



Impactos das
Tecnologias na
Engenharia Química 3

Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)

Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)

Impactos das Tecnologias na Engenharia Química 3

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Natália Sandrini e Lorena Prestes

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 na engenharia química 3 [recurso eletrônico] / Organizadora Carmen Lúcia Voigt. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Química; v. 3) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader. Modo de acesso: World Wide Web. Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-231-9 DOI 10.22533/at.ed.319190104 1. Engenharia química – Pesquisa – Brasil. I. Voigt, Carmen Lúcia. II. Série. CDD 660.76
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

O acentuado crescimento da população mundial, bem como a ânsia de melhor nível de vida, têm criado elevadas pressões sobre os recursos naturais, matérias-primas, o solo, a água, o ar e os ecossistemas em geral. A intensificação das atividades humanas nas últimas décadas tem gerado um acelerado aumento na produção de resíduos sólidos urbanos, tornando-se um grave problema para as administrações públicas.

A indústria química tem contribuído para a geração de efluentes líquidos e gasosos contendo substâncias tóxicas, bem como de resíduos sólidos perigosos que, lançados diretamente ou indiretamente sem qualquer tratamento no meio ambiente, podem provocar grandes desequilíbrios ecológicos. O uso intensivo de produtos químicos, se por um lado trouxe elevados benefícios aos padrões de vida, por outro lado, os níveis de poluição que estão associados à sua produção são por vezes muito elevados.

As novas tecnologias na Engenharia Química auxiliam nos processos de recuperação e reutilização de resíduos, assim como conversão em novas fontes de energia. Além das diversas formas de obtenção de energia renovável já existente, cada vez mais vem surgindo uma maior procura por outras formas de energia não poluentes. Essas razões são as mais motivacionais: a ideia de uma possível escassez de recursos fósseis, a tentativa de reduzir as emissões de gases nocivos para a atmosfera e que causam o efeito estufa, e, além disso, almeja se alcançar certa independência em relação petróleo.

As questões energéticas são extremamente importantes para a sustentabilidade das sociedades modernas, uma vez que a sobrevivência humana depende do fornecimento contínuo de energia. Esse cenário faz com que seja preciso realizar buscas por alternativas energéticas que sustentem a necessidade humana e que não prejudiquem o ambiente.

Para empresas, além da questão ambiental, um excessivo gasto de energia (advinda de recursos não renováveis) é sinônimo de prejuízo. Eis então uma grande oportunidade para engenheiros químicos intervirem na melhoria da eficiência energética dos processos, ajudar a desenvolver tecnologias limpas e promover a utilização de energias alternativas nas indústrias. Com isso, ocorrerá uma redução de custos e será uma contribuição válida ao meio ambiente o que hoje em dia vem gerando maior competitividade para as empresas. O uso de resíduos agrícolas como fonte de bioenergia tem despertado crescente interesse no setor de agroenergia.

Neste terceiro volume, apresentamos trabalhos com impactos tecnológicos relacionados à indústria, focando na reutilização de produtos e conversão em energia renovável, bem como avanço nos processos para redução da poluição atmosférica e em efluentes. Com isso, convidamos você a aperfeiçoar seus conhecimentos da Engenharia Química voltada para a área ambiental trazendo benefícios para toda a sociedade.

Boa leitura.

Carmen Lúcia Voigt

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES CONTENDO METAIS PESADOS	
Kaíque Souza Gonçalves Cordeiro Oliveira	
Pedro Henrique Trindade Dias Cabral	
Roberta Resende Maciel da Silva	
Carla Torres Dias	
José Renato Guimarães	
Ana Paula Fonseca Maia de Urzedo	
DOI 10.22533/at.ed.3191901041	
CAPÍTULO 2	8
RESÍDUOS DE CANA-DE-AÇÚCAR E MILHO COMO MATÉRIA PRIMA DO ETANOL 2G: ATUALIDADES E PERSPECTIVAS	
Caroline Müller	
Letícia Mara Milani	
Anderson Giehl	
Évelyn Taize Barrilli	
Letícia Deoti	
Ana Carolina Lucaroni	
Viviani Tadioto	
Helen Treichel	
Sérgio Luiz Alves Júnior	
DOI 10.22533/at.ed.3191901042	
CAPÍTULO 3	23
MODELAGEM DA PRODUÇÃO DE BIOSURFACTANTE A PARTIR DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS EM BIORREATOR EM BATELADA ATRAVÉS DA OTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS CINÉTICOS POR ALGORITMO GENÉTICO	
Júlia do Nascimento Pereira Nogueira	
Ana Luiza Bandeira de Mello de Albuquerque Campos	
Brunno Ferreira dos Santos	
Filipe Alves Coelho	
DOI 10.22533/at.ed.3191901043	
CAPÍTULO 4	29
VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS PARA A PRODUÇÃO DO FUNGO ENTOMOPATOGÊNICO <i>METARHIZIUM ANISOPLIAE</i> POR PROCESSOS DE FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO	
Eloane Daize Gomes Dallastra	
Enylson Xavier Ramalho	
Lina María Grajales Agudelo	
DOI 10.22533/at.ed.3191901044	
CAPÍTULO 5	40
DESENVOLVIMENTO DE UM COSMÉTICO A PARTIR DE RESÍDUO AGROINDUSTRIAL	
Ana Paula Olivo	
Kátya Regina de Freitas Zara	
Leonardo da Silva Arrieche	
DOI 10.22533/at.ed.3191901045	

CAPÍTULO 6	51
INFLUÊNCIA DA GORDURA RESIDUAL DE UNIDADES INDUSTRIAIS DE AVES NA FABRICAÇÃO DE BASE PARA CREME HIDRATANTE	
Jacqueline Hahn Bernardi Cristina Helena Bruno Andreia Cristina Furtado Leonardo da Silva Arrieche	
DOI 10.22533/at.ed.3191901046	
CAPÍTULO 7	58
ANÁLISE DA COMPRESSÃO AXIAL E ABSORÇÃO DE ÁGUA EM CONCRETO PRODUZIDO COM CAROÇO RESIDUAL DE AZEITONA	
Manoela Silva Lima Mariotini Carotta Alan Carlos de Almeida Ana Paula de Carvalho Faria Luiz Felipe Lima Panizzi Jonas dos Santos Pacheco Cristiane de Souza Siqueira Pereira	
DOI 10.22533/at.ed.3191901047	
CAPÍTULO 8	63
INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO QUÍMICO NA FIBRA DE COCO PARA UTILIZAÇÃO EM COMPÓSITO POLIMÉRICO	
Wenderson Gomes dos Santos Gilmar Alves Borges Lauro Henrique Hamoy Guerreiro Dilson Nazareno Pereira Cardoso Douglas Alberto Rocha de Castro Emerson Cardoso Rodrigues	
DOI 10.22533/at.ed.3191901048	
CAPÍTULO 9	68
INFLUÊNCIA DOS TRATAMENTOS ORGANOSOLV E HIDROTÉRMICO APLICADOS AO BAGAÇO DE CANA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS COM PEAD	
Bruno Chaboli Gambarato Tatiana Raposo de Paiva Cury Sérgio Teodoro de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.3191901049	
CAPÍTULO 10	74
PROPRIEDADES MECÂNICAS E TÉRMICAS DE COMPÓSITOS DE POLIPROPILENO RECICLADO REFORÇADOS COM BAGAÇO DE CANA	
Bruno Chaboli Gambarato Gilson Carlos Rodrigues Paulino Amanda Santos Leopoldino Lucas Bruno de Paiva	
DOI 10.22533/at.ed.31919010410	

CAPÍTULO 11 79

BALANÇO ENERGÉTICO DO SISTEMA INTEGRADO DE BIO-COMBUSTÃO

Ihana Aguiar Severo
Yuri Naidon Favero
Mariany Costa Deprá
Rodrigo Stefanello Bizello Barrios
Rosangela Rodrigues Dias
Mariane Bittencourt Fagundes
Roger Wager
Leila Queiroz Zepka
Eduardo Jacob-Lopes

DOI 10.22533/at.ed.31919010411

CAPÍTULO 12 85

CARACTERIZAÇÃO DE GENÓTIPOS DE SORGO BIOMASSA PARA BIOENERGIA

Maria Lúcia Ferreira Simeone
Patrícia Abraão de Oliveira
Kirley Marques Canuto
Rafael Augusto da Costa Parrella
Cynthia Maria Borges Damasceno
Robert Eugene Schaffert

DOI 10.22533/at.ed.31919010412

CAPÍTULO 13 90

DESENVOLVIMENTO DE BIODIGESTOR E AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO PARA TRATAMENTO DE RESÍDUO SÓLIDO ORGÂNICO

Flávia Souza Pio
Letícia Tamara Santana
Lorena Kelly Corrêia
Francine Duarte Castro

DOI 10.22533/at.ed.31919010413

CAPÍTULO 14 97

RESOLUÇÃO DE PROBLEMA DE VALOR NO CONTORNO ASSOCIADO À MODELAGEM DE BIORREATORES TUBULARES DE FLUXO DISPERSO E CINÉTICA DE MICHAELIS-MENTEN LINEARIZADA

Samuel Conceição Oliveira
Felipe Coelho Morilla

DOI 10.22533/at.ed.31919010414

CAPÍTULO 15 104

SIMULAÇÃO E AVALIAÇÃO DE CICLOS A VAPOR PARA COGERAÇÃO DE BIOENERGIA NO SETOR SUCROENERGÉTICO

Welban Ricardo Ursino
Samuel Conceição Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.31919010415

CAPÍTULO 16 114

AVALIAÇÃO DE ÓLEOS DE SOJA COM DIFERENTES ORIGENS NA PRODUÇÃO DO BIODIESEL VIA ROTA METÁLICA

Melissa Rafaela Wolf
Isabela Silveira Tobias Perassi
Nadine de Assis
Fulvy Antonella Venturi Pereira

DOI 10.22533/at.ed.31919010416

CAPÍTULO 17 123

PRODUÇÃO DE BIODIESEL PELA TRANSESTERIFICAÇÃO SUPERCRÍTICA ETANÓLICA: MODELAGEM E SIMULAÇÃO

Erich Potrich
Bruno Elias Suzart Chamas
Antonio José Gonçalves da Cruz
Roberto de Campos Giordano

DOI 10.22533/at.ed.31919010417

CAPÍTULO 18 129

PRODUÇÃO DE BIOETANOL UTILIZANDO CÉLULAS DE SACCHAROMYCES CEREVISIAE IMOBILIZADAS EM ESFERAS DE ALGINATO DE CÁLCIO REVESTIDAS COM QUITOSANA

Lucidio Cristovão Fardelone
Taciani do Santos Bella de Jesus
Leonardo Akira Kamimura Oura
Gustavo Paim Valença
José Roberto Nunhez
José Augusto Rosário Rodrigues
Paulo José Samenho Moran

DOI 10.22533/at.ed.31919010418

CAPÍTULO 19 137

AUTOMAÇÃO E DIAGNÓSTICO DE FALHAS EM SENSORES E ATUADORES APLICADOS NA PLANTA DE TRATAMENTO DA PRODUÇÃO DO BIODIESEL

Thalys de Freitas Fernandes
Dinilton Pessoa de Albuquerque Neto
Gerônimo Barbosa Alexandre
José Nilton Silva

DOI 10.22533/at.ed.31919010419

CAPÍTULO 20 157

ESTUDO CINÉTICO DA REAÇÃO DE FENTON COM PÓ DE MINÉRIO NO TRATAMENTO DE ÁGUAS DE LAVAGEM DE BIODIESEL E AVALIAÇÃO DA LIXIVIABILIDADE DO RESÍDUO

Jamyla Soares Anício Oliveira Félix
Aline Givisiez de Souza
Francine Duarte Castro

DOI 10.22533/at.ed.31919010420

CAPÍTULO 21 173

APLICAÇÃO DE CARVÃO ATIVADO CALCINADO NA REMOÇÃO DE ÓLEO DIESEL

Leonardo Henrique de Oliveira
Selene Maria Arruda Guelli Ulson de Souza
Antônio Augusto Ulson de Souza

DOI 10.22533/at.ed.31919010421

CAPÍTULO 22 178

DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DA CURVA DE POLARIZAÇÃO DE UMA CÉLULA A COMBUSTÍVEL TIPO PEM

Roque Machado de Senna
Thais Santos
Henrique Senna
Marcelo Linardi

DOI 10.22533/at.ed.31919010422

CAPÍTULO 23 187

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA INDIVIDUAL DE COLETA E GLOBAL NA SEPARAÇÃO DE PARTICULADOS DE MAGNESITA EM CICLONE LAPPLE

Polyana Gomes de Aguiar
Daiane Ribeiro Dias
Annanda Alkmim Alves
Mariana Oliveira Marques
João Carlos Gonçalves

DOI 10.22533/at.ed.31919010423

CAPÍTULO 24 194

ANÁLISE DE HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (PAH) NO AR ATMOSFÉRICO USANDO SISTEMA PASSIVO DE AMOSTRAGEM PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL

Aldo Muro Júnior
Nicola Pittet Muro
Nelson Roberto Antoniosi Filho
Maria Isabel Ribeiro Alves

DOI 10.22533/at.ed.31919010424

CAPÍTULO 25 213

CAPTURA DE CO₂ UTILIZANDO O PROCESSO CALCIUM-LOOPING

Juliana Alves da Silva
Ricardo José Chimentão
João Batista Oliveira dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.31919010425

CAPÍTULO 26 224

DESENVOLVIMENTO DE PROCESSO QUÍMICO DE CAPTURA DE CO₂ UTILIZANDO A TECNOLOGIA HIGEE NA INTENSIFICAÇÃO DE PROCESSOS PRODUTIVOS

Kaíque Souza Gonçalves Cordeiro Oliveira
José Renato Guimarães
Brenda Sedlmaier Costa Coelho
Camila Ceravolo de Carvalho
Francine Silveira Vieira
Luiza Moreira Santos
Jorge David Alguiar Bellido

DOI 10.22533/at.ed.31919010426

CAPÍTULO 27 232

Zn-ZIF EM TECIDO APLICADO NO PROCESSO DE CAPTURA DE CH₄

Guilherme Andreoli Gil
Guilherme Otávio Lima
Lucas Mendes Pedro
Bianca Bastos Caruzi
Fabrício Maestá Bezerra
Murilo Pereira Moisés

DOI 10.22533/at.ed.31919010427

CAPÍTULO 28 239

INIBIDOR DE CORROÇÃO OBTIDO POR LIXIVIAÇÃO DE CIGARRO APÓS SEU CONSUMO

Lauren Marcilene Maciel Machado
Luciana Rodrigues Machado

DOI 10.22533/at.ed.31919010428

CAPÍTULO 29 249

ENRIQUECIMENTO DE BACTÉRIAS REDUTORAS DE SULFATO AUTÓCTONES E SUA ADESÃO EM ESPUMA DE POLIURETANO EM REATOR ANAERÓBIO NO TRATAMENTO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINA

Alessandra Giordani
Renata Piacentini Rodriguez
Leonardo Henrique Soares Damasceno
Gunther Brucha

DOI 10.22533/at.ed.31919010429

CAPÍTULO 30 255

BIODEGRADAÇÃO DO SURFACTANTE LINEAR ALQUILBENZENO SULFONATO DE SÓDIO EM DOIS DETERGENTES LIQUIDOS COMERCIAIS UTILIZANDO FUNGO FILAMENTOSO *Penicillium crustosum*

Sulamita Aparecida Ambrosia dos santos
Luiza Maria Amaral Frossard de Paula
Mayara Costa Franco
Karen Sartori Jeunon Gontijo
Ana Maria de Oliveira
Enio Nazaré de Oliveira Junior

DOI 10.22533/at.ed.31919010430

CAPÍTULO 31 272

DEGRADAÇÃO DE CORANTES ALIMENTÍCIOS UTILIZANDO LAFeO₃ COMO CATALISADOR EM REAÇÃO FOTO-FENTON SOLAR

Patrícia Grassi
Fernanda Caroline Drumm
Siara Silvestri
Sérgio Luiz Jahn
Edson Luiz Foletto

DOI 10.22533/at.ed.31919010431

CAPÍTULO 32	281
DEGRADAÇÃO FOTOCATALÍTICA DE RODAMINA B COM UM CATALISADOR À BASE DA BIOMASSA PORONGO: EFEITO DA DOPAGEM COM FERRO	
William Leonardo da Silva Mariéle Schaedler Nascimento Matheus Severo Schalenberger Joana Bratz Lourenço	
DOI 10.22533/at.ed.31919010432	
CAPÍTULO 33	287
AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO FOTOCATALÍTICA, UTILIZANDO TiO_2 E ZNO, DO ANTIBIÓTICO METRONIDAZOL (MTZ) A PARTIR DA ESPECTROFOTOMETRIA	
Luiza Barbosa Petersen Mendes Luciane Pimentel Costa Monteiro Leandro Vahia Pontual	
DOI 10.22533/at.ed.31919010433	
CAPÍTULO 34	303
CARACTERIZAÇÃO DE CÁPSULAS DE CAFÉ PÓS CONSUMO VISANDO A RECICLAGEM NA INDÚSTRIA TÊXTIL	
Valquíria Aparecida dos Santos Ribeiro Priscilla Sayuri Nakazawa Ana Maria Ferrari Ana Claudia Ueda	
DOI 10.22533/at.ed.31919010434	
CAPÍTULO 35	315
APPLICATION OF THE MARKOV CHAIN MONTE CARLO METHOD TO ESTIMATION OF PARAMETERS IN A MODEL OF ADSORPTION-ENHANCED REACTION PROCESS FOR MERCURY REMOVAL FROM NATURAL GAS	
Josiel Lobato Ferreira Diego Cardoso Estumano Mariana de Mattos Vieira Mello Souza Emanuel Negrão Macêdo	
DOI 10.22533/at.ed.31919010435	
CAPÍTULO 36	322
SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE CATALISADORES BASEADOS EM ÓXIDO DE FERRO SUPOSTADOS EM CARVÃO ATIVADO DERIVADO DA CASCA DO COCO VERDE	
Natália Matos Silva Pereira Marta Cecília da Esperança Santos Sirlene Barbosa Lima Maria Luiza Andrade da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.31919010436	
SOBRE A ORGANIZADORA	334

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES CONTENDO METAIS PESADOS

Kaíque Souza Gonçalves Cordeiro Oliveira

Universidade Federal de São Carlos,
Departamento de Engenharia Química
São Carlos – São Paulo

Pedro Henrique Trindade Dias Cabral

Universidade Federal de Minas Gerais,
Departamento de Engenharia Metalúrgica e de
Minas
Belo Horizonte – Minas Gerais

Roberta Resende Maciel da Silva

Universidade Federal de São Carlos,
Departamento de Engenharia Química
São Carlos – São Paulo

Carla Torres Dias

Universidade Federal de São João del-Rei,
Departamento de Engenharia Química
Ouro Branco – Minas Gerais

José Renato Guimarães

Universidade Federal de São Carlos,
Departamento de Engenharia Química
São Carlos – São Paulo

Ana Paula Fonseca Maia de Urzedo

Universidade Federal de São João del-Rei,
Departamento de Química, Biotecnologia e
Engenharia de Bioprocessos
Ouro Branco – Minas Gerais

RESUMO: A utilização de biossorventes é uma atraente alternativa para a resolução de alguns dos problemas ambientais sofridos atualmente.

Neste trabalho estudou-se a adsorção de íons cobre utilizando a farinha da casca de banana, avaliando-se os efeitos do tempo de adsorção, da massa e tipo de adsorvente através de planejamento experimental. A farinha *in natura* apresentou capacidade de remoção de íon cobre significativa, podendo ser efetivo seu uso sem pré-tratamento em efluentes com concentrações baixas de Cu^{2+} . Segundo os resultados estatísticos, a porcentagem de remoção de íon cobre variou de 37,1% a 98,6% entre os experimentos. Os efeitos foram mais significativos no aumento da porcentagem de Cu^{2+} adsorvido, quando se utilizou a farinha sob tratamento térmico e com excesso de massa. Atingiu-se uma redução considerável na concentração de íon cobre inicial em todos os experimentos.

PALAVRA-CHAVE: biossorventes; íons cobre; planejamento experimental; efluentes.

ABSTRACT: The use of biosorbents is an attractive alternative for solving some of the environmental problems suffered nowadays. In this work the adsorption of copper ions using banana peel flour was studied, evaluating the effects of adsorption time, mass and type of adsorbent through experimental design. The *in natura* flour showed significant copper ion removal capacity and its use can be effective without pretreatment in effluents with low

concentrations of Cu^{2+} . According to the statistical results, the percentage of copper ion removal ranged from 37.1% to 98.6% between the experiments. The effects were more significant in the increase of the percentage of Cu^{2+} adsorbed when the flour was used under heat treatment and with excess mass. A considerable reduction in the initial copper ion concentration was achieved in all experiments.

KEYWORDS: biosorbents; copper ions; experimental design; effluents.

1 | INTRODUÇÃO

A contaminação em ambientes aquáticos por metais pesados é um problema preocupante. Além de não serem biodegradáveis, esses contaminantes são altamente tóxicos e bioacumulativos (Cabukdhara e Nema, 2012). Quando descartados em níveis superiores ao limite da legislação podem provocar, além disso, a mortalidade ou até mesmo a extinção de espécies aquáticas, além de comprometer o abastecimento de água da população. Assim como ocorreu no acidente da barragem de Fundão em 2015, na cidade Mariana, Minas Gerais, considerado como o maior desastre ambiental ocorrido no Brasil (Freitas *et al.*, 2016).

Dentre os métodos de tratamento convencionais existentes, a biossorção destaca-se como um método simples e não dispendioso, além de ser eficaz na remoção de metais pesados (Coelho *et al.*, 2014). O processo é caracterizado pela transferência de massa de uma fase fluida para a superfície de um sólido, denominado bioadsorvente (Bugiereck *et al.*, 2015).

O Brasil é um dos maiores consumidores mundiais de banana (Borges e Souza, 2004), porém sua casca geralmente é descartada sem reaproveitamento. A utilização da casca de banana como adsorvente, além de criar um destino apropriado e sustentável para os resíduos produzidos pela agroindústria, é considerada como uma boa alternativa para o tratamento de efluentes contaminados, já que se trata de um material de baixo custo e que apresenta afinidade por compostos orgânicos e metais tóxicos (Martins *et al.*, 2015).

Desta forma, este trabalho investigou o tratamento efluentes simulados contendo metais pesados por meio da adsorção em biomassa de resíduos alimentícios. Especificamente, avaliou-se a eficiência de remoção de cobre de uma solução sintética de sulfato de cobre (CuSO_4) através da técnica de adsorção utilizando-se a farinha da casca de banana como adsorvente. Utilizou-se um planejamento experimental, onde a quantidade de cobre removida foi determinada em função do tempo de adsorção, da massa e do tipo de farinha utilizada (*in natura*, quimicamente tratada e pirolisada).

2 | METODOLOGIA EXPERIMENTAL

2.1 Preparação do bioadsorvente

Utilizou-se a casca de banana como bioadsorvente, sendo o resíduo oriundo do restaurante universitário da Universidade Federal de São João del-Rei, situada na cidade de Ouro Branco, Minas Gerais e também da alimentação pessoal de estudantes da cidade. Aproximadamente 900 g de cascas de bananas foram lavadas com água destilada, cortadas e secas em estufa a 60 °C por 24 horas, e posteriormente a 100 °C por 48 horas. Após isso, as cascas foram cominuídas em um liquidificador doméstico e a farinha com partículas entre 60 e 100 mesh, onde a maior parte do material ficou retida, foi reservada.

2.2 Tratamento químico e térmico da casca de banana

O tratamento químico do bioadsorvente foi realizado tratando-se aproximadamente 50 g da farinha com uma proporção de 1 L de solução de NaOH (0,5 mol L⁻¹), a 25 °C e sob agitação mecânica durante uma hora. Em seguida, a farinha foi lavada com água destilada repetidas vezes até que o pH da água de lavagem apresentasse valor próximo do neutro. Em seguida, a amostra final foi seca em estufa a 50 °C durante 48 horas e por mais 24 horas, a 70 °C. Já o tratamento térmico do adsorvente *in natura* foi realizado através da pirólise, em atmosfera inerte, de uma massa de aproximadamente 60 g de farinha, em temperatura de 600 °C durante um período de duas horas.

2.3 Preparo da solução de sulfato de cobre II

Para a realização dos experimentos de adsorção, preparou-se uma solução com concentração de 40 mg L⁻¹ de sulfato de cobre II anidro (98%). As concentrações residuais de íons Cu²⁺ de todas as soluções foram monitoradas por espectrometria de absorção atômica.

2.4 Planejamento Experimental

A otimização do método de remoção do íon cobre em solução aquosa por meio da farinha de casca de banana, foi realizada aplicando-se o planejamento experimental fatorial Box-Bennken com três fatores: massa de farinha (x_1), tempo (x_2) e tipo de farinha (x_3). A Tabela 1 contém as variáveis de estudo e os respectivos níveis estabelecidos. O planejamento experimental foi elaborado com três experimentos replicados no ponto central, totalizando um conjunto de 15 experimentos.

Níveis	Massa da farinha (mg)	Tempo de adsorção (min)	Tipo de farinha
-1	30	30	<i>in natura</i>
0	50	45	tratada

1	70	60	pirolisada
---	----	----	------------

Tabela 1. Fatores e níveis de estudo.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resultados experimentais de adsorção

Os resultados de porcentagem de adsorção de íon cobre em cada experimento são apresentados na Tabela 2.

Experimentos	Massa da farinha (mg)	Tempo de adsorção (min)	Tipo de farinha	Porcentagem de Cu ²⁺ adsorvido (%)	Concentração final de Cu ²⁺ (mg L ⁻¹)
1	30	30	tratada	67,4	13,0
2	70	30	tratada	94,8	2,1
3	30	60	tratada	71,4	11,4
4	70	60	tratada	94,5	2,2
5	30	45	<i>in natura</i>	37,1	25,2
6	70	45	<i>in natura</i>	46,9	21,2
7	30	45	pirolisada	98,6	0,5
8	70	45	pirolisada	97,6	1,0
9	50	30	<i>in natura</i>	46,2	21,5
10	50	60	<i>in natura</i>	49,6	20,5
11	50	30	pirolisada	98,3	0,7
12	50	60	pirolisada	98,6	0,6
13	50	45	tratada	89,5	4,2
14	50	45	tratada	86,4	5,4
15	50	45	tratada	90,8	3,7

Tabela 2. Matriz padrão para o planejamento Box-Behnken e resultados obtidos.

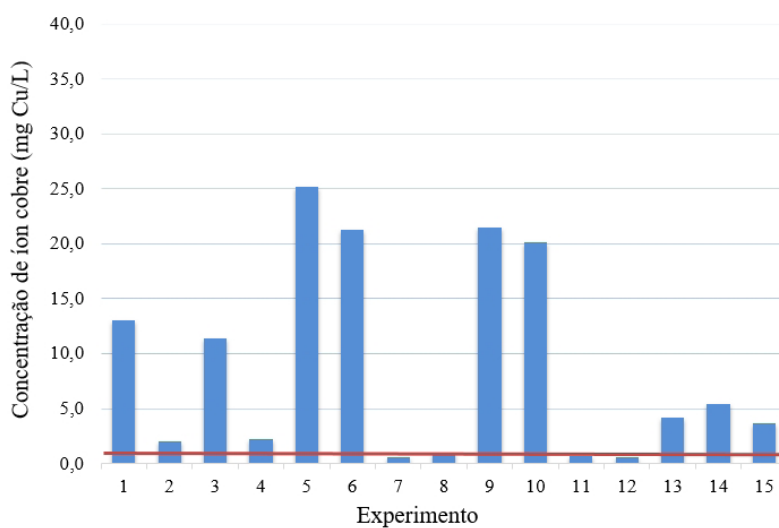


Figura 1. Concentração final de íon cobre na solução para cada experimento.

Através dos resultados da Figura 1, é possível estabelecer uma comparação entre a concentração final da solução para todos os experimentos. A concentração

máxima estabelecida pelo CONAMA (Resolução N° 357 de 2005), de $1,0 \text{ mg L}^{-1}$, está representada como uma linha vermelha. Observa-se que houve uma redução na concentração de íon cobre inicial considerável em todos os experimentos. Os ensaios 7, 8, 11, e 12 realizados com a farinha pirolisada se adequaram à legislação. A pirólise modifica fortemente as características estruturais da biomassa, tais como o aumento da micro e macroporosidade, disponibilizando um número maior de sítios para abrigar os íons Cu^{2+} (Lehmann e Joseph, 2009).

Nota-se que os experimentos 2, 4 e 15 chegaram próximos ao limite adequado pela legislação, adsorvendo mais de 90% de Cu^{2+} . O aumento do rendimento através do tratamento químico com NaOH promove a mercerização do complexo lignocelulósicos da biomassa, aumentando a área superficial e deixando os sítios do material mais ativos e expostos para a adsorver o Cu^{2+} (Paschoal *et al.*, 2009). Na concentração inicial de 40 mg de Cu^{2+} por litro, a farinha *in natura* não atingiu as normas exigidas, apesar de apresentar um grande potencial de adsorção, chegando próximo de 50% de remoção de íon cobre no experimento 10.

3.2 Resultados da análise estatística dos dados

A porcentagem de remoção de íons cobre variou de 37,1 a 98,6% entre os experimentos. A Tabela 3 reúne os dados da análise dos efeitos, estimativa do erro padrão e o teste t de Student para a porcentagem de remoção de Cu^{2+} (y). Verificou-se que os efeitos principais da massa de farinha (x_1), tipo de farinha (x_3) e o efeito de segunda ordem do tipo de farinha (x_3^2) foram estatisticamente significativos, já que $p < 0,05$. O efeito mais importante foi verificado para o tipo de farinha (53,33) seguida da massa de farinha (14,82), cujo efeito está em consonância com os resultados descritos na literatura para sistemas similares (Cruz Junior, 2010; Salvador, 2009).

O efeito significativo para a variável x_1 é de fácil compreensão, pois quanto maior a quantidade de material disponível para a biossorção, maior será a área superficial e, portanto, maior o número de sítios de adsorção. Entretanto, o tempo de adsorção não se mostrou estatisticamente significativo, apesar de que resultados da literatura mostram o efeito contrário em sistemas similares (Martins *et al.*, 2015). Considerou-se a hipótese de que os níveis estabelecidos para a variável x_2 não foram adequados, inviabilizando a detecção da flutuação dessa variável nos experimentos.

Variáveis	Efeitos	Erros-padrão	Valores-t	p-value
Média global	75,08	$\pm 0,65$		0,000076
Massa da Farinha (x_1)	14,85	$\pm 1,60$	9,275	0,011426
Massa da Farinha (x_1^2)	5,00	$\pm 1,18$	4,250	0,051148
Tempo de Adsorção (x_2)	1,85	$\pm 1,60$	1,157	0,366665
Tempo de Adsorção (x_2^2)	1,88	$\pm 1,18$	1,594	0,252004
Tipo de Farinha (x_3)	53,33	$\pm 1,60$	33,361	0,000897
Tipo de Farinha (x_3^2)	13,85	$\pm 1,18$	11,733	0,007138

x_1, x_2	-2,15	$\pm 2,26$	- 0,951	0,441935
x_1, x_3	-5,40	$\pm 2,26$	- 2,389	0,139490
x_2, x_3	-1,55	$\pm 2,26$	- 0,686	0,563726

Tabela 3. Estimativa dos efeitos, erros padrão, teste t de Student para a porcentagem de remoção de Cu^{2+} de acordo com o planejamento Box-Behnken.

Com base nos resultados e na Figura 2, observa-se um aumento da porcentagem de Cu^{2+} adsorvido, quando há um excesso de massa de farinha e utilização da farinha pirolisada, em comparação aos demais tipos. A validade do modelo foi constatada por meio de análise de variância, cujo valor de *Lack of Fit* obtido resultou em p-value > 0,05, portanto, o modelo não apresentou falta de ajuste. O coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,97, informando que os dados observados se ajustaram bem aos dados preditos. O modelo é expresso pela Equação 1, onde y é a porcentagem de Cu^{2+} adsorvido, x_1 e x_3 representam a massa de farinha e tipo de farinha respectivamente.

$$y = 75,08 + 14,82 x_1 + 53,33 x_3 + 5,0 x_1^2 + 13,85 x_3^2 \quad (1)$$

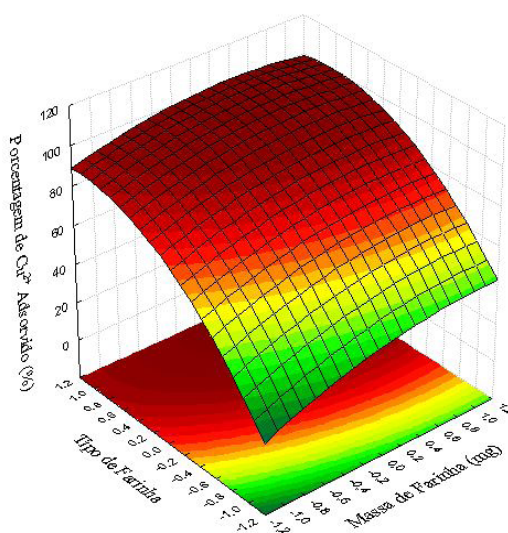


Figura 2. Superfície de resposta para a porcentagem de íon cobre descrita pelo modelo.

4 | CONCLUSÕES

A produção de bioadsorventes a partir de resíduos do setor e uso alimentício, como a casca de banana, mostra como uma alternativa ambientalmente amigável, apresentando resultados satisfatórios e de baixo custo para o tratamento de efluentes contendo metais pesados. Através dos resultados, constata-se que o tratamento químico e térmico da farinha da casca de banana demonstra aumento na eficiência de remoção de íons cobre em efluentes sintéticos, quando comparados a farinha *in natura*. Entretanto, somente a farinha pirolisada conseguiu atender a legislação vigente, conseguindo adsorver grandes quantidades de Cu^{2+} , de forma que as soluções residuais apresentaram concentrações de íons Cu menores que 1 mg L^{-1} .

O uso de ferramentas estatísticas mostra-se útil para uma análise da influência dos fatores testados (massa de farinha, tempo de adsorção e tipo de farinha) na porcentagem de íons cobre adsorvidos. O valor de R^2 indica que 97% dos valores experimentais obtidos são preditos pelo modelo, portanto, demonstra sua adequação aos dados experimentais.

REFERÊNCIAS

BORGES, A. L.; SOUZA, L. S. **O cultivo da bananeira**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004.

BUGIERECK, A. M.; BEHLING, S. M.; FIORI, M. A.; MELLO, J. M. M. de; COLPANI, G. L.; MAGRO, J. D. **Adsorção de corante catiônico por carvão ativado de casca de banana**. Blucher Chemical Engineering Proceedings, v. 1, n. 2, p. 8246-8253, 2015.

CHABUKDHARA, M.; NEMA, A. K. **Assessment of heavy metal contamination in Hindon River sediments: A chemometric and geochemical approach**. Chemosphere, v. 87, n. 8, p. 945-953, 2012.

COELHO, G. F.; JÚNIOR, A. C. G.; SOUZA, R. F. B. de; SCHWANTES, D.; MIOLA, A. J.; DOMINGUES, C. V. R. **Uso de técnicas de adsorção utilizando resíduos agroindustriais na remoção de contaminantes em águas**. Journal of Agronomy and Crop Science, v. 3, p. 291-317, 2014.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 357**, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da União. Brasília, 2005.

CRUZ JUNIOR, O. F. **Produção de carvão ativado a partir de produtos residuais de espécies nativas da região amazônica**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, p. 62-71, 2010.

FREITAS, C. M.; SILVA, M. A.; MENEZES, F. C. **O desastre na barragem de mineração da Samarco: fratura exposta dos limites do Brasil na redução de risco de desastres**. Ciência e Cultura, v. 68, n. 3, p. 25-30, 2016.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for environmental management: Science and Technology**. Londres: Editora Earthscan, 2009.

MARTINS, W. A.; OLIVEIRA, A. M. B. M.; MORAIS, C. E. P.; COELHO, L. F. O.; MEDEIROS, J. F. **Reaproveitamento de resíduos agroindustriais de casca banana para tratamento de efluentes**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 10, n. 1, p. 96-102, 2015.

PASCHOAL, E. C.; SANTOS, V. C. G.; DRAGUNSKI, D. C. **Utilização da casca de banana para a adsorção de Cobre**. 32ª Reunião Anual da Semana Brasileira de Química. Fortaleza, 2009.

SALVADOR, G. **Estudo de adsorção de cobre (II) usando como adsorvente pó de casca de coco verde ativada com hidróxido de sódio**. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas. Florianópolis, 2009.

SOBRE A ORGANIZADORA

CARMEN LÚCIA VOIGT Doutora em Química na área de Química Analítica e Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Especialista em Química para a Educação Básica pela Universidade Estadual de Londrina. Graduada em Licenciatura em Química pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Experiência há mais de 10 anos na área de Educação com ênfase em avaliação de matérias-primas, técnicas analíticas, ensino de ciências e química e gestão ambiental. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se uma atuação por resultado, como: supervisora de laboratórios na indústria de alimentos; professora de ensino médio; professora de ensino superior atuando em várias graduações; professora de pós-graduação *lato sensu*; palestrante; pesquisadora; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Autora de artigos científicos. Atuou em laboratório multiusuário com utilização de técnicas avançadas de caracterização e identificação de amostras para pesquisa e pós-graduação em instituição estadual.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-231-9

