

INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS URUTAÍ
BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**UTILIZAÇÃO DE CAMA DE FRANGO PARA REMOÇÃO DE CROMO
E NÍQUEL EM ÁGUAS RESIDUÁRIAS**

ÉVERTON FREIRE DA SILVA

URUTAÍ – GO
Novembro de 2025

ÉVERTON FREIRE DA SILVA

Trabalho de curso apresentado ao curso de Engenharia Agrícola do Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientador: José Antonio Rodrigues de Souza

Coorientadora: Débora Astoni Moreira

URUTAÍ – GO
Novembro de 2025

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

F866u Freire da Silva, Everton
UTILIZAÇÃO DE CAMA DE FRANGO PARA REMOÇÃO
DE CROMO E NÍQUEL EM ÁGUAS RESIDUÁRIAS /
Everton Freire da Silva. URUTAÍ 2026.

22f. il.

Orientador: Prof. Me. José Antônio Rodrigues de Souza.
Coorientadora: Prof^a. Ma. Débora Astoni Moreira.
Tcc (Bacharel) - Instituto Federal Goiano, curso de 0120064 -
Bacharelado em Engenharia Agrícola - Urutaí (Campus Urutaí).
1. Bioissorção. 2. Efluentes. 3. Metais pesados. 4. Cama de
frango. I. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO

PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS

NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base na dispostona Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- ☐ Tese (doutorado)
☐ Dissertação (mestrado)
☐ Monografia (especialização)
☒ TCC (graduação)

- ☐ Artigo científico
☐ Capítulo de livro
☐ Livro
☐ Trabalho apresentado em evento

☐ Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Everton freire da Silva

Matrícula:

2020101200640193

Título do trabalho:

UTILIZAÇÃO DE CAMA DE FRANGO PARA REMOÇÃO DE CROMO E NÍQUEL EM ÁGUAS RESIDUÁRIAS

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 20 / 02 / 2030

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☐ Sim ☒ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

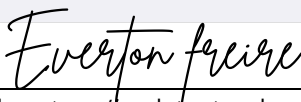
- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Urutai

Local

16 / 01 / 2026

Data



Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 11/2025 - CCBEA-URT/GE-UR/DE-UR/CMPURT/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos cinco dias do mês de dezembro de 2025, às 15 horas, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: José Antonio Rodrigues (orientador), Débora Astoni Moreira (membro), Ellen Lemes da Silva (membro) para examinar o Trabalho de Curso intitulado "Utilização de cama de frango para remoção de cromo e níquel em águas residuárias" do estudante Éverton Freire da Silva, Matrícula nº2020101200640193 do Curso de Engenharia Agrícola do IF Goiano – Campus Urutaí. A palavra foi concedida ao estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição do candidato pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO do estudante, com nota média de 7,0. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

(Assinado Eletronicamente)

José Antonio Rodrigues de Souza

Orientador

(Assinado Eletronicamente)

Débora Astoni Moreira

Membro

(Assinado Eletronicamente)

Ellen Lemes da Silva

Membro

Observação:

() O(a) estudante não compareceu à defesa do TC.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Jose Antonio Rodrigues de Souza, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO** , em 05/12/2025 16:30:55.
- **Debora Astoni Moreira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO** , em 05/12/2025 16:31:56.
- **Ellen Lemes Silva, 2025101345360001 - Discente** , em 05/12/2025 18:55:40.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 05/12/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 771546

Código de Autenticação: 1b8d8ae0ab



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Urutaí

Rodovia Geraldo Silva Nascimento, Km 2.5, SN, Zona Rural, URUTAÍ / GO, CEP 75790-000

(64) 3465-1900

INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS URUTAÍ
BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**UTILIZAÇÃO DE CAMA DE FRANGO PARA REMOÇÃO DE CROMO
E NÍQUEL EM ÁGUAS RESIDUÁRIAS**

ÉVERTON FREIRE DA SILVA

URUTAÍ – GO
Novembro de 2025

ÉVERTON FREIRE DA SILVA

Trabalho de curso apresentado ao curso de Engenharia Agrícola do Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientador: José Antonio Rodrigues de Souza

Coorientadora: Débora Astoni Moreira

URUTAÍ – GO
Novembro de 2025

UTILIZAÇÃO DE CAMA DE FRANGO PARA REMOÇÃO DE CROMO E NÍQUEL EM ÁGUAS RESIDUÁRIAS

ÉVERTON FREIRE DA SILVA

Trabalho de curso apresentado ao curso de Engenharia Agrícola do Instituto Federal Goiano –
Câmpus Urutaí, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Defendido e aprovado pela Comissão Examinadora em: 28/11/2025

Prof. Dr. José Antonio Rodrigues de Souza
Orientador

Profa. Dr^a. Débora Astoni Moreira
Examinadora

Dr^a. Ellen Lemes da Silva
Examinadora

DEDICATÓRIA

Dedico a concretização deste TCC, em primeiro plano, à Providência Divina, por ser a fonte contínua de Força Intrínseca, Clarividência e Persistência necessárias para a superação das complexidades inerentes ao processo de investigação científica.

Aos meus Genitores, que, com Apoio Incondicional e amor inestimável, constituíram o ambiente de estabilidade emocional e incentivo, fator crucial para a manutenção do foco e da dedicação integral a este projeto.

E, estendo esta dedicatória a todos os indivíduos cujo suporte, colaboração e estímulo, tanto no âmbito pessoal quanto profissional, foram elementos catalisadores para a conclusão bem-sucedida desta jornada acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Com imensa gratidão e humildade, dedico estes agradecimentos a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização do trabalho intitulado “UTILIZAÇÃO DE CAMA DE FRANGO PARA REMOÇÃO DE CROMO E NÍQUEL EM ÁGUAS RESIDUÁRIAS”.

Primeiramente, a Deus, por ter me concedido a vida, a força, a saúde, a perseverança e a fé inabalável, sendo a rocha e o alicerce de todas as minhas conquistas. À minha amada família, por ser o meu porto seguro, fonte inesgotável de amor, apoio incondicional, incentivo e compreensão, essenciais para superar os desafios e celebrar as vitórias desta jornada. Ao meu orientador, Prof. Dr. José Antônio Rodrigues, e a minha coorientadora, Prof. Dra. Débora Astoni, pela confiança, pela valiosa orientação, pela paciência, por compartilharem seus conhecimentos e por guiarem com maestria o desenvolvimento desta pesquisa. Aos meus queridos professores, pela excelência no ensino, por transmitirem o saber e por inspirarem a busca contínua pelo conhecimento, fundamentais para a minha formação acadêmica e profissional. Aos membros da Banca Examinadora, pela disponibilidade em avaliar este trabalho, pelas contribuições e questionamentos construtivos que enriqueceram e aprimoraram a pesquisa.

A todos, o meu sincero e profundo MUITO OBRIGADO!

EPÍGRAFE

“Entrega o teu caminho ao Senhor; confia nele, e ele o fará.”
— Salmos 37:5

SUMARIO

LISTA DE TABELAS	1
LISTA DE FIGURAS	2
RESUMO	3
ABSTRACT	4
1. INTRODUÇÃO	5
2. JUSTIFICATIVA	6
3. MATERIAL E MÉTODOS	7
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	8
5. CONCLUSÃO	11
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	13

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Características químicas e físicas da cama de frango moídas utilizadas nos ensaios experimentais.	8
Tabela 2. Valores médios e respectivos testes de média da quantidade de íons metálicos adsorvido pela cama de frango moída e de eficiência de remoção em função do pH avaliado, a 25°C.	9
Tabela 3 . Parâmetros dos modelos de Langmuir e Freundlich para adsorção de íons metálicos pela cama de frango moída.	10

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Quantidade de níquel (A) e cromo (B) adsorvido pela cama de frango moída	10
Figura 2. - Isoterma de adsorção dos íons metálicos para cama de frango moída ajustadas conforme modelo proposto por Langmuir e Freundlich.	10

RESUMO

Um dos grandes desafios do cenário industrial atual é o descarte inadequado de seus resíduos, especialmente aqueles contendo metais pesados, que causam grande contaminação em corpos d'água, afetando o ecossistema e a qualidade de vida. Metais pesados, mesmo em baixas concentrações, podem ser citotóxicos, carcinogênicos e mutagênicos, acumulando-se em seres vivos e bloqueando atividades biológicas. Níquel e cromo são exemplos de metais que, em excesso, podem causar sérios problemas de saúde. Diante da inviabilidade técnica e econômica de métodos convencionais para o tratamento de grandes volumes de efluentes com baixas concentrações de metais, a biossorção surge como uma alternativa eficiente e economicamente viável. Esta técnica utiliza biomassa como adsorvente, sendo a cama de frango uma opção promissora devido ao seu baixo custo e alta capacidade de remoção. Assim, o objetivo desta pesquisa foi estudar o potencial de utilização da cama de frango na remoção dos metais pesados cromo e níquel em águas residuárias. O estudo foi realizado no Laboratório de Pesquisa e Análises Químicas do Instituto Federal Goiano - Campus Urutaí, utilizando amostras de cama de frango moída. Foram avaliadas as características da cama de frango, a quantidade de íons adsorvidos e a eficiência de remoção em diferentes valores de pH, além de se ajustar os dados aos modelos de isothermas de Langmuir e Freundlich. Os resultados indicaram que ambos os modelos descrevem adequadamente a adsorção, com o modelo de Freundlich apresentando melhor ajuste. A capacidade máxima de adsorção foi maior para o níquel em relação ao cromo, seguindo a sequência de afinidade $Ni > Cr$. Conclui-se que a cama de frango moída possui um grande potencial para a remoção de íons metálicos em sistemas de tratamento de efluentes, apresentando eficácia superior a outros biossorventes naturais e sendo uma alternativa econômica.

Palavras-chave: Biossorção, Efluentes, Metais pesados, Cama de frango, Adsorção

ABSTRACT

One of the major challenges in the current industrial scenario is the improper disposal of its residues, especially those containing heavy metals, which cause significant contamination in water bodies, affecting the ecosystem and quality of life. Heavy metals, even in low concentrations, can be cytotoxic, carcinogenic, and mutagenic, accumulating in living beings and blocking biological activities. Nickel and chromium are examples of metals that, in excess, can cause serious health problems. Given the technical and economic infeasibility of conventional methods for treating large volumes of effluents with low metal concentrations, biosorption emerges as an efficient and economically viable alternative. This technique uses biomass as an adsorbent, with chicken litter being a promising option due to its low cost and high removal capacity. Thus, the objective of this research was to study the potential use of chicken litter in the removal of heavy metals chromium and nickel from wastewater. The study was conducted at the Chemical Research and Analysis Laboratory of the Instituto Federal Goiano - Urutaí Campus, using ground chicken litter samples. The characteristics of the chicken litter, the amount of adsorbed ions, and the removal efficiency at different pH values were evaluated, and the data were fitted to the Langmuir and Freundlich isotherm models. The results indicated that both models adequately describe the adsorption, with the Freundlich model showing a better fit. The maximum adsorption capacity was higher for nickel compared to chromium, following the affinity sequence $Ni > Cr$. It is concluded that ground chicken litter has great potential for the removal of metal ions in effluent treatment systems, showing superior efficacy to other natural biosorbents and being an economic alternative.

Keywords: Biosorption, Effluents, Heavy metals, Chicken litter, Adsorption.

1. INTRODUÇÃO

Um grande problema no cenário industrial é o descarte inadequado de seus resíduos. A presença de metais pesados nos efluentes lançados nos corpos d'água causa grande contaminação, afetando-se, assim, todo o ecossistema e a qualidade de vida dos seres nele inseridos.

Os metais pesados podem apresentar alta toxicidade e são conhecidos por seus efeitos acumulativos. Nos seres vivos, os metais agem bloqueando as atividades biológicas, por meio da inativação enzimática devido às ligações formadas entre o metal e alguns grupos funcionais das proteínas, ocasionando danos irreversíveis em diversos organismos.

Embora os metais pesados sejam necessários para a realização de diversos processos metabólicos, quando em excesso no organismo podem ser citotóxicos, carcinogênicos e mutagênicos. No caso do níquel, este em pequenas quantidades é apontado como micronutriente, essencial às plantas (MOREIRA, 2004), porém em altas concentrações no organismo humano, aumentam-se as possibilidades de desenvolver câncer de pulmão, nariz, próstata, entre outras complicações (ALOMÁ-VICENTE et al., 2013).

O cromo é um metal altamente tóxico e pode ser facilmente encontrado em águas naturais e, embora, o cromo (III) apresente menor toxicidade que o cromo (VI), a exposição prolongada a esse metal pode causar problemas como alergia de pele e câncer, entre outros problemas de saúde (CAPRARESCU et al., 2015).

Dentre os tratamentos convencionais utilizados para a remoção dos metais pesados em efluentes contaminados, estão alguns processos, tais como, floculação e/ou precipitação, eletrólise, cristalização e adsorção.

A adsorção é uma técnica bastante eficiente que consiste na transferência de massa da fase fluida para a superfície de um sólido utilizado como adsorvente (NASCIMENTO, 2014). No entanto, aplicação dos métodos convencionais para o tratamento de efluentes contaminados por metais requer um alto custo e geram resíduos contaminantes (COSTA et al., 2015), com isso, a busca por Tratamentos alternativos e de baixo custo tem destacado a biossorção, técnica onde se utiliza biomassa como adsorvente (FENG et al., 2011). Dentre os biossorventes podemos citar casca de arroz, sabugo de milho, mesocarpo de coco e microrganismos entre outros.

2. JUSTIFICATIVA

O crescimento constante do consumo e, conseqüentemente, das atividades industriais, tem causado diversos problemas ambientais em virtude da geração de resíduos contendo elementos tóxicos, como os metais pesados, que, apesar de serem essenciais para inúmeros processos metabólicos dos organismos, quando em excesso, podem se tornar, potencialmente, citotóxicos, carcinogênicos e mutagênicos (MÓDENES et al., 2013).

Metais pesados como o cobre, níquel, cromo e zinco estão entre os poluentes mais tóxicos presentes em efluentes provenientes de processos industriais.

O cobre, mesmo em baixas concentrações, pode se depositar no cérebro, pele, fígado e pâncreas causando sérios efeitos toxicológicos nos seres humanos, enquanto que, o níquel pode causar dermatites, asma, náuseas e câncer (AL BAKHEET et al., 2013). O cromo, dependendo da forma como se encontra, em doses elevadas pode causar ulceração do septo nasal, inflamação da mucosa nasal, bronquite crônica e enfisema (GOMES et al., 2005). Já o excesso de zinco está associado à supressão da resposta imune, diminuição da lipoproteína de alta densidade (HDL) e à redução das concentrações de cobre no plasma (CRUZ; SOARES, 2011).

Existem várias tecnologias para remoção dos metais pesados em efluentes industriais tais como oxidação e redução química, ultrafiltração, eletrodialise e osmose reversa, processos eletroquímicos, troca iônica, evaporação, entre outras (SUZAKI et al., 2015). Todavia, estes métodos são muitas vezes restritos por inviabilidade técnica e/ou econômica, especialmente quando os metais estão dissolvidos em grandes volumes de água e em concentrações relativamente baixas. Para solucionar este problema, a bio sorção tem surgido como alternativa eficiente e economicamente viável para remoção ou recuperação de metais pesados do ambiente, uma vez que este processo de tratamento é baseado na capacidade de ligação entre o metal e o adsorvente natural, que pode ser constituído por biomassa, bactérias, fungos e algas (SILVA et al., 2014).

Um fator chave no sucesso do processo de bio sorção é a escolha adequada do material adsorvente, que deve apresentar como característica fundamental, além da alta capacidade de remoção, um baixo custo (SILVA et al., 2014). Assim, a utilização de cama de frango no processo de bio sorção de metais pode se tornar uma alternativa viável. Todavia, torna-se necessário o

Conhecimento das condições químicas e físicas do meio aquoso e do material bio sorvente, além, é claro, da compreensão dos dados de equilíbrio e dos efeitos de transferência de massa e da dinâmica do processo. Assim, com este projeto pretende-se estudar o potencial de utilização cama de frango na remoção dos metais pesados cromo e níquel.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para a condução do experimento, amostras de cama de frango foram coletadas e conduzidas ao Laboratório de Pesquisa e Análises Químicas do Instituto Federal Goiano - Campus Urutaí, onde foram previamente secas ao ar, moídas de modo a se obter partículas inferiores a 1 mm e, determinadas as seguintes características: umidade, sólidos totais, pH em água e cloreto de cálcio e, condutividade elétrica, segundo metodologia descrita por Kiehl (1985); concentração dos metais cromo (Cr) e níquel (Ni), conforme adaptação da metodologia descrita por Soares et al. (2004); nitrogênio total Kjeldahl segundo metodologia descrita por EMBRAPA (1999); carbono orgânico e matéria orgânica, segundo metodologia descrita por Defelipo e Ribeiro (1981).

Na condução dos ensaios de adsorção, foram preparadas soluções contendo o íon metálico a ser estudado nas concentrações iguais a 25,50,75,100,150,200,250,500,750 e 1000 mg L⁻¹ e com o pH ajustado para o melhor valor de adsorção. Posteriormente, 20 mL da solução e 0,5 g de cama de frango moída foram transferidos para erlenmeyers com capacidade volumétrica de 125 mL, onde ficaram sob agitação de 100 rpm, a 25°C, por um período de 24 horas, sendo, então, filtradas à vácuo, obtendo-se a solução de equilíbrio. Todas as amostras foram preparadas em triplicatas, sendo os ensaios realizadas em três períodos distintos. Após a determinação dos íons metálicos a quantidade adsorvida foi obtida pela diferença entre a concentração inicial e aquela obtida na solução de equilíbrio. Para descrever e avaliar o comportamento do processo de biossorção foram utilizados os modelos de Langmuir (Equação 1) e Freundlich (Equação 2), conforme descrito por Nascimento et al. (2014).

Equação 1: Modelo de Langmuir

$$\theta = (1 + K \cdot C_{eq})^{-1} \cdot \theta_m \cdot K \cdot C_{eq}$$

em que:

θ = quantidade adsorvida (mg g⁻¹); θ_m = capacidade máxima de adsorção (mg g⁻¹); K = coeficiente relacionado à energia de ligação (L mg⁻¹); C_{eq} = concentração do íon na solução (mg L⁻¹).

Equação 2: Modelo de Freundlich

$$\theta = K_f \cdot C_{eq}^{1/n}$$

em que:

θ = quantidade adsorvida (mg g⁻¹); K_f = constante de Freundlich (mg g⁻¹); C_{eq} = concentração do íon na solução (mg L⁻¹); n = parâmetro empírico.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em ordem cronológica do que você avaliou, colocar aqui os principais resultados, se foi realizado análise estatística colocar se foi significativo ou não.

Na Tabela 1 estão apresentadas as características da cama de frango moída utilizada nos ensaios experimentais.

Tabela 1 Características químicas e físicas da cama de frango moídas utilizadas nos ensaios experimentais.

Características	Concentração
Umidade (dag kg^{-1})	13,55
pH em água	9,02
pH em CaCl_2	7,22
Condutividade Elétrica (μScm^{-1})	226,80
Nitrogênio total (dag kg^{-1})	9,17
Sólidos Totais (mg kg^{-1})	201,55
Carbono Orgânico (dag kg^{-1})	0,69
Matéria Orgânica (dag kg^{-1})	1.19
Cromo (mg kg^{-1})	nd
Níquel (mg kg^{-1})	7,57

Sendo: nd abaixo do limite de detecção

O pH é um dos fatores que apresenta maior influência no processo de adsorção, pois interfere diretamente na especiação tanto do adsorbato, quanto do adsorvente, modificando a forma como interagem (CAMARA, 2014). Na Tabela 2 estão apresentados a quantidade de íons absorvido e a eficiência de remoção nos diferentes valores de pH avaliados.

Tabela 2. Valores médios e respectivos testes de média da quantidade de íons metálicos adsorvido pela cama de frango moída e de eficiência de remoção em função do pH avaliado, a 25°C.

pH	Quantidade adsorvida (mg kg ⁻¹)	Eficiência (%)
Cromo		
4	3,9944±0,0041 a	99,86±0,10 a
5	3,9911±0,0074 a	99,78±0,18 a
Sem ajuste (5,6)	3,9626±0,0072 a	99,82±0,18 a
6	3,9917±0,0060 i a	99,79±0,15 a
Níquel		
4	0,6011±0,0300 d	15,03±0,75b
5	0,6875±0,0192 c	17,19±0,48 c
6	0,9376±0,0173 b	23,44±0,43 b
Sem ajuste (6,9)	1,5717±0,1777 a	39,29±0,44 a

Médias seguidas de uma mesma letra minúscula na coluna, não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Os modelos de isotermas de adsorção são fundamentais para verificar a eficiência dos adsorventes em relação a sua capacidade de adsorção por meios das interações com o adsorbato e, assim, poder determinar a melhor aplicação do adsorvente (FERREIRA et al, 2015). Na Figura 1 estão apresentadas as isotermas de adsorção dos íons metálicos estudados conforme modelo proposto por Langmuir, obtida pela relação entre a quantidade de metal adsorvida e a concentração de equilíbrio.

Na Figura 2 estão apresentadas as isotermas de adsorção dos íons metálicos estudados conforme modelo proposto por Langmuir e Freundlich, obtida pela relação entre a quantidade de metal adsorvida e a concentração de equilíbrio, para os dois metais em conjunto.

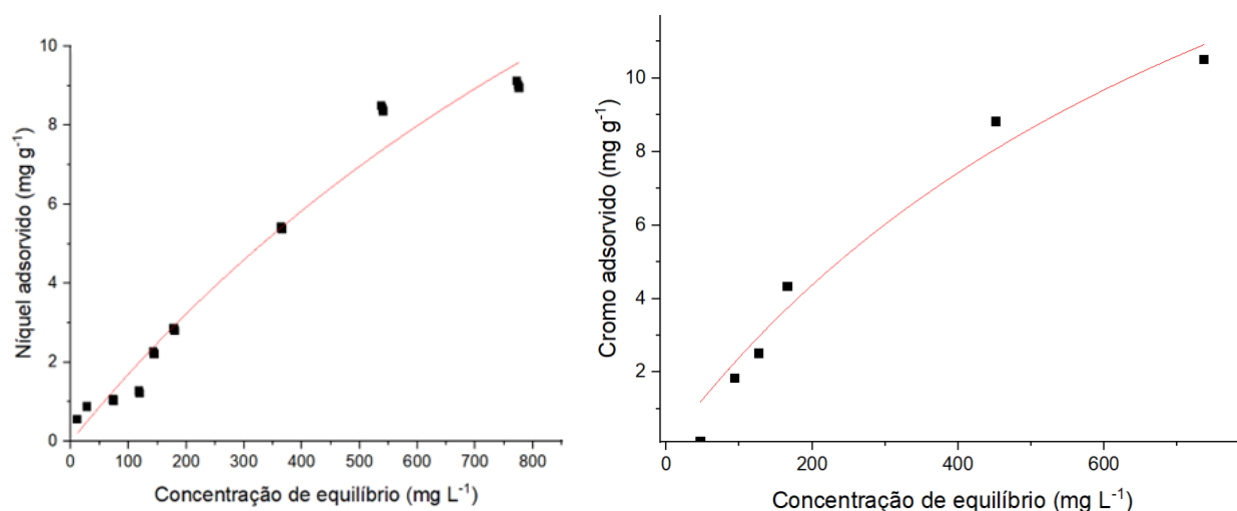


Figura 1. quantidade de níquel (A) e cromo (B) adsorvido pela cama de frango moída

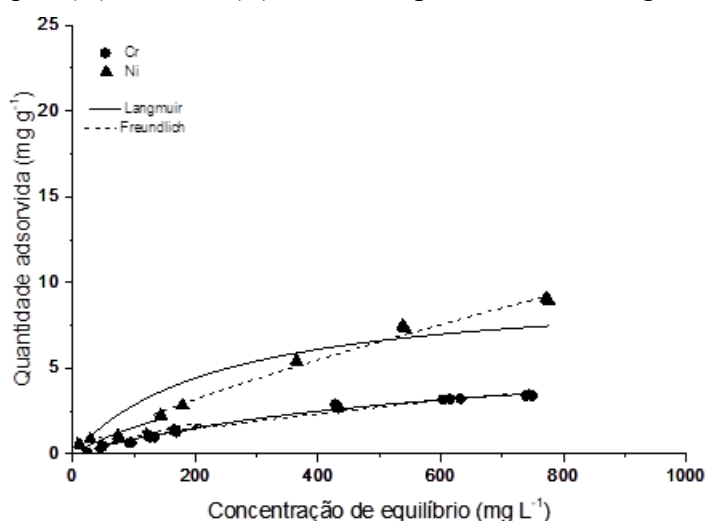


Figura 2. - Isotherma de adsorção dos íons metálicos para cama de frango moída ajustadas conforme modelo proposto por Langmuir e Freundlich.

Tabela 3 . Tabela 3. Parâmetros dos modelos de Langmuir e Freundlich para adsorção de íons metálicos pela cama de frango moída.

	Langmuir	
θ_m (mg g ⁻¹)	$6,7283 \pm 0,4244$	$9,7928 \pm 1,1058$
K (L mg ⁻¹)	$0,0015 \pm 0,0002$	$0,0041 \pm 0,0012$
R^2	0,9897	0,9186
	Freundlich	
K_f (mg g ⁻¹)	$0,0361 \pm 0,0077$	$0,0508 \pm 0,0073$
n	$1,4357 \pm 0,0711$	$1,2793 \pm 0,0377$
R^2	0,9757	0,9924

Sendo θ_m = capacidade máxima de adsorção; K = coeficiente relacionado à energia de ligação (L mg⁻¹) R^2 = coeficiente de correlação; K_f = constante de Freundlich (mg g⁻¹); n = parâmetro empírico, constante.

De acordo com a Tabela 3, verifica-se tanto o modelo proposto por Langmuir como aquele proposto por Freundlich se ajustaram aos dados experimentais, apresentando coeficientes de correlação (R^2) próximos de 1. De modo geral, o modelo de Freundlich foi o que apresentou melhor ajuste, apresentando os maiores coeficientes de correlação.

Tanto a capacidade máxima de adsorção, como o parâmetro relacionado a energia de ligação, obtidos pelo modelo de Langmuir, foi maior para o níquel em relação ao cromo, apresentando a seguinte sequência de afinidade $Ni > Cr$. Dessa forma, verifica-se que a adsorção foi influenciada pela eletronegatividade dos íons metálicos, seguindo a mesma sequência da escala de eletronegatividade de Pauling ($Ni=1,9$ e $Cr=1,6$).

De acordo com Barros (2012), a eletronegatividade está relacionada à atração entre os elétrons e o núcleo de uma espécie. Assim, essa grandeza está intimamente relacionada ao tamanho do raio iônico porque, quanto menor o seu tamanho, maior é a força de atração entre os elétrons e o núcleo porque a distância entre eles será maior. Portanto, quanto maior a eletronegatividade, maior a afinidade entre os íons metálicos e o adsorvente.

De acordo com Malik (2003), ao se analisar os parâmetros do modelo proposto por Freundlich, verifica-se sequência de afinidade dos íons metálicos pela cama de frango moída semelhante àquela obtida pelo modelo de Langmuir. Também, conforme Malik (2003) e Clark (2010), observa-se que os sítios são heterogêneos energeticamente e que a isoterma de adsorção dos metais é do tipo favorável.

Ao se comparar os resultados da capacidade de adsorção dos íons metálicos obtidas neste estudo à diversos estudos de adsorção, tais como aqueles desenvolvidos por Barros (2012), Lopes (2016), Argun et al. (2007), Fagundes-Klen et al. (2007) e Muataz et al. (2010), verificou-se que a cama de frango moída apresentou capacidade máxima de adsorção de íons metálicos superior ao carvão ativado e outros biossorventes naturais. Assim, de modo geral, verifica-se que a cama de frango moída pode ser utilizada para o processo de remoção dos íons metálicos, substituindo outros materiais utilizados, apresentando eficácia superior, mesmo em baixas concentrações, sendo, portanto, uma alternativa econômica em relação ao tratamento convencional.

5. CONCLUSÃO

Uma dica para escrever esse item, é responder ao objetivo do trabalho que você escreveu lá na introdução.

De acordo com as condições experimentais conclui-se que:

- Tanto o modelo de Langmuir quanto o modelo de Freundlich descrevem adequadamente a adsorção dos íons cromo e níquel pela cama de frango moída.

- A capacidade máxima de adsorção para os íons níquel e cromo foi de $9,7928 \text{ mg g}^{-1}$ e $6,7283 \text{ mg g}^{-1}$, respectivamente.
- A sequência de afinidade na adsorção dos íons metálicos foi $\text{Ni} > \text{Cr}$.
- A cama de frango moída apresentou potencial para a remoção dos íons metálicos, podendo ser utilizada em sistemas de tratamento de efluentes.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL BAKHEET, S. A.; ATTAFI, I. M.; MAAYAH, Z. H.; ABD-ALLAH, A. R.; ASIRI, Y. A.; KORASHY, H. M. Effect of long-term human exposure to environmental heavy metals on the expression of detoxification and DNA repair genes. *Environmental pollution* (Barking, Essex : 1987), v.181, p.226–32, 2013
- ALOMÁ-VICENTE, I. de la. C. et al. Panorama general en torno a la contaminación del agua por níquel. La biosorción como tecnología de tratamiento. *Revista Cubana de Química*, v. 25, n. 3, p. 266-280, 2013.
- ARGUN, M. E.; DURSUN, S.; OZDEMIR, C.; KARATAS, M. Heavy metal adsorption by modified oak sawdust: Thermodynamics and kinetics. *Journal of hazardous materials*, v.141, n.1, p.77-85. 2007
- ATKINS, P.W. *Physical chemistry*. 5 ed. Oxford: Oxford University Press, 1994.1072p
- BARROS NETO, B., SCARMINIO, I.S., BRUNS, R.E. Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria. 2ed. Campinas: UNICAMP, 2002. 401p
- CAPRARESCU, S. et al. Adsorbents/ion exchangers-PVA blend membranes: Preparation, characterization and performance for the removal of Zn^{2+} by electrodialysis. *Applied Surface Science*, v. 329, n. 1, p. 65-75, 2015
- CLARK, H. L. M. - Remoção de fenilalanina por adsorvente produzido a partir da torta prensada de grãos defeituosos de café. 2010. 115 p. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas: critérios para projeto e operação. São Paulo, 1999, 32p. (Manual Técnico, 4230)
- COSTA, Y. J.; SOUZA, T. F.; REIS, E. N.; JESUS, E. Estudo cinético e de equilíbrio da biossorção de Cr(VI) de solução aquosas usando mesocarpo de maracujá-amarelo como biossorvente. *Scientia Plena*, v.11, n.12, 2015.
- CRUZ, J. B. F.; SOARES, H. F. Uma revisão sobre o zinco. *Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, v.15, n.1, 2011
- DEFELIPO, B. V.; RIBEIRO, A. C. *Análise Química do Solo (Metodologia)*. Viçosa: UFV, Impr. Univ., 1981. 17p. (Boletim de Extensão, 29).
- EMBRAPA - Embrapa Informática Agropecuária. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 370p, 1999.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise do solo. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997, 247p.

FAGUNDES-KLEN, M. R.; FERRI, P.; MARTINS, T. D.; TAVARES, C. R. G.; SILVA, E. Equilibrium study of the binary mixture of cadmium–zinc ions biosorption by the *Sargassumfilipendula* species using adsorption isotherms models and neural network. *Biochemical Engineering Journal*, v. 34, n. 22, p. 136-146, 2007.

FENG, S., HUANG, J., WANG, J. Loss of the Polycomb group gene polyhomeotic induces non-autonomous cell overproliferation. *EMBO Rep.* 12(2): 157--163. 2011.

FERREIRA, P. P. L.; BRAGA, R. M.; TEODORO, N. M. A.; MELO, V. R. M.; MELO, D. M. A.; MELO, M. A. F. Adsorção de Cu^{2+} e Cr^{3+} em efluentes líquidos utilizando a cinza do bagaço da cana-de-açúcar. *Cerâmica*, v.61. n.360, 2015

GOMES, M. R.; ROGERO, M. M.; TIRAPEGUI, J. Considerações sobre cromo, insulina e exercício físico. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, v.11, n.5, p.262-266, 2005

KIEHL, E. J. Fertilizantes orgânicos. Piracicaba, Ed. Agronômica "CERES", 1985. cap.3, p.85.
LIMA, L. C. C. Isotermas de adsorção no estudo do comportamento de cobre e chumbo em solos originais e tratados para remoção de matéria orgânica. Dissertação (Mestrado em Química). Brasília-DF: Instituto de Química - UNB 2013. 80p

MALIK, P. K. Use of activated carbons prepared from sawdust and rice-husk for adsorption of acid dyes: a case study of Acid Yellow 36. *Dyes and Pigments*. v. 56, p. 239-249, 2003

MCCABE, W. L, SMITH, J.C., HARRIOT, P., *Unit Operations of Chemical Engineering*, 6ª edição, McGraw-Hill Book Company, p. 816-817, 2000

MÓDENES, A.N.; ESPINOZA-QUIÑONES, F.R.; LAVARDA, F.L.; COLOMBO, A.; BORBA, C.E.; LEICHTWEIS, W.A.; MORA, N.D. Remoção dos metais pesados Cd(II) , Cu(II) e Zn(II) pelo processo de biossorção utilizando a macrófita *Eichhornia crassipes*. *Rev. Esc. Minas, Ouro Preto*, 66(3), p. 355-362, 2013.

MOREIRA, D.A. Adsorção de cobre (II), níquel (II) e zinco (II) de efluentes de galvanoplastia por vermicomposto. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ. 2004. 69p. Dissertação (Mestrado em Agroquímica). Universidade Federal de Viçosa, 2004.

MUATAZ, A. A.; OMER, Y. B.; BASSAM, S. T.; ALAADIN, A. B.; MAZEN, K.; MAMDOUH, A.; MOHAMMED, F.; FARAJ, A. A. Removal of Chromium (III) from Water by Using Modified and Nonmodified Carbon Nanotubes. *Journal of Nanomaterials*, 2010

NASCIMENTO, R. F.; LIMA, A. C. A; VIDAL, C. B.; MELO D. Q.; RAULINO, G. S. C. Adsorção:

aspectos teóricos e aplicações ambientais. Fortaleza. Imprensa Universitária, 2014.

SILVA, J. L. B. C., PEQUENO, O. T. B. L., ROCHA, L.K.Y.S., ARAÚJO, E.C.O.A., MARCIEL, T. A. R; BARROS, A. J. M. B., 2014. Biossorção de metais pesados: uma revisão. Revista Saúde e Ciência, vol. 3, no. 3, pp. 137-149.

SOARES J.P., SOUZA J.A de, CAVALHEIRO E.T.G. Caracterização das amostras comerciais de vermicomposto de esterco bovino e avaliação da influência do pH e do tempo na adsorção de Co (II), Zn (II) e Cu (II). Química Nova, São Paulo, v. 27, n. 1, p.5-9, 2004

SUZAKI, P. Y. R, M. M.; BERGAMASCO, R.; FAGUNDES - KLEN, M. R.; KLEINÜBING, S. J.; HONORIO, J. F. Estudo do equilíbrio de biossorção dos íons Cu^{2+} e Ni^{2+} em sistema batelada pelo resíduo da extração do alginato da alga sargassum filipendul. UFSCAR: XXXVII ENEMP. In Congresso Brasileiro de sistemas particulados, 2015.

YAMAMURA, A. P. G.; YAMAURA, M. “Estudo da cinética e das isotermas de adsorção de U pelo bagaço de cana-de-açúcar”. In: INTERNATIONAL NUCLEAR ATLANTIC CONFERENCE – INAC, Santos, 2005.