

RESSALVA

Atendendo a solicitação do autor, o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 07/12/2024.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA

DANIELE MOREIRA

BIOSSORÇÃO DE ÍONS METÁLICOS UTILIZANDO A BIOMASSA DO FUNGO
Fusarium sp

Ilha Solteira - SP

2024

DANIELE MOREIRA

BIOSSORÇÃO DE ÍONS METÁLICOS UTILIZANDO A BIOMASSA DO FUNGO

Fusarium sp

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Unesp como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre (Engenharia Civil). Especialidade: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais.

Profa. Dra. Rosane Freire Boina
Orientador

Profa. Dra. Ana Flora Dalberto Vasconcelos
Coorientador

Ilha Solteira – SP

2024

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Moreira, Daniele.
M838b Biossorção de íons metálicos utilizando a biomassa do fungo *Fusarium sp* /
Daniele Moreira. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024
123 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Recursos Hídricos e
Tecnologias Ambientais, 2024

Orientador: Rosane Freire Boina
Co-orientador: Ana Flora Dalberto Vasconcelos
Inclui bibliografia

1. Fungos filamentosos. 2. Efluentes industriais. 3. Modelo cinético. 4.
Modelo isotérmico. 5. Modelo termodinâmico.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Espera-se que o presente trabalho sobre a bio sorção de íons metálicos utilizando a biomassa do fungo *Fusarium* sp. forneça informações valiosas que podem orientar esforços em diversas áreas, como remediação ambiental, recuperação de metais, biotecnologia e eficiência industrial. O impacto potencial desse trabalho se estende a várias áreas alinhadas com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da ONU, com destaque para: ODS 6 - Água Potável e Saneamento - os dados encontrados no decorrer desse trabalho pode contribuir para a remoção eficaz de íons metálicos em solução, promovendo a disponibilidade de água limpa e a preservação dos ecossistemas aquáticos; ODS 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura - os resultados da pesquisa podem inspirar inovações na recuperação de metais, fomentando práticas industriais mais sustentáveis e eficientes; ODS 12 - Consumo e Produção Responsáveis - ao reduzir a necessidade de explorar novos recursos naturais, a pesquisa está alinhada com o objetivo de promover o consumo e a produção responsáveis, contribuindo para a conservação dos recursos. Portanto, o presente trabalho sobre a bio sorção de íons metálicos utilizando a biomassa fúngica, como *Fusarium* sp, desempenha um papel relevante na abordagem de várias questões globais, promovendo o desenvolvimento sustentável e a conservação ambiental em consonância com os ODS estabelecidos pela comunidade internacional.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

It is expected that the present work on the biosorption of metal ions using the biomass of the fungus *Fusarium* sp. provides valuable information that can guide efforts in diverse areas, such as environmental remediation, metal recovery, biotechnology, and industrial efficiency. The potential impact of this work extends to several areas approved with the Sustainable Development Goals (SDGs) of the ONU 2030 Agenda, with emphasis on SDG 6 - Drinking Water and Sanitation: the data found during this work can contribute to the effective removal of metallic ions in solution, promoting the availability of clean water and the preservation of aquatic ecosystems; SDG 9 - Industry, Innovation, and Infrastructure: research results can inspire innovations in metal recovery, fostering more sustainable and efficient industrial practices; SDG 12 - Responsible Consumption and Production: by reducing the need for new natural resources, research is aligned to promote responsible consumption and production, contributing to the conservation of resources. Therefore, the present work on the biosorption of metal ions using fungal biomass, such as *Fusarium* sp, plays a relevant role in addressing several global issues, promoting sustainable development and environmental conservation in line with the SDGs established by the international community.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: BIOSSORÇÃO DE ÍONS METÁLICOS UTILIZANDO A BIOMASSA DO FUNGO *Fusarium* sp.

AUTORA: DANIELE MOREIRA

ORIENTADORA: ROSANE FREIRE BOINA

COORIENTADORA: ANA FLORA DALBERTO VASCONCELOS

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Engenharia Civil, área: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. ROSANE FREIRE BOINA (Participação Presencial)
Departamento de Química e Bioquímica / Faculdade de Ciências e Tecnologia - UNESP

A handwritten signature in blue ink, reading "Rosane Freire Boina", is placed over the printed name of the professor.

Profa. Dra. JULIANA HELOISA PINÊ AMÉRICO PINHEIRO (Participação Virtual)
Departamento de Ciência Florestal, Solos e Ambiente / Faculdade de Ciências Agrômicas - UNESP

Profa. Dra. CASSIANA MARIA REGANHAN CONEGLIAN (Participação Virtual)
Faculdade de Tecnologia / Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

Ilha Solteira, 07 de junho de 2024

AGRADECIMENTOS

Agradeço e dedico este trabalho primeiramente à Deus. Sem ele nada seria possível.

Quero agradecer imensamente aos meus pais, José Moreira e Soledade Aparecida C. Moreira, por ter me dado todo o suporte e ensinamentos necessários para a vida, por ter me mostrado desde pequena que a educação é o melhor caminho, tenho certeza de que se não fosse por vocês eu não teria chegado aonde cheguei.

Ao meu irmão Cleiton Moreira, que sempre me apoiou e incentivou nas minhas escolhas. Ao meu namorado por ter paciência, entendimento, companheirismo, por ter me auxiliado e ajudado a passar os dias de desânimo, muito obrigado por estar ao meu lado nesse processo tão importante.

As minhas amigas de graduação Gabriela Souza Alves e Andréa Ribeiro Braga, por terem me acompanhado nessa caminhada e me ajudado nos momentos de dificuldade, tornando esse processo mais leve. Aos meus queridos amigos e parceiros do laboratório LAARR, pelas conversas, ideias, momentos de descontração e muitas risadas.

A minha orientadora, Profa. Dra. Rosane Freire Boina, por todo suporte, dedicação, compreensão e paciência durante todos os momentos. Sem ela, essa jornada teria sido mais ardorosa. Um exemplo de profissional que um dia almejo ser. Muito obrigada Ro! Gostaria de agradecer a minha coorientadora Profa. Dra. Ana Flora Dalberto Vasconcelos pelos conhecimentos adquiridos, apoio e compressão; Profa. Dra. Adriana Knob e Prof. Dr. André Rodrigues por terem cedido e identificado a cepa do fungo utilizado no trabalho.

Por fim gostaria de agradecer à Faculdade de Engenharia (UNESP), especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil pela oportunidade de realização do curso. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

“O Senhor é o meu pastor e nada me faltará (Salmos, 23:1).”

RESUMO

Os íons metálicos têm gerado grande preocupação ambiental devido sua toxicidade à saúde humana e ao ecossistema, principalmente por tratamento e descarte inadequados de efluentes industriais. Dentre os métodos aplicados, a bioissorção tem se mostrado uma alternativa eficaz para o tratamento desses poluentes, principalmente por utilizar materiais de baixo custo e por ser um método sustentável, no qual o adsorvente e o adsorbato podem ser recuperados. Entre os possíveis bioissorventes, a biomassa fúngica apresenta potencial para aplicação em diferentes processos, como por exemplo para a remoção ou redução de íons metálicos em ambientes, visando à recuperação da qualidade ambiental. A utilização de fungos se torna vantajosa em razão à sua tolerância a poluentes, sua capacidade de adentrar no meio por micélios e rápida colonização de diferentes substratos. Neste contexto, esse trabalho teve como objetivo produzir quantidades significativas de biomassa fúngica, aplicando a cepa do fungo ascomiceto *Fusarium* sp, em meio de cultivo submerso *in vitro*, para bioissorção de íons metálicos (Ni^{2+} e Pb^{2+}). Inicialmente foi realizado a produção da biomassa fúngica. Em seguida, foram realizadas análises de caracterização. O material foi caracterizado pelas técnicas: pH - pCZ , FT-IR, TGA, FRX, BET, MEV e PZ. Os efeitos dos parâmetros dependentes, como pH, dosagem do bioissorvente e temperatura foram investigados. A biomassa fúngica apresentou superfície neutra em pH 6,48 e formadora de dispersões estáveis em pH 7. As imagens de MEV indicaram que a superfície do material apresenta uma estrutura rugosa e com a presença de filamentos. A análise de área superficial (BET) mostrou que a biomassa possui uma área superficial relativamente pequena ($0,823 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$) comparado com os adsorventes de engenharia. O FT-IR indicou a presença de grupos funcionais amino, amida e ácidos carboxílicos, presentes na estrutura de proteínas e polissacarídeos. Esses grupos foram significativos para remoção dos íons metálicos. A análise de comportamento térmico mostrou que o material analisado apresenta três fases de degradação, sendo a primeira entre 25°C e 200°C , relacionada a eliminação de água, a segunda entre 200°C e 350°C , devido a degradação de lipídeos totais e, o último estágio, em 350°C e 500°C que corresponde a decomposição da estrutura de polissacarídeos. A FRX apontou que os elementos predominantes na biomassa são cálcio, potássio e enxofre, sendo que, a presença desses elementos pode estar associada ao metabolismo, genética e estrutura do *Fusarium* sp. As condições ótimas de estudos foram alcançadas utilizando $0,05 \text{ g}$ de bioissorvente em concentrações iniciais entre $0,5$ a $2,0 \text{ mg.L}^{-1}$, a 25°C e pH 4,5, para íons níquel e chumbo. Os dados experimentais foram melhor ajustados ao modelo de pseudo-segunda-ordem para Ni^{2+} e Elovich para Pb^{2+} , com capacidade adsorção no equilíbrio (q_{te}) de $0,458 \text{ mg.g}^{-1}$ aos 240 minutos e de $0,843 \text{ mg.g}^{-1}$ aos 1440 minutos, respectivamente. As isotermais de adsorção sugerem que a adsorção ocorre em mono e multicamada para Ni^{2+} e Pb^{2+} . Os parâmetros termodinâmicos foram estimados indicando um processo termodinamicamente viável e espontâneo, com eficiências de remoção de mais de 85%. Os resultados mostram que a biomassa inativa do fungo *Fusarium* sp apresentou características físico-químicas favoráveis ao processo de bioissorção, se mostrando um bom material bioadsorvente para adsorção de íons metálicos em baixas concentrações.

Palavras-chave: fungos filamentosos; efluentes industriais; modelo cinético; modelo isotérmico; modelo termodinâmico.

ABSTRACT

Metal ions have generated great environmental concern due to their toxicity to human health and the ecosystem, mainly due to inadequate treatment and disposal of industrial effluents. Among the methods applied, biosorption has proven to be an effective alternative for the treatment of these pollutants, mainly because it uses low-cost materials and is a sustainable method in which the adsorbent and adsorbate can be recovered. Among the possible biosorbents, fungal biomass has the potential for application in different processes, such as for the removal or reduction of metal ions in environments, aiming at the recovery of environmental quality. The use of fungi becomes advantageous due to their tolerance to pollutants, their ability to enter the environment through mycelia, and rapid colonization of different substrates. In this context, this work aimed to produce significant amounts of fungal biomass by applying the ascomycete fungus strain *Fusarium* sp, in a submerged in vitro culture medium, for biosorption of metal ions (Ni^{2+} and Pb^{2+}). Initially, the fungal biomass was produced. Then, characterization analyses were performed. The material was characterized by the following techniques: pH - PCZ, FT-IR, TGA, FRX, BET, SEM, and PZ. The effects of dependent parameters, such as pH, biosorbent dosage, and temperature were investigated. The fungal biomass presented a neutral surface at pH 6.48 and formed stable dispersions at pH 7. The SEM images indicated that the surface of the material presents a rough structure with the presence of filaments. The surface area analysis (BET) showed that the biomass has a relatively small surface area ($0.823 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$) compared to engineering adsorbents. FT-IR indicated the presence of amino, amide, and carboxylic acid functional groups in the structure of proteins and polysaccharides. These groups were significant for the removal of metal ions. Thermal behavior analysis showed that the analyzed material presents three degradation phases, the first between 25°C and 200°C , related to the elimination of water, the second between 200°C and 350°C , due to the degradation of total lipids and, the last stage, at 350°C and 500°C , which corresponds to the decomposition of the polysaccharide structure. XRF indicated that the predominant elements in the biomass are calcium, potassium, and sulfur, and the presence of these elements may be associated with the metabolism, genetics, and structure of *Fusarium* sp. The optimal study conditions were achieved using 0.05 g of biosorbent in initial concentrations between 0.5 and 2.0 mg.L^{-1} , at 25°C and pH 4.5, for nickel and lead ions. The experimental data were best fitted to the pseudo-second-order model for Ni^{2+} and Elovich for Pb^{2+} , with equilibrium adsorption capacity (q_e) of 0.458 mg.g^{-1} at 240 minutes and 0.843 mg.g^{-1} at 1440 minutes, respectively. The adsorption isotherms suggest that adsorption occurs in mono and multilayer for Ni^{2+} and Pb^{2+} . The thermodynamic parameters were estimated indicating a thermodynamically viable and spontaneous process, with removal efficiencies of over 85%. The results show that the inactive biomass of the fungus *Fusarium* sp presented favorable physicochemical characteristics for the biosorption process, proving to be a good adsorbent material for the adsorption of metal ions at low concentrations.

Keywords: filamentous fungi; industrial effluents; kinetic model; isothermal model; thermodynamic model.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo de adsorção	32
Figura 2 – Adsorção química e física	33
Figura 3 – Classificação e subgrupos das isotermas de adsorção	35
Figura 4 – Tipos de isotermas de adsorção	36
Figura 5 – Representação da estrutura da parede celular fúngica	47
Figura 6 – Fungo filamentoso <i>Fusarium</i> sp, cultivado em meio sólido de sais de Vogel.....	53
Figura 7 – Cultivo do fungo <i>Fusarium</i> sp em placas com meio sólido de sais de Vogel.....	55
Figura 8 – Produção das células fúngicas em meio líquido	56
Figura 9 – Produção da biomassa em meio mínimo de sais de Vogel	57
Figura 10 – Biomassa seca fungo <i>Fusarium</i> sp	57
Figura 12 – Processo de filtração da biomassa.....	58
Figura 11 – Biomassa em suspensão	58
Figura 14 – Análise pH-PCZ.....	60
Figura 15 – Microscopias da biomassa fúngica seca em estufa com ampliação de 500X (a), 1000X (b), 5000X (c) e 10000X (d), antes do processo de biossorção dos íons metálicos	66
Figura 16 – Espectro de infravermelho da biomassa seca do fungo <i>Fusarium</i> sp.....	67
Figura 17 – Isoterma de adsorção/dessorção de N ₂ para a biomassa do fungo <i>Fusarium</i> sp.	71
Figura 18 – Curva de aquecimento térmico para biomassa fúngica seca (<i>Fusarium</i> sp)	72
Figura 19 – Curva de aquecimento térmico em função da derivada do fluxo de calor	74
Figura 20 – pH-PCZ da biomassa fúngica (<i>Fusarium</i> sp)	76
Figura 21 – Especificação química para Níquel (II).....	77
Figura 22 – Especificação química para Chumbo (II).....	78
Figura 23 – Capacidade de absorção ($q_e - \text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) e eficiência (%) de remoção de íons chumbo em diferentes pHs (4,5; 5,5 e 6,5). Experimento realizado a 25 °C, em concentrações iniciais de 0,5, 1,0 e 2,0 m.L^{-1} , aplicando 0,05 g de biosorvente, com tempo de contato de 1440 min	80
Figura 24 – Capacidade de absorção ($q_e - \text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) e eficiência (%) de remoção de íons níquel em diferentes pHs (4,5; 5,5 e 6,5). Experimento realizado a 25 °C, em concentrações iniciais de 0,5, 1,0 e 2,0 m.L^{-1} , aplicando 0,05 g de biosorvente, com tempo de contato de 1440 min	81
Figura 25 – Capacidade de absorção ($q_e - \text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) e eficiência (%) de remoção de íons níquel em diferentes temperaturas (20, 25 e 30 °C) e condição de pH 4,5. Experimento realizado em	

concentrações iniciais de 0,5, 1,0 e 2,0 m.L ⁻¹ , aplicando 0,05 g de biosorvente, com tempo de contato de 1440 min	84
Figura 26 – Capacidade de absorção ($q_e - \text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) e eficiência (%) de remoção de íons chumbo em diferentes temperaturas (20, 25 e 30 °C) e condição de pH 4,5. Experimento realizado em concentrações iniciais de 0,5; 1,0 e 2,0 mg.L ⁻¹ , aplicando 0,05 g de biosorvente, com tempo de contato de 1440 min	85
Figura 27 – Capacidade de absorção ($q_e - \text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) e eficiência (%) de remoção do metal níquel em diferentes massas do biosorvente (0,01 e 0,05 g) e condição de pH 4,5. Experimento realizado a 25 °C, aplicando concentração inicial de 0,5 – 2,0 mg. L ⁻¹ com tempo de contato de 1440 min	87
Figura 28 – Capacidade de absorção ($q_e - \text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) e eficiência (%) de remoção do metal chumbo em diferentes massas do biosorvente (0,01 e 0,05 g) e condição de pH 4,5. Experimento realizado a 25 °C, aplicando concentração inicial de 0,5 – 2,0 mg.L ⁻¹ com tempo de 1440 min	88
Figura 29 – Microscopia Eletrônica de Varredura da biomassa fúngica seca carregada com Pb ²⁺ (a e b) e Ni ²⁺ (c e d), após o processo de biossorção em temperatura de 25 °C, massa 0,05 g, pH 4,5 e tempo de contato 1440 min e 240 min para chumbo e níquel.	90
Figura 30 – Espectros de FT-IR da biomassa fúngica seca (c) e após os ensaios de biossorção para Ni ²⁺ (a) e Pb ²⁺ (b)	91
Figura 31 – Isotermas de adsorção de Langmuir, Freundlich e Redlich-Petterson para íon níquel na biomassa de Fusarium (0,05 g). Experimentos realizados à 25 °C, pH 4,5, e tempo de contato 240 minutos	96
Figura 32 – Ajustes dos dados experimentais nos modelos de Langmuir, Freundlich e Redlich-Petterson para íon chumbo frente a biomassa do fungo Fusarium sp. Experimentos realizados à 25 °C, pH 4,5, e tempo de contato 1440 minutos	97

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação dos resíduos.....	22
Quadro 2 – Propriedades químicas do Chumbo (Pb).....	25
Quadro 3 – Propriedades químicas do Níquel (Ni).....	27
Quadro 4 – Bandas de absorção presentes na biomassa seca do fungo <i>Fusarium</i> sp;.....	69
Quadro 5 – Área superficial, volume dos microporos e volume total dos poros da biomassa do <i>Fusarium</i> sp.	70
Quadro 6 – Resultados análise Potencial Zeta	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Biomassas fúngicas utilizadas para a remoção de íons metálicos	50
Tabela 2 – Condições de operação da espectroscopia de absorção atômica para detecção de íons Níquel e Chumbo	62
Tabela 3 – Processos termoquímicos para biomassa do <i>Fusarium</i> sp em diferentes intervalos de temperatura	74
Tabela 4 – Composição química (%) da biomassa do <i>Fusarium</i> sp.	75
Tabela 5 – Melhores condições (pH e concentração do efluente) para bioissorção de íons níquel (II) e chumbo (II) a 25°C e suas respectivas capacidades de adsorção e eficiência de remoção	81
Tabela 6 – Melhores condições (temperatura e concentração do efluente) para bioissorção de íons níquel (II) e chumbo (II) e suas respectivas capacidades de adsorção e eficiência de remoção	85
Tabela 7 – Melhores condições (massa e concentração do efluente) para bioissorção de íons Níquel (II) e Chumbo (II) e suas respectivas capacidades de adsorção e eficiência de remoção	88
Tabela 8 – Parâmetros cinéticos de adsorção de Níquel (II) e Chumbo (II) para <i>Fusarium</i> sp. Destaque em negrito para o coeficiente de determinação (R^2) que representa o melhor ajuste	94
Tabela 9 – Parâmetros de equilíbrio obtidos para isotermas de Langmuir, Freundlich para remoção de íons Ni (II) e Pb (II)	97
Tabela 10 – Parâmetros termodinâmicos da bioissorção de íons Ni (II) e Pb (II).....	98

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	17
2.1	Objetivo geral	17
2.2	Objetivo específico.....	17
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1	Efluentes industriais.....	18
3.2	Íons metálicos.....	21
3.2.1	Chumbo (Pb).....	24
3.2.2	Níquel (Ni)	26
3.3	Tratamento físico-químico de efluentes industriais	29
3.4	Tratamentos biológicos de efluentes industriais.....	30
3.5	Adsorção.....	31
3.5.1	Isotermas de adsorção.....	34
3.5.2	Isoterma de Langmuir	37
3.5.3	Isoterma de Freundlich.....	38
3.5.4	Isoterma de Redlich-Peterson	39
3.5.5	Cinética de Adsorção.....	40
3.5.6	Cinética de pseudo-primeira-ordem (PPO)	41
3.5.7	Cinética de pseudo-segunda-ordem (PSO).....	42
3.5.8	Cinética de Elovich.....	42
3.5.9	Estudo Termodinâmico.....	43
3.6	Tratamento de efluente industrial por Biorremediação: a Biossorção	44
3.6.1	<i>Fusarium</i> sp.....	52
4	METODOLOGIA	54
4.1	Produção da biomassa.....	54

4.1.1	Reativação e Manutenção dos Microrganismos	54
4.1.2	Cultivo dos microrganismos em meio sólido.....	54
4.1.3	Cultivo dos microrganismos para obtenção de biomassa.....	55
4.1.4	Tratamento da biomassa fúngica.....	57
4.2	Caracterização da biomassa fúngica tratada.....	58
4.2.1	Microscopia de varredura (MEV)	58
4.2.2	Termogravimetria (TGA).....	59
4.2.3	Espectrofotômetro de Fluorescência de Raio-X (FRX)	59
4.2.4	Espectroscopia de infravermelho com Transformada de Fourier (FT-IR)	59
4.2.5	Determinação da área superficial (BET).....	59
4.2.6	pH-PCz – Ponto de carga zero.....	60
4.2.7	Potencial Zeta	61
4.3	Ensaio de adsorção.....	61
4.3.1	Preparo das soluções aquosas.....	61
4.3.2	Tratamento de adsorção preliminar.....	61
4.3.3	Ajuste dos dados experimentais aos modelos de equilíbrio.....	63
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
5.1	Produção da biomassa.....	65
5.2	Caracterização do material	65
5.2.1	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	65
5.2.2	Espectroscopia de infravermelho com Transformada de Fourier (FT-IR)	67
5.2.3	Determinação da superfície específica: Método BET	70
5.2.4	Termogravimetria (TGA).....	71
5.2.5	Espectrofotômetro de Fluorescência de Raio-X (FRX)	75
5.2.6	Potencial de Carga Zero (pH-PCZ) e Potencial Zeta (PZ).....	76
5.3	Tratamento preliminar	79
5.3.1	Efeito do pH - Níquel e Chumbo.....	79

5.3.2	Efeito da temperatura	83
5.3.3	Efeito da massa do adsorvente	86
5.3.3.1	<i>Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) após a biossorção</i>	89
5.3.3.2	<i>FT-IR após a biossorção de íons Pb (II) e Ni (II)</i>	91
5.4	Ajuste dos dados experimentais aos modelos de equilíbrio	93
5.4.1	Ensaio cinéticos	93
5.4.2	Ajuste aos modelos de isothermas	95
5.4.3	Ensaio termodinâmicos	98
6	CONCLUSÃO	100
	REFERÊNCIAS	101

1 INTRODUÇÃO

O crescimento industrial tem causado aumento na emissão de resíduos sólidos, líquidos e gasosos no ecossistema e, como consequência, o agravamento dos problemas ambientais (Cardoso *et al.*, 2020). Efluentes líquidos industriais são definidos como toda a água que é utilizada em inúmeros processos industriais e, posteriormente, descartada. Esses efluentes podem conter uma variedade de substâncias, incluindo produtos químicos, íons metálicos, compostos orgânicos e materiais suspensos (Sultana *et al.*, 2022).

Segundo Zonato *et al.* (2022), os resíduos e efluentes de indústrias são os principais responsáveis pelas agressões ao meio ambiente, uma vez que têm sido depositados de forma inadequada. Um dos tipos de contaminantes presente nesses resíduos e efluentes são os íons metálicos, que apresentam alta toxicidade (Abdel-Galil *et al.*, 2018). Ambientalmente, os íons metálicos são classificados como elementos que em concentrações específicas podem apresentar riscos à saúde humana e ao meio ambiente, causando sérios problemas à atividade dos seres vivos (Allaoui *et al.*, 2021). Esse contaminante é proveniente de diversas operações industriais, como fundição, têxtil, curtume, microeletrônica, fertilizante, pesticida e mineração (Lira, 2021).

A problemática dos íons metálicos presentes no ambiente está associada à sua capacidade de bioacumulação, caracterizada pelo processo de absorção de contaminantes, e à biomagnificação, definida como o acúmulo progressivo de substância tóxica a partir de um nível trófico para o outro ao longo da cadeia alimentar, causando alterações em seus processos metabólicos (Lemos *et al.*, 2019; Nascimento *et al.*, 2020). Essa situação ocorre devido à sua alta toxicidade e ação no meio ambiente. Na literatura, existem diferentes metodologias de tratamento de efluentes visando a remoção de poluentes específicos, que podem ser divididos em três grandes grupos (Azevedo; Valverde; Mesquita, 2020; Abdelfattah *et al.*, 2023): tratamentos físicos, que utilizam a aplicação de forças físicas para a separação de contaminantes; o método químico, a partir da adição de produtos químicos no meio ou reações químicas e, por fim, o tratamento biológico que consiste na aplicação de biomassa microbiana morta ou viva para biorremediação de poluentes tóxicos por meio de processos ativos, ou passivos (Ayele *et al.*, 2021).

Normalmente, o tratamento de íons metálicos tóxicos em efluentes aquosos é realizado através de processos químicos como precipitação, floculação, extração por solvente, filtração por membrana e troca iônica (Coelho *et al.*, 2020). No entanto, esses tratamentos podem ser onerosos, ineficazes em uma determinada faixa de concentração e, também, ter a capacidade de

gerar resíduos com maior potencial poluidor (Sultana *et al.*, 2022). Um dos métodos alternativos de baixo custo e que tem demonstrado potencial para remoção de íons metálicos é a biossorção em biomassa fúngica (Soares *et al.*, 2020). Nesse tratamento, o poluente fica aderido à superfície das células do microrganismo, removendo-o do meio. O mecanismo de remoção depende da afinidade do material (biossorvente) com o contaminante, que pode interagir através de fenômenos químicos ou físicos (Tiquia-Arashiro, 2018).

A biomassa fúngica tem recebido grande atenção como biossorvente pois, consegue se adaptar em ambientes extremos, tolerar uma faixa de concentração de contaminante e apresenta boa eficiência de remoção para íons metálicos (Tiquia-Arashiro, 2018). Além disso, os fungos filamentosos possuem uma estrutura celular complexa com diversas enzimas capazes de remover ou converter diferentes poluentes em compostos menos tóxicos (Ferreira *et al.*, 2020). Tais características destacam sua aplicação sobre bactérias, microalgas e leveduras. Algumas espécies como *Rhizopus arrhizus*, *Aspergillus niger* e *Penicillium oxalicum* apresentaram uma clara tolerância aos íons tório e chumbo, podendo sobreviver à sua toxicidade por meio de mecanismos em resposta ao íon metálico (Policarpo, 2016; Tian *et al.*, 2019).

Diante dos problemas causados pela presença de íons metálicos em ambientes aquáticos e na vida humana é necessário encontrar um tratamento sustentável e com bom potencial de remoção de íons metálicos. Sendo assim, este trabalho busca produzir e aplicar a biomassa fúngica inativa produzida pelo fungo *Fusarium* sp para a biossorção de íons Níquel (II) e do Chumbo (II). Para isso foi realizada a produção e caracterização físico-química da biomassa e biossorção de íons metálicos. Ainda, foi avaliada a influência de parâmetros dependentes do processo. Para a compreensão dos fenômenos envolvidos na adsorção foram feitos estudos isotérmicos, termodinâmicos e cinéticos.

6 CONCLUSÃO

O fungo *Fusarium* sp demonstrou notável capacidade de produção de biomassa fúngica, que apresentou alta capacidade de remoção de íons Ni (II) e Pb (II) de soluções aquosas. O material apresentou estrutura rugosa, com presença de filamentos, e pequena área superficial, com predomínio de macroporos, compatível com outros materiais biológicos. O FT-IR indicou que em sua superfície há presença de grupos funcionais amino, amida e ácido carboxílico que foram responsáveis pela bioadsorção de íons metálicos. A análise para determinação da carga superficial demonstrou que a biomassa é neutra em termos de carga. Tais características mostraram fundamentais para o processo de adsorção. A eficiência de remoção dependeu dos parâmetros operacionais, obtendo-se melhores condições em pH 5,5 para Pb^{2+} e 6,5 Ni^{2+} ; massa bioadsorvente de 0,05 mg e temperatura de 25 °C. Os dados cinéticos indicaram que a adsorção de íons níquel e chumbo ocorre por quimissorção (PSO e Elovich). As isotermas de adsorção foram favoráveis e linear e indicaram um fenômeno de mono e multicamada para níquel e chumbo. Os parâmetros termodinâmicos indicaram que a bioadsorção dos íons analisados é viável, espontânea, endotérmica para íons de níquel e exotérmica para chumbo. Diante do exposto, a biomassa do fungo *Fusarium* sp apresenta-se como um material ecológico e sustentável, com características físico-químicas significativas e demonstra resultados positivos no processo de bioadsorção de íons níquel e chumbo. Esses resultados indicam que o material apresenta potencial promissor para aplicação no processo de biorremediação de efluentes contendo íons metálicos. Os ensaios de dessorção e aplicação do adsorvente em soluções multicomponentes são aspectos importantes no estudo da adsorção, a fim de melhorar a eficiência do material, simular condições reais e compreender as interações metálicas nessas condições. Dessa forma, os estudos futuros de bioadsorção da biomassa fúngica inativa do fungo *Fusarium* sp devem se avançar nessas perspectivas.

REFERÊNCIAS

- ABDELFATTAH, A.; ALI, S. S.; RAMADAN, H.; EL-ASWAR, E. I.; ELTAWAB, R.; HO, S.H.; ELSAMAHY, T.; LI, S.; EL-SHEEKH, M. M.; SCHAGERL, M.; KORNAROS, M.; SUN, J. Microalgae-based wastewater treatment: mechanisms, challenges, recent advances, and future prospects. **Environmental Science and Ecotechnology**, Amsterdam, v. 13, p. 100205, jan. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.es.2022.100205>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666498422000618?via%3Dihub>. Acesso em: 20 mar. 2023.
- ABDEL-GALIL, E. A.; ABDEL-AZIZ, O. A.; MOSTAFA, A. Z.; AMIN, M. Characterization and sorption behavior of some toxic metal ions on *Fusarium oxysporum* as biomass adsorbent. **Desalination and water treatment**, Abingdon, v. 133, p. 134–145, nov. 2018. DOI: <https://doi.org/10.5004/dwt.2018.23010>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1944398624160791?via%3Dihub>. Acesso em: 18 mar. 2023.
- ABDEL-GALIL, E. A.; RIZK, H. E.; MOSTAFA, A. Z. Production and characterization of activated carbon from Leucaena plant wastes for removal of some toxic metal ions from waste solutions. **Desalination and Water Treatment**, Abingdon, v. 57, n. 38, p. 17880–17891, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1102768>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19443994.2015.1102768>. Acesso em: 27 out. 2023.
- ABDELWAHAB, O.; FOUAD, Y. O.; AMIN, N. K.; MANDOR, H. Kinetic and thermodynamic aspects of cadmium adsorption onto raw and activated guava (*Psidium guajava*) leaves. **Environmental Progress and Sustainable Energy**, Hoboken, v. 34, n. 2, p. 351–358, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/ep.11991>. Disponível em: <https://aiche.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ep.11991>. Acesso em: 10 nov. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10.004**: resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004, p. 71.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9800**: critérios para Lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.
- AHMAD, K.; SHAH, H.R.; KHAN, M. S.; IQBAL, A.; POTRICH, E.; AMARAL, L. S.; RASHEED, S.; NAWAZ, H.; AYUB, A.; NASEEM, K.; MUHAMMAD, A.; YAQOOB, M. R.; ASHFAQ, M. Lead In drinking water: adsorption method and role of zeolitic imidazolate frameworks for its remediation: A review. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 368, p. 133010, set. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133010>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652622026026?via%3Dihub>. Acesso em: 16 abr. 2023.
- AKINKUNMI, W. A.; HUSAINI, A. A. S. A., ZULKHARNAIN, A., GUAN, T. M., ROSLAN, H. A. Fatores que afetam a biorremediação de íons tóxicos de chumbo (II) por *Fusarium equiseti* isolado do ambiente de solo de manguezal do sudeste de Bornéu. **Malaysian journal of microbiology**, Selangor, v. 11, n. Specialissue2, p. 215-222, 2015. Disponível em:

<https://shibaura.elsevierpure.com/en/publications/factors-affecting-toxic-leadii-ion-bioremediation-by-fusarium-que>. Acesso em: 15 jun. 2023.

ALLAOUI, M.; BERRADI, M.; BENSALAH, J.; ES-SAHBANY, H.; DAGDAG, O.; IBN-AHMED, S. Study of the adsorption of nickel ions on the sea shells of Mehdiya: kinetic and thermodynamic study and mathematical modelling of experimental data. **Materials Today: Proceedings**, Amsterdam, v. 45, p. 7494–7500, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.234>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785321013213>. Acesso em: 18 mar. 2023.

ALSUHAIBANI, A. M.; ALAYYAFI, A. A.; ALBEDAIR, L. A.; EL-DESOUKY, M.; EL-BINDARY, A. A. Efficient fabrication of a composite sponge for Cr(VI) removal via citric acid cross-linking of metal-organic framework and chitosan: adsorption isotherm, kinetic studies, and optimization using Box-Behnken design. **Materials Today Sustainability**, Oxford, v. 26, p. 100732, jun. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2024.100732>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S258923472400068X>. Acesso em: 10 abr. 2023.

ANDRADE, M. V. V.; GALHARDO, C. X. Biorremediação dos efluentes do Rio São Francisco em Petrolina-PE: perspectivas de tratamento. **Journal on Innovation and Sustainability Risus**, São Paulo, v. 12, n. 1, p. 70–82, 2021. DOI: <https://doi.org/10.23925/2179-3565.2021v12i1p70-82>. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/risus/article/view/49127>. Acesso em: 02 jun. 2023.

ANDRADE, L. A.; BATISTA, F. R. X.; LIRA, T. S.; BARROZO, M. A. S.; VIEIRA, L. G. M. Characterization and product formation during the catalytic and non-catalytic pyrolysis of the green microalgae *Chlamydomonas reinhardtii*. **Renewable Energy**, Oxford, v. 119, p. 731–740, abr. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.12.056>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148117312600?via%3Dihub>. Acesso em: 19 jun. 2023.

APHA. American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20th. ed. [S. l.]: American Public Health Association, 1998.

ARAMPATZIDOU, A. C.; DELIYANNI, E. A. Comparison of activation media and pyrolysis temperature for activated carbons development by pyrolysis of potato peels for effective adsorption of endocrine disruptor bisphenol-A. **Journal of Colloid and Interface Science**, Philadelphia, v. 466, p. 101–112, mar. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2015.12.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0021979715303878?via%3Dihub>. Acesso em: 30 mai. 2023.

ARAÚJO, B. A.; SOUZA, J. E. S.; SARMENTO, K. K. F.; REBOUÇAS, L. D.; MEDEIROS, K. M.; LIMA, C. A. P. Processos oxidativos avançados aplicados no tratamento de efluentes da produção de membranas: revisão de literatura. **Research, Society and Development**, Itaboraí, v. 10, n. 4, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i4.14253>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/14253>. Acesso em: 04 abr. 2023.

ARAÚJO, K. S.; ANTONELLI, R.; GAYDECZKA, B.; GRANATO, A. C.; MALPASS, G. R. P. Advanced oxidation processes: a review regarding the fundamentals and applications in wastewater treatment and industrial wastewater. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary**

Journal of Applied Science, Taubaté, v. 11, n. 2, p. 387, jun. 2016. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1862>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambi-agua/a/XjBbHvfYf4bXbDxYnX3xR3r/?lang=pt>. Acesso em: 08 jan. 2024.

ATKINS P.; JONES L.; LAVERMAN L. **Princípios de química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 7 ed. [S. l]: Bookman, 2018.

AYELE, A.; HAILE, S.; ALEMU, D.; KAMARAJ, M. Comparative Utilization of Dead and Live Fungal Biomass for the Removal of Heavy Metal: A Concise Review. **The Scientific World Journal**, New York, v. 1, n. p. 5588111, abr. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/5588111>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2021/5588111>. Acesso em: 20 mar. 2023.

AZEVEDO, J. C. V.; VALVERDE, S. A.; MESQUITA, P. L. Avaliação preliminar da remoção de boro em efluente sintético por adsorção em carvão de ossos bovinos. **Brazilian Journal of Development**, São José dos Pinhais, v. 6, n. 3, p. 14394–14401, mar. 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-346>. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/7961/6900>. Acesso em: 20 mar. 2023.

BADHE, R. V.; AKINFOSILE, O.; BIJUKUMAR, D.; BARBA, M.; MATHEW, M. T. Systemic toxicity eliciting metal ion levels from metallic implants and orthopedic devices: a mini review. **Toxicology Letters**, Shannon, v. 350, p. 213–224, out. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2021.07.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378427421001831?via%3Dihub>. Acesso: 12 abr. 2024.

BANERJEE, J.; BAR, N.; BASU, R. K.; DAS, S. K. Development of Ni (II) resistant *S. cerevisiae* and its application: Adsorption study and modeling. **Chemosphere**, Oxford, v. 309, 136647, dez. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136647>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004565352203140X?via%3Dihub>. Acesso em: 27 abr. 2023.

BATISTA, G. R. **Metabólitos fúngicos com potencial antimicrobiano isolados e caracterizados produzidos por gênero *Fusarium***: uma revisão sistemática da literatura. 2022. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia) – Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas, Itacoatiara, 2022.

BASZKIN, A.; NORDE, W. (eds.). **Physical chemistry of biological interfaces**. [S. l]: CRC Press, 1999.

BHATT, P.; BHANDARI, G.; BILAL, M. Occurrence, toxicity impacts and mitigation of emerging micropollutants in the aquatic environments: Recent tendencies and perspectives. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, Amsterdam, v.10, n. 3, p. 107598, jun. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107598>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343722004717?via%3Dihub>. Acesso em: 04 abr. 2023.

BILAL, M.; SHAH, J. A.; ASHFAQ, T.; GARDAZI, S. M. H.; TAHIR, A. A.; PERVEZ, A.; HAROON, H.; MAHMOOD, Q. Waste biomass adsorbents for copper removal from industrial wastewater: a review. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 263, p. 322–333, dez. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.07.071>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389413005505?via%3Dihub>. Acesso em: 20 mai. 2023.

BINET, M. T.; ADAMS, M. S.; GISSI, F.; GOLDING, L. A.; SCHLEKAT, C. E.; GARMAN, E. R.; MERRINGTON, G.; STAUBER, J. L. Toxicity of nickel to tropical freshwater and sediment biota: A critical literature review and gap analysis. **Environmental Toxicology and Chemistry**, Hoboken, v. 37, n. 2, p. 293–317, out. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1002/etc.3988>. Disponível em: <https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/etc.3988>. Acesso em: 27 abr. 2023.

BODZEK, M.; KONIECZNY, K. Membranes In Organic Micropollutants Removal. **Current Organic Chemistry**, Sharjah, v. 22, n. 11, p. 1070–1102, 2018. DOI: <https://doi.org/10.2174/1385272822666180419160920>. Disponível em: <https://www.eurkaselect.com/article/89864>. Acesso em: 15 mai. 2023.

BOGUNIEWICZ, J. Z.; KLOSOK, I. B.; NADDEO, V. Water quality and resource management in the dairy industry. **Environmental Science and Pollution Research**, Heidelberg, v. 26, n. 2, p. 1208–1216, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0608-8>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-017-0608-8>. Acesso em: 29 mar. 2023.

BOINA, R. F.; RAMOS, B.E.; FERRAZ, R.F.; MADEIRA, J. M. R.; OLIVEIRA, W. L. B. SALES, D. H., SOUZA, A. E., TEIXEIRA, S. R.; PEREIRA, N. C. Ceramic adsorbent material in removing reactive blue bf 5G dye from synthetic wastewater. **Separation and Purification Technology**, Oxford, v. 331, p. 125555, mar. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.125555>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383586623024632?via%3Dihub>. Acesso em: 26 abr. 2024.

BRANDT, E. M. F.; QUEIROZ, F. B.; AFONSO, R. J. C. F.; AQUINO, S. F.; CHERNICHARO, C. A. L. Behaviour of pharmaceuticals and endocrine disrupting chemicals in simplified sewage treatment systems. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 128, p. 718–726, out. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.06.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479713004052?via%3Dihub>. Acesso em: 22 mai. 2023.

BRASIL. **Resolução n. 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, p. 19, 18 mar. 2005.

BRASIL. **Resolução n. 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n. 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, Seção 1, p. 89-92, 16 mai. 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. **Portaria GM/MS Nº 888**, de 4 de maio de 2021. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 07 mai. 2021, seção 1, ed. 58, p. 127, 2021.

BRIÃO, V. B.; TAVARES, C. R. G. Effluent generation by the dairy industry: preventive attitudes and opportunities. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, Heidelberg, v. 24, n.

4, p. 487–497, dez. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-66322007000400003>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjce/a/3hH6vBHj7rMGYrfpyMTsHjP/?lang=em>. Acesso em: 29 mar. 2023.

CABRAL, A. A. **Potencial biotecnológico da casca da *Mimosa tenuiflora* (jurema preta) – biossorção de íons metálicos**. 2020. 90 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, Campina Grande, 2020.

CARDOSO, S. L.; COSTA, C. S. D.; SILVA, M. G. C.; VIEIRA, M. G. A. Insight into zinc (II) biosorption on alginate extraction residue: Kinetics, isotherm and thermodynamics. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, Amsterdam, v. 8, n. 3, p. 103629, jun. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103629>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343719307523?via%3Dihub>. Acesso em: 18 mar 2023.

CASTRO-GONZÁLEZ, I.; ROJAS-VERDE, G.; QUINTERO-ZAPATA, I.; ALMAGUER-CANTÚ, V. A Comparative study on removal efficiency of Cr (VI) in aqueous solution by *Fusarium* sp. and *Myrothecium* sp. **Water, Air, & Soil Pollution**, Dordrecht, v. 228, n. 8, p. 301, jul. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3476-4>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-017-3476-4>. Acesso em: 10 jan. 2024.

CHATTERJEE, S.; MAHANTY, S.; DAS, P.; CHAUDHURI, P.; DAS, S. Batch adsorption and process optimization for sequestration of Cr (VI) from aqueous solution using biofilm forming filamentous fungus *Aspergillus niger* BSC-1. **Journal of Water Process Engineering**, Amsterdam, v. 50, 103325, dez. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.103325>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214714422007693?via%3Dihub>. Acesso em: 05 jun. 2023.

CHAUDHARY, D. K.; KIM, J. New insights into bioremediation strategies for oil-contaminated soil in cold environments. **International Biodeterioration and Biodegradation**, London, v. 142, p. 58–72, ago. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2019.05.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0964830518315221?via%3Dihub>. Acesso em: 02 jun. 2023.

CHEN, S. H.; CHEOW, Y. L.; NG, S. L.; TING, A. S. Y. Mechanisms for metal removal established via electron microscopy and spectroscopy: a case study on metal tolerant fungi *Penicillium simplicissimum*. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 362, p. 394–402, jan. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.08.077>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389418307647?via%3Dihub>. Acesso em: 05 jun. 2023.

CHENG, N.; WANG, B.; WU, P.; LEE, X.; XING, Y.; CHEN, M.; GAO, B. Adsorption of emerging contaminants from water and wastewater by modified biochar: a review. **Environmental Pollution**, Oxford, v. 273, 116448, mar. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116448>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749121000269?via%3Dihub>. Acesso em: 25 mai. 2023.

COELHO, E.; REIS, T. A.; COTRIM, M.; MULLAN, T. K.; CORRÊA, B. Resistant fungi isolated from contaminated uranium mine in Brazil shows a high capacity to uptake uranium from water. **Chemosphere**, Oxford, v. 248, p. 126068, jun. 2020. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126068>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653520302617?via%3Dihub>. Acesso em: 20 mar. 2023.

COLLIN, M. S.; VENKATRAMAN, S. K.; VIJAYAKUMAR, N.; KANIMOZHI, V.; AR-BAAZ, S. M.; STACEY, R. G. S.; ANUSHA, J.; CHOUDHARY, R.; LVOV, V.; TOVAR, G. I.; SENATOV, F.; KOPPALA, S.; SWAMIAPPAN, S. Bioaccumulation of lead (Pb) and its effects on human: A review. **Journal of Hazardous Materials Advances**, Amsterdam, v. 7, 100094, ago. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100094>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S277241662200050X?via%3Dihub>. Acesso em: 10 abr. 2024.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. Decisão de Diretoria nº 038/2017/c, de 07 fevereiro de 2017. Dispõe sobre a aprovação do procedimento para a proteção da qualidade do solo e das águas subterrâneas”, da revisão do procedimento para o gerenciamento de áreas contaminadas” e estabelece diretrizes para gerenciamento de áreas contaminadas no âmbito do licenciamento ambiental”, em função da publicação da Lei Estadual nº 13.577/2009 e seu Regulamento, aprovado por meio do Decreto nº 59.263/2013, e dá outras providências. **Diário Oficial Estado de São Paulo**: São Paulo, ed. n. 127, p. 47, 2017.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Decisão de Diretoria nº 195/2005/P**. Estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes líquidos em corpos d'água e no sistema de coleta pública de esgoto. **Diário Oficial Estado de São Paulo**: São Paulo, p. 20, 2005.

COSTA, J. M.; COSTA, J. G.; DOS R.; ALMEIDA, A. F. Techniques of nickel (II) removal from electroplating industry wastewater: Overview and trends. **Journal of Water Process Engineering**, Amsterdam, v. 46, 102593, abr. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.102593>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214714422000368?via%3Dihub>. Acesso em: 22 abr. 2023.

COSTA SÁ, L. M.; ORLANDA, J. F. F. Estudo da Cinética da Sorção de Cromo Hexavalente por Biomassa Fúngica de *Aspergillus ochraceus*. **Orbital - The Electronic Journal of Chemistry**, Campo Grande, v. 7, n. 4, dez. 2015. DOI: <https://doi.org/10.17807/orbital.v7i4.727>. Disponível em: <https://periodicos.ufms.br/index.php/orbital/article/view/17851>. Acesso em: 15 jun. 2023.

CRISPO, F.; CAPECE, A.; GUERRIERI, A.; ROMANO, P. Capillary zone electrophoresis as alternative tool for rapid identification and quantification of viable *Saccharomyces cerevisiae* cells. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 68, p. 506–513, mai. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.026>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643815303832?via%3Dihub>. Acesso em: 20 jun. 2023.

CROUS, P. W.; LOMBARD, L.; SANDOVAL-DENIS, M.; SEIFERT, K. A.; SCHROERS, H. J.; CHAVERRI, P.; GENÉ, J.; GUARRO, J.; HIROOKA, Y.; BENSCH, K.; KEMA, G. H. J.; LAMPRECHT, S. C.; CAI, L.; ROSSMAN, A. Y.; STADLER, M.; SUMMERBELL, R. C.; TAYLOR, J. W.; PLOCH, S.; VISAGIE, C. M.; THINES, M. *Fusarium*: more than a node or a foot-shaped basal cell. **Studies in Mycology**, Utrecht, v. 98, 100116, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2021.100116>. Disponível em: <https://www.ingentaconnect.com/content/wfbi/sim/2021/00000098/00000001/art00001>. Acesso em: 06 jun. 2023.

DAS, P. P., MONDAL, P., SINHA, A., BISWAS, P., SARKAR, S., E PURKAIT, M. K. Treatment of steel plant generated biological oxidation treated (BOT) wastewater by hybrid process. **Separation and Purification Technology**, Oxford, v. 258, p. 118013, mar. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.118013>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383586620324862?via%3Dihub>. Acesso em: 30 mar. 2023.

DAVI, D. M. B.; ABREU, K. DO V.; RECK, L.; OLIVEIRA, M. R. F.; MAIA, S. S. V.; SILVA, A. L. B.; ALVES, C. R. Biossorção do íon metálico Cd^{2+} por biomassa bacteriana isolada do efluente da indústria petrolífera imobilizada em alginato. **Brazilian Journal of Development**, São José dos Pinhais, v. 6, n. 11, p. 92436–92463, nov. 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n11-596>. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/20561/16429>. Acesso em: 27 mai. 2023.

DEEPTI U., BORA; M. K., PURKAIT. Promising integrated technique for the treatment of highly saline nanofiltration rejected stream of steel industry. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 300, p. 113781, dez. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113781>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479721018430>. Acesso em: 02 abr. 2023.

DENG, X.; WANG, P. Isolation of marine bacteria highly resistant to mercury and their bioaccumulation process. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 121, p. 342–347, out. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.07.017>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852412010644?via%3Dihub>. Acesso em: 30 out. 2023.

DIAS, G., HIPÓLITO, M., SANTOS, F., LOUREGA, R., MATTIA, J. D., EICHLER, P., ALVES, J. Biorremediação de efluentes por meio da aplicação de microalgas-uma revisão. **Química Nova**, São Paulo, v. 42, p. 891–899, ago. 2019. DOI: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170393>. Disponível em: <https://quimicanova.sbq.org.br/pdf/RV20190121>. Acesso em: 05 abr. 2023.

DIGHTON, J.; WHITE, J. F. **A comunidade fúngica: sua organização e papel no ecossistema**. [S. l]: CRC press, 2017.

DOMINATO, A. A. G. **Produção de exopolissacarídeos pelos fungos endofíticos *Neofusicoccum parvum*, *Fusarium* sp e *Colletotrichum gloeosporioides*: caracterização química e atividade anticoagulante**. 2017. 141 f. Tese (Doutorado em Microbiologia) – Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2017.

DRUMM, F. C.; GRASSI, P.; GEORGIN, J.; TONATO, D.; PFINGSTEN, D. S.; CHAVES NETO, J. R.; MAZUTTI, M. A.; JAHN, S. L.; DOTTO, G. L. Potentiality of the *Phoma* sp. inactive fungal biomass, a waste from the bioherbicide production, for the treatment of colored effluents. **Chemosphere**, Oxford, v. 235, p. 596–605, nov. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.06.169>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653519314109?via%3Dihub>. Acesso em: 17 jun. 2023.

DUTTA, A.; DAVIES, C.; IKUMI, D. S. Performance of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor and other anaerobic reactor configurations for wastewater treatment: a comparative review and critical updates. **Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua**, London, v. 67, n. 8, p. 858–884, dez. 2018. DOI:

<https://doi.org/10.2166/aqua.2018.090>. Disponível em: <https://iwaponline.com/aqua/article-abstract/67/8/858/64712/Performance-of-upflow-anaerobic-sludge-blanket?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 22 mai. 2023.

ELOVICH, S.Y.; LARINOV, O.G. Theory of adsorption from solutions of non electrolytes on solid (I) equation adsorption from solutions and the analysis of its simplest form, (II) verification of the equation of adsorption isotherm from solutions. **Izvestiya Akademii Nauk. SSSR, Otdelenie Khimicheskikh Nauk**, [s. l], v. 2, p. 209–216, 1962.

EL SAYED, M. T., EL-SAYED, A. S. A. Tolerance and mycoremediation of silver ions by *Fusarium solani*. **Heliyon**, London, v. 6, n. 5, mai. 2020a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03866>. Disponível em: <https://www.cell.com/action/showPdf?pii=S2405-8440%2820%2930711-8>. Acesso em: 15 jun. 2023.

EL SAYED, M. T.; EL-SAYED, A. S. A. Bioremediation and tolerance of zinc ions using *Fusarium solani*. **Heliyon**, London, v. 6, n. 9, 2020b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05048>. Disponível em: <https://www.cell.com/action/showPdf?pii=S2405-8440%2820%2931891-0>. Acesso em: 15 jun. 2023.

ESPINOZA-SÁNCHEZ, M. A.; ARÉVALO-NIÑO, K.; QUINTERO-ZAPATA, I.; CASTRO-GONZÁLEZ, I.; ALMAGUER-CANTÚ, V. Cr (VI) adsorption from aqueous solution by fungal bioremediation based using *Rhizopus* sp. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 251, p. 109595, dez. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109595>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479719313131?via%3Dihub>. Acesso em: 05 jun. 2023.

ESPÓSITO E.; AZEVEDO, L. J. **Fungos: uma introdução à biologia, bioquímica e biotecnologia**. Caxias do Sul: EDUCS, 2004.

FERREIRA, J. A.; VARJANI, S.; TAHERZADEH, M. J. A Critical Review on the Ubiquitous Role of Filamentous Fungi in Pollution Mitigation. **Current Pollution Reports**, Heidelberg, v. 6, n. 4, p. 295–309, jul. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40726-020-00156-2>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40726-020-00156-2>. Acesso em: 22 mar. 2023.

FLORENCIO, M, T.; MALPASS, GR. **Uma breve explicação sobre licenças ambientais no Brasil**. Uberaba: MMA, 2015. Relatório técnico

FREDDI, L. A. **Uso de reator de biofilme aerado em membrana no tratamento de efluente de sistema de recirculação aquícola**. 2019. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Área de Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2019.

FREUNDLICH, H.; HELLE, W. J. Ueber die adsorption in Lusungen. **Journal of the American Chemical Society**, Washington, v. 61, p. 2–28, 1939.

FRUTOS, I.; GARCÍA-DELGADO, C.; GÁRATE, A.; EYMAR, E. Biosorption of heavy metals by organic carbon from spent mushroom substrates and their raw materials. **International Journal of Environmental Science and Technology**, Tehran, v. 13, n. 11, p.2713–

2720, set. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13762-016-1100-6>. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13762-016-1100-6>. Acesso em: 27 out. 2023.

FUKUDA, E. K.; VASCONCELOS, A. F. D.; MATIAS, A. C.; BARBOSA, A. M.; DEKKER, R. F. H.; SILVA, M. D. L. C. Polissacarídeos de parede celular fúngica: purificação e caracterização. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 1, p. 117-133, 2009. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4457/445744091022.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2023.

GALLINDO, A.; SILVA, A. **Modelagem e simulação do processo de troca iônica para remoção de $Zn^{2+}_{(aq)}$ utilizando a zeólita NaY**. 2021. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2021.

GILES, C. H.; SMITH, D.; HUITSON, A. A general treatment and classification of the solute adsorption isotherm. I. **Theoretical. Journal of Colloid and Interface Science**, Philadelphia, v. 47, n. 3, p. 755–765, jun. 1974. DOI: [https://doi.org/10.1016/0021-9797\(74\)90252-5](https://doi.org/10.1016/0021-9797(74)90252-5). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0021979774902525?via%3Dihub>. Acesso em: 27 mai. 2023.

GONZALEZ, K. R. Toxicologia do níquel. **Intertox de Toxicologia Risco Ambiental e Sociedade**, [s. l], v. 9, n. 2, p. 30-54, 2016. Disponível em: <https://encr.pw/9XLfW>. Acesso em: 26 de abril de 2023.

GRANDCLÉMENT, C.; SEYSSIECQ, I.; PIRAM, A.; WONG-WAH-CHUNG, P.; VANOT, G.; TILIACOS, N.; ROCHE, N.; DOUMENQ, P. From the conventional biological wastewater treatment to hybrid processes, the evaluation of organic micropollutant removal: a review. **Water Research**, Oxford, v. 111, p. 297–317, mar. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.01.005>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135417300052?via%3Dihub>. Acesso em: 22 mai. 2023.

GU, Y.; XU, W.; LIU, Y.; ZENG, G.; HUANG, J.; TAN, X.; JIAN, H.; HU, X.; LI, F.; WANG, D. Mechanism of Cr (VI) reduction by *Aspergillus niger*: enzymatic characteristic, oxidative stress response, and reduction product. **Environmental Science and Pollution Research**, Heidelberg, v. 22, n. 8, p. 6271–6279, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3856-x>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-014-3856-x>. Acesso em: 15 jun. 2023.

GURURAJAN, K.; BELUR, P. D. Screening and selection of indigenous metal tolerant fungal isolates for heavy metal removal. **Environmental Technology & Innovation**, Amsterdam, v. 9, p. 91–99, fev. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2017.11.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352186417301797?via%3Dihub>. Acesso em: 15 nov. 2023.

HAUPENTHAL D. L. **Avaliação do potencial de bio sorção do íon metálico Cr (VI) utilizando a biomassa do fungo *Lasiodiplodia theobromae* MMPI como adsorvente**. 2018. 97 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2018.

HAWKSWORTH, D. L.; LÜCKING, R. Fungal Diversity Revisited: 2.2 to 3.8 Million Species. **Microbiology Spectrum**, Washington, v. 5, n. 4, jul. 2017. DOI:

<https://doi.org/10.1128/microbiolspec.FUNK-0052-2016>. Disponível em: <https://journals.asm.org/doi/10.1128/microbiolspec.funk-0052-2016>. Acesso em: 03 jun. 2023.

HELFFERICH, F. G. Principles of adsorption and adsorption processes, by D. M. Ruthven, John Wiley & Sons, 1984, xxiv + 433 pp. **AIChE Journal**, Hoboken, v. 31, n. 3, p. 523–524, 1985. DOI: <https://doi.org/10.1002/aic.690310335>. Disponível em: <https://aiche.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/aic.690310335>. Acesso em: 18 mai. 2023.

HIPÓLITO, A.; ALVES, R. A. S.; CARETTA, T. O.; SILVEIRA, V. A. I.; AMADOR, I. R.; PANAGIO, L. A.; BORSATO, D.; CELLIGOI, M. A. P. C. Evaluation of the antifungal activity of sophorolipids from *Starmerella bombicola* against food spoilage fungi. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, Amsterdam, v. 29, p. 101797, out. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101797>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1878818120310975?via%3Dihub>. Acesso em: 15 jun. 2023.

HO, Y. S.; MCKAY, G. A kinetic study of dye sorption by biosorbent waste product pith. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 25, n. 3–4, p. 171–193, mar. 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(98\)00053-6](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(98)00053-6). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344998000536?via%3Dihub>. Acesso em: 18 mai. 2023.

HU, Q.; LAN, R.; HE, L.; LIU, H.; PEI, X. A critical review of adsorption isotherm models for aqueous contaminants: Curve characteristics, site energy distribution and common controversies. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 329, 117104, mar. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117104>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479722026779?via%3Dihub>. Acesso em: 27 mai. 2023.

HUSSAIN, S.; KAMRAN, M.; KHAN, S. A.; SHAHEEN, K.; SHAH, Z.; SUO, H.; KHAN, Q.; SHAH, A. B.; REHMAN, W. U.; AL-GHAMDI, Y. O.; GHANI, U. Adsorption, kinetics and thermodynamics studies of methyl orange dye sequestration through chitosan composites films. **International Journal of Biological Macromolecules**, Amsterdam, v. 168, p. 383–394, jan. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.12.054>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813020352120?via%3Dihub>. Acesso em: 30 mai. 2023.

INGLEZAKIS, V. J.; FYRILLAS, M. M.; PARK, J. Variable diffusivity homogeneous surface diffusion model and analysis of merits and fallacies of simplified adsorption kinetics equations. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 367, p. 224–245, abr. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.12.023>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389418311622?via%3Dihub>. Acesso em: 30 mai. 2023.

JABBAR, N. M.; ALARDHI, S. M.; MOHAMMED, A. K.; SALIH, I. K.; ALBAYATI, T. M. Challenges in the implementation of bioremediation processes in petroleum-contaminated soils: A review. **Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management**, Amsterdam, v. 18, dez. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2022.100694>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221515322200054X?via%3Dihub>. Acesso em: 02 jun. 2023.

JACQUES, R. A.; LIMA, E. C.; DIAS, S. L. P.; MAZZOCATO, A. C.; PAVAN, F. A. Yellow passion-fruit shell as biosorbent to remove Cr (III) and Pb (II) from aqueous solution. **Separation and Purification Technology**, Oxford, v. 57, n. 1, p. 193–198, out. 2007. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2007.01.018>. Disponível em: <https://abrir.link/rsleX>. Acesso em: 10 jan. 2024.

KHAN, A.; KHAN, S.; KHAN, M. A.; QAMAR, Z.; WAQAS, M. The uptake and bioaccumulation of heavy metals by food plants, their effects on plants nutrients, and associated health risk: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, Heidelberg, v. 22, n. 18, p. 13772–13799, jul. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4881-0>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-015-4881-0>. Acesso em: 16 abr. 2023.

KONG, J.; YUE, Q.; SUN, S.; GAO, B.; KAN, Y., LI, Q.; WANG, Y. Adsorption of Pb (II) from aqueous solution using keratin waste – hide waste: Equilibrium, kinetic and thermodynamic modeling studies. **Chemical Engineering Journal**, Amsterdam, v. 241, p. 393–400, abr. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.10.070>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894713013983?via%3Dihub>. Acesso em: 27 out. 2023.

KUMAR, A.; JIGYASU, D. K.; KUMAR, A.; SUBRAHMANYAM, G.; MONDAL, R.; SHABNAM, A. A.; CABRAL-PINTO, M. M. S.; MALYAN, S. K.; CHATURVEDI, A. K.; GUPTA, D. K.; FAGODIYA, R. K.; KHAN, S. A.; BHATIA, A. Nickel in terrestrial biota: Comprehensive review on contamination, toxicity, tolerance and its remediation approaches. **Chemosphere**, Oxford, v. 275, jul. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129996>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653521004653?via%3Dihub>. Acesso em: 26 abr. 2023.

KUMAR, V.; DWIVEDI, S. K. A review on accessible techniques for removal of hexavalent Chromium and divalent Nickel from industrial wastewater: Recent research and future outlook. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 295, mai. 2021a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126229>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621004492?via%3Dihub>. Acesso em: 22 abr 2023.

KUMAR, V.; DWIVEDI, S. K. Bioremediation mechanism and potential of copper by actively growing fungus *Trichoderma lixii* CR700 isolated from electroplating wastewater. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 277, jan. 2021b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111370>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479720312950?via%3Dihub>. Acesso em: 22 abr. 2023.

LAGERGREN, S. Zur theorie der sogenannten adsorption geloster stoffe, Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens. **Handlingar**, Stockholm, v. 24, p. 1–39, 1898. DOI: [10.1007/BF01501332](https://doi.org/10.1007/BF01501332). Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Zur-Theorie-der-sogenannten-Adsorption-gel%C3%B6ster-La-gergren/a64a7ead9fc91d28dde63811985906b27cfd75c>. Acesso em: 30 mai. 2023.

LANGMUIR, I. The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. **Journal of the American Chemical Society**, Washington, v. 40, n. 9, p.1361–1403, 1918. DOI: <https://doi.org/10.1021/ja02242a004>. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ja02242a004>. Acesso em: 28 mai. 2023.

LAVAISSÉ, L. M.; HOLLMANN, A.; NAZARENO, M. A.; DISALVO, E. A. Zeta potential changes of *Saccharomyces cerevisiae* during fermentative and respiratory cycles. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, Amsterdam, v. 174, p. 63–69, fev. 2019. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2018.11.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092777651830777X?via%3Dihub>. Acesso em: 20 jun. 2023.

LEHNHNGER, A. L.; NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica**. ed. 6. [S. l]: Artmed, 2014.

LEMOS, J. L. S.; MOREIRA, P. S.; LEMOS, F. A. Revisão acerca da contaminação com mercúrio e sua remoção com o emprego de fungos filamentosos. **Episteme Transversalis**, Volta Redonda, v. 10, n. 3, p. 109-123, 2019. Disponível em: <https://revista.ugb.edu.br/ojs302/index.php/episteme/article/view/1682/1078>. Acesso em: 20 mar. 2024.

LEONEL, L. F. **Desempenho de estações de tratamento de esgoto**: uma análise de sistemas de lagoas de estabilização de pequeno e médio porte integrada à avaliação da qualidade dos corpos hídricos na UGRHI 12 - Baixo Pardo/Grande. 2016. 208 f. Dissertação (Mestrado em Ciências: Engenharia e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

LEONG, Y. K.; CHANG, J.S. Bioremediation of heavy metals using microalgae: Recent advances and mechanisms. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 303, p. 122886, mai. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122886>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852420301553?via%3Dihub>. Acesso em: 03 jun. 2023.

LI, F.; ZHANG, J.; JIANG, W.; LIU, C.; ZHANG, Z.; ZHANG, C.; ZENG, G. Spatial health risk assessment and hierarchical risk management for mercury in soils from a typical contaminated site, China. **Environmental Geochemistry and Health**, Dordrecht, v. 39, n. 4, p. 923–934, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10653-016-9864-7>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10653-016-9864-7>. Acesso em: 15 nov. 2023.

LI, M.; YU, R.; BAI, X.; WANG, H.; ZHANG, H. *Fusarium*: a treasure trove of bioactive secondary metabolites. **Natural Product Reports**, Cambridge, v. 37, n. 12, p. 1568–1588, dez. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1039/D0NP00038H>. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2020/np/d0np00038h>. Acesso em: 06 jun. 2023.

LI, X.; ZHANG, D.; SHENG, F.; QING, H. Adsorption characteristics of Copper (II), Zinc (II) and Mercury (II) by four kinds of immobilized fungi residues. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Philadelphia, v. 147, p. 357–366, jan. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.08.058>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651317305547?via%3Dihub>. Acesso em: 10 jan. 2024.

LIAQUAT, F.; HAROON, U.; MUNIS, M. F. H.; ARIF, S.; KHIZAR, M.; ALI, W.; SHENGQUAN, C.; QUNLU, L. Efficient recovery of metal tolerant fungi from the soil of industrial area and determination of their biosorption capacity. **Environmental Technology & Innovation**, Amsterdam, v. 21, p. 101237, fev. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101237>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352186420315376?via%3Dihub>. Acesso em: 15 nov. 2023.

LIMA, A. S. B.; SIMÃO, C. J. B.; SILVA, F. J. S.; RODRIGUES, J. R. F.; ARAÚJO, T. C. A. biorremediação como técnica de tratamento de efluentes contaminados por petróleo. *In: Encontro Regional de Química e Encontro Nacional de Química*, 5., 4., 2015, [s. l]. **Anais [...]**. [S. l]: Blucher Chemistry Proceedings, 2015, p. 821–830. DOI: <https://doi.org/10.5151/chen-pro-5erq-am26>. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/22140>. Acesso em: 25 mai. 2023.

LIN, W.; CHEN, L.; TAN, Z.; DENG, Z.; LIU, H. Application of filamentous fungi in microalgae-based wastewater remediation for biomass harvesting and utilization: From mechanisms to practical application. **Algal Research**, Amsterdam, v. 62, p. 102614, mar. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102614>. Disponível em: <https://sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2211926421004331?via%3Dihub>. Acesso em: 20 jun. 2023.

LINDSAY, W. L. **Chemical Equilibrium in Soils**. [S. l]: John Wiley & Sons, 1979.

LIRA, M. M. A. **Potencial Biotecnológico de Fungos Filamentosos Isolados de Efluente Têxtil para Processos de Biorremediação**. 2021. 88 f. Dissertação (Mestrado em Biociências) – Instituto Latino-Americano de Ciências da Vida e da Natureza, Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2021.

LONG, J.; YUVARAJA, G.; ZHOU, S.; MO, J.; LI, H.; LUO, D.; CHEN, D. Y.; KONG, L.; SUBBAIAH, M. V.; REDDY, G. M. Inactive *Fusarium* Fungal strains (ZSY and MJY) isolation and application for the removal of Pb(II) ions from aqueous environment. **Journal of industrial and Engineering Chemistry**, Amsterdam, v. 72, p. 442–452, abr. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2018.12.047>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1226086X18315156?via%3Dihub>. Acesso em: 10 abr. 2023.

LUZ, L. L. **Impressos e bio-híbridos luminescentes baseados em Ln-MOFs**. 2018. 237 f. Tese (Doutorado em Química) – Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

MACHADO, I. I. G. **Comportamento de íons metálicos em solos do entorno de áreas de mineração em lavras do sul, RS**. 2017. 133 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Mineral) – Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 2017.

MADIGAM, M. T.; MARTINKO, J. M.; BENDER, K. S.; BUCKLEY, D. H.; STAHL, D. A. **Microbiologia de Brock**. ed. 4, Porto Alegre: Editora Artmed, 2016.

MAHMOUD, M. E.; EL ZOKM, G. M.; FARAG, A. E. M.; ABDELWAHAB, M. S. Assessment of heat-inactivated marine *Aspergillus flavus* as a novel biosorbent for removal of Cd (II), Hg (II), and Pb (II) from water. **Environmental Science and Pollution Research**, Heidelberg, v. 24, n. 22, p. 18218–18228, jun. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9323-8>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-017-9323-8>. Acesso em: 05 jun. 2023.

MAHMOUD, M. E.; YAKOUT, A. A.; ABDEL-AAL, H.; OSMAN, M. M. Enhanced biosorptive removal of cadmium from aqueous solutions by silicon dioxide nano-powder, heat inactivated and immobilized *Aspergillus ustus*. **Desalination**, Amsterdam, v. 279, n. 1–3, p. 291–297, set. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.06.023>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916411005364?via%3Dihub>. Acesso em: 20 nov. 2023.

MAHMOUD, M. E.; YAKOUT, A. A.; ABDEL-AAL, H.; OSMAN, M. M. Immobilization of *Fusarium verticillioides* fungus on nano-silica (NSi–Fus): A novel and efficient biosorbent for water treatment and solid phase extraction of Mg (II) and Ca (II). **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 134, p. 324–330, abr. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.01.171>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852413002034?via%3Dihub>. Acesso em: 05 nov. 2023.

MAIA, L. C., CARVALHO JÚNIOR, A. A. DE, CAVALCANTI, L. DE H., GUGLIOTTA, A. DE M., DRECHSLER-SANTOS, E. R., SANTIAGO, A. L. M. DE A., CÁCERES, M. E. DA S., GIBERTONI, T. B., APTROOT, A., GIACHINI, A. J., SOARES, A. M. DA S., SILVA, A. C. G., MAGNAGO, A. C., GOTO, B. T., LIRA, C. R. S. DE, MONTOYA, C. A. S., PIRES-ZOTTARELLI, C. L. A., SILVA, D. K. A. DA, SOARES, D. J., SILVA, V. F. DA. Diversity of Brazilian Fungi. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 66, n. 4, p. 1033–1045, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/2175-7860201566407>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rod/a/n98JMXKKGvhdCJr3YmCw3mm/?lang=em>. Acesso em: 03 jun. 2023.

MALAMIS, S.; KATSOU, E. A review on zinc and nickel adsorption on natural and modified zeolite, bentonite and vermiculite: Examination of process parameters, kinetics and isotherms. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 252–253, p. 428–461, mai. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.03.024>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389413002008?via%3Dihub>. Acesso em: 27 mai. 2023.

MARTINS, D. S.; ESTEVAM, B. R.; PEREZ, I. D.; AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P.; ISIQUE, W. D.; BOINA, R. F. Sludge from a water treatment plant as an adsorbent of endocrine disruptors. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, Amsterdam, v. 10, n. 4, p. 108090, ago. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108090>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343722009630?via%3Dihub>. Acesso em: 26 mai. 2023.

MATTIAZZO, M. E. **Comportamento de cobre, cádmio, cromo, níquel e zinco adicionados a solos de clima tropical em diferentes valores de pH**. 1994. 78 f. Tese (Livre Docência) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

MCCABE, W. L.; SMITH, J. C.; HARRIOT, T. P. **Unit Operations of Chemical Engineering**. McGraw-Hill International Editions, ed. 5. [S. l]: McGRAW-HILL, 1993.

MINATTI, T. C. DA S. **Nanocompósito celulose bacteriana e hidroxiapatita para remoção de zinco de efluentes industriais**. 2020. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências Mecânicas) – Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2020.

MISHRA, A.; MALIK, A. Novel fungal consortium for bioremediation of metals and dyes from mixed waste stream. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 171, p. 217–226, nov. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.08.047>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852414011547?via%3Dihub>. Acesso em: 15 nov. 2023.

MONDAL, S.; MAJUMDER, S. K. Honeycomb-like porous activated carbon for efficient copper (II) adsorption synthesized from natural source: Kinetic study and equilibrium isotherm analysis. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, Amsterdam, v. 7, n. 4, p. 103236, ago. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103236>. Disponível em: <https://sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343719303598?via%3Dihub>. Acesso em: 30 mai. 2023.

MONTAÑO-MEDINA, C. U.; LOPEZ-MARTÍNEZ, L. M.; OCHOA-TERÁN, A.; LÓPEZ-MALDONADO, E. A.; SALAZAR-GASTELUM, M. I.; TRUJILLO-NAVARRETE, B.; PÉREZ-SICAÍROS, S.; CORNEJO-BRAVO, J. M. New pyridyl and aniline-functionalized carbamoylcarboxylic acids for removal of metal ions from water by coagulation-flocculation process. **Chemical Engineering Journal**, Amsterdam, v. 451, p. 138396, jan. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.138396>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894722038797?via%3Dihub>. Acesso em: 15 mai. 2023.

MORSI, R.; BILAL, M.; IQBAL, H. M. N.; ASHRAF, S. S. Laccases and peroxidases: The smart, greener and futuristic biocatalytic tools to mitigate recalcitrant emerging pollutants. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 714, p. 136572, abr. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136572>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720300826?via%3Dihub>. Acesso em: 02 jun. 2023.

NASCIMENTO, R. F. DO, LIMA, A. C. A. DE, VIDAL, C. B., MELO, D. DE Q., e RAULINO, G. S. C. Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais. ed. 2. **Fortaleza: Imprensa Universitária**, v. 1, 2020, 256p. Disponível em: <file:///C:/Users/Microsoft/Downloads/Livroadsorcao2ed.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2023.

NASCIMENTO, J. M.; CRUZ, N. D.; OLIVEIRA, G. R.; SÁ, W. S.; OLIVEIRA, J. D.; RIBEIRO, P. R. S.; LEITE, S. G. F. Evaluation of the kinetics of gold biosorption processes and consequent biogenic synthesis of AuNPs mediated by the fungus *Trichoderma harzianum*. **Environmental Technology e Innovation**, Amsterdam, v. 21, 101238, fev. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101238>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352186420315388?via%3Dihub>. Acesso em: 20 mar. 2023.

NETA, O. P. L. **Estudo comparativo do uso das argilas bentonita chocolate e verde na adsorção de metais pesados - níquel e cobre**. 2022. 118 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia Ambiental) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2022.

NIRMALA, N.; SHRINITI, V.; AASRESHA, K.; ARUN, J.; GOPINATH, K. P.; DAWN, S. S.; SHEELADEVI, A.; PRIYADHARSINI, P.; BIRINDHADEVI, K.; CHI, N. T. L.; PUGAZHENDHI, A. Removal of toxic metals from wastewater environment by graphene-based composites: A review on isotherm and kinetic models, recent trends, challenges and future directions. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 840, 156564, set. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156564>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969722036610?via%3Dihub>. Acesso em: 27 mai. 2023.

OLIVEIRA, C. G., GONÇALVES, A. B. D., DA SILVA, E. M., BRITO, M. G. D. S. L. Estações de tratamento de efluentes de atividades de alto potencial poluidor degradador: uma análise do atendimento a condicionantes legais. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, Málaga, v.17, n.2, p. 01-24, abr. 2024. DOI: 10.55905/revconv.17n.2-140. Disponível em:

<https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/4295>. Acesso em: 13 abr. 2023.

PASTA, P. C.; DA SILVA, A. C. P.; JORGETTO, A. O.; SAEKI, M. J.; PEDROSA, V. A.; MARTINES, M. A. U.; SCHNEIDER, J. F.; MINATEL, I. O.; RABELO, J.; CASTRO, R. S. D.; CASTRO, G. R. Use of *Typha angustifolia* L. as Biosorbent to Remove Chloramphenicol in Aqueous Samples. **European Journal of Advanced Chemistry Research**, v. 3, n. 1, p. 64–86, 2022. DOI: <https://doi.org/10.24018/ejchem.2022.3.1.66>. Disponível em: <https://ejchem.org/index.php/ejchem/article/view/66>. Acesso em: 17 jun. 2023.

PAUL, M. L.; SAMUEL, J.; CHANDRASEKARAN, N.; MUKHERJEE, A. Comparative kinetics, equilibrium, thermodynamic and mechanistic studies on biosorption of hexavalent chromium by live and heat killed biomass of *Acinetobacter junii* VITSUKMW2, an indigenous chromite mine isolate. **Chemical Engineering Journal**, Amsterdam, v. 187, p. 104–113, abr. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.01.106>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894712001489?via%3Dihub>. Acesso em: 10 jan. 2024.

PAŹDZIOR, K.; BILIŃSKA, L.; LEDAKOWICZ, S. A review of the existing and emerging technologies in the combination of AOPs and biological processes in industrial textile wastewater treatment. **Chemical Engineering Journal**, Amsterdam, v. 376, p. 120597, nov. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.12.057>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894718325294?via%3Dihub>. Acesso em 22 mai. 2023.

PENHA, V. A. S.; MOURA, K. O.; LAVOR, G. P. Contaminated Water Treatment: A Review on Adsorption of Amido Black 10B Dye. **Revista Virtual de Química**, Niteroi, v. 13, n. 2, p. 581–592, mar. 2021. DOI: <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20210010>. Disponível em: <https://rvq.sbq.org.br/pdf/v13n2a21>. Acesso em: 30 out. 2023.

PLOETZ, R. C. *Fusarium* Wilt of Banana. **Phytopathology®**, Saint Paul, v. 105, n. 12, p. 1512–1521, nov. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-04-15-0101-RVW>. Disponível em: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PHYTO-04-15-0101-RVW>. Acesso em: 06 jun. 2023.

POLICARPO, L. M. **Estudo de equilíbrio e cinética da biossorção de cobre (II) por *Rhizopus Microsporus***. 2016. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, São José do Rio Preto, 2016.

POLIDO, S. M. A. **Caracterização química e aplicação biológica de polissacarídeos provenientes dos fungos *Colletotrichum gloeosporioides* e *Fusarium* sp.** 2019. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2019.

POURRAHIM, S.; SALEM, A.; SALEM, S.; TAVANGAR, R. Application of solid waste of ductile cast iron industry for treatment of wastewater contaminated by reactive blue dye via appropriate nano-porous magnesium oxide. **Environmental Pollution**, Oxford, v. 256, p. 113454, jan. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113454>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749119339971?via%3Dihub>. Acesso em: 25 mai. 2023.

- RAJIV GANDHI, M., KOUSALYA, G. N., VISWANATHAN, N., & MEENAKSHI, S. Sorption behaviour of copper on chemically modified chitosan beads from aqueous solution. **Carbohydrate Polymers**, Oxford, v. 83, n. 3, p. 1082–1087, jan. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.08.079>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861710007265?via%3Dihub>. Acesso em: 20 jun. 2023.
- RAMOS, B. P.; PEREZ, I. D.; ALIPRANDINI, P.; BOINA, R. F. Cu^{2+} , Cr^{3+} , and Ni^{2+} in mono- and multi-component aqueous solution adsorbed in passion fruit peels in natura and physicochemically modified: a comparative approach. **Environmental Science and Pollution Research**, Heidelberg, v. 29, n. 53, p. 79841–79854, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-18132-8>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-18132-8>. Acesso em: 12 abr. 2024.
- RAMOS, B. P.; PEREZ, I. D.; WESSLING, M.; BOINA, R. F. Metal Recovery from Multi-elementary Electroplating Wastewater Using Passion Fruit Powder. **Journal of Sustainable Metallurgy**, Heidelberg, v. 7, n. 3, p. 1091–1101, jul. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40831-021-00398-4>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40831-021-00398-4>. Acesso em: 04 abr. 2023.
- RANI, J.; PANDEY, K. P.; KUSHWAHA, J.; PRIYADARSINI, M.; DHOBLE, A. S. Antibiotics in anaerobic digestion: Investigative studies on digester performance and microbial diversity. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 361, 127662, out. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127662>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852422009919?via%3Dihub>. Acesso em: 22 mai. 2023.
- RANJBAR, Z.; POURHADADI, D.; MONTAZERI, SH.; ROSHANZAMIR M. M. Lead compounds in paint and coatings: A review of regulations and latest updates. **Progress in Organic Coatings**, Amsterdam, v. 174, p. 107247, jan. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2022.107247>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0300944022005446?via%3Dihub>. Acesso em: 16 abr. 2023.
- RAWAT, A.; SRIVASTAVA, A.; BHATNAGAR, A.; GUPTA, A. K. Technological advancements for the treatment of steel industry wastewater: Effluent management and sustainable treatment strategies, **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 383, p. 135382, jan. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135382>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300944022005446?via%3Dihub>. Acesso em: 29 mar. 2023.
- REDLICH, O.; PETERSON, D. A Useful Adsorption Isotherm. **Journal of Physical Chemistry**, Washington, v. 63, n. 6, p. 1024–1026, 1959. DOI: <https://doi.org/10.1021/j150576a611>. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/j150576a611>. Acesso em: 30 mai. 2023.
- REGALBUTO, J. R.; ROBLES, J. **The engineering of Pt/Carbon Catalyst Preparation**. Chicago: University of Illinois, 2004
- REN, M.; QIAN, X.; CHEN, Y.; WANG, T.; ZHAO, Y. Potential lead toxicity and leakage issues on lead halide perovskite photovoltaics, **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 426, 127848, mar. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127848>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030438942102817X?via%3Dihub>. Acesso em: 16 abr. 2023.

RODRIGUES, C. O.; KÜLZER, B. N. Geração e processos físico-químicos de tratamento de líquidos contendo pigmentos. **Holos Environment**, Bela Vista, v. 16, n. 1, p. 58, out. 2016. DOI: <https://doi.org/10.14295/holos.v16i1.10166>. Disponível em: <https://www.cea-unesp.org.br/holos/article/view/10166>. Acesso em: 04 abr. 2023.

ROZMAN, U.; KALČÍKOVÁ, G.; MAROLT, G.; SKALAR, T.; ŽGAJNAR GOTVAJN, A. Potential of waste fungal biomass for lead and cadmium removal: Characterization, biosorption kinetic and isotherm studies. **Environmental Technology & Innovation**, Amsterdam, v. 18, p. 100742, mai. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100742>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352186419309216?via%3Dihub>. Acesso em: 17 jun. 2023.

RUSSEL, J. B. **Química Geral**. [S. l]: Makron. v. 1 e 2, 1996.

SAHMOUNE, M. N. Performance of *Streptomyces rimosus* biomass in biosorption of heavy metals from aqueous solutions. **Microchemical Journal**, Philadelphia, v. 141, p. 87–95, set. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2018.05.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0026265X18305228?via%3Dihub>. Acesso em: 10 jan. 2024.

SAIDULU, D.; GUPTA, B.; GUPTA, A. K.; GHOSAL, P. S. A review on occurrences, ecotoxic effects, and remediation of emerging contaminants from wastewater: Special emphasis on biological treatment based hybrid systems. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, Amsterdam, v. 9, n. 4, p. 105282, ago. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105282>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343721002591?via%3Dihub>. Acesso em: 22 mai. 2023.

SALEH, I. A.; ZOUARI, N.; AL-GHOUTI, M. A. Removal of pesticides from water and wastewater: Chemical, physical and biological treatment approaches. **Environmental Technology & Innovation**, Amsterdam, v. 19, p. 101026, ago. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101026>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352186420313262?via%3Dihub>. Acesso em: 17 mai. 2023.

SANKHLA, A.; SHARMA, R.; YADAV, R. S.; KASHYAP, D.; KOTHARI, S. L.; KACHHWAHA, S. Biosynthesis and characterization of cadmium sulfide nanoparticles – An emphasis of zeta potential behavior due to capping. **Materials Chemistry and Physics**, Amsterdam, v. 170, p. 44–51, fev. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2015.12.017>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0254058415304922?via%3Dihub>. Acesso em: 20 jun. 2023.

SANTOS, M. C. **Estudo da taboa (*typha domingensis*) como bioissorvente de íons metálicos chumbo (Pb²⁺) E níquel (Ni²⁺)**. 2015. 125 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2015.

SARAVANAN, A.; KUMAR, P. S.; DUC, P. A.; RANGASAMY, G. Strategies for microbial bioremediation of environmental pollutants from industrial wastewater: A sustainable approach. **Chemosphere**, Oxford, v. 313, p. 137323, fev. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137323>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653522038164?via%3Dihub>. Acesso em: 13 abr. 2023.

SHAMIM, S. Biosorption of Heavy Metals. In **Biosorption**, Amsterdam, v. 2, p. 21-49, jul. 2018. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.72099>. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/58112>. Acesso em: 15 jun. 2023.

SHARMA, L.; MARQUES, G. *Fusarium*, an Entomopathogen - A Myth or Reality?. **Pathogens**, Basel, v. 7, n. 4, p. 93, nov. 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/pathogens7040093>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-0817/7/4/93>. Acesso em: 06 jun. 2023.

SILVA, L. Â. **Avaliação da capacidade adsorptiva de carvão ativado e bentonita para remoção de micropoluentes**. 2017. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SANEAMENTO – SNIS. **Panorama do Saneamento Básico no Brasil**. [S. l]: SNIS, 2021. Relatório Anual de 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/ptbr/assuntos/saneamento/snis/painel/ab>. Acesso em: 05 jul. 2024.

SOARES, I. A.; FLORES, A. C.; MENDONÇA, M. M.; BARCELOS, R. P.; BARONI, S. Fungos na biorremediação de áreas degradadas. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 78, n. 2, p. 341–350, abr-jun. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1808-1657v78p3412011>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aib/a/YfMrd83Hh6LtZvccwhYYmLL/?lang=pt>. Acesso em: 20 mar. 2023.

STELUTI, R. M.; GIESE, E. C.; PIGGATO, M. M.; SUMIYA, A. F. G.; COVIZZI, L. G.; JOB, A. E.; CARDOSO, M. S.; SILVA, M. L. C.; DEKKER, R. F. H.; BARBOSA, A. M. Comparison of Botryosphaeran production by the ascomyceteous fungus *Botryosphaeria* sp., grown on different carbohydrate carbon sources, and their partial structural features. **Journal of Basic Microbiology**, Weinheim, v. 44, n. 6, p. 480–486, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1002/jobm.200410415>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jobm.200410415>. Acesso em: 10 jun. 2023.

SULTANA, M.; ROWNOK, M. H.; SABRIN, M.; RAHAMAN, M. H.; ALAM, S. M. N. A review on experimental chemically modified activated carbon to enhance dye and heavy metals adsorption. **Cleaner Engineering and Technology**, Mandsaur, v. 6, 100382, fev. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100382>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666790821003426?via%3Dihub>. Acesso em: 18 mar. 2023.

TANSENGCO, M.; TEJANO, J.; CORONADO, F.; GACHO, C.; BARCELO, J. Heavy Metal Tolerance and Removal Capacity of *Trichoderma* species Isolated from Mine Tailings in Itogon, Benguet. **Environment and Natural Resources Journal**, Salaya, v. 16, p. 39–57, 2018. DOI: 10.14456/ennrj.2018.5. Disponível em: <https://acesse.dev/FTWFE>. Acesso em: 05 jun. 2023.

TAKAHASHI, J. A.; LIMA, G. S.; SANTOS, G. F.; LYRA, F. H.; SILVA-HUGHES, A. F., GONÇALVES, F. A. G. Filamentous Fungi and Chemistry: Old Friends, New Allies. **Revista Virtual de Química**, Niteroi, v. 9, n. 6, p. 2351–2382, set. 2017. DOI: <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20170141>. Disponível em: <https://rvq.s bq.org.br/pdf/v9n6a15>. Acesso em: 02 jun. 2023.

TIAN, D.; JIANG, Z.; JIANG, L.; SU, M.; FENG, Z.; ZHANG, L.; WANG, S., LI, Z.; HU, S. A new insight into lead (II) tolerance of environmental fungi based on a study of *Aspergillus niger* and *Penicillium oxalicum*. **Environmental Microbiology**, Chichester, v. 21, n. 1, p. 471–479, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/1462-2920.14478>. Disponível em: <https://environmental-journals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1462-2920.14478>. Acesso em: 22 mar. 2023.

TIQUIA-ARASHIRO, S. M. Lead absorption mechanisms in bacteria as strategies for lead bioremediation. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Heidelberg, v. 102, n. 13, p. 5437–5444, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-018-8969-6>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00253-018-8969-6>. Acesso em: 20 mar. 2023.

TOKULA, B. E.; DADA, A. O.; INYINBOR, A. A.; OBAYOMI, K. S.; BELLO, O. S.; PAL, U. Agro-waste based adsorbents as sustainable materials for effective adsorption of Bisphenol A from the environment: A review. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 388, 135819, fev. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135819>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652622053938?via%3Dihub>. Acesso em: 30 mai. 2023.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiologia**. ed. 10. Porto Alegre: Artmed, 2012.

TRATA BRASIL. **Panorama do Saneamento Básico no Brasil**: relatório de 2024. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/ranking-do-saneamento-2024/>. Acesso em: 06 de abril 2024.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. **Actions You Can Take To Reduce Lead In Drinking Water**. EPA 810-F-93-001. Disponível em: <http://water.epa.gov/drink/info/lead/lead1.cfm>. Acesso em: 18 mai. 2023.

VALASQUES G. L.J.; CEDRO, P. É. P.; MENDES, T. P. S.; MIRANDA, A. C. A.; CÔRTEZ FILHO, A. B.; LIMA, D. M.; BARRETO, M. M.; PINHEIRO, A. A. F.; MARQUES, L. M. Characterization and biological activities of polysaccharides extracted from the filamentous fungal cell wall: an updated literature review. **Research, Society and Development**, Itabira, v. 9, n. 11, nov. 2020. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i11.10217>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/10217>. Acesso em: 15 jan. 2024.

VASCONCELOS, A. F. D.; MONTEIRO, N. K.; DEKKER, R. F. H.; BARBOSA, A. M.; CARBONERO, E. R.; SILVEIRA, J. L. M.; SASSAKI, G. L.; DA SILVA, R.; SILVA, M. L. C. Three exopolysaccharides of the β -(1 $\rightarrow$ 6)-d-glucan type and a β -(1 $\rightarrow$ 3;1 $\rightarrow$ 6)-d-glucan produced by strains of *Botryosphaeria rhodina* isolated from rotting tropical fruit. **Carbohydrate Research**, Oxford, v. 343, n. 14, p. 2481–2485, set. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carres.2008.06.013>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008621508003297?via%3Dihub>. Acesso em: 10 jun. 2023.

VASSALLE, L.; GARCÍA-GALÁN, M. J.; AQUINO, S. F.; AFONSO, R. J. C. F.; FERRER, I.; PASSOS, F.; R MOTA, C. Can high rate algal ponds be used as post-treatment of UASB reactors to remove micropollutants. **Chemosphere**, Oxford, v. 248, p. 125969, jun. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.125969>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653520301612?via%3Dihub>. Acesso em: 22 mai. 2023.

VELMURUGAN, P.; SHIM, J.; YOU, Y.; CHOI, S.; KAMALA-KANNAN, S.; LEE, K.-J.; KIM, H. J.; OH, B.T. Removal of zinc by live, dead, and dried biomass of *Fusarium* sp. isolated from the abandoned-metal mine in South Korea and its perspective of producing nanocrystals. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 182, n. 1–3, p. 317–324, out. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.06.032>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389410007727?via%3Dihub>. Acesso em: 30 out. 2023.

VETRISSEVI, V.; JAYA SANTHI, R. Redox polymer as an adsorbent for the removal of chromium (VI) and lead (II) from the tannery effluents. **Water Resources and Industry**, Amsterdam, v. 10, 39–52, jun. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wri.2015.02.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212371715000220?via%3Dihub>. Acesso em: 16 abr. 2023.

VIEIRA, W. T.; FARIAS, M. B.; SPAOLONZI, M. P.; DA SILVA, M. G. C.; VIEIRA, M. G. A. Removal of endocrine disruptors in waters by adsorption, membrane filtration and biodegradation. A review. **Environmental Chemistry Letters**, Heidelberg, v. 18, n. 4, p. 1113–1143, abr. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01000-1>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-020-01000-1>. Acesso em: 26 mai. 2023.

VOGEL, H. J. A. **Convenient growth medium for neurospora crassa**. [S. l]: Microbial Genetics Bulletin, v.13, p. 42–43, 1956.

VOLESKY, B.; HOLAN, Z. R. Biosorption of heavy metals. **Biotechnology Progress**, Malden, v. 11, n. 3, p. 235–250, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1021/bp00033a001>. Disponível em: <https://aiche.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1021/bp00033a001>. Acesso em: 03 jun. 2023.

VOLKOV, V. Quantitative description of ion transport via plasma membrane of yeast and small cells. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 6, p. 139403, jun. 2015. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00425>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2015.00425/full>. Acesso em: 20 jun. 2023.

WAN MAZNAH, W. O.; AL-FAWWAZ, A. T.; SURIF, M. Biosorption of copper and zinc by immobilised and free algal biomass, and the effects of metal biosorption on the growth and cellular structure of *Chlorella* sp. and *Chlamydomonas* sp. isolated from rivers in Penang, Malaysia. **Journal of Environmental Sciences**, Amsterdam, v. 24, n. 8, p. 1386–1393, ago. 2012. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(11\)60931-5](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(11)60931-5). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1001074211609315?via%3Dihub>. Acesso em: 15 nov. 2023.

WATER, S. **Guidelines for drinking-water quality**. [S. l]: World Health Organization, v. 1, 2004.

WATTERSON, T. A. The effect of chemical irritation on the respiration of fungi. **Bulletion of the Torrey Botanical Club**, Lawrence, v. 31, n. 5, p. 191–303, mai. 1904. DOI: <https://doi.org/10.2307/2478579>. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2478579?origin=crossref>. Acesso em: 19 jun. 2023.

WERBER, W. J.; MORRIS, J. C. Kinetics of Adsorption on Carbon from Solutions. **Sanitary Engineering Division, American Society of Civil Engineers**, Reston, v. 89, p. 31–60, 1963. DOI: <https://doi.org/10.1061/JSEDAI.0000430>. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/JSEDAI.0000430>. Acesso em: 30 mai. 2023.

WORCH, E. **Adsorption technology in water treatment**. Fundamentals, Processes, and Modeling, Berlin, Boston: De Gruyter, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1515/9783110240238>. Disponível em: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/9783110240238/html>. Acesso em: 17 jun. 2023.

XIANGLIANG, P.; JIANLONG, W.; DAOYONG, Z. Biosorption of Pb (II) by *Pleurotus ostreatus* immobilized in calcium alginate gel. **Process Biochemistry**, London, v. 40, n. 8, p. 2799–2803, jul. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2004.12.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0032959205000087?via%3Dihub>. Acesso em: 15 jun. 2023.

XIE, P.; HAO, X.; MOHAMAD, O. A.; LIANG, J.; WEI, G. Comparative Study of Chromium Biosorption by *Mesorhizobium amorphae* Strain CCNWGS0123 in Single and Binary Mixtures. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, Heidelberg, v. 169, n. 2, p. 570–587, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12010-012-9976-1>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12010-012-9976-1>. Acesso em: 15 jun. 2023.

YANG, S. K.; TAN, N.; YAN, X. M.; CHEN, F.; LONG, W.; LIN, Y. C. Thorium (IV) removal from aqueous medium by citric acid treated mangrove endophytic fungus *Fusarium* sp. #ZZF51. **Marine Pollution Bulletin**, London, v. 74, n. 1, p. 213–219, set. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.06.055>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X13003615?via%3Dihub>. Acesso em: 05 jun. 2023.

YE, M.; LI, G.; YAN, P.; REN, J.; ZHENG, L.; HAN, D.; SUN, S.; HUANG, S.; ZHONG, Y. Removal of metals from lead-zinc mine tailings using bioleaching and followed by sulfide precipitation. **Chemosphere**, Oxford, v. 185, p. 1189–1196, out. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.07.124>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004565351731175X?via%3Dihub>. Acesso em: 10 abr. 2023.

YOONG K., L., JO-SHU C. Bioremediation of heavy metals using microalgae: Recent advances and mechanisms. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 303, p. 122886, mai. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122886>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852420301553?via%3Dihub>. Acesso em: 12 abr. 2023.

ZHANG, H.; LIN, H.; LI, Q.; CHENG, C.; SHEN, H.; ZHANG, Z.; ZHANG, Z.; WANG, H. Removal of refractory organics in wastewater by coagulation/flocculation with green chlorine-free coagulants. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 787, p. 147654, set. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147654>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004896972102725X?via%3Dihub>. Acesso em: 15 mai. 2023.

ZHANG, H.; MA, J.; MIAO, Y.; TUCHIYA, T.; CHEN, J. Y. Analysis of Carbonyl Value of Frying Oil by Fourier Transform Infrared Spectroscopy. **Journal of Oleo Science**, Chuo-ku,

v. 64, n. 4, p. 375–380, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5650/jos.ess14201>. Disponível em: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jos/64/4/64_ess14201/_article. Acesso em: 15 nov. 2023.

ZONATO, R. O.; ESTEVAM, B. R.; PEREZ, I. D.; RIBEIRO, V.A. S.; BOINA, R. F. Egg-shell as an adsorbent for removing dyes and metallic ions in aqueous solutions. **Cleaner Chemical Engineering**, London, v. 2, p. 100023, jun. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clce.2022.100023>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772782322000213?via%3Dihub>. Acesso em: 18 mar. 2023.