

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA
(ORGANIZADOR)

Collection:

APPLIED CHEMICAL ENGINEERING

Atena
Editora
Ano 2022

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA
(ORGANIZADOR)

Collection:

APPLIED CHEMICAL ENGINEERING

Atena
Editora
Ano 2022

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Diagramação: Daphynny Pamplona
Correção: Yaidy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C697 Collection: applied chemical engineering / Organizador
Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. – Ponta Grossa -
PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-856-1

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.561223101>

1. Chemical engineering. I. Paniagua, Cleiseano
Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.

CDD 660

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br



DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

The e-book: “Collection: Applied chemical engineering” consists of ten book chapters that were organized and divided into four thematic units, namely: *i*) natural products: extraction and purification of active principles; *ii*) development of new materials: study, comparison, different properties and applications; *iii*) use of analytical instruments for food quality control and; *iv*) development and application of bioadsorbents and advanced treatment technologies to remove contaminants from aquatic matrices.

The first theme presents two studies that evaluated the extraction of essential oil from the Baru species plant (*Dipteryxalata Vog.*) with nematicidal activity in combating *Meloidogyne javanica*. The second work evaluated triterpene purification processes from plant bioactives of Amazonian species. The second theme consists of three book chapters aimed at the study and comparison of natural, glass and mixed fibers for future applications; preparation of graphene oxides for production as composites in the form Cu/TiO₂/rGO and estimates of thermodynamic properties of esters used in the production of biodiesel using a Gaussian software associated with the Constantinou and Gani group method.

The third thematic unit consists of two works, one using the UV-Vis spectrophotometry technique to quantify the metallic ions of cadmium, copper, chromium, mercury, nickel and lead in cheeses produced by hand on rural properties; the second work evaluated the Kombucha probiotic and its importance in fermented foods. Finally, the fourth and last theme consists of three works with different approaches. The first deals with the possible environmental impacts that can be caused to water and soil as a result of exposure to Fracking gas present in Mexico. The second presents the study of the adsorption capacity from the biomass generated by the Andiroba species (*Carapaguianensis Aubl.*) in the removal of copper ions present in wastewater from industrial activities. The third chapter presents the study of the influence of the complexity of different aqueous matrices on the degradation of a mixture of drugs using the solar photolysis processes, TiO₂/Solar and its combination with the addition of H₂O₂. This process constitutes one of the advanced treatment technologies to be made feasible on a large scale as a complementary step to conventional water and sewage treatment processes.

In this perspective, Atena Editora has been working with the aim of stimulating and encouraging both Brazilian researchers and those from other countries to publish their work with quality assurance and excellence in the form of books, book chapters and articles that are available in the Editora’s website and other digital platforms with free access.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ATIVIDADE NEMATICIDA DO ÓLEO ESSENCIAL DE BARU (*Dipteryx alata* Vog.) SOBRE *Meloidogyne javanica*


Gabriela Araújo Martins
Rodrigo Vieira da Silva
Ana Paula Gonçalves Ferreira
João Pedro Elias Gondim
Lara Nascimento Guimarães
Nathália Nascimento Guimarães
Edcarlos Silva Alves
Rafaella Alves Rodrigues

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5612231011>

CAPÍTULO 2..... 12

PURIFICAÇÃO DE TRITERPENOS BIOATIVOS A PARTIR DE ESPÉCIES AMAZÔNICAS: IDENTIFICAÇÃO DE PARÂMETROS E PADRONIZAÇÃO DO PROCESSO


Lucas Orlean Nunes do Nascimento
Yanne Katiussy Pereira Gurgel Aum
Erick Max Mourão Monteiro de Aguiar

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5612231012>

CAPÍTULO 3..... 19

ESTUDO E COMPARAÇÃO ENTRE COMPÓSITOS REFORÇADOS COM FIBRAS NATURAIS, FIBRAS DE VIDRO E HÍBRIDOS


Samuel de Castro Silva
Gabriel Melo Nascimento
Roberto Tetsuo Fujiyama

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5612231013>

CAPÍTULO 4..... 25

PREPARAÇÃO DE ÓXIDO DE GRAFITE PARA PRODUÇÃO DE COMPÓSITOS Cu/TiO₂/rGO

Gimerson Weigert Subtil
Leonardo Zavilenski Fogaça
Daiane Marques de Oliveira
Jean César Marinozi Vicentini
Mara Heloisa Neves Olsen Scaliante


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5612231014>

CAPÍTULO 5..... 37

PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS DE FORMAÇÃO ESTIMADAS PARA ÉSTERES DE BIODIESEL USANDO SOFTWARE DE QUÍMICA QUÂNTICA GAUSSIAN E O MÉTODO DE CONTRIBUIÇÃO DE GRUPO DE CONSTANTINOU E GANI

Erich Potrich
Larissa Souza Amaral


Fernando Augusto Pedersen Voll
Vladimir Ferreira Cabral
Lúcio Cardozo Filho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5612231015>

CAPÍTULO 6..... 51

DETERMINAÇÃO QUANTITATIVA DE CÁDMIO, CHUMBO, COBRE, CROMO, MERCÚRIO E NÍQUEL EM QUEIJOS ARTESANAIS RURAIS E INDUSTRIAIS EMPREGANDO ESPECTROFOTOMETRIA UV-VIS


Alexandre Mendes Muchon
Alex Magalhães de Almeida

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5612231016>

CAPÍTULO 7..... 63

PRODUÇÃO DE KOMBUCHA: APRESENTAÇÃO DO PROCESSO, POSSÍVEIS OBSTÁCULOS E PONTOS CRÍTICOS DE CONTROLE


Thainá Inácia da Silva
Louiza Stefhany Santos Tibes
Carla Adriana Pizarro Schmidt

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5612231017>

CAPÍTULO 8..... 78

MEXICO'S WATER AND SOIL, THREATENED BY FRACKING GAS?


Victor Hugo Ferman-Avila
Maria del Carmen Avitia-Talamantes
Hugo Esteban Ferman-Corral

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5612231018>

CAPÍTULO 9..... 87

PRODUÇÃO DE BIOADSORVENTE DE RESÍDUOS DE CASCAS DE SEMENTES DE ANDIROBA (*Carapa guianensis Aubl.*) E POTENCIAL USO NA ADSORÇÃO DE ÍONS COBRE EM ÁGUAS RESIDUÁRIAS INDUSTRIAIS


Carlos Castro Vieira Quaresma
Gabriela Cristina Brito Nery
Agnes Naiá Gomes de Sá Fernandes
Sérgio Duvoisin Júnior
Nélio Teixeira Machado
Marla Karolyne dos Santos Horta
Douglas Alberto Rocha de Castro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5612231019>

CAPÍTULO 10..... 100

INFLUENCE OF MATRIX COMPOSITION ON THE DEGRADATION OF A PHARMACEUTICALS MIXTURE THROUGH HETEROGENEOUS PHOTOLYSIS AND PHOTOCATALYSIS UNDER SOLAR RADIATION PROCESSES

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.56122310110>

SOBRE O ORGANIZADOR.....	113
ÍNDICE REMISSIVO.....	114

CAPÍTULO 9

PRODUÇÃO DE BIOADSORVENTE DE RESÍDUOS DE CASCAS DE SEMENTES DE ANDIROBA (*Carapa guianensis* Aubl.) E POTENCIAL USO NA ADSORÇÃO DE ÍONS COBRE EM ÁGUAS RESIDUÁRIAS INDUSTRIAIS

Data de aceite: 01/01/2022

Carlos Castro Vieira Quaresma

Centro Universitário Luterano de Manaus,
Departamento de Engenharias, Manaus – AM,
Brasil.
<http://lattes.cnpq.br/6753869224881515>

Gabriela Cristina Brito Nery

Universidade Federal do Amazonas,
Departamento de Engenharia Química, Manaus
– AM, Brasil.
<http://lattes.cnpq.br/1957731694349897>

Agnes Naiá Gomes de Sá Fernandes

Centro Universitário Luterano de Manaus,
Departamento de Engenharias, Manaus – AM,
Brasil.
<http://lattes.cnpq.br/9823715652252177>

Sérgio Duvoisin Júnior

Universidade do Estado do Amazonas,
Departamento de Engenharia Química, Manaus
– AM, Brasil.
<http://lattes.cnpq.br/1737235899259374>

Nélio Teixeira Machado

Universidade Federal do Pará, Faculdade de
Engenharia Sanitária e Ambiental, Belém – PA,
Brasil.
<http://lattes.cnpq.br/5698208558551065>

Marla Karolyne dos Santos Horta

Centro Universitário Luterano de Manaus,
Departamento de Engenharias, Manaus – AM,
Brasil.
<http://lattes.cnpq.br/8610376221515881>

Douglas Alberto Rocha de Castro

Centro Universitário Luterano de Manaus,
Departamento de Engenharias, Manaus – AM,
Brasil.
<http://lattes.cnpq.br/5478732277588937>

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo produzir um carvão adsorvente granular a partir de um material de baixo custo derivado do processo agroindustrial da região amazônica. A produção de óleo de andiroba no estado Amazonas é a maior do Brasil e alimenta o mercado nacional e internacional. O óleo é extraído a partir da semente de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) que após ser processada é descartada a casca. Porém, a partir dessas cascas de sementes de andiroba (CSA) pode se produzir o carvão adsorvente granular, material eficaz na adsorção de contaminantes como metais pesados. Utilizar um adsorvente de baixo custo no tratamento de água pode tornar o processo de descontaminação da água simples e barato. Dessa forma, produziu-se carvão adsorvente granular a partir da pirólise dos resíduos CSA a uma taxa de aquecimento de $10^{\circ}\text{C min}^{-1}$ até a temperatura final de 450°C . Após isso, o carvão adsorvente granular obtido foi moído e peneirado a uma faixa granulométrica de 20 – 32 mesh. Preliminarmente realizou-se análises de caracterização da matéria-prima de CSA e do carvão adsorvente granular. Em sequência foi realizado os ensaios de adsorção, variando a concentração de íons de Cu (II) até o equilíbrio. Para o equilíbrio de adsorção foram aplicados os modelos de isotermas de Langmuir e Freundlich, onde constatou-se que o ambos

os modelos se ajustaram bem aos dados experimentais, indicado uma adsorção favorável. Por fim, o material adsorvente produzido a partir da matéria-prima de CSA indicou potencial adsorção de íons de Cu (II) em meio aquoso.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos agroindustriais, metal pesado, adsorção.

PRODUCTION OF BIOCHAR DERIVED FROM ANDIROBA (*Carapa guianensis* Aubl.) SEED SHELL AND POTENTIAL USE IN ADSORPTION OF COPPER IONS FROM INDUSTRIAL WASTEWATER

ABSTRACT: This work aimed to produce a biochar from a low-cost material derived from the agro-industrial waste (AIW) in the Amazon region. The production of andiroba oil in the state of Amazonas is the largest in Brazil and feeds the national and international market. The oil is extracted from the seed of andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) which, after being processed, the husk is discarded. However, from these andiroba seed husks (ASH) can produce adsorbent material for water and wastewater treatment, an effective material in the adsorption of contaminants such as heavy metals. Using a low-cost adsorbent in water treatment can make the water decontamination process simple and inexpensive. Thus, granular adsorbent carbon was produced from the pyrolysis of ASH residues at a heating rate of 10 °C min⁻¹ until the final temperature of 450°C. After that, the granular adsorbent carbon was ground and sieved at a particle size range of 20-32 mesh. Preliminary analyzes were carried out to characterize the raw material of ASH and granular adsorbent carbon. In sequence, the adsorption tests were carried out, varying the concentration of Cu (II) ions until equilibrium. For the adsorption equilibrium, the Langmuir and Freundlich isotherm models were used, where it was found that both models fit the experimental data well, indicating a favorable adsorption. Finally, the adsorbent material produced from the ASH raw material indicates potential adsorption of Cu (II) ions in an aqueous medium.

KEYWORDS: agro-industrial waste, heavy metal, adsorption.

1 | INTRODUÇÃO

A andiroba pertence à família Meliaceae e dá-se na região do Amazonas através de duas principais espécies: *Carapa guianensis* e *Carapa procera*. A árvore de andiroba pode ser de grande a pequeno porte, atingindo até 55 m de altura. Ambas as espécies possuem um fruste cilíndrico e reto de 20-30 m (*C. guianensis*) ou até 15 m (*C. procera*) (FERRAZ et al., 2002). Esta planta foi descrita pela primeira vez pelo botânico francês Jean Baptiste Christopher Fuscé Aublet, em 1775, e atualmente, na região amazônica, destaca-se por ser uma das espécies florestais de uso múltiplo, contribuído principalmente para o desenvolvimento econômico da região.

O óleo de andiroba é um dos produtos medicinais mais vendidos da Amazônia, além de ser aplicado na indústria de cosméticos nacional e internacional. Segundo Almudi e Pinheiro (2015), o estado do Amazonas é maior do produtor de óleo e foi responsável pela produção de 75 toneladas de óleo (andiroba e outros) no ano de 2013. A extração

do óleo de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) apresenta rendimento médio de 30% do peso das sementes (PINTO, 1963). Uma árvore de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) pode produzir entre 700 a 4.000 sementes e a partir das sementes podem ser extraído um importante insumo agroindustrial, o óleo de andiroba (SIQUEIRA, 1996). Além disso, estima-se que para produzir um litro de óleo é necessário processar cerca de 27 kg de sementes (GONÇALVES, 2001). Neste processo, a casca de andiroba é normalmente descartada, porém, pode ser reaproveitada e servir como matéria-prima de baixo custo para produção de um material de valor agregado.

Diversos estudos vêm sendo realizados com objetivo de tornar os resíduos agroindustriais como adsorventes para descontaminação de poluentes dissolvidos na água. Neste sentido, podem ser citados trabalhos que utilizaram resíduos, derivados da agroindústria, como casca de coco (YANG et al., 2010), casca de arroz (FOO; HAMEED, 2011), bagaço de cana (KALDERIS et al., 2008), casca de amêndoa (HAYASHI et al., 2002), sabugo de milho (SONG et al., 2013, casca de dendê (TAN et al., 2008), palha de arroz (GAO et al., 2011). Fazer uso de adsorventes de baixo custo sem necessidade de ativação tem como principal objetivo tornar o processo de descontaminação da água mais econômico, uma vez que carvão ativado comercial apresenta um custo elevado (HSU, 2009).

Portando, o presente trabalho teve como foco a produção de um carvão adsorvente granular a partir de cascas de sementes andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) residuárias. Dessa maneira, foi realizada a caracterização do carvão adsorvente granular e da sua capacidade de adsorção de contaminante inorgânico. Na simulação do ensaio de adsorção foi utilizado como modelo de contaminante inorgânico o metal pesado Cu (II), devido sua utilização largamente abrangente nas indústrias.

2 | METODOLOGIA

2.1 Amostra

As cascas das sementes de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) denominada de CSA, foram primeiramente recolhidas de um centro de extração de óleo. O lugar fica localizado em um sítio no município de Itacoatiara, a 269 km de Manaus, capital do Amazonas. Este centro de extração de óleo de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) é conhecido por ser uma comunidade de agricultura familiar.

2.2 Preparação do carvão adsorvente a partir da matéria-prima

As cascas de sementes de andiroba CSA passaram por um processo de preparação antes do processo de pirólise, que consistiu na lavagem com água corrente, secagem em estufa a 110°C por 24 h e cominuição. Amostras da matéria-prima de CSA devidamente secas foram retiradas para serem feitas análises imediatas da biomassa, tais como: teor de

umidade e teor de cinzas.

O sistema usado para realização da pirólise da matéria-prima foi de escala de bancada, como pode ser visto na Figura 1. A pirólise foi então conduzida a uma taxa de aquecimento de $10^{\circ}\text{C min}^{-1}$ até a temperatura final de 450°C . Quando alcançada a temperatura final, o tempo de permanência nessa temperatura foi de 30 minutos. Depois disso, o carvão foi moído e peneirado a uma faixa granulométrica de 20 – 32 mesh. Para remover o pó fino da superfície, o carvão foi lavado com água destilada. Em seguida o carvão foi seco a 110°C por 2 h.

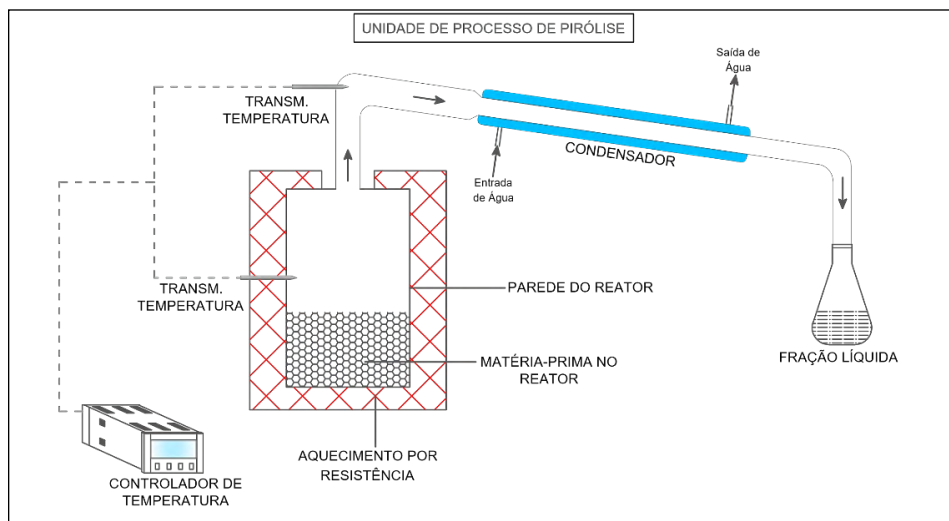


Figura 1. Unidade de processo de pirólise em escala de bancada.

O rendimento do carvão adsorvente foi calculado de acordo com a Equação 1.

$$R_{bc} = \frac{m_{bc}}{m_{mp}} \times 100 \quad (1)$$

Onde m_{bc} e m_{mp} são os valores da massa do carvão seco (g) e da matéria-prima de CSA (g), respectivamente.

2.3 Caracterização dos materiais

2.3.1 Teor de umidade e teor de cinzas

Amostras da matéria-prima de CSA foram analisadas quanto ao teor de umidade em um aparelho analisador halogênio modelo MB35 da OHAUS a 105°C . O teor de cinzas foi determinado pesando-se 1 g de material em um cadinho de porcelana previamente tarado; em seguida, os materiais foram colocados em uma mufla e aquecidos até 550°C , onde

foram mantidos até a calcinação completa do carvão (RAMOS et al., 2009).

2.3.2 *Análise termogravimétrica (TG)*

As análises foram realizadas em um analisador termogravimétrico (TGA) SDT Q600 da marca TA Instrument. O procedimento foi realizado sob atmosfera de nitrogênio a 30 mL min⁻¹, em temperatura ambiente com elevação até 600°C, a uma taxa de aquecimento de 10 °C min⁻¹.

2.3.3 *Microscopia eletrônica de varredura*

A morfologia dos materiais (carvão e matéria-prima de CSA) foi obtida por microscopia eletrônica de varredura (MEV), utilizando-se um aparelho LEO 436VP da marca Carl Zeiss. A amostra foi colocada sobre a superfície do suporte de alumínio com fita de carbono dupla face e coberto com uma fina camada de ouro em um evaporador (Leica EM ACE 600). Foram captadas imagens com zoons 124 Kx e 614 Kx, nas escalas de 50 μm e 20 μm sob ação de vácuo.

2.3.4 *Espectroscopia na região do infravermelho*

Os materiais (carvão e matéria-prima de CSA) foram analisados por espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), em um aparelho Shimadzu modelo RAffins-1S com acessório ATR 8000 acoplado. A faixa de varredura foi de 500 a 4000 cm⁻¹. O espectro foi obtido por reflexão total atenuada horizontal com prisma de ZnSe com 64 varreduras.

2.4 **Ensaio de adsorção de íons Cu (II)**

Os ensaios de adsorção em batelada foram conduzidos utilizando-se uma solução artificial de íons de Cu (II). Para isso utilizou-se o sal sulfato de cobre pentahidratado PA (CuSO₄·5H₂O) da marca MobiLab que posteriormente foi diluído em água destilada para a realização dos experimentos.

As concentrações de íons Cu (II) nas amostras obtidas nos ensaios foram analisadas por espectrofotômetro de absorção atômica modelo lce3500 da marca Thermo Scientific. A calibração do espectrofotômetro foi realizada previamente através das soluções padrões 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 mgCu (II) L⁻¹.

A quantidade de íons Cu (II) por unidade de massa do adsorvente foi calculado de acordo com a Equação 2.

$$q_e = \frac{V(C_o - C_e)}{W} \quad (2)$$

Onde V (L) é o volume de solução de íons Cu (II), C_o e C_e são as concentrações iniciais e finais (mg L⁻¹) de íons Cu (II) na solução, respectivamente, e W (g) é a massa do

adsorvente.

2.4.1 Isoterma de adsorção

Para obtenção das isotermas de adsorção, 0,1 mg do carvão adsorvente foi colocado em contato com 50 mL das soluções de diferentes concentrações variando de 20 a 90 mg L⁻¹ e mantidas sob agitação magnética por 50 minutos à temperatura ambiente (25 ± 1 °C). Os ensaios de batelada foram realizados utilizando frascos Erlenmeyer de 100 mL e a agitação foi mantida sob 150 rpm.

Com os dados experimentais, as isotermas foram ajustadas aos modelos de isotermas de Langmuir e de Freundlich de acordo com as Equações 3 e 4, respectivamente.

$$q_e = \frac{q_{m\acute{a}x}K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (3)$$

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (4)$$

Onde q_e é a concentração de adsorbato na fase sólida em equilíbrio (mg g⁻¹), C_e é a concentração de adsorbato na fase líquida em equilíbrio (mg L⁻¹), $q_{m\acute{a}x}$ e K_L são as constantes de Langmuir ($q_{m\acute{a}x}$ é também chamada de capacidade máxima de adsorção), e K_F e n são as constantes de Freundlich.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise preliminar da matéria-prima de CSA

A matéria-prima de CSA quando decomposta termicamente apresenta baixo teor de cinzas (1,58%) que é um fator positivo para produção de carvão, visto que a matéria mineral causa um efeito dielétrico sobre o processo de adsorção adsorvendo, preferencialmente, água devido ao caráter hidrofílico (CASTILLA, 2004). Comparando-se o teor cinzas com trabalho de Ramos et al. (2009), que obteve 4, 33% de teor de cinzas para o defeito preto ardido (PVA) do café, o valor é favorável. Por outro lado, a biomassa que apresenta altos teores de cinzas necessita de um maior consumo de oxigênio, provocando a redução nos teores de carbono fixo.

O teor de umidade da matéria-prima de CSA foi de 12%, onde segundo Cortez et al. (2008), indica suscetibilidade à carbonização da biomassa. Altos teores de umidade necessitam de muita energia para secar a biomassa, diminuindo a eficiência da queima. Tal propriedade é um fator importante a ser destacado, pois quanto menor for este valor, menor será a quantidade de energia gasta no processo de carbonização da biomassa. Segundo Klautau (2008) afirma que a presença de umidade dificulta a queima, devido ao

poder calorífico ser reduzido.

O rendimento do carvão adsorvente é um fator importante, pois é um parâmetro que afeta o custo de produção. Após pirólise da matéria-prima de CSA (Figura 2) sob aquecimento até a temperatura de 450°C, o rendimento de carvão adsorvente foi de 28,82%. De acordo com Ayyalusamy & Mishra (2018), a temperatura de pirólise pode alterar drasticamente o rendimento de carvão, sendo um parâmetro para otimização do processo, porém, a temperatura de pirólise escolhida neste trabalho se mostrou favorável no rendimento de carvão adsorvente.

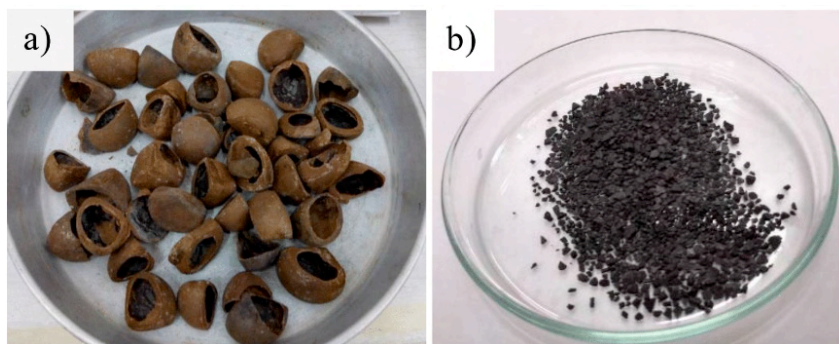


Figura 2. Resíduos de casca de andiroba (a) e carvão adsorvente granular (b).

3.2 Análise termogravimétrica

A análise termogravimétrica (TG) é aplicada para avaliar a mudança de peso da amostra em função da variação da temperatura. A curva TG do carvão adsorvente granular é mostrada na Figura 3.

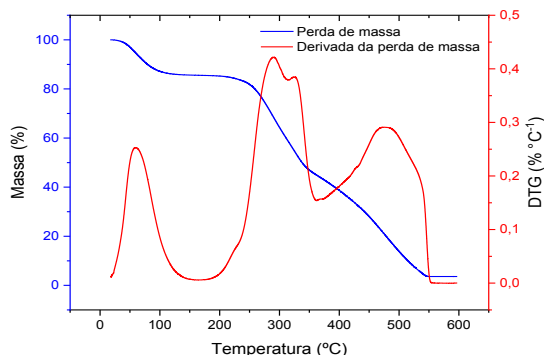


Figura 3. Curva TG do carvão adsorvente granular.

Pode-se observar, pela análise térmica, que o primeiro declive de massa, próximo a 100°C é decorrente da perda de umidade. Esta perda foi de aproximadamente 17%. O segundo declive aconteceu no intervalo de 220°C a 330°C, ocorrendo um pico de perda de massa de aproximadamente 43% em 292°C. Segundo dados de Izabel et al. (2008), esse segundo declive é referente a decomposição de biopolímeros, principalmente celulose, hemicelulose, acompanhado da perda de gases como monóxido e dióxido de carbono. O terceiro declive ocorreu entre 345 °C a 540°C, com um pico de perda de massa de 43% em 477°C. Segundo Izabel et al. (2008), no terceiro declive ocorreu principalmente a despolimerização da celulose, acompanhado da decomposição da lignina, assim como outros compostos constituintes da biomassa. Acima de 540°C a curva da amostra da biomassa não apresentou novos eventos térmicos, ocorrendo a formação do carvão adsorvente granular.

3.3 Microscopia eletrônica de varredura

A morfologia da matéria-prima de CSA e do carvão adsorvente granular foram estudadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), conforme mostrado na Figura 4.

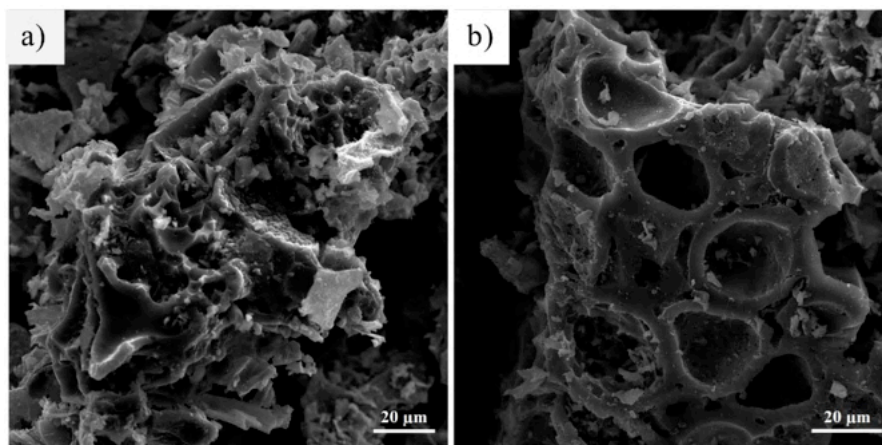


Figura 4. Microscopia eletrônica de varredura (MEV) da (a) matéria-prima de CSA e (b) do carvão adsorvente granular.

A análise por MEV da matéria-prima de CSA (Figura 4a) mostrou um material com estrutura fibrosa, assim como na matéria-prima de Ramos et al. (2009). No entanto, como pode ser visto na Figura 4b, após o processo de pirólise a 450°C com taxa de aquecimento de 10°C min⁻¹, o precursor apresentou relevantes modificações na sua estrutura morfológica. O material sólido na Figura 4b apresenta poros bem definidos em forma de crateras uniformes, característicos de carvão adsorvente com boa área superficial.

A presença de poros bem definidos no carvão é importante, pois evidencia que o carvão tem aberturas para meso e microporos internos, características de elevada área superficial de carvão adsorvente granular.

3.4 Espectroscopia na região do infravermelho

No espectro da matéria-prima de CSA (Figura 5) verificou-se duas regiões que apresentam bandas de comprimento de onda característicos, sendo elas: região de 3600-2700 cm^{-1} e 1800-500 cm^{-1} .

Na primeira região (3600-2700 cm^{-1}) é possível observar dois picos, sendo o primeiro com uma forte banda e o segundo com uma banda mais fraca. A banda forte apresenta um pico em 3395 cm^{-1} , o qual é associado ao estiramento vibracional do grupo hidroxila (O-H), característicos na celulose, hemicelulose e lignina, e que está relacionado a presença de grupos álcoois e ácidos (XU et al., 2013). Na sequência, a banda mais fraca apresenta um pico em 2927 cm^{-1} , associado ao estiramento de hidrocarbonetos alifáticos do tipo C-H presentes nos componentes lignocelulósicos, porém com mais intensidade na celulose e hemicelulose (YANG et al., 2007).

Na segunda região (1800-500 cm^{-1}) ocorre a presença de diferentes bandas de comprimento de onda associadas as características de materiais lignocelulósicos. As bandas em 1628 e 1507 cm^{-1} são associadas ao estiramento de ligações C=C em anéis aromáticos (BOONAMNUAYVITAYA et al., 2004). A banda em 1244 cm^{-1} é associada a vibração da ligação C-O em anéis aromáticos. A banda observada em 1028 cm^{-1} é relacionada ao estiramento e deformação da ligação C-O, de grupos álcoois, que apresenta maior intensidade na celulose e hemicelulose. Por fim, as bandas 666 cm^{-1} e 597 cm^{-1} são associadas a estiramentos C-C, que são relacionadas a lignina (BOONAMNUAYVITAYA et al., 2005).

Após o processo de pirólise pode-se observar a diminuição ou até mesmo o desaparecimento de bandas referentes aos grupos funcionais presente no material de partida. O desaparecimento da banda em 2927 cm^{-1} , atribuída aos estiramentos vibracionais simétricos e assimétricos de grupos CH, evidencia a ocorrência da pirólise do material (RAMOS et al., 2009). As absorções em 1645 e 1073 cm^{-1} apresentaram diminuição significativa quando comparadas as bandas de 1628 e 1028 cm^{-1} da matéria-prima de CSA, indicando diminuição dos grupos C=C e C-O na superfície do carvão, respectivamente.

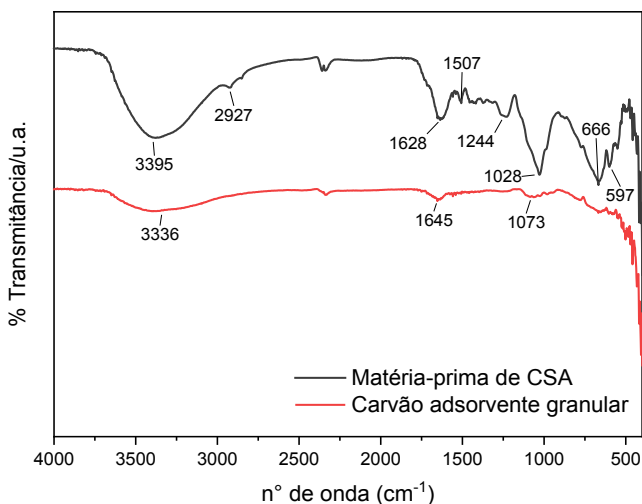


Figura 5. Espectro de infravermelho de transmitância obtida por FTIR da matéria-prima de CSA e do carvão adsorvente granular.

3.5 Isoterma de adsorção de íons de Cu (II)

Os resultados experimentais obtidos na adsorção de íons de Cu (II) pelo carvão adsorvente granular, a partir de soluções com diferentes concentrações de íons de Cu (II), estão apresentados na Figura 6.

Os dados de equilíbrio foram processados através da regressão não linear das isotermas de Langmuir e Freundlich, de acordo com as Equações 2 e 3. Os parâmetros obtidos aplicando-se estes modelos aos dados experimentais são apresentados na Tabela 1.

Os resultados demonstram que ambos os modelos, Langmuir e Freundlich, apresentam o mesmo coeficiente de determinação ($R^2 = 0,97$). Isso indica que os dois modelos podem servir para explicar o equilíbrio de adsorção. No modelo de Langmuir, o valor da capacidade máxima de adsorção q_{max} de íons de Cu (II) correspondeu a 291,071 mg g⁻¹, sendo muito superior ao encontrado por Pinto et al. (2013) que obteve 10,289 mg g⁻¹ para o carvão fisicamente ativado de caroço de buriti.

O valor numérico adimensional $1/n$ do modelo de Freundlich indicou que a adsorção de íons Cu (II) pelo carvão adsorvente granular pode ser considerada favorável, pois o parâmetro $1/n$ foi bem próximo de 1 e devido ao modelo não se ajudar totalmente aos dados experimentais, o valor numérico $1/n = 0,944$ pode ser ligeiramente maior.

O carvão adsorvente granular produzido a partir de cascas de sementes de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.), logo, mostrou-se eficiente na remoção de íons de Cu (II) nas concentrações estudadas.

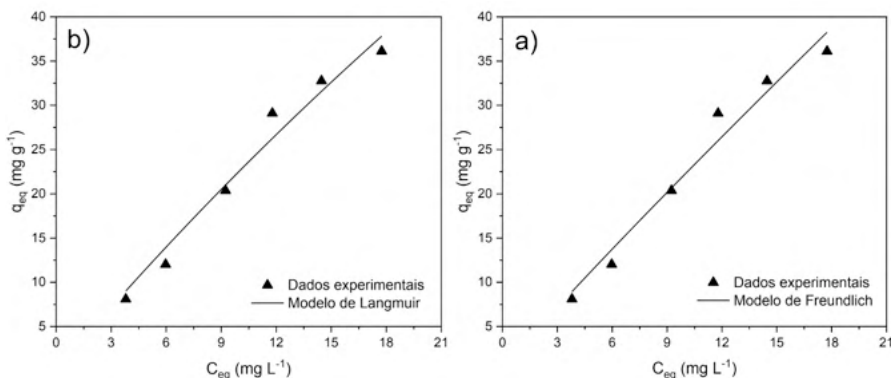


Figura 6. Dados experimentais de adsorção de íons de Cu (II) ajustados aos modelos de (a) Freundlich e (b) Langmuir.

Amostra	Isoterma de Langmuir			Isoterma de Freundlich		
	$q_{\text{máx}}$ (mg g^{-1})	K_L (L mg^{-1})	R^2	$1/n$	K_F (mg g^{-1})	R^2
Solução artificial de Cu (II)	291,071	0,00841	0,97	0,944	2,535	0,97

Tabela 1. Parâmetros das isotermas dos modelos de Langmuir e Freundlich.

4 | CONCLUSÃO

A matéria-prima de CSA utilizada para produção de carvão adsorvente granular mostrou-se um bom precursor. O teor de cinzas foi baixo indicando que a superfície do carvão apresenta pouca matéria mineral. O teor umidade de 12% indicou que a matéria-prima de CSA possui suscetibilidade à carbonização. O rendimento de 28,82% de carvão adsorvente granular mostrou que o processo de produção de carvão por meio da pirólise até 450°C é viável economicamente.

O carvão adsorvente granular apresentou boa superfície com poros definidos e favorável na adsorção de íons Cu (II). Por meio das análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi possível visualizar o aparecimento de poros no carvão granular produzido, apontando aberturas para parte interna do carvão. A adsorção de íons de Cu (II) pelo carvão adsorvente granular de CSA foi favorável e os modelos Freundlich e Langmuir se ajustaram bem aos dados experimentais, indicando que ambos os modelos podem explicar o equilíbrio de adsorção.

Os resultados mostram que o carvão adsorvente granular produzido a partir das cascas de sementes de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) tem potencial capacidade de adsorção de contaminantes inorgânicos em meio aquoso, podendo ser utilizado como fonte alternativa para a produção de material adsorvente de baixo custo.

REFERÊNCIAS

ALMUDI, T.; PINHEIRO, J.O.C. **Dados estatísticos da produção agropecuária e florestal do Estado do Amazonas: Ano 2013**. Editora Embrapa, Brasília, 105p. 2015.

AYYALUSAMY, S.; MISHRA, S. **Optimization of preparation conditions for activated carbons from polyethylene terephthalate using response surface methodology**. Brazilian Journal of Chemical Engineering, 35(3):1105–1116. 2018.

BOONAMNUAYVITAYA, V.; CHAIYA, C.; TANTHAPANICHAKOON, W. **The preparation and characterization of activated carbon from coffee residue**. Journal of Chemical Engineering of Japan, 37, pp. 1504-1512. 2004.

BOONAMNUAYVITAYA, V.; SAE-UNG, S.; TANTHAPANICHAKOON, W. **Preparation of activated carbons from coffee residue for the adsorption of formaldehyde**. Separation and Purification Technology, 42, pp. 159-168V. 2005.

CASTILLA, M.C. **Em Adsorbentes en la solución de algunos problemas ambientales**; Reinoso, F. R.; ed.; Universidade de Granada: Espanha, 2004, cap. 4.

CORTEZ, L.A.B.; LORA, E.E.S.; GÓMEZ, E.O. Biomassa para energia. 1.ed. Campinas: Editora da Unicamp, 2008. 733p.

FERRAZ, I.D.K.; CAMARGO, J.L.C.; SAMPAIO, P.T.B. **Sementes e Plântulas de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl. e *Carapa procera* D.C.): Aspectos botânicos, ecológicos e tecnológicos**. Acta Amazônica, 32(4): 647-661. 2002.

FOO, K.Y.; HAMEED, B.H. **Utilization of rice husks as a feedstock for preparation of activated carbon by microwave induced KOH and K_2CO_3 activation**. Bioresource Technology, 102, 9814-9817. 2011.

GAO, P.; LIU, Z. H.; XUE, G.; HAN, B.; ZHOU, M. H. **Preparation and characterization of activated carbon produced from rice straw by $(NH_4)_2HPO_4$ activation**. Bioresource Technology, 102, 3645-3648. 2011.

GONÇALVES, V.A. **Levantamento de mercado de produtos florestais não madeireiros**. Projeto ProManejo. IBAMA. Santarém/PA, Brasil. 65p. 2001.

HAYASHI, J.I.; HORIKAWA, T.; TAKEDA, I.; MUROYAMA, K.; ANI, F.N. **Preparing activated carbon from various nutshells by chemical activation with K_2CO_3** . Carbon, 40(13), 2381-2386. 2002.

HSU, T-C. **Experimental assessment of adsorption of Cu^{2+} and Ni^{2+} from aqueous solution by oyster shell powder**. Journal of Hazardous Materials, v. 171, n. 1-3, p. 995–1000, 2009.

IZABEL, R.; MOURA, A.B.D.; MORISSO, F.D.P.; MELLO, F.S. **Análise termogravimétrica da pirólise da acácia-negra (*Acaciamearnsii* de Wild.) cultivada no Rio Grande do Sul, Brasil, Viçosa-MG**. Revista Árvore, 32, 533-543. 2008.

KALDERIS, D.; KOUTOULAKIS, D.; PARASKEVA, P.; DIAMADOPOULOS, E.; OTAL, E.; DELVALLE, J.O.; FERNÁNDEZ-PEREIRA, C. **Adsorption of polluting substances on activated carbons prepared from rice husk and sugarcane bagasse**. Chemical Engineering Journal, 144, 42-50. 2008.

KLAUTAU, J.V.P. **Análise Experimental de uma Fornalha a Lenha de Fluxo Cocorrente para Secagem de Grãos**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

PINTO, M.V.S.; SILVA, D.L.; SARAIVA, A.C.F. **Obtenção e caracterização de carvão ativado de caroço de buriti (Mauritia flexuosa L. f.) para a avaliação do processo de adsorção de cobre (II)**. Acta Amazônica, 43(1). doi:10.1590/S0044 59672013000100009. 2013.

PINTO, P.G. **Características Físico-Químicas e Outras Informações Sobre as Principais Oleaginosas do Brasil**. Boletim Técnico. 18. Ministério da Agricultura, Recife/PE, Brasil. 1963.

RAMOS, P.H.; GUERREIRO, M.C.; RESENDE, E.C.; GONÇALVES, M. **Produção e caracterização de carvão ativado produzido a partir do defeito preto, verde, ardido (PVA) do café**. Química Nova, 32, 1139–1143. 2009.

SIQUEIRA, G.C.L. **Produtos potenciais da Amazônia**. Brasília; DF: Sebrae, 1996. 97p.

SONG, M.; JIN, B.; XIAO, R.; YANG, L.; WU, Y.; ZHONG, Z.; HUANG, Y. **The comparison of two activation techniques to prepare activated carbon from corn cob**. Biomass and Bioenergy, 48, 250-256. 2013.

TAN, I.A.W.; AHMAD, A.L.; HAMEED, B.H. **Optimization of preparation conditions for activated carbons from coconut husk using response surface methodology**. Chemical Engineering Journal, 137, 462-470. 2008.

XU, F.; YU, J.; TESSO, T.; DOWELL, F.; WANG, D. **Qualitative and quantitative analysis of lignocellulosic biomass using infrared techniques: a mini-review**. Applied Energy, 104, pp. 801-809. 2013.

YANG, K.; PENG, J.; SRINIVASAKANNAN, C.; ZHANG, L.; XIA, H.; DUAN, X. **Preparation of high surface area activated carbon from coconut shells using microwave heating**. Bioresource Technology, 101, 6163-6169. 2010.

YANG, H.; YAN, R.; CHEN, H.; LEE, D. H.; ZHENG, C. **Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis**. Fuel, v.86, n.12-13, p.1781–1788, 2007.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Adsorbent 78, 85, 88

Adsorption 2, 85, 88, 98, 108

Advanced Oxidative Processes (AOPs) 102

Agro-industrial waste 88

Anti-inflammatory 17

Aqueous matrices 2, 100, 103, 105, 112

B

Bacterium 100, 108, 109, 110, 111

Bioactive 12

Biodiesel 2, 3, 37, 38, 39, 48

C

Cadmium 2, 51

Cheese 51

Contaminants of Emerging Concern (CEC) 101

Copper 2, 26, 33, 34, 51, 83, 88

D

Detection Limit 100, 106

E

Essential oil 2, 2

Esters 2, 37, 49, 50

F

Fermentation 63, 76, 77

Fibers 2

Fracking gas 2, 4, 78, 79

G

Gibbs free energy 37, 38

Graphite oxide 25

H

Heavy metals 88

Hydrosphere 79

K

Kombucha 2, 4, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 73, 74, 75, 76, 77

L

Lead 2, 51, 81, 82

Lithosphere 79

M

Meloidogyne javanica 2, 3, 1, 2, 5, 6, 7, 10, 11

Mercury 2, 51

Metallic ions 2

Mineralization 100, 105, 107, 110, 111, 112

N

Nematicidal activity 2, 2

Nematodes 2

Nickel 2, 51

O

Organic matter 102, 108, 110, 111

P

Pharmaceuticals 4, 100, 101, 102, 103, 105, 106, 107, 109, 110, 111, 112

Photocatalysis 4, 25, 34, 100, 103, 105, 111, 112, 113

Photocatalyst 33, 34, 35, 36, 106, 107, 108, 109, 110

Photolysis 2, 4, 100, 103, 106, 107, 109, 111

Photonic microscope 2

Photosystems 26

Probiotics 63, 76

Pyrolysis 88, 99

Q

Quantum chemistry 37, 38

R

River Water (RW) 103

S

Soil 2, 4, 78

Solar photolysis 2, 106, 107, 109

Solar radiation 4, 100, 103, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 113

Solar spectrum 25

T

Thermodynamic properties 2, 37, 50

Toxicity 76, 78, 81, 86, 100, 105, 108, 109, 110, 111, 112

Triterpenoids 12

U

UV-Vis spectrophotometry 2, 51





V

Vibrio fischeri 100, 105, 108, 109, 110, 111

W





Wastewater 2, 88, 103, 104, 112

Water 2, 4, 34, 35, 36, 78, 79, 80, 81, 84, 85, 86, 88, 100, 101, 102, 103, 104, 107, 110, 111, 112, 113

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Collection:

APPLIED CHEMICAL ENGINEERING

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 @atenaeditora
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Collection:

APPLIED CHEMICAL ENGINEERING


Ano 2022