

**Franciele Bonatto
Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)**

Impactos das Tecnologias nas Engenharias 4



**Franciele Bonatto
Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta**
(Organizadores)

Impactos das Tecnologias nas Engenharias

4

**Atena Editora
2019**

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

134 Impactos das tecnologias nas engenharias 4 [recurso eletrônico] / Organizadores Franciele Bonatto, Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias nas Engenharias; v. 4)

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-85-7247-194-7
DOI 10.22533/at.ed.947191503

1. Engenharia. 2. Inovações tecnológicas. 3. Tecnologia.
I. Bonatto, Franciele. II. Holzmann, Henrique Ajuz. III. Dallamuta, João.
CDD 658.5

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Caro leitor(a)

Nesta obra temos um compendio de pesquisas realizadas por alunos e professores atuantes em engenharia e tecnologia. São apresentados trabalhos teóricos e vários resultados práticos de diferentes formas de aplicação e abordagens de simulação, projetos e caracterização no âmbito da engenharia e aplicação de tecnologia.

Tecnologia é o pilar mais importante da engenharia. Os profissionais que se dedicam a pesquisa e desenvolvimento de novos produtos e processos não estão preocupados com todos os aspectos da tecnologia, mas com a tecnologia existente, bem como com a tecnologia futura considerada viável. Uma visão ampla de tecnologia é portanda fundamental para engenheiros. É esta amplitude de áreas e temas que procuramos reunir neste livro.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais

Aos autores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura

Franciele Bonatto
Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

Tecnologia e Engenharia em Foco

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO TÉRMICO DO SISTEMA DE UM FREIO | |
| <i>Franklin Lacerda de Araújo Fonseca Júnior</i> <i>David Domingos Soares da Silva</i> | |
| DOI 10.22533/at.ed.9471915031 | |
| CAPÍTULO 2 | 9 |
| DETERMINAÇÃO E AVALIAÇÃO DA DUREZA E DA MICROESTRUTURA DO AÇO AISI 5160 NA CONDIÇÃO PADRÃO E ESFEROIDIZADO | |
| <i>Anelise Pereira da Silva</i> <i>Suelen de Fátima Felisberto</i> <i>Amir Rivaroli Junior</i> <i>Cristina de Carvalho Ares Elisei</i> <i>Jorge Luiz Rosa</i> <i>Sérgio Roberto Montoro</i> | |
| DOI 10.22533/at.ed.9471915032 | |
| CAPÍTULO 3 | 17 |
| INOVAÇÕES EM BROCA: UTILIZAÇÃO DE JATO DE ÁGUA COM ALTO CONTEÚDO ENERGÉTICO E ALARGADORES MECÂNICOS COMO PRINCÍPIO DE ESCAVAÇÃO | |
| <i>Rafael Pacheco dos Santos</i> <i>Lidiani Cristina Pierri</i> <i>Jair José dos Passos Junior</i> <i>Anderson Moacir Pains</i> <i>Marcos Aurélio Marques Noronha</i> | |
| DOI 10.22533/at.ed.9471915033 | |
| CAPÍTULO 4 | 25 |
| ESTUDO DE UM CONTROLADOR DE UM BRAÇO ROBÓTICO COM DOIS GRAUS DE LIBERDADE COM BASE EM LMI | |
| <i>Márcio Roberto Covacic</i> <i>Ruberlei Gaino</i> <i>Cesar Capobianco</i> | |
| DOI 10.22533/at.ed.9471915034 | |
| CAPÍTULO 5 | 33 |
| INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DA POTÊNCIA DE SOLDAGEM NO PROCESSO DE SOLDAGEM A LASER NO AÇO BLAR | |
| <i>Ana Paula Alves de Oliveira</i> <i>Francisco Cardoso de Melo Junior</i> <i>Amir Rivaroli Junior</i> <i>Emerson Augusto Raymundo</i> <i>João Maurício Godoy</i> <i>Marcelo Bergamini de Carvalho</i> <i>Sérgio Roberto Montoro</i> | |
| DOI 10.22533/at.ed.9471915035 | |

| | |
|---|------------|
| CAPÍTULO 6 | 42 |
| IMPLEMENTAÇÃO DE UMA TÉCNICA DE CONTROLE PREDITIVO NÃO LINEAR PRÁTICA NO ACIONAMENTO DE UM MOTOR CC | |
| <i>Cleber Asmar Ganzaroli</i> | |
| <i>Douglas Freire de Carvalho</i> | |
| <i>Luiz Alberto do Couto</i> | |
| <i>Rafael Nunes Hidalgo Monteiro Dias</i> | |
| <i>Wesley Pacheco Calixto</i> | |
| DOI 10.22533/at.ed.9471915036 | |
| CAPÍTULO 7 | 55 |
| IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA DE PRESENÇA USANDO LEITOR CCD E CRIPTOGRAFIA NO MODELO DE CIFRA DE VIGÊNERE | |
| <i>Éric Dias Souza</i> | |
| <i>Victor Francisco Rigolo Fernandes de Almeida</i> | |
| <i>Wagner dos Santos Clementino de Jesus</i> | |
| DOI 10.22533/at.ed.9471915037 | |
| CAPÍTULO 8 | 61 |
| MODELAGEM DINÂMICA E CONTROLE PID DE MANIPULADORES ROBÓTICOS COM APLICAÇÃO NO ROBÔ DENSO VP6242G | |
| <i>Leonardo Augusto Arruda</i> | |
| <i>Márcio Roberto Covacic</i> | |
| <i>Ruberlei Gaino</i> | |
| DOI 10.22533/at.ed.9471915038 | |
| CAPÍTULO 9 | 81 |
| MODELAGEM CINEMÁTICA E SIMULAÇÃO 3D DO MANIPULADOR INDUSTRIAL DENSO VP6242G | |
| <i>Giovani Augusto de Lima Freitas</i> | |
| <i>Márcio Roberto Covacic</i> | |
| <i>Ruberlei Gaino</i> | |
| DOI 10.22533/at.ed.9471915039 | |
| CAPÍTULO 10 | 103 |
| PROGRAMAÇÃO LÓGICA INDUTIVA APLICADA À COMPUTAÇÃO MUSICAL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA | |
| <i>Clenio Batista Gonçalves Junior</i> | |
| <i>Murillo Rodrigo Petrucelli Homem</i> | |
| DOI 10.22533/at.ed.94719150310 | |
| CAPÍTULO 11 | 119 |
| ANÁLISE DA MICROESTRUTURA DO FERRO FUNDIDO FC 250 SOB EFEITO DA CORROSÃO EM SOLUÇÃO ÁCIDA | |
| <i>Lariane Ferreira Sena</i> | |
| <i>Rafaela Cunha dos Reis</i> | |
| <i>Aline Alcamin Monteiro</i> | |
| <i>Paula Luisa Silva</i> | |
| DOI 10.22533/at.ed.94719150311 | |

CAPÍTULO 12 130

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE CÉRIA DOPADA COM GADOLÍNIA E CO-DOPADA COM ÓXIDO DE COBRE

*Raquel Rodrigues do Nascimento Menezes
Thamyscira Herminio Santos da Silva
Allan Jedson Menezes de Araújo
Erik Benigno Grisi de Araújo Fulgêncio
Lizandra Fernanda Araújo Campos
Ricardo Peixoto Suassuna Dutra
Daniel Araújo de Macedo*

DOI 10.22533/at.ed.94719150312

CAPÍTULO 13 146

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E MICROESTRUTURAL DE LIGAS CU-AL-MN PASSÍVEIS DO EFEITO MEMÓRIA DE FORMA ENVELHECIDAS

*Marcos Barbosa Dos Anjos Filho
Carlos Cássio de Alcântara
José Joelson de Melo Santiago*

DOI 10.22533/at.ed.94719150313

CAPÍTULO 14 153

INFLUÊNCIA DE DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DO ADITIVO DE CARBONO MICROGRAF® 9930MA NA CAPACIDADE C-20 DA PLACA NEGATIVA DE BATERIAS CHUMBO-ÁCIDO

*Lucas Carvalho Santana
André Castilho dos Santos
Cynthia Mayara de Carvalho
Gilberto Augusto de Oliveira Brito
Christiano Jorge Gomes Pinheiro*

DOI 10.22533/at.ed.94719150314

CAPÍTULO 15 162

DETERMINAÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS EM SUSPENSÃO NA ÁGUA PRODUZIDA: UMA ANÁLISE A PARTIR DE UMA PRÁTICA LABORATORIAL

*Raul José Alves Felisardo
Gabriela Menezes Silva
César de Almeida Rodrigues*

DOI 10.22533/at.ed.94719150315

CAPÍTULO 16 168

ADSORÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO PELO BAGAÇO DE BUTIÁ PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES

*Luciana Machado Rodrigues
Vanessa Rosseto
Clarissa Ferreira Pin
Ethielle Bordignon de Carvalho Prestes*

DOI 10.22533/at.ed.94719150316

CAPÍTULO 17 176

DESENVOLVIMENTO, CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE UM NOVO ADSORVENTE DE BAIXO CUSTO NA ADSORÇÃO E DESSORÇÃO MONO E MULTICOMPONENTE DE METAIS PESADOS EM COLUNA DE LEITO FIXO

Gabriel André Tochetto
Danieli Brandler
Deisy Maria Memlak
Francine Caldart
Gean Delise L. P. Vargas
Cleuzir da Luz
Joceane Pigatto
Adriana Dervanoski

DOI 10.22533/at.ed.94719150317

CAPÍTULO 18 187

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO COMPLEXO OXALATO DE NIÓBIO NA OBTENÇÃO DE BIODIESEL SOB VIA METÉLICA

Rayane Ricardo da Silva
Carlson Pereira de Souza
Tiago Fernandes Oliveira
Maria Veronilda Macedo Souto
Angelinne Costa Alexandrino

DOI 10.22533/at.ed.94719150318

CAPÍTULO 19 195

ANÁLISE DA COMPATIBILIDADE ENTRE RESÍDUO OLEOSO DA INDÚSTRIA DE E & P DE PETRÓLEO E CIMENTO PORTLAND PARA UTILIZAÇÃO EM CONCRETO

Yane Coutinho Lira
Fernanda Cavalcanti Ferreira
Romildo Alves Berenguer
Rodrigo Mendes Patrício Chagas
Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça
Milton Bezerra das Chagas Filho

DOI 10.22533/at.ed.94719150319

CAPÍTULO 20 205

RETENÇÃO DE ÍONS METÁLICOS DE COBRE E ZINCO EM CASCA DE MARACUJÁ AMARELO

Bianca de Paula Ramos
Rosane Freire Boina

DOI 10.22533/at.ed.94719150320

SOBRE OS ORGANIZADORES..... 217

CAPÍTULO 17

DESENVOLVIMENTO, CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE UM NOVO ADSORVENTE DE BAIXO CUSTO NA ADSORÇÃO E DESSORÇÃO MONO E MULTICOMPONENTE DE METAIS PESADOS EM COLUNA DE LEITO FIXO

Gabriel André Tochetto

Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, Laboratório de Efluentes e Resíduos, Universidade Federal da Fronteira Sul – *Campus* Erechim – RS

Danieli Brandler

Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, Laboratório de Efluentes e Resíduos, Universidade Federal da Fronteira Sul – *Campus* Erechim - RS

Deisy Maria Memlak

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade do Estado de Santa Catarina – *Campus* Pinhalzinho – SC.

Francine Caldart

Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, Laboratório de Efluentes e Resíduos, Universidade Federal da Fronteira Sul – *Campus* Erechim – RS

Gean Delise L. P. Vargas

Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, Laboratório de Efluentes e Resíduos, Universidade Federal da Fronteira Sul – *Campus* Erechim – RS

Cleuzir da Luz

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade do Estado de Santa Catarina – *Campus* Pinhalzinho – SC.

Joceane Pigatto

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade do Estado de Santa Catarina – *Campus* Pinhalzinho – SC.

Adriana Dervanoski

Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, Laboratório de Efluentes e Resíduos, Universidade Federal da Fronteira Sul – *Campus* Erechim – RS

RESUMO: Este estudo desenvolveu um novo adsorvente a partir de coco de Jerivá (*Syagrus romanzoffiana*) para aplicação na adsorção de metais pesados, como Cobre, Cádmio, Zinco e Níquel em coluna de leito fixo. A caracterização foi realizada através de testes físicos e químicos, como o BET, BJH e MEV. Foram realizados ensaios de adsorção em três diferentes temperaturas (23, 33 e 43 °C), mostrando que o adsorvente possui afinidade pelos metais estudados e que a adsorção é favorecida pelo aumento da temperatura. As isotermas revelaram ainda, que os dados experimentais se ajustaram ao modelo de Langmuir e a maior capacidade adsorptivas foi encontrada para o Ni²⁺, seguido do Cu²⁺, Cd²⁺, Zn²⁺. Os ensaios de adsorção em coluna de leito fixo revelaram que em 11 h o leito não conseguiu mais adsorver Zn²⁺, em 12 h, 16 h e 22 h ocorreu a saturação do Cd²⁺, Cu²⁺ e Ni²⁺, respectivamente. A dessorção com H₂SO₄ 0,1 M removeu em 40 min os íons metálicos do adsorvente.

PALAVRAS-CHAVE: separação; componentes tóxicos; coco de Jerivá

ABSTRACT: This study has developed a new adsorbent from the coconut of Jerivá (*Syagrus romanzoffiana*) for adsorption of heavy metals such as copper, cadmium, zinc and nickel in a fixed bed column. The characterization was performed through physical and chemical tests, such as BET, BJH and MEV. Adsorption tests were carried out at three different temperatures (23, 33 and 43 ° C), showing that the adsorbent has affinity for the studied metals and that the adsorption is favored by the increase in temperature. The isotherms also showed that the experimental data conformed to the Langmuir model and the highest adsorptive capacity was found for Ni²⁺, followed by Cu²⁺, Cd²⁺, Zn²⁺. The fixed bed adsorption tests revealed that in 11 h the bed was no longer able to adsorb Zn²⁺, at 12 h, 16 h and 22 h the saturation of Cd²⁺, Cu²⁺ and Ni²⁺ occurred respectively. Desorption with 0.1 M H₂SO₄ removed the metal ions from the adsorbent in 40 min.

KEYWORDS: separation; toxic components; coconut from Jerivá

1 | INTRODUÇÃO

Os metais pesados são altamente tóxicos em baixas concentrações e podem se acumular nos organismos vivos, causando distúrbios e doenças. Com o avanço da industrialização e urbanização, a presença de íons de metais pesados nos cursos d'água tem aumentado nas últimas décadas. E a remoção dos íons de metais pesados é essencial devido aos seus impactos ambientais, de saúde pública e econômica (GLATSTEIN; FRANCISCA, 2015; KAMARI *et al.*, 2014; ABDELFATTAH *et al.*, 2016; PARK *et al.*, 2016; SHAKER; ALBISHRI, 2014; TAHA *et al.*, 2016; TEODORO *et al.*, 2017).

Dentre as tecnologias para remoção de componentes tóxicos, o processo adsorptivo vem ganhando espaço por ser mais efetivo no tratamento de efluentes provenientes de processos industriais pela alta eficiência e custo-benefício (HUBADILLAH *et al.*, 2017). Contudo, o carbono ativado, apesar de, ser amplamente utilizado como adsorvente, ainda é caro (CANSADO; BELO; MOURÃO, 2018). Assim o desenvolvimento de adsorventes a partir de materiais naturais e resíduos apresentam-se como alternativas para adsorção de metais (MALIK; DAHIYA; LATA, 2017). No presente estudo, o material de baixo custo, coco de Jerivá (*Syagrus romanzoffiana*), tem sido usado para o desenvolvimento de carvão ativado. O Coco de Jerivá tem um baixo valor econômico e o processo adotado para ativação do carbono é simples e economicamente viável.

Este estudo faz uso de carvão ativado proveniente de coco de jerivá para a eficiente remoção de Cd²⁺, Zn²⁺, Cu²⁺ e Ni²⁺ do sistema aquoso. A fim de otimizar as condições de adsorção eficiente de metais ao carvão ativado de coco de jerivá, os parâmetros cinéticos e termodinâmicos de processo de adsorção são estudados e diferentes modelos experimentais são analisados para entender a natureza e o comportamento da adsorção.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram desenvolvidos no Laboratório de Efluentes e Resíduos da Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS – *campus* Erechim e nos Laboratórios da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC Oeste – SC. Todos os experimentos foram realizados em duplicata utilizando-se de um limite de confiança de 95%.

O efluente sintético composto de íons metálicos foi preparado com água deionizada e a partir de seus respectivos sais $\text{CdSO}_4 \cdot 8/3\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (Vetec) e $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Dinâmica). O adsorvente utilizado foi o coco de Jerivá (*Syagrus romanzoffiana*), sendo coletado na região Norte do Rio Grande do Sul – Brasil. Para a leitura da concentração dos metais remanescentes na solução seguiu-se a metodologia oficial do Standard Methods For The Examination of Water & Wastewater (APHA, 2017), sendo utilizado um Espectrofotômetro de Absorção Atômica de fonte contínua de alta resolução, combinado com amostrador automático (marca AnalytikJena, modelo ContrAA 700), .

Após a colheita, o fruto foi secado em estufa a 110°C, moído, gaseificado e pirolisado a 500°C durante 2h e 30 min (tempo definido através de testes preliminares) e por fim passou por uma peneira de 60 mesh.

A fim de caracterizá-lo foram realizados ensaios de tamanho de partícula, testes de umidade, material volátil, teor de cinzas e carbono fixo. Os testes Brunauer, Emmett e Teller (BET), Barret, Joyner e Halenda (BJH) permitiram conhecer a área superficial, distribuição do tamanho e volume de poros. A análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foi realizada para obter as micrografias da estrutura física do carbono. Também foram determinados os grupos funcionais da superfície pelo espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e o ponto de carga zero (PCZ).

A capacidade de adsorção do adsorvente foi obtida pelas suas isotermas em reator batelada, com 100 mL adicionados em 9 Erlenmeyers contendo 0,2 g de adsorvente sob três temperaturas (23, 33 e 43 ± 1°C), sob agitação de 120 rpm. A concentração das soluções variou de 20 a 100 mg L⁻¹.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (1)$$

As cinéticas de adsorção foram realizadas em coluna de leito fixo. Adotou-se uma massa de adsorvente aproximada de 8,1 g e uma vazão de 10 ml min⁻¹. Buscou-se uma concentração do efluente sintético de aproximadamente 25 mg L⁻¹ e o pH foi ajustado em 5,5.

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização do adsorvente

A Figura 1 apresenta o coco de Jerivá logo após a colheita na fase verde. Após testes preliminares de adsorção com várias granulometrias, foi escolhido o tamanho médio de 60 mesh para o adsorvente desenvolvido. Há um aumento da capacidade de adsorção conforme a diminuição da granulometria do adsorvente.



Figura 1 – Coco de Jerivá (*Syagrus romanzoffiana*) na fase verde

Conforme a Tabela 1 percebe-se que, em base seca, o carvão possui baixa umidade e teor de cinzas e elevada presença de carbono fixo. A caracterização textural do adsorvente de coco de Jerivá através do método de BET evidenciou uma boa área superficial ($108 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$) podendo ser utilizado no processo de adsorção.

| Teste | Resultado |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| Material volátil | 26,47% |
| Umidade | 1,17% |
| Teor de cinzas | 13,53% |
| Carbono fixo | 58,83% |
| Área superficial | $108 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ |
| Volume de poro | $0,048 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ |
| Diâmetro médio dos poros | 34,5 Å |
| Tamanho médio distribuído de poros | 20 e 50 Å |
| Densidade real | 1.530 kg m^{-3} |

Tabela 1 – Caracterização do adsorvente de coco de Jerivá

Ainda a Tabela 1, apresenta os dados da adsorção BJH para saber a distribuição do tamanho de poros, que para este adsorvente a média ficou entre 20 e 50 Å. Segundo a IUPAC, os poros podem ser classificados como macroporos ($>500 \text{ Å}$), mesoporos (200 a 500 Å) e microporos ($<200 \text{ Å}$), portanto o adsorvente a base de coco de Jerivá

é microporoso.

Por meio da Microscopia Eletrônica de Varredura (Figura 2) é possível conhecer a superfície do adsorvente e obter a densidade do mesmo. As micrografias da revelam que não há grandes poros, confirmando o resultado obtido pela adsorção de BJH.

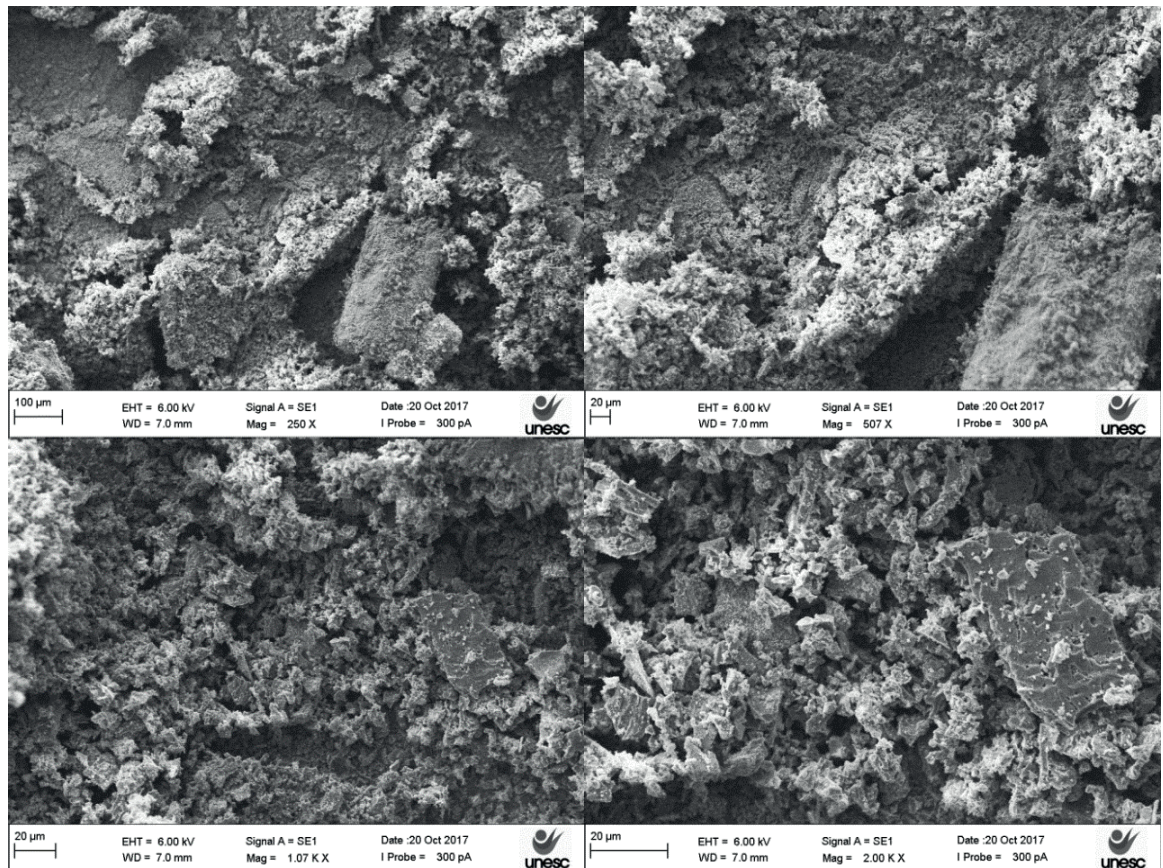


Figura 2 – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) nas ampliações de 250, 500, 1000 e 2000 vezes.

A partir da Figura 3 e da classificação de isotermas propostas por BET (RUTHVEN, 1984), fica evidente que a isoterma de N_2 do adsorvente possui curva característica do tipo II, com formação de múltiplas camadas em sistemas com sólidos não porosos. Já a Figura 4 apresenta a espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) das amostras de carvão, esta análise foi realizada, a fim de identificar possíveis grupos funcionais presentes na superfície do adsorvente produzido.

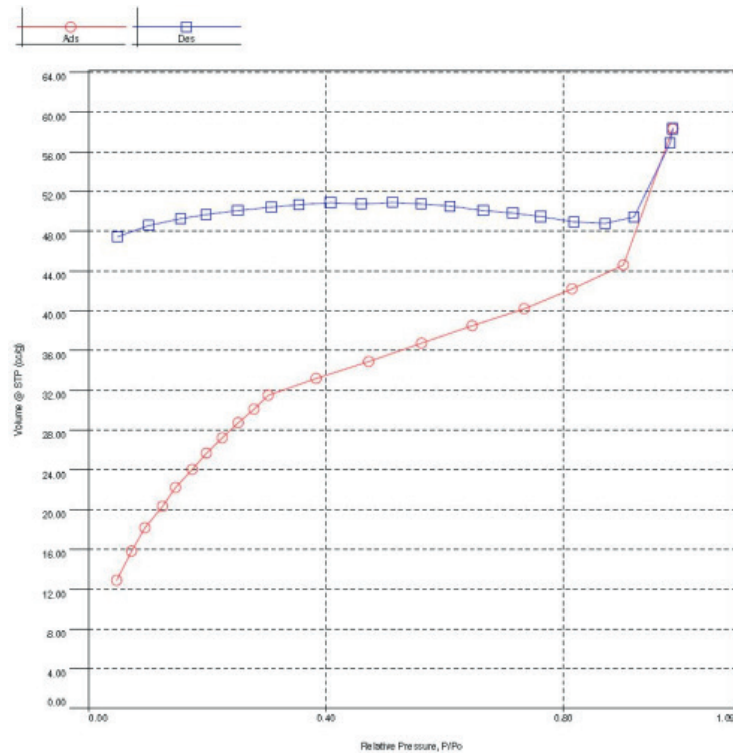


Figura 3 – Isotherma de adsorção/dessorção de N₂ obtida pelo teste BET

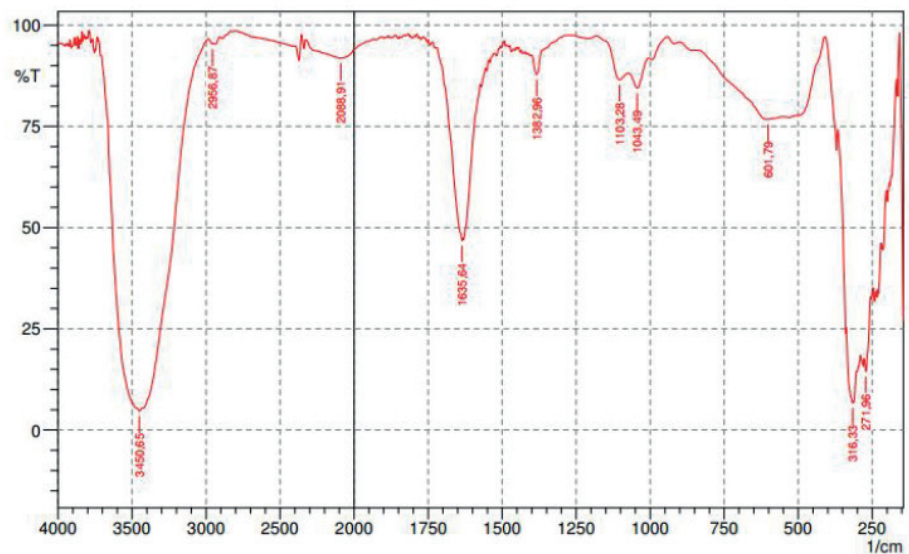


Figura 4 – Análise espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier do adsorvente

A análise de FTIR é uma importante ferramenta para conhecer os grupos funcionais existentes na superfície do adsorvente. Uma vez que as moléculas vibram em determinados números de ondas, é possível correlacionar os picos com grupos funcionais. Na Figura 4 percebe-se 4 picos acentuados, como o de 3450 cm⁻¹ que indica a presença do grupamento amina e amida, o de 1635 cm⁻¹ que está relacionado com amidas, e o pico de 316 cm⁻¹ e 271 cm⁻¹ com brometos e iodetos.

A Figura 5 apresenta a análise do ponto de carga zero, está análise é de extrema relevância, uma vez que a adsorção é fortemente afetada pelo pH. As características

e a composição da superfície do adsorvente influenciam na intensidade desse efeito.

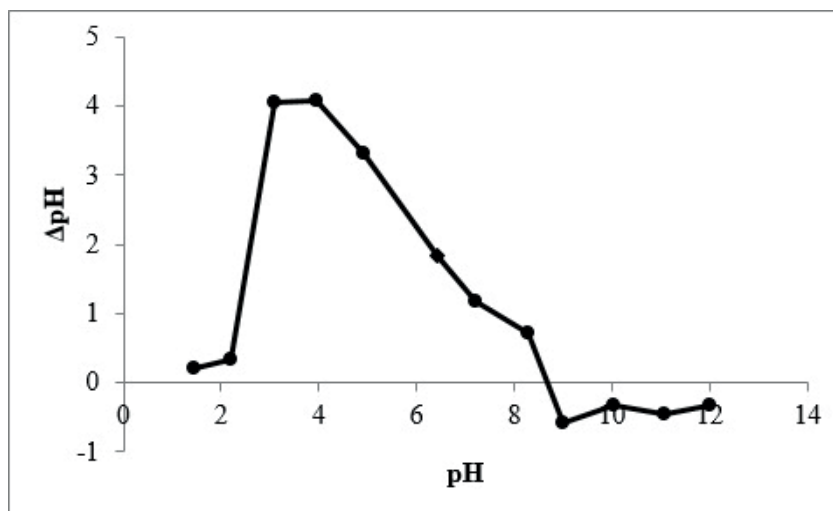


Figura 5 – Ponto de carga de zero do adsorvente produzido a partir do coco de Jerivá.

O ponto de carga zero foi encontrado através do gráfico do valor de pH inicial pela diferença do pH final e inicial, sendo que o valor onde a curva corta o eixo x é o pH_{PCZ} . Conforme a Figura 5 o PCZ do adsorvente de coco de Jerivá é 8,6. Para a adsorção de ânions, o pH ideal é abaixo deste valor e a carga superficial do material é positiva.

3.2 Isotermas de adsorção

O estudo de equilíbrio termodinâmico é utilizado para determinar a capacidade máxima de adsorção. O tempo de contato do adsorbato com o adsorvente no reator orbital (30 min) foi definido após testes preliminares. Sabendo que este processo de separação, é fortemente influenciado pela temperatura, optou-se por trabalhar sob diferentes condições (23, 33 e 43 °C). A quantidade de íons metálicos removidos por unidade de massa do sólido adsorvente foi determinada através da Equação 1.

Os resultados experimentais foram ajustados pelo *software STATISTIC 10.0*, através do método dos mínimos quadrados, seguindo os modelos de Langmuir (Equação 2) e Freundlich (Equação 3).

$$q_e = \frac{q_{m\acute{a}x} \cdot b_L \cdot C_e}{1 + b_L \cdot C_e} \quad (2)$$

$$q_e = k_f \cdot C_e^{1/n_f} \quad (3)$$

As isotermas foram construídas através dos resultados experimentais, com ajuste seguindo os modelos de Langmuir e Freundlich, sendo encontrado o maior coeficiente de correlação para Langmuir. Observa-se pela Tabela 1, que o aumento da temperatura favoreceu a capacidade adsortiva, indicando que o adsorbato é quimissorvido.

| | T (°C) | Langmuir | | | Freundlich | | |
|------------------|--------|---|----------------------------|----------------|------------|-------|----------------|
| | | $q_{m\acute{a}x}$ (mg.g ⁻¹) | b_L (L.g ⁻¹) | R ² | n_F | k_F | R ² |
| Cu ²⁺ | 23 | 16,01 | 0,85 | 0,89 | 12,12 | 11,32 | 0,87 |
| | 33 | 22,76 | 0,38 | 0,87 | 4,66 | 9,55 | 0,84 |
| | 43 | 25,08 | 0,30 | 0,90 | 0,22 | 10,27 | 0,85 |
| Ni ²⁺ | 23 | 5,55 | 0,07 | 0,99 | 4,15 | 1,63 | 0,99 |
| | 33 | 29,07 | 0,04 | 0,87 | 2,12 | 3,15 | 0,61 |
| | 43 | 36,99 | 0,11 | 0,81 | 2,39 | 7,18 | 0,75 |
| Cd ²⁺ | 23 | 16,38 | 0,34 | 0,98 | 4,52 | 6,69 | 0,96 |
| | 33 | 16,23 | 0,87 | 0,87 | 7,92 | 9,91 | 0,88 |
| | 43 | 16,50 | 16,52 | 0,90 | 14,65 | 13,12 | 0,91 |
| Zn ²⁺ | 23 | 7,71 | 0,57 | 0,97 | 7,33 | 4,60 | 0,87 |
| | 33 | 8,01 | 14,40 | 0,74 | 0,000003 | 7,90 | 0,74 |
| | 43 | 9,71 | 0,98 | 0,90 | 18,38 | 7,60 | 0,72 |

Tabela 2 - Parâmetros dos modelos de Langmuir e Freundlich ajustados aos dados experimentais

Na Figura 6 pode-se observar o comportamento das isotermas, ou seja, o ajuste aos pontos experimentais.

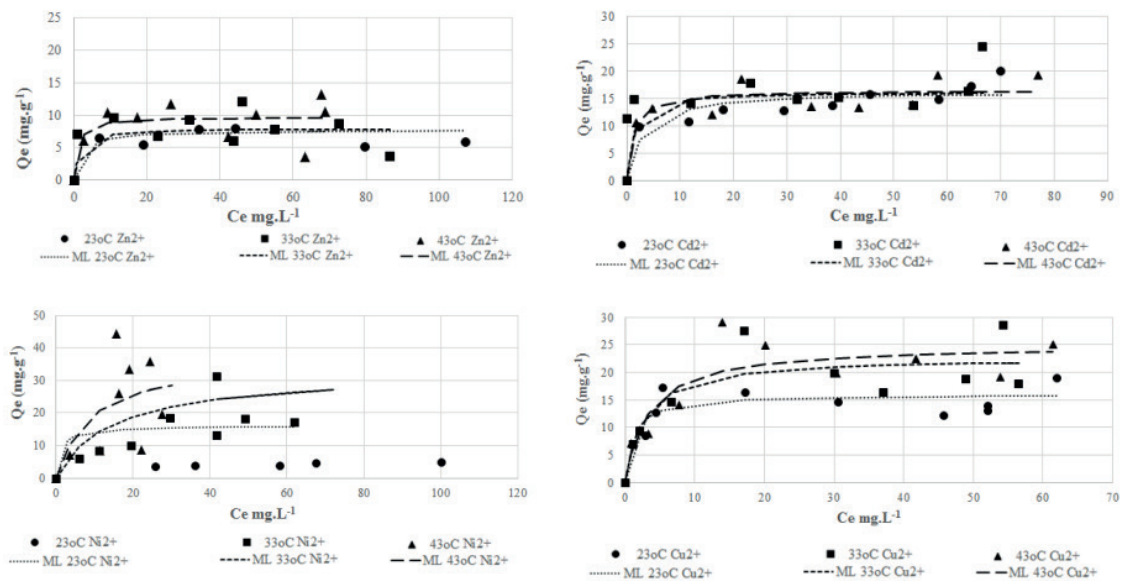


Figura 6 – Isotermas de adsorção para o (a) Zinco, (b) Cádmiio, (c) Níquel e (d) Cobre.

3.3 Coluna de leito fixo

Na Figura 7 estão apresentadas as curvas de ruptura dos metais, sendo importantes para avaliar o comportamento e a eficiência da coluna de leito fixo. Os resultados são descritos em termos da concentração *versus* tempo. As curvas ainda permitem analisar em quanto tempo ocorre à saturação do adsorvente.

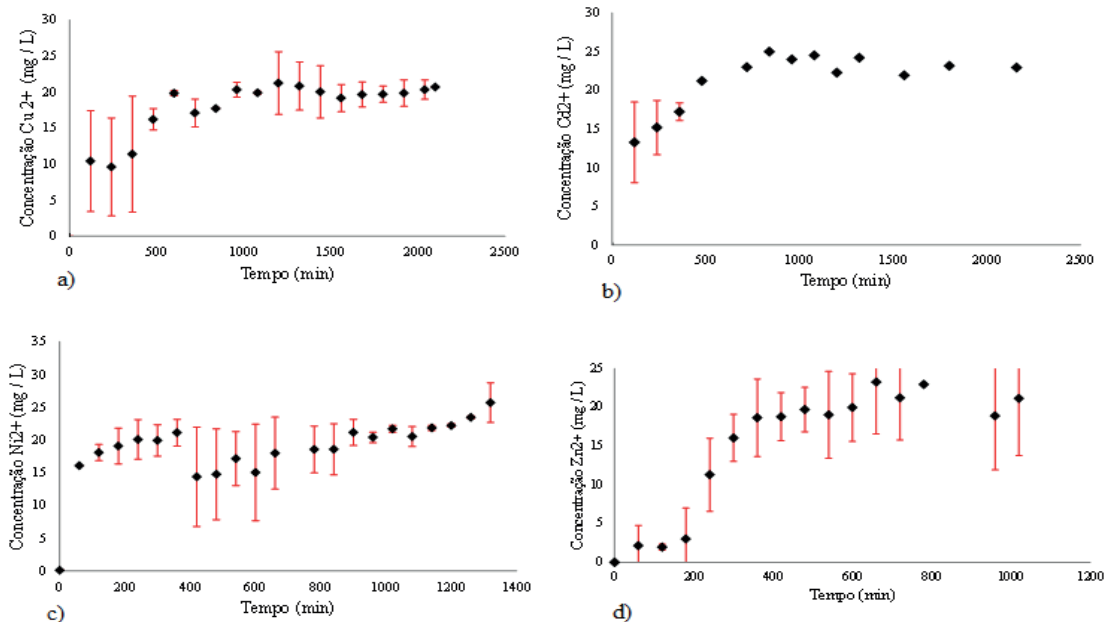


Figura 7 – Curva de ruptura para a) Cu²⁺, b) Cd²⁺, c) Ni²⁺, d) Zn²⁺ considerando o desvio padrão.

Observa-se pela Figura 7, que em 11 h o leito não conseguiu mais adsorver Zn²⁺, em 12 h, 16 h e 22 h ocorreu à saturação do Cd²⁺, Cu²⁺ e Ni²⁺ respectivamente.

As cinéticas de adsorção multicomponentes são apresentadas na Figura 8. A cinética de adsorção multicomponente é fundamental para entender o comportamento da adsorção quando da presença dos quatro íons metálicos em solução.

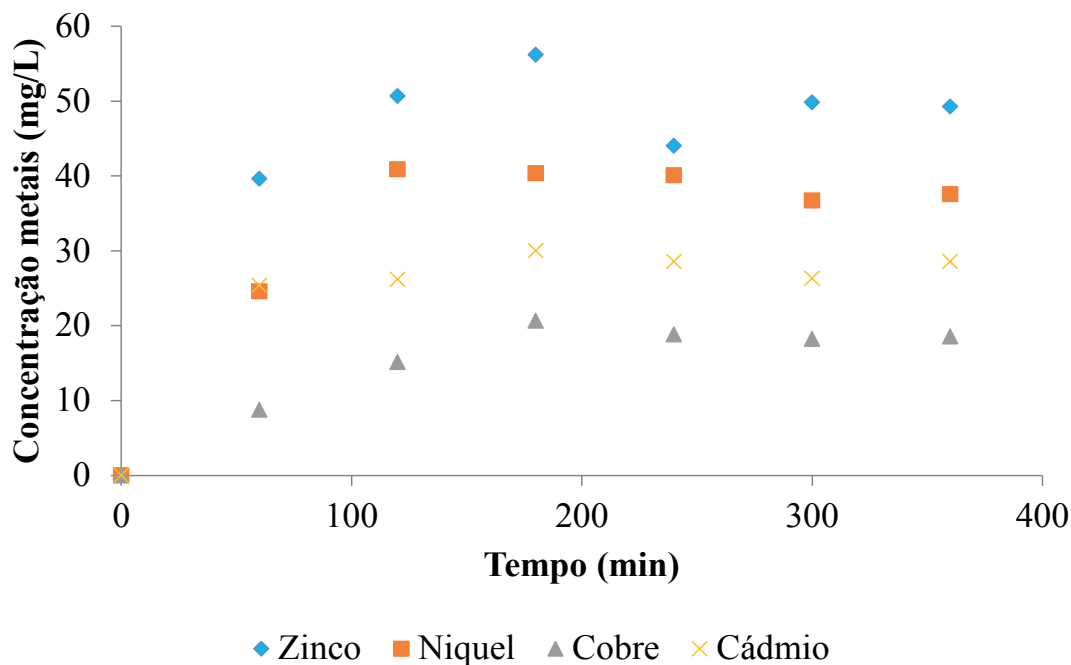


Figura 8 – Cinética de adsorção multicomponente.

A saturação do adsorvente ocorreu de forma mais rápida na coluna de leito fixo, quando comparado às curvas de ruptura da adsorção monocomponente, devido a ocupação dos sítios ativos pelos contaminantes.

Após testes preliminares com diferentes dessorventes variando suas concentrações, o ácido sulfúrico 0,1 M apresentou bons resultados e removendo o adsorbato em pouco tempo (Figura 9).

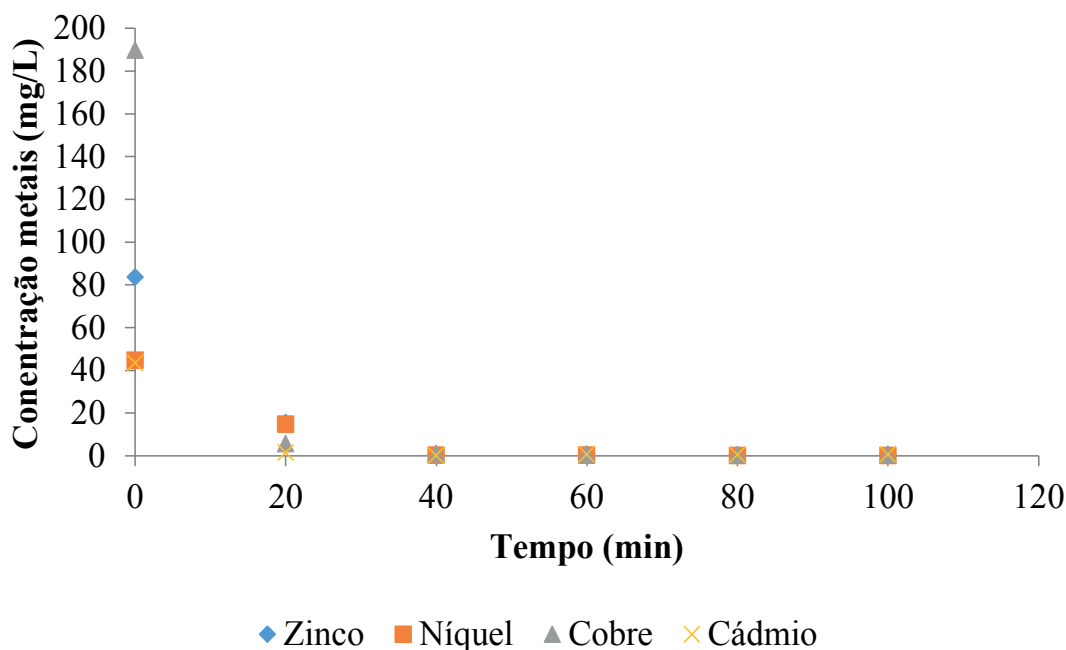


Figura 9 – Cinética de desorção multicomponente.

A desorção é importante a fim de saber se o adsorvente pode ser aplicado em vários ciclos de adsorção, ou seja, se o carbono consegue, após ter adsorvido os íons metálicos, liberá-los com a utilização de um dessorvente.

No caso acima, é possível verificar que em 40 min o carvão a base de coco de Jerivá libera os quatro íons metálicos, podendo já ser novamente utilizado para um novo ciclo. Observa-se, também, que o Cobre foi o íon mais adsorvido ($189,8 \text{ mg L}^{-1}$), seguido do Zinco ($83,5 \text{ mg L}^{-1}$), Níquel ($44,8 \text{ mg L}^{-1}$) e Cádmio ($43,6 \text{ mg L}^{-1}$).

4 | CONCLUSÃO

O coco de Jerivá pode ser uma alternativa viável para tratamento de efluentes contaminados com metais pesados utilizando coluna de leito fixo, uma vez que o adsorvente apresenta boa capacidade adsortiva e é de baixo custo.

5 | AUTORIZAÇÕES

Ao submeter o trabalho, os autores tornam-se responsáveis por todo o conteúdo da obra.

REFERÊNCIAS

- ABDELFATTAH, I., ISMAIL, A. A., SAYED, F. AL, ALMEDOLAB, A., & ABOELGHAIT, K. M. **Biosorption of heavy metals ions in real industrial wastewater using peanut husk as efficient and cost effective adsorbent.** *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, v. 6, p. 176–183, 2016.
- APHA. **Standard Methods For The Examination of Water & Wastewater** 23rd ed. Washington, DC: American Public Health Association Water Works Asso, 2017.
- CANSADO, I. P. DA P.; BELO, C. R.; MOURÃO, P. A. M. **Valorisation of Tectona Grandis tree sawdust through the production of high activated carbon for environment applications.** *Bioresource Technology*, v. 249, p. 328–333, 2018.
- GLATSTEIN, D. A.; FRANCISCA, F. M. **Influence of pH and ionic strength on Cd, Cu and Pb removal from water by adsorption in Na-bentonite.** *Applied Clay Science*, v. 118, p. 61–67, 2015.
- HUBADILLAH, S. K. et al. **A novel green ceramic hollow fiber membrane (CHFM) derived from rice husk ash as combined adsorbent-separator for efficient heavy metals removal.** *Ceramics International*, v. 43, n. 5, p. 4716–4720, 2017.
- KAMARI, A., NAJIAH, S., YUSOFF, M., ABDULLAH, F., & PRANATA, W. **Biosorptive removal of Cu (II), Ni (II) and Pb (II) ions from aqueous solutions using coconut dregs residue : Adsorption and characterisation studies.** *Biochemical Pharmacology*, v. 2, n. 4, p. 1912–1919, 2014.
- MALIK, R.; DAHIYA, S.; LATA, S. **An experimental and quantum chemical study of removal of utmostly quantified heavy metals in wastewater using coconut husk: A novel approach to mechanism.** *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 98, p. 139–149, 2017.
- PARK, J. H., OK, Y. S., KIM, S. H., CHO, J. S., HEO, J. S., DELAUNE, R. D., & SEO, D. C. **Competitive adsorption of heavy metals onto sesame straw biochar in aqueous solutions.** *Chemosphere*, v. 142, p. 77–83, 2016.
- RUTHVEN, D.M. **Principles of Adsorption and Adsorption Process.** New York: John Wiley & Sons, 1984.
- SHAKER, M. A.; ALBISHRI, H. M. **Dynamics and thermodynamics of toxic metals adsorption onto soil-extracted humic acid.** *Chemosphere*, v. 111, p. 587–595, 2014.
- TAHA, A. A., SHREADAH, M. A., AHMED, A. M., & HEIBA, H. F. **Multi-component adsorption of Pb(II), Cd(II), and Ni(II) onto Egyptian Na-activated bentonite; Equilibrium, kinetics, thermodynamics, and application for seawater desalination.** *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 4, n. 1, p. 1166–1180, 2016.
- TEODORO, F. S., ADARME, O. F. H., GIL, L. F., & GURGEL, L. V. A. **Synthesis and application of a new carboxylated cellulose derivative. Part II: Removal of Co²⁺, Cu²⁺ and Ni²⁺ from bicomponent spiked aqueous solution.** *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 487, p. 266–280, 2017.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-194-7

