





# **Engenharia Moderna:** Soluções para Problemas da Sociedade e da Indústria 3

Fábio Andrijauskas  
Anete Silva Faesarella  
Laira Lucia Damasceno de Oliveira  
(Organizadores)

**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**

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

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



# Engenharia moderna: soluções para problemas da sociedade e da indústria 3

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Yaiddy Paola Martinez  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizadores:** Fábio Andrijauskas  
Annete Silva Faesarella  
Laira Lucia Damasceno de Oliveira

## Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia moderna: soluções para problemas da sociedade e da indústria 3 / Organizadores Fábio Andrijauskas, Annete Silva Faesarella, Laira Lucia Damasceno de Oliveira. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0095-0

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.950221105>

1. Engenharia. 2. Sociedade. 3. Indústria. I. Fábio Andrijauskas (Organizador). II. Annete Silva Faesarella (Organizadora). III. Laira Lucia Damasceno de Oliveira (Organizadora). IV. Título.

CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br



**Atena**  
Editora  
Ano 2022

## 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

Nos anos de 2020 e 2021 tivemos a primeira e a segunda edição do livro “Engenharia Moderna: Soluções para Problemas da Sociedade e da Indústria” e agora, em 2022, com muito orgulho lançamos sua terceira edição. Esta edição atual provém de trabalhos desenvolvidos durante a pandemia da COVID-19, um período que nos fez refletir sobre a importância da ciência e o desenvolvimento tecnológico no mundo atual, aliados na descoberta de soluções para problemas de diferentes âmbitos, haja vista as vacinas desenvolvidas no intuito de resolver esta situação tão sensível e desafiadora. Realmente, um momento que mudou a vida de todos e que ficará para sempre em nossas lembranças.

Em tempos que, mais do que nunca, necessitam de união e paz, apresentamos este conteúdo com diversos autores, demonstrando que a diversidade de pensamento, ideias e conhecimento são pilares para o avanço da ciência. Cada capítulo foi elaborado com dedicação e comprometimento dos pesquisadores, e traz mais um resultado de sucesso para diversas áreas do conhecimento, como as Engenharias, a Saúde e o Meio Ambiente.

Mais uma vez, agradecemos à Editora Atena pela oportunidade do lançamento do nosso terceiro livro, proporcionando uma via eficaz de disseminação de conhecimento e de suas contribuições para a sociedade e para a comunidade científica.

Finalizamos com uma frase da oração de São Francisco que diz: **“Senhor, fazei de mim instrumento de vossa paz”**.

**Paz e bem!**

Annete Silva Faesarella

Fábio Andrijauskas

Laira Lucia Damasceno de Oliveira



## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **A MODERN PANORAMA OF THE INTERNET OF MEDICAL THINGS DEMONSTRATING ITS APPLICATION LANDSCAPE**


Reinaldo Padilha França  
Ana Carolina Borges Monteiro  
Rangel Arthur  
Francisco Fambrini  
Julio Cesar Pereira  
Vicente Idalberto Becerra Sablón  
Yuzo Iano

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9502211051>

### **CAPÍTULO 2..... 20**

#### **PRODUÇÃO E APLICAÇÕES DO PÓ DA CASCA DE ROMÃ EM COSMÉTICOS**


Teresa de Jesus Estevam Pereira  
Vanessa Cristine de Marco Matos dos Santos  
Iara Lúcia Tescarollo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9502211052>

### **CAPÍTULO 3..... 36**

#### **IMAGENS DE RESSONÂNCIA MAGNÉTICA FUNCIONAL EM ESTADO DE REPOUSO APLICADAS A ESTUDO DA DOR CRÔNICA UTILIZANDO DEEP LEARNING**

Sérgio Ricardo de Lima Novais  
Glaucilene Ferreira Catroli  
Fábio Andrijauskas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9502211053>

### **CAPÍTULO 4..... 50**

#### **BALSANET - PLATAFORMA COMPUTACIONAL MULTIPARÂMETROS CONTROLADA REMOTAMENTE PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ÁGUAS SUPERFICIAIS**

Kelvyn Souza Santana  
Anderson Quintino da Fonseca  
Vicente Idalberto Becerra Sablón  
Annete Silva Faesarella

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9502211054>

### **CAPÍTULO 5..... 67**

#### **NOVO MÉTODO DE SUPRIMENTO DE ELETROPOSTOS A PARTIR DE ENERGIA FOTOVOLTAICA**

Fernando Luciano de Almeida  
Julio Cesar Galves Gomes Mangini Mosqueiro Junior  
Annete Silva Faesarella


Vicente Idalberto Becerra Sablón

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9502211055>

**CAPÍTULO 6..... 81**

**ESTUDO DA RECUPERAÇÃO DE SOLVENTES NA PRODUÇÃO DE ADESIVOS**

Leonardo Dorigo de Almeida  
Samyra Haryele Gimenes Silva  
Monica Tais Siqueira D'Amelio

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9502211056>

**CAPÍTULO 7..... 97**

**DESENVOLVIMENTO, ANÁLISE E ESTUDO DA CASCA DE CAFÉ PARA REMOÇÃO DE CORANTES DE EFLUENTES INDUSTRIAIS**


Enik Erica Rodrigues Godoy  
Gabriela de Oliveira Ferri  
Monica Tais Siqueira D'Amelio

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9502211057>

**CAPÍTULO 8..... 109**

**APLICAÇÃO DE CARVÃO ALTERNATIVO EM TRATAMENTO DE ÁGUA INDUSTRIAL**


Bruna Ferraz Mattos de Souza  
David Aguiar Ferreira Junior  
Monica Tais Siqueira D'Amelio Felipe

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9502211058>

**CAPÍTULO 9..... 123**

**ESTUDO DA TRANSFORMAÇÃO DO LODO GERADO EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES EM PRODUTO COMERCIAL AGRÍCOLA**


Jaqueline Paz de Oliveira  
Mislaini de Sá Viana  
André Augusto Gutierrez Fernandes Beati  
Renata Lima Moretto  
Laira Lúcia Damasceno de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9502211059>

**CAPÍTULO 10..... 145**

**AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL COM FOCO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**


Augusto da Silva Santos  
Brurenan Rocha Silva  
Geraldo Peres Caixeta

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.95022110510>

**CAPÍTULO 11..... 163**

**ANÁLISE DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA EM LINHAS DE TRANSMISSÃO E EFEITOS DE BLINDAGEM**


Rafaela Steffany da Silva Kayo  
William Aparecido de Oliveira  
Geraldo Peres Caixeta

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.95022110511>

**CAPÍTULO 12..... 183**

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE RECUPERAÇÃO DE METAIS EM PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO**


Cláudia Fernanda Spagnol Cocenza  
Yasmin Abrahão Pacheco Boiago  
Renato Franco de Camargo  
Roberta Martins da Costa Bianchi

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.95022110512>

**CAPÍTULO 13..... 202**

**LEVANTAMENTO DA CAUSA REFERENTE AOS DANOS E PATOLOGIAS ENCONTRADOS NA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA EM UMA VIA DE FLUXO MUITO PESADO**


Caroline Fernanda Ferreira  
Lillian Maria Destro  
Marcelo da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.95022110513>

**CAPÍTULO 14..... 220**

**ANÁLISE DE GESTÃO DE OBRA E IMPACTO DE CIRCUNVIZINHANÇA**


Ana Carolina Marques Monteiro  
Letícia Toniato Andrade  
Laira Lúcia Damasceno de Oliveira  
Renata Lima Moretto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.95022110514>

**CAPÍTULO 15..... 234**

**O DESEMPENHO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES DE ENSINO FRENTE ÀS ESTRATÉGIAS ARQUITETÔNICAS, ENERGÉTICAS E OS IMPACTOS CLIMÁTICOS ATUAIS**

Jane Tassinari Fantinelli  
Mariana Cene da Silva  
Caroline Oliveira Tartari

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.95022110515>

**CAPÍTULO 16..... 248**

**DESENVOLVIMENTO DE UM GERADOR DE OZÔNIO DE BAIXO CUSTO PARA**

## TRATAMENTO DE ÁGUA CONTAMINADA COM CORANTES

Leticia Pereira Brito D'Oliveira  
Marcos Vinicius Pernambuco Zeferino  
Roberta Martins da Costa Bianchi  
Renato Franco de Camargo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.95022110516>

### **CAPÍTULO 17.....268**

#### DETERMINAÇÃO DO TEOR DE LACTOSE POR MEIO DE GLICOSÍMETRO

Danka Ayres Carvalho da Silva  
Gabriel Luís Ehrenberg Malavazzi  
Filipe Alves Coelho  
Roberta Martins da Costa Bianchi

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.95022110517>

### **CAPÍTULO 18.....280**

#### ESTUDO DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE IMPRESSÃO 3D NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE PEÇAS TÉCNICAS IMPRESSAS


Paulo Cesar Polli  
Daniel Loureiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.95022110518>

### **CAPÍTULO 19.....299**

#### DESENVOLVIMENTO DE MODELOS DENTÁRIOS ATRAVÉS DA MANUFATURA ADITIVA

Guilherme de Faria Mendes  
Vinicius Fernandes Moreira Alves  
Daniel Loureiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.95022110519>

### **SOBRE OS ORGANIZADORES .....320**

## DESENVOLVIMENTO, ANÁLISE E ESTUDO DA CASCA DE CAFÉ PARA REMOÇÃO DE CORANTES DE EFLUENTES INDUSTRIAIS

### **Enik Erica Rodrigues Godoy**

Universidade São Francisco, Curso de Engenharia Química  
Itatiba – SP  
<http://lattes.cnpq.br/6931686501116261>

### **Gabriela de Oliveira Ferri**

Universidade São Francisco, Curso de Engenharia Química  
Itatiba – SP  
<http://lattes.cnpq.br/5259517231430449>

### **Monica Tais Siqueira D'Amelio**

Universidade São Francisco, Curso de Engenharia Química  
Itatiba – SP  
<http://lattes.cnpq.br/0347184334616712>

**RESUMO:** Um dos grandes desafios do setor têxtil é a remoção de corantes dos efluentes gerados em decorrência das etapas de beneficiamento dos tecidos. A técnica mais utilizada é a adsorção, a qual tem permitido o desenvolvimento de novos adsorventes, principalmente os provenientes de resíduos orgânicos agroindustriais, que são de grande interesse por apresentarem baixo custo e alta oferta no país. Neste trabalho foi abordado o uso da casca de café como alternativa para produção de carvão ativado através da carbonização e ativação química em temperatura ambiente com uma solução de Cal 0,05 mol/L para o tratamento de efluentes têxteis. Foram realizadas caracterizações que comprovaram a formação de poros na ativação e que a temperatura de

carbonização foi atingida, o que gerou um alto rendimento. Os testes de adsorção realizados indicaram um bom desempenho nas isotermas do corante vermelho mostrando que a adsorção predominante no processo foi física, comprovada pela cinética que apresentou o processo de adsorção e dessorção muito rápido. A saturação do leito experimental não foi atingida ao longo de 70 minutos, apontando uma boa eficiência para baixas concentrações de efluentes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Adsorção, casca de café, efluentes têxteis.

### DEVELOPMENT, ANALYSIS AND STUDY OF COFFEE HUSK FOR DYES REMOVAL FROM INDUSTRIAL EFFLUENTS

**ABSTRACT:** One of the great challenges of the textile sector is the removal of dyes from the effluents generated as a result of the fabric improvement stages. The most used technique is adsorption, which has allowed the development of new adsorbents, especially those from agro-industrial organic waste, which are of great interest because of their low cost and high supply in the country. In this work, the use of coffee husks as an alternative for the production of activated carbon through carbonization and chemical activation at room temperature with a 0.05 mol/L Cal solution for the treatment of textile effluents was addressed. Characterizations were carried out that proved the formation of pores in the activation and that the carbonization temperature was reached, which generated a

high yield. The adsorption tests performed indicated a good performance in the isotherms of the red dye, showing that the predominant adsorption in the process was physical, proven by the kinetics that presented the process of adsorption and desorption very fast. The saturation of the experimental bed was not reached over 70 minutes, indicating a good efficiency for low effluent concentrations.

**KEYWORDS:** Adsorption, coffee husk, textile effluents.

## 1 | INTRODUÇÃO

A água, apesar de ser um recurso abundante no planeta, possui disponibilidade limitada e é ameaçada pelo aumento de demanda do uso doméstico, agricultura, mineração, produção industrial, geração de energia e silvicultura (BITTENCOURT e PAULA, 2014). Dentre as atividades de produção industrial, destaca-se o segmento têxtil por gerar grande volume de efluentes decorrentes do processo de beneficiamento do tecido, contendo corantes, surfactantes, íons inorgânicos entre outras substâncias que alteram os parâmetros físico-químicos da água (QUEIROZ, A., *et al.*, 2019). O processo de tingimento é uma das etapas incluídas (ZANONI e GUARATINI, 1999). A remoção dos resíduos de corantes dos efluentes gerados é um dos grandes desafios do setor têxtil, e uma das técnicas mais utilizadas é a adsorção (FORTINO, 2012).

A adsorção é uma operação unitária baseada no princípio de transferência de massa, que através de mecanismos de difusão promove a remoção de partículas indesejadas de um certo meio, sendo adsorvidas dentro dos poros e superfície do material (MATOS, 2015). Uma das superfícies de adsorção mais comuns é o carvão ativado. Sua composição é principalmente carbono, com muitos poros e grande superfície de contato (INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA, 2017). O carvão ativado pode ser obtido a partir de materiais orgânicos, como: o açúcar, o carvão mineral, a casca de coco, dentre outros resíduos agroindustriais (MATOS, 2015). Quando o carvão ativado é feito a partir de resíduos agroindustriais (biomassa) ele é chamado de bioadsorvente ou biocarvão. A obtenção desse material ocorre através de carbonização ou pirólise e ativação química.

No Brasil um dos grandes pilares da agricultura brasileira é a produção de café, sendo responsável por cerca de 1/3 de sua produção mundial (ABIC, 2021). Em virtude do alto volume produzido, preocupa-se quanto à sustentabilidade na produção, visto que uma grande quantidade de resíduos é gerada. Apesar de ser um resíduo agrícola, se disposto inadequadamente, pode causar a contaminação de solos e águas devido aos agroquímicos (SANTOS, TEDESCO, *et al.*, 2015).

Os resíduos gerados pelo cultivo do café são lignocelulósicos (OLIVEIRA, 2016), indicando a presença de moléculas de lignina, celulose e hemicelulose conforme apresentado pela Tabela 1. A decomposição da hemicelulose ocorre principalmente entre

as temperaturas de 220 e 315°C, enquanto a celulose ocorre em uma faixa de 315 e 400°C e a decomposição da lignina ocorre lentamente até os 900°C (YANG, YAN, *et al.*, 2007).

| <b>Componente da biomassa</b> | <b>% em massa</b> |
|-------------------------------|-------------------|
| Hemicelulose                  | 31,51 ± 0,5       |
| Celulose                      | 43,80 ± 0,5       |
| Lignina                       | 24,35 ± 0,5       |
| Cinzas                        | 0,34 ± 0,5        |

Tabela 1 – Principais compostos na casca de café in natura.

Fonte: Adaptado (SILVA, 2012).

Uma aplicação viável para os resíduos decorrentes de produções agrícolas é o desenvolvimento de materiais adsorventes em substituição ao carvão ativado de origem mineral, dando origem a um material com maior valor agregado (OLIVEIRA e PEREIRA, 2008). A aplicação desses materiais como soluções alternativas para promover a limpeza de efluentes têxteis tem sido vastamente estudada e é considerada uma solução eficaz de baixo custo e complexidade (DE COSTA, FURMANSKI e DOMINGUINI, 2015).

A transformação de resíduos agrícolas em adsorventes pode ser realizada através da pirólise ou carbonização e ativação do material de forma química (OLIVEIRA e PEREIRA, 2008).

Considerando o alto volume de resíduo gerado no processo de beneficiamento do café e a necessidade de reduzir a emissão de corantes no sistema aquífero, este trabalho estudou a eficiência da casca de café como um bioadsorvente para o tratamento de efluentes têxteis.

## **2 I METODOLOGIA**

A casca de café arábica utilizada neste trabalho foi obtida na empresa Café Scomparim localizada na cidade de Bragança Paulista, e foi processada por via seca.

### **2.1 Caracterização do material**

Para a caracterização do material, realizaram-se as análises de MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura) e espectroscopia vibracional na região do infravermelho, além da classificação granulométrica (4, 8, 14, 28, 48 e 100 Mesh) e as análises térmicas, Análise Termogravimétrica (TG) para determinar o comportamento da amostra durante sua decomposição térmica e a Análise Térmica Diferencial (DTA) para determinar o comportamento térmico da amostra ao longo da variação de temperatura programada. Realizou-se o teste de dispersão em béqueres, adicionando em 150 mL de água, 3 g do material e deixando em repouso por 24 horas.

## 2.2 Preparo do material

A casca de café foi separada em lotes de 1 kg e submetida ao processo de carbonização em um recipiente de aço aberto em contato direto com fogo proporcionado por lenha até a temperatura de combustão ser atingida. O material foi retirado do recipiente metálico assim que as chamas provenientes da combustão cessaram. Todo material foi triturado durante 2 minutos.

A ativação foi realizada com solução de Cal a 0,05 mol/L, na proporção de 1 grama de material para 10 ml da solução de Cal, e o sistema foi mantido em repouso por 24 horas em temperatura ambiente. Após, a mistura carvão-Cal foi lavada com água destilada, filtrada e seca em estufa a 100 °C por 30 minutos. As águas de lavagem tiveram seu pH medido por tiras universais de pH para garantir que o perfil básico do agente ativante fosse eliminado.

## 2.3 Isoterma de adsorção

A isoterma foi construída para três corantes da marca Guarany nas cores azul, amarelo e vermelho. Na obtenção das isotermas, foram colocados 50 ml de cada solução (50, 100, 150, 200, 250 e 300 mg/L) em um béquer com 0,1 g do bioadsorvente previamente ativado. Todos os testes foram realizados com agitação de 60 rpm durante 1,5 horas em temperatura ambiente.

## 2.4 Cinética de adsorção

Em cada teste foram adicionados 50 ml da solução em um béquer com 0,1 g do material adsorvente. Todos os testes foram realizados com agitação de 60 rpm com controle de temperatura ao longo do processo. As amostras foram retiradas nos tempos: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 e 60 minutos. Após atingir os tempos estipulados foram retiradas amostras das soluções para analisar a absorbância no espectrofotômetro.

## 2.5 Curva de ruptura

A curva de ruptura foi obtida com amostras coletadas em uma coluna de adsorção com 38 cm de recheio de adsorvente compactado. Foram coletadas amostras de 5 em 5 minutos entre 5 e 70 minutos.

# 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 3.1 Caracterização do material

A Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) mostrou que os poros foram formados no processo de ativação (Figuras 1c e 1e) em relação à amostra original (Figura 1a) e a carbonizada (Figuras 1b e 1d). O diâmetro também foi importante, pois observou-se uma alteração mais intensa no material com menor diâmetro em virtude do maior contato com o



agente ativante. Através do programa ImageJ determinou-se o diâmetro médio dos poros formados e foram obtidos os valores de 31,006 micrômetros para as amostras retidas na peneira de Mesh 48 e 48,398 micrômetros para as retidas na peneira de Mesh 8.

A espectroscopia na região do infravermelho (Figura 2) observou-se a diferença entre os três espectros, evidenciando as alterações químicas provocadas pela carbonização (carvão carbonizado) e ativação química (carvão carbonizado e ativado com Cal) no material precursor. É possível observar grande similaridade na composição dos materiais analisados, no entanto, nota-se a presença de picos de ligação tripla entre carbonos na faixa de 3000 nm apenas no material precursor, o que é esperado visto que não houve a decomposição da celulose, hemicelulose e lignina presentes na amostra.

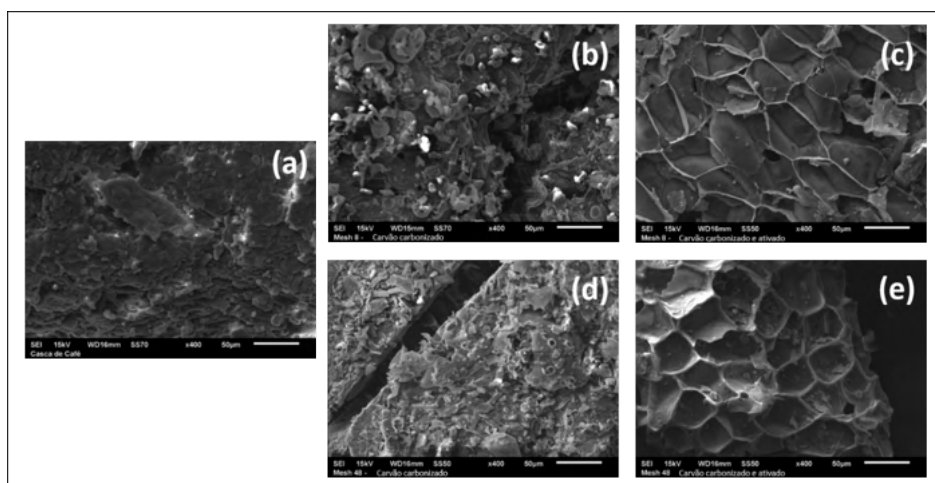


Figura 1 – Microscopia eletrônica de varredura da casca de café, precursor puro (a), da casca de café carbonizada de mesh 8 (b) e mesh 48 (d), e da casca de café carbonizada e ativada com Cal de mesh 8 (c) e mesh 48 (e).

Fonte: Próprio autor

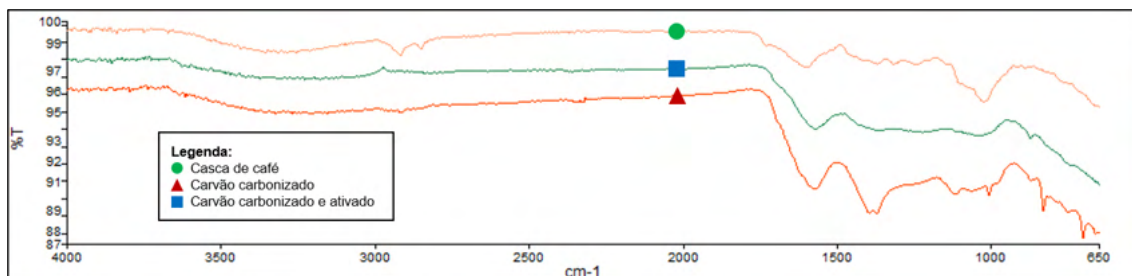


Figura 2 – Espectro na região do infravermelho das amostras de casca de café, carvão carbonizado e carvão carbonizado e ativado com cal.

Fonte: Próprio autor.

Através do termograma da Figura 3 obtido com a Análise Termogravimétrica (TG) do material precursor (casca de café) realizada em atmosfera oxidante, foi possível identificar, em virtude da taxa de consumo da massa, a faixa de temperatura onde a degradação do material foi mais acentuada, chegando no seu limite de decomposição em 322°C, o que permite inferir que esta é a temperatura de carbonização do material. A temperatura da carbonização aferida durante o experimento foi de 350°C, próxima ao obtido no TG, constatando que foi atingido o estado de carbonização do material precursor. Também foi possível identificar uma acentuada perda de massa até os 100°C, caracterizada pela perda de água do material.

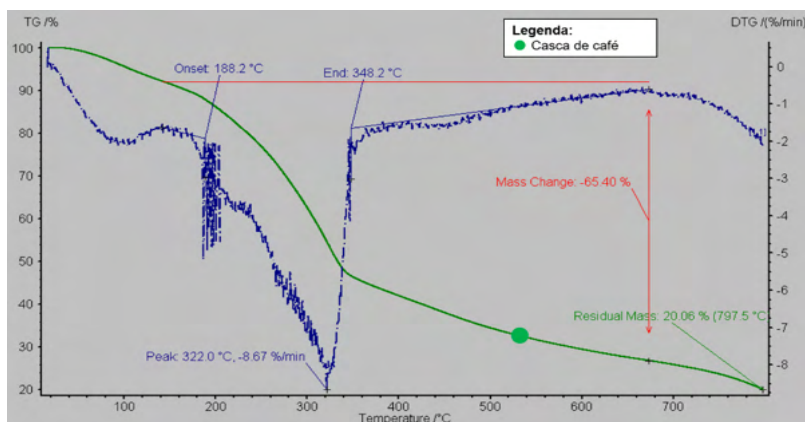


Figura 3 – TGA do material precursor (casca de café)

Fonte: Próprio autor.

Ainda nesta figura, observa-se um grande decaimento de massa entre os 200 e 340°C, caracterizado pela degradação da hemicelulose e celulose e um decaimento leve, porém constante, entre de 400 e 800°C, caracterizado pela decomposição da lignina. A massa residual da amostra durante o processo foi de 20,06%. As faixas de temperatura apresentadas pelo termograma são correspondentes ao encontrado nos estudos de Yang *et al.*

Compararam-se os dados de TG obtidos para as duas amostras obtidas durante o processo de ativação em relação à amostra original (Figura 4), em que foi possível observar a diminuição da perda de massa conforme a amostra foi submetida a mais processos, sugerindo que os traços da matéria orgânica foram diminuindo com os processos e indicando as transformações químicas em decorrência dos processos de ativação.

A Análise Térmica Diferencial (DTA) (Figura 5) mostrou que a amostra de casca de café apresentou majoritariamente processos exotérmicos, e isso pode ser justificada pela decomposição sofrida pelo material ao longo da análise.

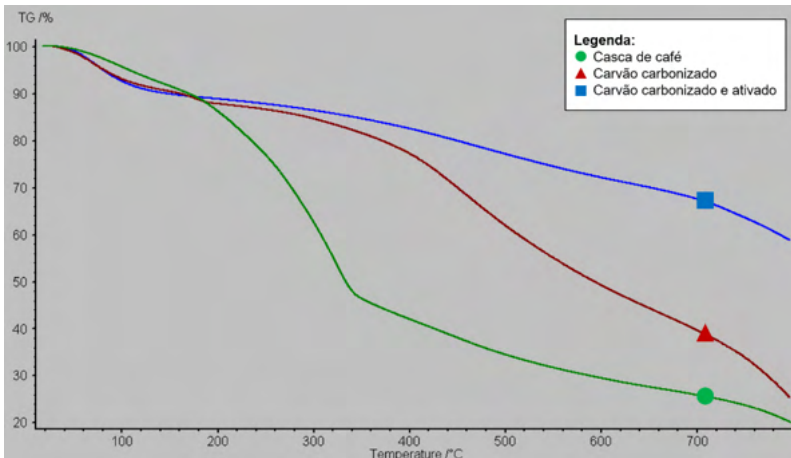


Figura 4 – TGA comparativo entre a casca de café, carvão carbonizado e carvão carbonizado e ativado.

Fonte: Próprio autor.

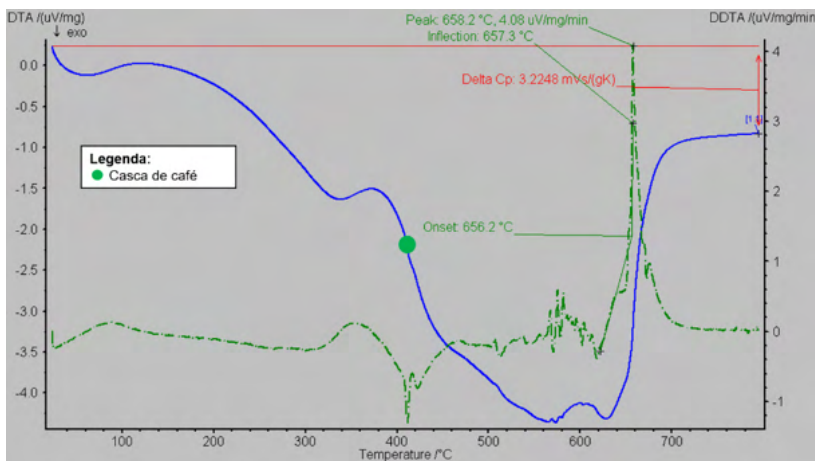


Figura 5 – DTA do material precursor (casca de café).

Fonte: Próprio autor.

A distribuição granulométrica (Figura 6a) indicou que imediatamente após o processo de carbonização, a amostra apresentou um padrão, evidenciando que o processo trouxe homogeneidade para as amostras. O comportamento das curvas é muito similar entre os lotes, assemelhando-se a uma reta e apresentando uma distribuição homogênea entre os diâmetros da amostra. Em relação ao material após a trituração (Figura 6b), os dois lotes apresentaram o mesmo estilo de curva onde há presença de um rápido crescimento que indica a geração de grande quantidade de partículas pequenas e conseqüentemente a redução do diâmetro médio das amostras, de 3,5 mm para inferior a 1 mm no primeiro lote

e de 1,5 mm para a 0,5 mm no segundo lote.

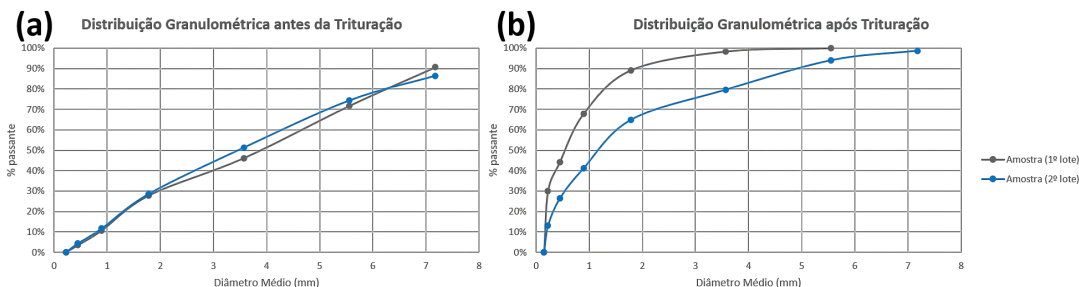


Figura 6 – Distribuição granulométrica dos dois lotes produzidos antes da trituração (a) e após a trituração (b).

Fonte: Próprio autor.

Com a realização do teste de dispersão do material constatou-se que os carvões ativados de Mesh 8, 14, 28 e 48 não apresentaram dificuldade na separação com água nem coloração residual, indicando a eficiência da segunda lavagem e a possibilidade de usar esses diâmetros nos próximos testes. No entanto o material retido na peneira de Mesh 100 não apresentou o mesmo desempenho. Ao entrar em contato com apenas 150 ml de água, o material formou uma mistura que mesmo com o repouso de 24 horas não separou fases. Visto que esse diâmetro não apresentou uma fácil separação com a água, foi definido que ele não poderia ser escolhido para dar sequência aos testes.

### 3.2 Isoterma de adsorção

Foram construídas as isotermas de adsorção para os três corantes previamente preparados. No entanto, durante os testes foi observado que os corantes azul e amarelo apresentaram as concentrações finais superiores as iniciais, o que os inviabilizou para dar continuidade aos testes.

A Figura 7 apresenta as isotermas de adsorção obtidas para o corante vermelho, em diferentes Meshs, as quais foram classificadas como desfavoráveis, indicando que uma pequena quantidade de adsorvato é retida por unidade de massa do adsorvente.

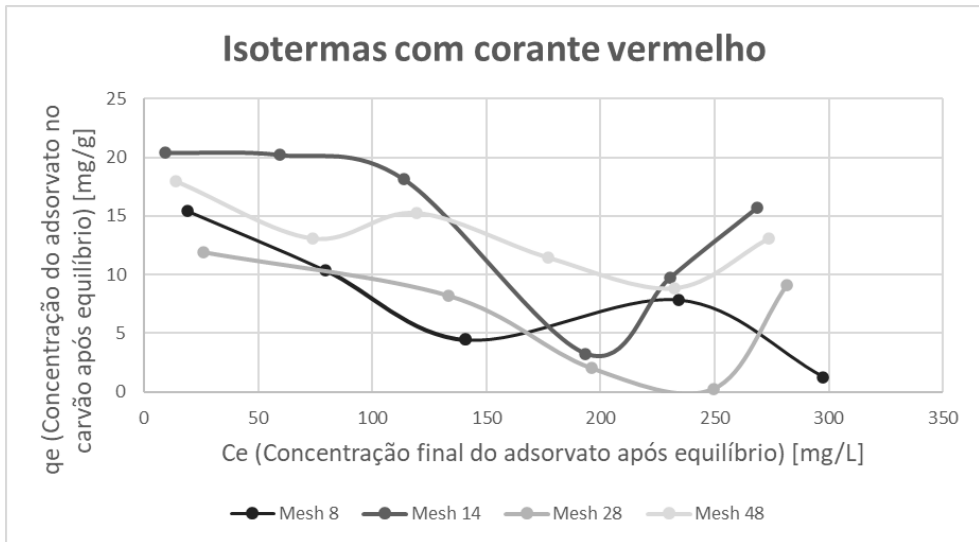


Figura 7 – Isoterma do corante vermelho.

Fonte: Próprio autor.

Esse comportamento ocorre devido a predominância de adsorção física, apresentando uma adsorção rápida e reversível em virtude das suas ligações decorrerem da ação de forças de atração intermoleculares fracas entre o adsorvente e as moléculas adsorvidas.

### 3.3 Cinética de adsorção

Os dados cinéticos obtidos estão apresentados na Figura 8. Através dos perfis cinéticos constatou-se uma similaridade no comportamento das curvas para as duas concentrações analisadas (15 e 25 mg/L). A saturação do material adsorvente ocorreu em torno dos 20 minutos do experimento, notou-se uma repentina diminuição do material adsorvido podendo ser justificada pela dessorção do adsorvato. Esse ciclo de adsorção e dessorção do material foi observado repetidamente durante o experimento em ambas concentrações, fato justificado por tratar-se de uma adsorção física. Além disso, foi possível notar uma diminuição na capacidade adsorptiva do adsorvente uma vez que a cada interação a quantidade disponível de sítios ativos diminuiu.

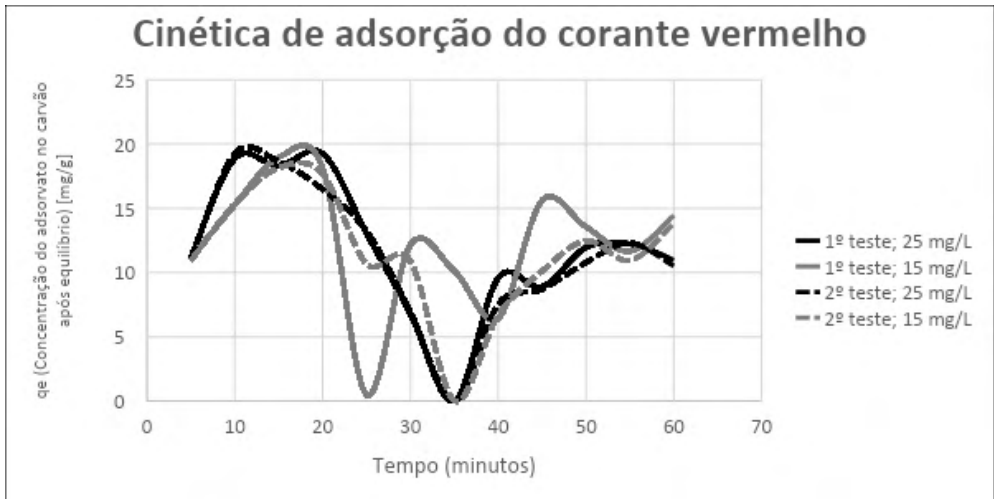


Figura 8 – Cinética de adsorção para o corante vermelho.

Fonte: Próprio autor.

### 3.4 Curva de ruptura

Os dados obtidos com a coluna de adsorção estão organizados na Figura 9. Através da análise do gráfico é possível inferir que a saturação do material não foi atingida ao longo dos 70 minutos de duração do experimento. Em decorrência do não atingimento da saturação do material, não foi possível identificar o aproveitamento do leito da coluna.

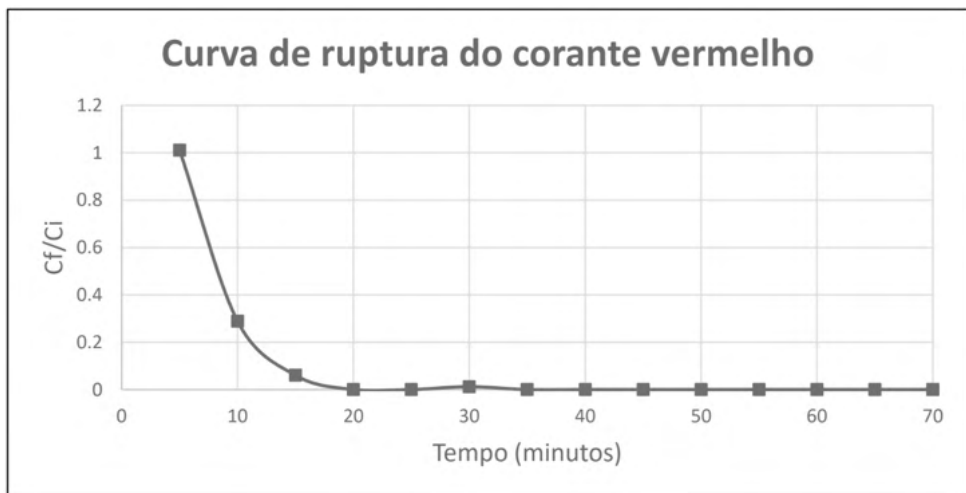


Figura 8 – Curva de ruptura para o corante vermelho.

Fonte: Próprio autor.

## 4 | CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento, análise e estudo da casca de café foi possível concluir que a caracterização do material através do MEV demonstra que conforme as amostras foram submetidas a mais processos de ativação sua morfologia foi alterada e a formação de poros foi evidenciada, comprovando a eficácia do método de ativação com Cal a 0,05 mol/L em temperatura ambiente. O diâmetro dos poros aferidos pelo programa ImageJ foram de 31,0 e 48,4 micrômetros para as amostras retidas na peneira de Mesh 48 e 8 respectivamente.

Com espectroscopia na região do infravermelho foi possível observar a diferença entre os espectros obtidos, confirmando que as ativações mudaram a estrutura do material e que apenas no material precursor havia presença de ligações triplas entre carbonos, indicando traços de celulose, hemicelulose e lignina. A análise de TGA permitiu comparar a temperatura do limite de decomposição do material (322°C) com a temperatura aferida experimentalmente (350°C), concluindo-se que a temperatura de carbonização do bioadsorvente foi atingida durante o experimento. Além disso, os termogramas do TG em conjunto com o do DTA permitiram a identificação dos compostos degradados ao longo do experimento, indicando que o carvão obtido ainda continha a presença da lignina uma vez que a faixa onde sua decomposição ocorre não foi atingida, proporcionando um rendimento alto do material (33 e 34%). Outro fator importante apontado pela análise de DTA foi o comportamento exotérmico dos eventos térmicos, justificado pela decomposição da celulose, hemicelulose e lignina assim como a perda de água até os 100°C. Através da distribuição granulométrica notou-se a homogeneidade trazida pelo processo de carbonização e uma acentuada redução no diâmetro médio das partículas após a trituração.

Em relação as etapas intermediárias para os testes de adsorção, foi constatada a necessidade de realizar no mínimo duas lavagens para que os resíduos do bioadsorvente não interferissem nas análises. Os testes de dispersão permitiram constatar que os menores diâmetros do material se mostraram inviáveis para os testes de adsorção por serem difíceis de filtrar devido a formação de uma mistura que não separou fases após 24 horas em repouso.

Em relação aos testes de adsorção realizados, notou-se que para as tonalidades de corante azul e amarelo as concentrações após contato com o adsorvente foram superiores as iniciais, inviabilizando-os para dar continuidade nos testes. A isoterma construída para o corante vermelho apresentou um comportamento desfavorável, indicando uma pequena quantidade de adsorvato retida por unidade de massa do adsorvente. Conclui-se que a interação do biocarvão ativado com o corante ocorre predominantemente por adsorção física. A cinética obtida demonstrou que o processo de adsorção e dessorção é muito rápido, comprovando a interação fraca entre o adsorvente e o adsorvato (adsorção física). A coluna de adsorção construída permitiu a construção da curva de ruptura, no entanto o ponto de saturação do material não foi atingido, indicando a eficiência do material para

baixas concentrações.

## REFERÊNCIAS

ABIC. O café brasileiro na atualidade. **Associação Brasileira da Indústria de Café**, 2021. Disponível em: <<https://www.abic.com.br/>>. Acesso em: 14 mar. 2021.

BITTENCOURT, C.; PAULA, M. A. S. **Tratamento de água e efluentes**: fundamentos de saneamento ambiental e gestão de recursos hídricos. 1ª. ed. São Paulo: Érica, 2014.

DE COSTA, P. D.; FURMANSKI, L. M.; DOMINGUINI, L. Produção, Caracterização e Aplicação de Carvão Ativado de Casca de Nozes para Adsorção de Azul de Metileno, 2015.

FORTINO, P. **Pós-Tratamento de Efluente Têxtil Usando Coagulação/Floculação Combinado com Processos de Separação Por Membranas**. Porto Alegre: [s.n.], 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA. Pesquisas do INT trazem alternativas para obtenção e aplicações do carvão ativado a partir de matérias-primas residuais. **Inovativa**, v. Ano 4, n. nº 18, p. 2-5, fevereiro 2017.

MATOS, S. P. **Operações unitárias**: fundamentos, transformações e aplicações dos fenômenos físicos e químicos. 1ª. ed. São Paulo: Érica, 2015.

OLIVEIRA, G. F. **Produção de Carvão Ativado a partir do Peciolo do Babaçu**, Dourados, 2016.

OLIVEIRA, L. C.; PEREIRA, E. **Preparação de carvão ativado em baixas temperaturas de carbonização a partir de rejeitos de café: utilização de FeCl<sub>3</sub>**, 2008.

QUEIROZ et al. Reestruturação na forma do tratamento de efluentes têxteis: uma proposta embasada em fundamentos teóricos., São Carlos, 2019.

SANTOS, G. B. et al. Produção de carvão ativado a partir da casca de café, 2015.

SILVA, J. P. **Caracterização da casca de café (coffea arábica, L) in natura, e de seus produtos obtidos pelo processo de pirólise em reator mecanicamente agitado**. Campinas. 2012.

YANG, H. et al. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. **Fuel**, v. 86, p. 1781 - 1788, 2007.

ZANONI, V. B.; GUARATINI, C. C. I. **Corantes Têxteis**, 1999.





# **Engenharia Moderna:** Soluções para Problemas da Sociedade e da Indústria 3

🌐 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
✉ [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)  
📷 @atenaeditora  
📘 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

**Atena**  
Editora  
Ano 2022



# **Engenharia Moderna:** Soluções para Problemas da Sociedade e da Indústria 3

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