se fazendo importante a realização de testes de toxicidade para efluentes que tenham a presença de metais pesados.

Palavras-chave: metais pesados; adsorção; nanopartículas; toxicidade.

ABSTRACT

Contamination of water bodies has become an eminent problem, and treatments are being sought for pollutants that in order to de increase this contamination. In the present work, the use of the adsorption method with iron oxides, recovered from acid drainage of mines at Carbonifera de Criciúma, was used to treat an aqueous solution containing lead nitrate, and its efficiency monitored by mortality tests/ immobility with brine shrimp and escape with *Eisenia fetida*. The tests were carried out using samples of an aqueous solution of Pb (II) (100 mg of lead nitrate L⁻¹ x distilled water) treated with goethite or hematite (50 g L⁻¹) by the batch adsorption method, under pH 4 .0. After treatment, the mortality/immobility test with *A. salina* was performed with concentrations of 3.1; 6.2; 12.5; 25; 50 and 100% of the crude sample, treated with goethite or hematite, diluted in saline solution, for 24 hours. The escape test with *E. fetida* was carried out by exposing the worms to 48 hours of the treatment samples, in tropical artificial soil. For the two toxicity test tests, it was possible to observe the effectiveness, in terms of reduction or absence of toxicity, of the adsorption treatment for the goethite nano-oxide, making it important to carry out toxicity tests for effluents that have the presence of heavy metals.

Keywords: heavy metals; adsorption; nanoparticles; toxicity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrutura Cristalina Da Hematita	16
Figura 2 - Estrutura Cristalina Da Goetita	17
Figura 3 - Esquema Simplificado Da Preparação E Execução Do Teste De Toxicidade Aguda Com <i>A. Salina</i>	21
Figura 4 - Esquema Do Ensaio De Fuga Com Minhocas Da Espécie <i>Eisenia fetida</i>	22
Figura 5 - Número Médio De Organismos Mortos/Imóveis Pelo Ensaio De Toxicidade Com <i>Artemia salina</i> Dos Controles Salino (Co-S) E Doce (Co-D), Solução Aquosa De Pb²⁺ Tratada Com Hematita, Goetita E Não Tratada.....	26
Figura 6 - Números Médios Dos Organismos <i>Eisenia fetida</i> Nos Grupos: Controle Negativo (Co-), Controle Positivo (Co+), Amostra Bruta, Hematita E Goetita.....	27
Figura 7 - Taxa De Fuga Dos Organismos <i>Eisenia fetida</i> Nos Grupos: Controle Positivo (Co+), Amostra Bruta, Hematite E Goetita.....	28

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	12
2.1	Objetivo geral	12
2.2	Objetivos específicos	12
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
3.1	Metais pesados	13
3.1.1	Chumbo.....	13
3.2	Adsorção	15
3.2.1	Óxido de ferro.....	16
3.3	Ecotoxicologia	17
3.3.1	Teste de mortalidade/imobilidade com <i>Artemia salina</i>	18
3.3.2	Teste de fuga com <i>Eisenia fetida</i>	18
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	20
4.1	Reagentes	20
4.2	Preparo da solução de íons Pb (II)	20
4.3	Ensaio de adsorção	20
4.4	Testes ecotoxicológicos	20
4.4.1	Teste de mortalidade/imobilidade com <i>Artemia salina</i>	20
4.4.2	Teste de fuga com <i>Eisenia fetida</i>	22
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
5.1	Teste de mortalidade/imobilidade com <i>Artemia salina</i>	24
5.2	Teste de fuga com <i>Eisenia fetida</i>	26
6	CONCLUSÃO	29
	REFERÊNCIAS	30

1 INTRODUÇÃO

A disseminação de uma ampla gama de contaminantes em corpos hídricos tornou-se um problema crítico devido ao crescimento demográfico, industrialização e má administração da água na superfície do planeta, sendo necessário o controle desses efeitos visando melhorar o ambiente de vida humano (SILVA, 2015). Dentre os contaminantes estão os metais pesados, esses, por sua vez, são constituídos de elementos como o ferro (Fe), o cálcio (Ca) e o zinco (Zn) que possuem funções microbiológicas específicas e são essenciais para saúde humana (AMARAL e KREBS, 2010). E também existem os metais pesados que são considerados não-essenciais, como o alumínio (Al), cádmio (Cd), mercúrio (Hg), cromo (Cr) e chumbo (Pb) que quando encontrados são prejudiciais ao meio ambiente e aos seres humanos, já que possuem atividade bioacumulativa e alta toxicidade mesmo quando encontrados em pequenas concentrações (RODRIGUES *et al.*, 2019).

Os metais pesados são encontrados em várias aplicações na indústria. O chumbo em particular, é utilizado, na produção de baterias, corantes, petroquímica e pigmentos. A preocupação se dá pelo fato de que esse elemento possui alta periculosidade, podendo causar danos como anemia, problemas renais e no sistema nervoso. Nesse sentido, processos químicos que envolvem esse tipo de metal devem buscar métodos adequados de remoção desses tipos de poluentes, para evitar o despejo de águas residuais contaminadas em corpos hídricos.

Grandes esforços devem ser realizados em processos químicos industriais para que seja possível a redução ou eliminação do uso de metais pesados. Porém, nos casos em que não há possibilidade de substituição destes elementos, faz-se de grande importância o emprego de métodos para o tratamento de efluentes industriais, que contemplem a remoção deste tipo de poluente para que sejam minimizados os impactos ambientais e se tenha o cumprimento da legislação para o descarte em corpos hídricos. Dentre as técnicas que podem ser empregadas para a remoção de metais, podemos citar a precipitação, a filtração por membrana/osmose, redução, oxidação, troca iônica e a adsorção. A adsorção se apresenta como um método capaz de remover poluentes de certa especificidade como os metais, mesmo em baixas concentrações (REIS, 2013).

Os compostos nanotecnológicos têm sido aplicados em vários estudos, devido às suas propriedades únicas, apresentando tamanho de partículas entre 1 e 100 nanômetros, propriedades físicas e químicas desejáveis, alta reatividade e alta área superficial específica, podendo ser utilizadas como adsorventes (KAUR *et al.*, 2014). Assim, no presente trabalho foram utilizados nanomateriais de óxido de ferro, goetita e hematita como adsorventes, sendo escolhidos por possuírem uma alta eficiência na remoção de metais pesados, baixa toxicidade, baixo custo e por terem sido recuperados de resíduos de mineração (KAUR *et al.*, 2014).

A partir do estudo de toxicidade é possível analisar o impacto de substâncias nocivas causadas por agentes químicos que poluem o solo, a água e o ar. Dentro do campo da toxicidade se faz presente a toxicidade ambiental, na qual testes são realizados em espécies isoladas em um laboratório ou em um sistema controlado que simule condições ambientais reais (SILVA *et al.*, 2015). Esses testes podem ser realizados em plantas ou animais permitindo um método para caracterizar o impacto de reagentes químicos em sistemas biológicos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar a toxicidade de soluções aquosas de Pb (II) submetidas à tratamentos de adsorção por nanopartículas de óxido de ferro recuperados de atividade industrial.

2.2 Objetivos específicos

- ✓ Realizar os ensaios de adsorção por batelada, das soluções de chumbo com as nanopartículas.
- ✓ Monitorar os efeitos tóxicos, pelo teste de mortalidade/imobilidade com *Artemia salina*, de solução aquosa de Pb (II) antes e após tratamento de adsorção com nanopartículas de goetita e hematita.
- ✓ Monitorar os efeitos tóxicos, pelo teste de fuga com o bioindicador *Eisenia fetida*, de solução aquosa de Pb (II) antes e após tratamento de adsorção por nanopartículas de goetita e hematita.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Metais pesados

O conjunto de elementos químicos metálicos de elevada massa específica são considerados metais pesados. Esses, por sua vez, possuem massa atômica maior ou igual a 23 e número atômico maior que 20 (ARAÚJO *et al.*, 2016). Esse conjunto é dividido em três grupos, sendo eles, os essenciais, quando encontrados em baixas concentrações, nos quais podemos citar elementos como sódio, potássio e cálcio, e os que se tornam microcontaminantes quando encontrados em maiores concentrações como arsênio, chumbo e mercúrio e também os elementos essenciais e microcontaminantes compostos por cromo, zinco, ferro entre outros (AMARAL, KREBS, 2010).

A presença dessas substâncias no meio ambiente tem sido atribuída tanto a fatores ambientais espontâneos, como o intemperismo das rochas, além do resultado de atividades antropogênicas, como as indústrias de extração e refino e minas de carvão (PEREIRA *et al.*, 2019). No meio aquático, a principal preocupação com a presença dessas espécies se deve à capacidade bioacumulativa nos organismos e à alta toxicidade, mesmo em baixas concentrações (RODRIGUES *et al.*, 2019; XU *et al.*, 2012; FU; WANG, 2011).

3.1.1 Chumbo

O chumbo é definido como um material de elevada massa atômica, tóxico e de elevada densidade na qual em sua forma elementar é raramente encontrado na natureza, possuindo, dois estados de oxidação, sendo esses Pb^{2+} e Pb^{4+} (FU; WANG, 2011).

Utilizado em muitas aplicações na indústria, o chumbo é encontrado em lâminas de proteção contra raios X, revestimento de automóveis, proteção contra a corrosão, ligas, fabricação de baterias, tintas e pigmentos, munição, revestimento de cabos e distribuição de energia, indústria eletrônica, como solda e revestimento de tubos catódicos. Em contrapartida, a exposição a esse elemento pode causar muitos danos à saúde humana, entre esses, danos no sistema neurológico, hematológico,

renal, citando também os tipos de câncer comumente causados pela exposição a esses metais, que ocorrem a partir da ação bioacumulativa desses metais e principalmente devido a sua interferência das membranas celulares e enzimáticas (DE MATOS PAZ; CURBELO GARNICA; CURBELO, 2018).

A contaminação do ser humano pode ser causada tanto pelo contato direto com os compartimentos ambientais, água, solo e o ar, contendo esses metais, ou ainda, pela ingestão de alimentos contaminados, devido sua característica de bioacumulação ao longo da cadeia alimentar. Neste sentido, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), a partir da Resolução nº42 de 2013, limita a concentração de chumbo entre 0,05 e 2 mg.kg⁻¹ para diversos alimentos (ANVISA, 2012), e o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), estabelece um limite máximo de concentração de diferentes metais para disposição de efluentes industriais em corpos d'água. Na Tabela 1, apresentam-se os limites máximos de alguns compostos que podem estar presentes em efluentes, seguindo a Resolução do CONAMA nº430 de 2011 (BRASIL, 2011).

Tabela 1 - Padrões de concentrações de metais para lançamento de efluentes	
Parâmetros inorgânicos	Limite máximo de concentração
Cádmio total	0,2 mg.L ⁻¹ Cd
Chumbo total	0,5 mg.L ⁻¹ Pb
Cianeto total	1,0 mg.L ⁻¹ CN
Cobre total	1,0 mg.L ⁻¹ Cu

Fonte: BRASIL (2011)

Existem inúmeros processos de tratamento de efluentes para remoção de metais pesados com o chumbo, como, por exemplo, precipitação, oxidação, redução, troca iônica, osmose e adsorção, os quais possuem especificidades, vantagens e desvantagens. Dentre os métodos citados o de maior interesse para o estudo, pensando no melhor para o meio científico e para a sociedade, é a adsorção, devido a sua eficiência e ao baixo custo para realização (SOUZA; MORASSUTI; DEUS, 2018).

3.2 Adsorção

A adsorção é uma técnica que tem por finalidade estudar a habilidade que alguns sólidos possuem em concentrar na sua superfície substâncias que existem em fluidos, líquidos ou gases, de modo que possibilite a separação dos mesmos, tudo isso a partir do método de transferência de massa (FOUST *et al.*, 1982).

A classificação de adsorção é dada segunda às suas interações, essas podendo ser física ou química. Na fisissorção as interações entre as substâncias adsorvidas são fracas, podendo ser atribuída a forças de Van der Waalls. Já na quimissorção ou adsorção química as ligações se assemelham a ligações covalentes, sendo assim ligações mais fortes e mais estáveis (NASCIMENTO *et al.*, 2020).

Por ser um processo que depende da interação e dos tipos de forças envolvidas, a adsorção sofre influência de fatores, como propriedades dos adsorventes e do adsorvato, natureza do solvente, temperatura do sistema, área superficial e a relação com o pH do meio. Esses fatores podem ser divididos em dois grupos, sendo eles a natureza do adsorvente e do adsorvato e as condições operacionais. A área superficial está estreitamente ligada às propriedades do adsorvente, visto que quanto menores as partículas dos compostos utilizados mais fácil eles se difundem para o interior dos poros e conseqüentemente melhor é o processo de adsorção (VASQUES *et al.*, 2011).

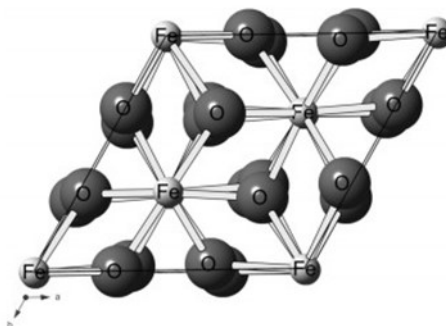
Partindo do ponto de que é necessário o tratamento de efluentes gerados pelas indústrias, o uso de nanoadsorventes tem se tornado frequente. Um exemplo de adsorvente é o carvão ativado, que possui alta capacidade de adsorção devido às suas características físicas e químicas, mas possui um alto custo para o desenvolvimento da técnica. Além do carvão ativado, nanoóxidos de ferro também são exemplos de adsorventes, esses por sua vez são obtidos a partir da drenagem ácida de minas (DAM) e possuem como características, alta reatividade, grande área superficial, baixa toxicidade, baixo custo e alta eficiência na remoção de metais pesados.

3.2.1 Óxido de ferro

Considerado o elemento químico mais abundante do planeta, o óxido de ferro está presente em 35% da massa total da Terra. Presente em vários minérios naturais, sendo os principais, a hematita que corresponde a 70% de sua massa de ferro e a goetita com 63%. Esses minérios se tornam importantes no ponto de vista científico e tecnológico pois possuem excelente desempenho e diversidade química devido ao seu magnetismo, propriedades elétricas, características físico-químicas e morfológicas, além de serem eficientes e baratos (OLIVEIRA *et al.*, 2013).

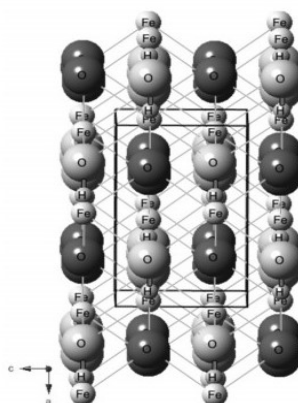
A hematita possui como características a cor avermelhada, massa específica de 5,26 g. cm⁻³, hábito maciço, placóide ou terroso, sua representação é dada por α -Fe₂O₃ (Figura 1). A estrutura da hematita consiste em lâminas de octaedros compartilhando arestas, com dois terços dos sítios ocupados por Fe³⁺ e o restante arranjado regularmente, formando anéis hexagonais de octaedros (SILVA, 2014).

Figura 1 - Estrutura cristalina da hematita



Fonte: Oliveira *et al.* (2013)

A goetita é representada por α -FeO.OH (Figura 2), possui estrutura ortorrômbica com cada íon Fe³⁺ coordenado com três íons O²⁻ e três íons OH⁻, formando octaedros. É conhecida como um dos minerais mais difundidos em sistemas naturais e mais estável em temperatura ambiente.

Figura 2 - Estrutura cristalina da goetita

Fonte: Oliveira et al. (2013)

Esses minerais têm sido utilizados com frequência como adsorventes em escala nanométrica para o tratamento de efluentes, por serem materiais que podem ser resíduos industriais e provenientes da Drenagem Ácida de Minas.

3.3 Ecotoxicologia

A toxicologia é a ciência que estuda os efeitos das substâncias químicas sobre os organismos vivos sob algumas condições, investigando experimentalmente a natureza, existência, incidência e fatores de riscos dessa interação dos organismos com os agentes químicos (OGA; CAMARGO; BATISTUZZO, 2008).

Dentre as áreas da toxicologia está a ecotoxicologia que tem como foco avaliar o impacto de fatores químicos e físicos na dinâmica populacional e nas comunidades pertencentes a um ecossistema definido. Tem sido utilizada como ferramenta para auxiliar na análise de impactos ambientais causados por substâncias químicas, avaliando assim sua toxicidade em relação aos organismos-teste utilizados. O emprego deste tipo de estudo pode ser aplicável em diferentes compartimentos do ecossistema como no ar, água, solo e sedimentos em que é avaliada a propagação de poluentes através da cadeia alimentar, transformação química e biotransformação (SILVA; POMPÊO; PAIVA, 2015).

Testes de toxicidade podem ser realizados na forma de ensaios crônicos ou agudos. Ensaios agudos são aqueles feitos a curto prazo, com rápida resposta dos organismos avaliados e representando as alterações imediatamente. Já nos ensaios crônicos a exposição ocorre de forma contínua ao agente tóxico, podendo ser

observado efeitos no crescimento, mudanças no desenvolvimento, mutações genéticas e morfológicas e também a morte dos organismos-testes (BARETTA *et al.*, 2019).

3.3.1 Teste de mortalidade/imobilidade com *Artemia salina*

A *Artemia salina* é um microcrustáceo que vive em lagos de águas salgadas estando adaptada a viver nesses ambientes com grandes variações sazonais. O teste que verifica a mortalidade/imobilidade deste organismo é muito utilizado na área de pesquisas acadêmicas por possuir uma análise que permite a avaliação da toxicidade, gerando respostas de forma rápida, com reprodutibilidade e principalmente economicamente viável (HIROTA *et al.*, 2012).

O método se destaca pelo seu baixo custo, fácil manipulação, utilização de uma pequena quantidade de amostra e por se mostrar com alta adaptabilidade e confiabilidade. Segundo Nunes *et al.* (2006), *A. salina* é um dos mais valiosos organismos teste disponíveis para análise de toxicidade.

Benassi (2004) utilizou *A. salina* para teste de toxicidade em um efluente de lixiviação de carvão mineral não remediado e remediado com microesferas de quitosana, seus resultados mostraram que o efluente estudado apresentou elevada toxicidade, causando mortalidade de uma elevada quantidade desse microcrustáceo. Utilizada também para teste de toxicidade em agrotóxicos, Junior (2015), realizou testes em efluentes de lavagens de pulverizadores de agroquímicos contendo resíduos de pesticidas tebuconazol e imidacloprido com o bioindicador *A. salina*. Os organismos foram submetidos aos testes antes e após o tratamento do efluente por fotólise. O teste indicou que os efluentes foram tóxicos à *A. salina* mesmo após o tratamento.

3.3.2 Teste de fuga com *Eisenia fetida*

Por possuir papel significativo ao solo, a minhoca é alvo importante para estudos os efeitos tóxicos de poluentes. Esses organismos possuem células imunológicas chamadas de coleomócitos, principalmente em seus intestinos, que devido ao contato direto com os contaminantes mostram-se importantes indicadores

biológicos, por serem sensíveis à exposição ambiental a poluição (LIONETTO *et al.*, 2012).

As respostas da minhoca aos poluentes do solo podem ser de forma aguda ou crônica, sendo a forma aguda analisada pela fuga, mortalidade e taxa de crescimento, e a forma crônica avaliada pela taxa de reprodução e redução da biomassa (LIONETTO *et al.*, 2012).

Muitas organizações adotaram a *E. fetida* para os testes de toxicidade aguda desde, respectivamente, 1984, 1991 e 1993, dentre elas então a OECD (Organização Europeia de Cooperação e Desenvolvimento Econômico), a EPA (Agência Americana de Proteção do Ambiente), ISO (Organização Internacional para Padronização). No Brasil, o IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Desenvolvimento dos Recursos Naturais Renováveis) também solicita apenas o teste de toxicidade aguda (ABNT, 2007).

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1 Reagentes

Todos os reagentes utilizados foram de grau analítico. As nanopartículas foram cedidas pelo Laboratório de estudos de meio ambiente – LEMA (UFSC - SC).

4.2 Preparo da solução de íons Pb (II)

Para o preparo da solução da solução de íons Pb (II) foi utilizado o nitrato de chumbo II ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$), que pode ser adsorvido somente por superfícies que são positivamente carregadas. A solução foi preparada para todos os testes, na concentração de 100 mg L^{-1} , pela diluição à partir de uma solução concentrada de nitrato de chumbo II de 1000 mg L^{-1}

4.3 Ensaio de adsorção

A adsorção por batelada foi realizada de acordo com condições estabelecidas por Staub (2019), que determinou o pH e cinética de adsorção com melhores rendimentos de adosorção. Neste trabalho, utilizou-se 1 litro da solução de nitrato de chumbo II, na concentração de 100 mg L^{-1} colocadas em contato com 50 gramas das nanopartículas de óxido de ferro. Cada processo utilizando apenas uma das nanopartículas, goetita e hematita. Após agitação por 24h, a solução foi filtrada por membrana de acetato de celulose 25mm. Amostras antes e depois de cada processo de adsorção foram levadas à análise de toxicidade.

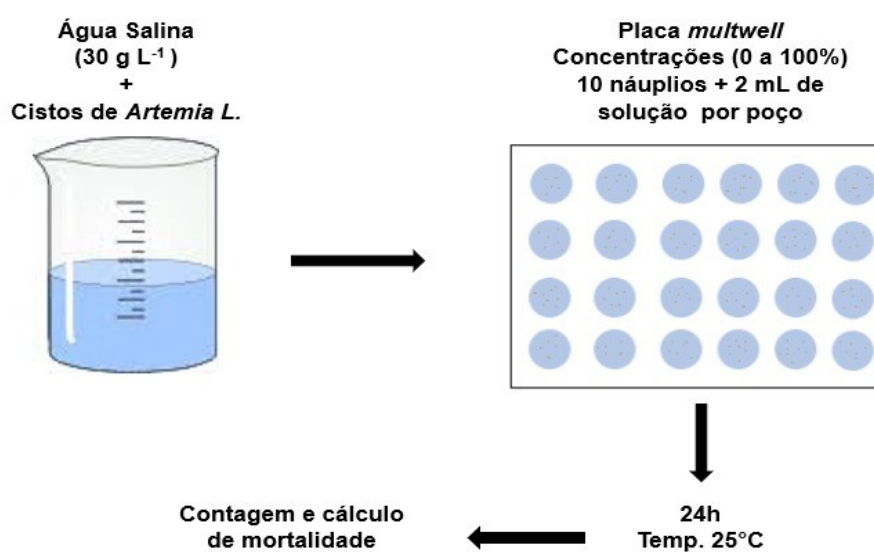
4.4 Testes ecotoxicológicos

4.4.1 Teste de mortalidade/imobilidade com *Artemia salina*

A metodologia utilizada segue padrão proposto por Guerra (2001), seguindo modificações com base na ABNT NBR 13373.

Inicialmente cistos de microcrustáceos de *Artemia salina* foram colocados em solução salina (30 gramas sal marinho em um litro de água destilada), durante 24 horas, a temperatura ambiente (25 °C), sob aeração e luminosidade constante para a eclosão em náuplios. Os náuplios recém eclodidos foram transferidos para poços de placas de cultivo de 24 poços, contendo 10 náuplios por poço e 2 mL da solução aquosa de nitrato de chumbo II, tratada com nano-óxidos de goetita ou hematita e diluídas em solução salina (30 gramas sal marinho por um litro de água destilada), nas seguintes concentrações: 100%; 50%; 25%; 12,5%; 6,2% e 3,1%. O controle salino foi constituído por 2 mL de solução salina e o controle doce foi realizado com diluições da solução salina em água filtrada nas mesmas concentrações das amostras, como demonstra a Figura (3).

Figura 3 - Esquema simplificado da preparação e execução do teste de toxicidade aguda com *A. salina*



Fonte: Adaptado de Bortolotto (2007)

Após 24 horas de incubação foi feita a contagem do número de náuplios mortos/imóveis. A análise estatística foi realizada utilizando o software *Action Stat*. Foi realizado o teste de normalidade e homoscedasticidade, seguido do teste de comparação de médias de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

4.4.2 Teste de fuga com *Eisenia fetida*

O metodologia do teste de fuga foi realizada segundo a norma NBR ISO 17512-1, em duplicata. As minhocas da espécie *E. fetida* utilizadas possuíam clitelo bem desenvolvido e massa corporal de 300 a 600 mg. O solo controle foi preparado como um solo artificial tropical (SAT), constituído de areia fina seca e peneirada (70%), caulim em pó (20%) e fibra de coco (10%). Para o solo controle foi adicionado água filtrada e para o solo teste foram adicionadas a amostra bruta, com a presença de nitrato de chumbo (II) e as amostras tratadas com hematita e goetita, até atingir 60% da capacidade de retenção hídrica do SAT. No solo controle positivo foi adicionada uma solução de ácido bórico (1 g $\text{H}_3\text{BO}_3\text{Kg}^{-1}$ de solo).

Foram utilizados recipientes de polipropileno, com altura de 115 mm e dimensões de 175 x 132 mm. Sua tampa foi perfurada e volume interior dividido ao meio pela inserção de um divisor plástico removível. Para o experimento, metade de sua capacidade (300 g) foi preenchida com solo controle, e a outra parte pelo solo teste (solo controle + solução aquosa de Pb^{2+} e tratada com hematita e goetita) ou controle positivo. Posteriormente, foi retirado o divisor e colocado 10 minhocas na linha divisória entre os dois solos (Figura 4).

Figura 4 - Esquema do ensaio de fuga com minhocas da espécie *Eisenia fetida*



Fonte: Autoria própria (2021)

Os recipientes preparados foram mantidos por 48h no escuro. Após esse período foi realizado então a contagem dos organismos em cada seção do recipiente analisando os critérios de validação do ensaio, nos quais são descritos como: distribuição homogênea dos organismos nos recipientes na ausência de contaminantes e também o número de minhocas mortas durante o tempo percorrido no ensaio, pois o teste apenas é válido se esse número for menor que 10% em cada recipiente.

Foi calculada a porcentagem de fuga pela Equação (1) e a análise estatística da distribuição dos organismos no solo controle e tratado foi realizada utilizando o teste estatístico de Fisher unicaudal, com o software *Action Stat*.

$$fuga(\%) = \left(\frac{nC - nT}{N} \right) \times 100 \quad (1)$$

Sendo,

nC : número de minhocas encontradas no solo controle;

nT : número de minhocas encontradas no solo teste;

N : número total de minhocas.

A toxicidade do solo é indicada pela porcentagem de fuga dos organismos analisados, ou seja, se a fuga para o teste controle for maior que 60% o solo analisado é considerado tóxico.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Teste de mortalidade/imobilidade com *Artemia salina*

Na Tabela 2 e Figura 5 estão apresentados os resultados do teste de mortalidade/imobilidade com a *Artemia salina* exposta as diferentes concentrações da amostra bruta não tratada, contendo nitrato de chumbo, e das amostras tratadas com os nano-óxidos de ferro, hematita e goetita. A partir desses dados pode-se observar que os resultados para a amostra bruta, que não passou por nenhum tipo de tratamento por adsorção, apresentaram número médio de indivíduos mortos/imóveis estatisticamente maiores que dos controles negativos para as concentrações acima de 12,5%, com taxa de mortalidade de 62,5% para esta concentração. A amostra tratada com a hematita apresentou toxicidade para o bioindicador *A. salina* nas maiores concentrações (50 e 100%), com taxas de mortalidade de 37,5 e 55%, respectivamente, indicando um efeito do tratamento com hematita na diminuição da toxicidade do chumbo nas menores concentrações testadas e apresentando também diferença comparado ao controle salino na concentração de 3,1% , indicando toxicidade a essa concentração. Entretanto, a amostra tratada com o nano-óxido goetita não apresentou efeito tóxico para o mesmo bioindicador em nenhuma das concentrações avaliadas (3,1 a 100%), com taxa máxima de mortalidade de 7,5%, confirmando um evidente efeito do tratamento na redução da toxicidade ocasionada pelo chumbo.

A eficiência do tratamento por adsorção com o nano-óxido goetita se dá pelas vantagens desse material, tendo uma escala nanométrica, facilidade na separação por ser um composto ferromagnético, possuir uma elevada área superficial e alta capacidade de adsorção (STAUB, 2019), podendo auxiliar na maior redução de toxicidade, como observado no presente estudo.

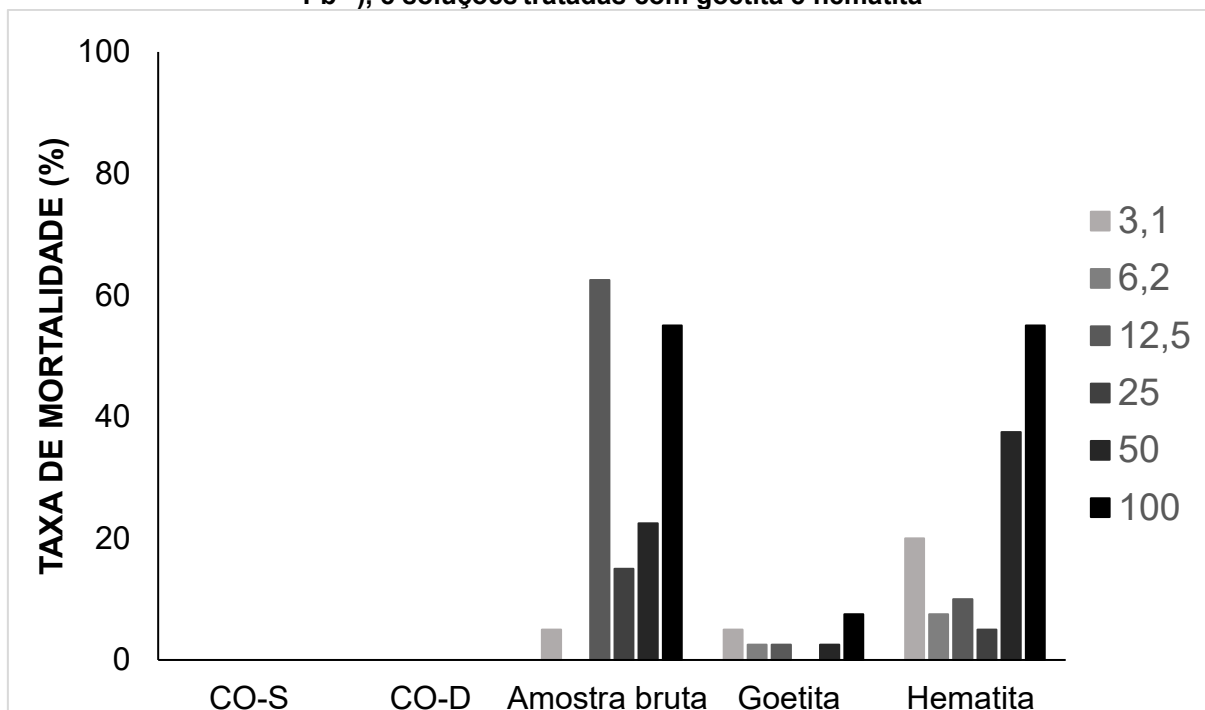
Semelhante aos resultados encontrados no presente trabalho, Kede (2006) realizou um estudo do comportamento do chumbo em latossolos após o tratamento com rocha fosfatada utilizando o teste ecotoxicológico com *Daphnias pulex*, onde o teste também apresentou efeito tóxico ao bioindicador utilizado.

Tabela 2 – Número médio e desvio padrão dos organismos *Artemia salina* L. mortos/imóveis do controle salino (CO-S), controle doce (CO-D), amostra bruta (solução aquosa de Pb²⁺), e soluções tratadas com goetita e hematita

Grupos	Concentrações	Média±Desvio-Padrão
CO-S	100%	0,0±0,0 e
	50%	0,0±0,0 e
	25%	0,0±0,0 e
	12,50%	0,0±0,0 e
	6,20%	0,0±0,0 e
	3,10%	0,0±0,0 e
CO-D	100%	0,0±0,0 e
	50%	0,0±0,0 e
	25%	0,0±0,0 e
	12,50%	0,0±0,0 e
	6,20%	0,0±0,0 e
	3,10%	0,0±0,0 e
Amostra bruta	100%	5,5±2,89 ab
	50%	2,25±2,63 bcd
	25%	1,50±1,92 bcd
	12,50%	6,25±4,79 ab
	6,20%	0,00±0,00 e
	3,10%	0,50±0,58 cde
Goetita	100%	0,75±0,96 cde
	50%	0,25±0,50 de
	25%	0,00±0,00 e
	12,50%	0,25±0,50 de
	6,20%	1,00±2,00 de
	3,10%	0,25±0,50 de
Hematita	100%	5,5±1,73 a
	50%	3,75±1,71 a
	25%	0,50±1,0 de
	12,50%	1,00±1,41 cde
	6,20%	0,75±0,96 cde
	3,10%	2,00±1,83 abc

Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 5 - Número médio de organismos mortos/imóveis pelo ensaio de toxicidade com *Artemia salina* dos controles salino (CO-S) e doce (CO-D), amostra bruta (solução aquosa de Pb^{2+}), e soluções tratadas com goetita e hematita

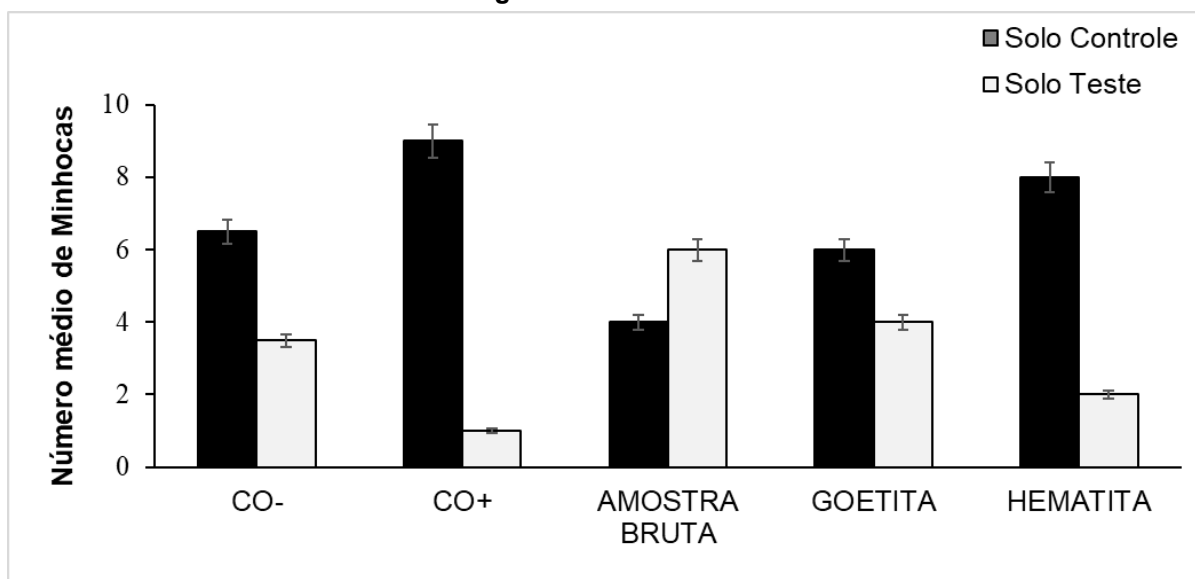


Fonte: Autoria própria (2021)

5.2 Teste de fuga com *Eisenia fétida*

A distribuição dos organismos no teste de toxicidade com o bioindicador *Eisenia fétida* com amostras bruta (solução aquosa de $Pb(II)$) e as amostras após tratamento por adsorção com os nano-óxidos de ferro, hematita e goetita, são apresentados na Figura 6. Pode-se verificar primeiramente que o teste pode ser validado, tendo em vista que o teste com o controle negativo apresentou uma distribuição homogênea (40-60%) dos organismos nos recipientes-teste, como requisitado pela NBR ISO 17512-1 (2011).

Figura 6 - Números médios dos organismos *Eisenia fetida* nos grupos: controle negativo (CO-), controle positivo (CO+), amostra bruta (solução aquosa de Pb^{2+}), e soluções tratadas com goetita e hematita

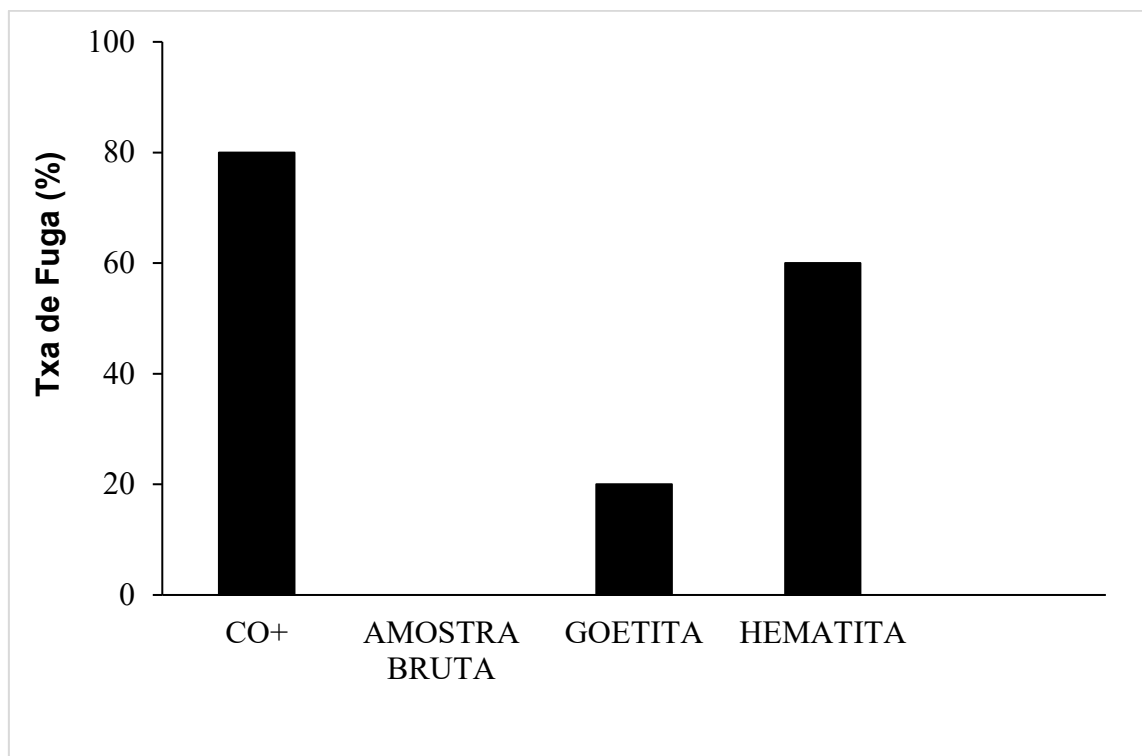


Fonte: Autoria Própria (2021)

De acordo com dados da taxa de fuga (Figura 7) pode-se observar que a amostra bruta não apresentou toxicidade ao bioindicador *E. fetida*. E, analogamente aos resultados obtidos com a *salina*, o tratamento com hematita apresentou toxicidade, com taxa de fuga de 60% e, o tratamento com goetita também não apresentou efeito tóxico para o bioindicador animal do presente estudo, com taxa e fuga de somente 20%.

Ferreira *et al.* (2020) realizaram estudo sobre o potencial tóxico de sedimentos dragados das baías de sepetiba e da guanabara (RJ) em cenário de disposição em latossolo com bioindicador *E. andrei*, onde esses sedimentos também possuíam uma concentração de chumbo, resultando em níveis de sobrevivência do bioindicador que podem confirmar a toxicidade do chumbo a partir de concentrações de 12% das amostras. Segundo Loureiro *et al.* (2005) o teste de fuga pode ser um método muito eficaz para avaliação da contaminação do solo, assim como da perda ou não de *habitat* para organismos terrestres. Segundo Lukkari (2004) as minhocas são capazes de detectar e evitar solos com metais contaminados e a alta sensibilidade do comportamento de fuga em minhocas também foi encontrado em outros trabalhos que realizaram estudos em alguns xenobióticos, no entanto em altas concentrações de amostras realizadas ocorre um desequilíbrio entre a excreção e absorção causando então a toxicidade do organismo utilizado no estudo.

Figura 7 – Taxa de fuga dos organismos *Eisenia fetida* nos grupos: controle positivo (CO+), amostra bruta (solução aquosa de Pb^{2+}), e soluções tratadas com goetita e hematita



Fonte: Autoria própria (2021)

Os resultados com toxicidade para a amostra tratada com hematita podem se dar pelo fato de o tratamento por adsorção para esse nano-óxido não ter sido tão eficiente quando para a amostra tratada com a goetita. Segundo Staub (2019), o estudo da adsorção de Pb (II) por nanopartículas de hematita e goetita se mostraram mais eficientes para a goetita, a partir de dados realizados por ajustes cinéticos.

6 CONCLUSÕES

Os testes mostraram que a amostra tratada com nano-óxido hematita apresentou efeito tóxico para o teste de mortalidade/imobilidade para as valores mais concentrados, resultando em uma taxa de mortadade de 55% para a concentração de 100% da amostra. Já a amostra tratada com nano-óxido goetita não apresentou toxicidade para nenhuma das concentrações estudadas.

Os resultados obtidos pelo teste de fuga apresentaram a ausência de toxicidade para a solução aquosa após o tratamento por adsorção sob as concentrações utilizadas para a amostra contendo tratamento com goetita. Já amostra tratada por adsorção com hematita apresentou efeito tóxico com taxa de fuga de 60%.

Os resultados comprovam a eficiência de tratamentos utilizando o método de adsorção empregado como método de tratamento de efluentes industriais apenas para o nano-óxido de ferro goetita para ambos os testes realizados, que contemplam a remoção de poluentes presentes em corpos hídricos para que os impactos ambientais causados por metais pesados como o chumbo sejam minimizados e que tenham o cumprimento da legislação.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **ABNT NBR ISO 17512-1**. Qualidade do Solo - Ensaio de fuga para avaliar a qualidade de solos e efeitos de substâncias químicas no comportamento - Parte 1: Ensaio com minhocas (*Eisenia fetida* e *Eisenia andrei*). Rio de Janeiro: ABNT. 2011.
- AMARAL, J. E.; KREBS, A. S. J. **Drenagem ácida da mineração de carvão e sua interrelação com metais pesados e recargas de aquíferos na bacia carbonífera do estado de Santa Catarina**. XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, São Luís, MA, 2010.
- AMGARTEN, D. R. Determinação do volume específico de poros de sílicas cromatográficas por dessorção de líquidos em excesso. **Dissertação de Mestrado do curso de Química**. Campinas, SP. p. 80, 2006.
- ANDRADE, M. T.; VEADOR, M. A. R. V.; MENEZES, M. A. B.; ALÍPIO, V. C. **Análise da concentração de metais pesados no Rio Piracicaba, Minas Gerais**. XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, São Carlos, SP, Brasil, 2010.
- ARAÚJO, M. H. P. O.; BARROS, E. B.; FREIRE, J. A. **Utilização de nanopartículas magnéticas na adsorção de metais pesados, uma revisão**. I Congresso internacional da diversidade do semiárido – CONIDIS, 2016.
- BARETTA, D.; SEGAT, J. C.; OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; MACCARI, A. P.; SOUSA, J. P.; RÖMBKE, J. **Ecotoxicologia terrestre com ênfase na fauna edáfica**. In: NIVA, C. C.; BROWN, G. G. (Ed.). *Ecotoxicologia terrestre: métodos e aplicações dos ensaios com oligoquetas*. – Brasília, DF: Embrapa, 2019. 258 p.
- BENASSI, J.C. **O uso de bioindicadores e biomarcadores na avaliação do processo de remediação de efluente de lixiviação de carvão mineral utilizando microesferas de quitosana**. Dissertação de Mestrado em Biotecnologia- Programa de pós-graduação em biotecnologia. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- BORTOLOTTO, T. **Avaliação da atividade tóxica e genotóxica de percolados do aterro sanitário municipal de Sombrio, Santa Catarina, utilizando *Artemia* sp. e *Allium cepa* L. 2007**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso)- Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2007.
- CAMPANER, V. P.; LUIZ-SILVA, W. Processos físico-químicos em drenagem ácida de mina em mineração de carvão no sul do Brasil. **Química Nova**, v. 32, n. 1, p. 146–152, 2009
- CHOY, K. K. H.; PORTER, J. F.; MCKAY, G. Langmuir, isotherms models applied to the multicomponent sorption of acid dyes from effluent onto activated carbon. **Journal of Chemical & Engineering Data**, v. 45, p. 575–584, 2000.

CONAMA. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Disponível em: < <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 24.mar. 2021.

DE MATOS PAZ, J. E.; CURBELO GARNICA, A. I.; CURBELO, F. D. DA S. Estudo Da Adsorção De Chumbo Utilizando Como Adsorvente Bagaço De Cana De Açúcar Ativado. **Holos**, v. 8, p. 3–18, 2018.

FAUST, S. D.; ALY, O. M. **Adsorption processes for water treatment**. Boston, MA: Butterworths, 1987.

FERREIRA., et al. Potencial tóxico desedimentos dragados das baías de sepetiba e da guanabara(rj) em cenário de disposição em latossolo. UNESP, **Revista de Geociências**, São Paulo. v. 39, n. 4, p. 1141 - 1151, 2020.

FISKESJÖ, G. The Allium test as a standard in environmental monitoring. *Hereditas* 102(1), p. 99-112, 1985.

FIEIRA, C. **Tratamento de efluente contendo tiametoxan e avaliação da sua eficiência na redução da toxicidade**. 2019.

FREUNDLICH, H. M. F. Over the adsorption in solution. **The Journal of Physical Chemistry**, v 57, 385. 1906.

FU, F.; WANG, Q. Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. **Journal of Environmental Management**, vol. 92, p. 407-418, 2011.

GUERRA, R. Ecotoxicological and chemical evaluation of phenolic compounds in industrial effluents. **Chemosphere**, v. 44, n. 8, p. 1737-1747, 2001.

HIROTA, B. C. K.; PAULA, C. S.; MIGUEL, O. G.; MIGUEL, M. D Avaliação de toxicidade in vitro: aplicabilidade do ensaio de letalidade frente á Artemia Salina. **Visão Acadêmica**, Curitiba, v.13, n.2, 2012.

HO, Y. S.; MCKAY, G. Sorption of dye from aqueous solution by peat. **Chemical Engineering Journal**, v. 70, n. 2, p. 115–124, 1998. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0923-0467\(98\)00076-1](https://doi.org/10.1016/S0923-0467(98)00076-1). Acesso em: 23 de maio de 2021.

HUA, M. et al. Heavy metal removal from water/wastewater by nanosized metal oxides: A review. **Journal of Hazardous Materials**, vol. 211-212, p. 317-331, 2012.

IUPAC: Recommendations for the characterization of porous solids. *Pure Appl. Chem.* v. 66; p.1739–1758; 1994. Disponível em: DOI: 10.1351/ pac199466081739. Acesso em: 06 de novembro de 2021.

JEPPU, G. J.; CLEMENT, T. P. **A modified Langmuir-Freundlich isotherm model for simulating pH-dependent adsorption effects** **Journal of Contaminant Hydrology** 129–130, p. 46–53, 2012.

JUNIOR, A. C. A. **Ocorrência de pesticidas em efluentes oriundos da produção de uva: tratamento por fotólise e avaliação da toxicidade**. 2015. 90 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Associação Instituto de Tecnologia de Pernambuco, Recife, 2015

KAUR, R.; HASAN, A.; IQBAL, N.; ALAM, S.; SAINI, M. K.; RAZA, S. K. Synthesis and surface engineering of magnetic nanoparticles for environmental cleanup and pesticide residue analysis: A review. **Journal of Separation Science**, vol. 37, p. 1805 – 1825, 2014.

LAGERGREN, S. About the theory of so-called adsorption of soluble substances. **Kungl. Svenska vetenskapsakademiens handlingar**, v. 24, p. 1–39, 1898. Disponível em: <https://doi.org/10.4236/oalib.1107228>. Acesso em: 06 de novembro de 2021.

LEVAN, A. **The effect of colchicines in root mitosis in Allium**, Hereditas 24, 471–486, 1938.

LIONETTO, M.G.; CALISI, A.; SCHETTINO, T. Earthworms biomarkers as tools for soil pollution assessment, **Soil Health and Land Use Management**, Itália, v.16, p.305-331, 2012.

KEDE, M.L.M.F. **Comportamento Do Chumbo Em Latossolos Após Aplicação De Rocha Fosfatada Brasileira : Subsídio Para Remediação Após Aplicação De Rocha Fosfatada Brasileira : Subsídio Para Remediação** Dissertação de mestrado em ciência na área de Saúde Pública. Fundação Oswaldo Cruz. 2006.

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

NASCIMENTO, R. F.; LIMA, A. C. A.; VIDAL, C. B.; MELO, D. Q.; RAULINO, G. S. C. do et al. **ADSORÇÃO: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2020. p.14 Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/53271>. Acesso em: 20.mar. 2021.

NASSAR, N. N. Rapid removal and recovery of Pb(II) from wastewater by magnetic nanoadsorbents. **Journal of Hazardous Materials**, vol. 184, p. 538-546, 2010.

NUNES, B. S.; CARVALHO, F. D.; GUILHERMINO, L. M.; STAPPEN, G. V. Use of the genus Artemia in ecotoxicity testing. **Environmental pollution**. Porto, Portugal, v.144, p.453-462, 2006.

OGA, S.; CAMARGO, M.A.A.; BATISTUZZO, J.A.O. **Fundamentos da toxicologia**. 3ª edição. São Paulo: Atheneu Editora 2008.

OLIVEIRA, L. C. A.; FABRIS, J. D.; PEREIRA, M.C.; Óxidos de ferro e suas aplicações em processos catalíticos: uma revisão. **Quim. Nova** Vol. 36, No. 1, 123-130, 2013.

PEREIRA, F. O. P.; SANTOS, L.; SANCHES FILHO, P. J. Avaliação da contaminação ambiental por metais pesados, através da análise de peixes coletados da Lagoa Mangueira – RS. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.10, n. 1, 2019.

REIS, D. C. N. DA S. P. Importância do Estudo da Área Superficial Específica e Porosidade do Estearato de Magnésio para o Setor Farmacêutico. **Dissertação (Mestrado) Programa de Pós Graduação em Tecnologias Industriais. Instituto de Tecnologia em Fármacos**, p. 59, 2013.

RODRIGUES, G. Z. P.; MACHADO, A. B.; GEHLEN, G. Influência de metais no comportamento reprodutivo de peixes, revisão bibliográfica. **Revista Geama**, 2019.

SILVA, G. R.; **Caracterização, estudos fundamentaise flotação de minério de ferro goethítico**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte,2014.

SOUZA, A. K. R.; MORASSUTI, C. Y.; DEUS, W. B. DE. Poluição Do Ambiente Por Metais Pesados E Utilização De Vegetais Como Bioindicadores. **Acta Biomédica Brasiliensia**, v. 9, n. 3, p. 95, 2018.

STAUB, C. P. P. Adsorção de Pb^{2+} por nanopartículas de hematita e goetita recuperadas da drenagem ácida de minas. **Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Ambiental: Análise E Tecnologia Ambiental Chayanne**, p. 72, 2019.

VASQUES, A. R. et al. Adsorção dos corantes RO16, RR2 e RR141 utilizando lodo residual da indústria têxtil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 16, n. 3, p. 245–252, 2011.

XU, P.; ZENG, G. M.; HUANG, D. L.; FENG, C. L.; HU, S.; ZHAO, M. H.; LAI, C.; WEI, Z.; HUANG, C.; XIE, G. X.; LIU, Z. F. **Use of iron oxide nanomaterials in wastewater treatment: A review. Science of the Total Environment**, vol. 424, p. 1-10, 2012