



Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
(Organizador)

# Química:

Desvendando propriedades e  
comportamentos da matéria

 **Atena**  
Editora  
Ano 2021



Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
(Organizador)

# Química:

Desvendando propriedades e  
comportamentos da matéria

  
Atena  
Editora  
Ano 2021

**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

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 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-NãoDerivativos 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 Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

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 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  
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

## Química: desvendando propriedades e comportamentos da matéria

**Diagramação:** Camila Alves de Cremona  
**Correção:** Gabriel Motomu Teshima  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Q6 Química: desvendando propriedades e comportamentos da matéria / Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-635-2

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.352211211>

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

CDD 540

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](mailto: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

O e-book: “Química: Desvendando propriedades e comportamentos da matéria” é constituído por nove capítulos de livro que foram organizados em função da temática avaliada.

Os capítulos I e II apresentam a importância de se analisar as propriedades terapêuticas e os efeitos biológicos adversos provenientes das espécies Jatobá-da-mata (*Hymenaea courbaril*) e a Camomila-Vulgar (*Matricaria recutita*) que são bastante utilizadas na medicina popular e na formulação de fármacos. A primeira possui propriedades anti-inflamatória e antifúngica e uso em caso de doenças respiratórias. Já a segunda, é utilizada na formulação de cosméticos, aromatizantes e propriedades terapêuticas: tratamento da insônia, ansiedade, dispepsia e perturbações estomacais.

O capítulo III apresenta a excelente iniciativa por parte de professores e alunos do IFMT *campus* avançado de Sinop, que relataram os detalhes da iniciativa de produzir quase 4100 L de sabonete líquido destinado a atender a demanda de Centro de Referência de Assistência Social (CRAS), setores e serviços públicos, grupos comunitários e a comunidade interna do IFMT.

Os capítulos de IV a VI procuraram avaliar a eficiência de remoção de poluentes presentes em diferentes matrizes ambientais, respectivamente, a eficiência da enzima *Lacase* na captação e oxidação de corantes em efluentes têxteis, nanopartículas de ferro com extrato orgânico de *Azadirachta indica* para adsorção de mercúrio em águas e aplicação de catalisadores do tipo Perovskita para conversão de poluentes atmosféricos. Os resultados apresentados foram bastante promissores e demandam continuidade das pesquisas com o intuito de ser aplicado em larga escala.

O capítulo VII avaliou a síntese e caracterização de nano compósito magnético funcionalizado com óxido de zinco na superfície pelo método solvotermal assistido por micro-ondas (SAM), que apresentaram resultados promissores para tecnologia em estudos de ótica, catálise e piezoelectricidade. Já o capítulo VIII procurou avaliar os biomarcadores como processos biológicos que podem ocorrer de forma saudável e de forma patogena, podendo desencadear efeitos adversos, entre os quais: obesidade, pré-diabetes e diabetes *mellitus*; indicar e associar doenças como esquizofrenia, asma, Alzheimer, fibrose cística e diversos tipos de cânceres a produção de alguns gases poluentes e presentes na atmosfera. Por fim, o capítulo IX investigou as possíveis causas de derramamento de petróleo em plataformas localizadas no Golfo do México, apontando as possíveis causas que promovem o derramamento e os efeitos adversos a fauna e até mesmo a saúde humana de quem pode vir a ficar exposto a locais de derramamento.

Nesta perspectiva, a Atena Editora vem trabalhando com o intuito de estimular e incentivar os pesquisadores brasileiros e de outros países a publicarem seus trabalhos



com garantia de qualidade e excelência em forma de livros e capítulos de livros que são disponibilizados no site da Editora e em outras plataformas digitais com acesso gratuito. A associação destes e outros fatores fazem desta Editora, a maior do Brasil em relação à publicação de livros e capítulos de livros resultantes de trabalhos técnicos - científico em todas as áreas do conhecimento.


Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

*Hymenaea courbaril*: ANÁLISE DE PROPRIEDADES TERAPÊUTICAS E EFEITOS BIOLÓGICOS DESCRITOS NA LITERATURA


Lidiany Damacena Cruvinel  
Guilherme Costa Silva  
Histeffany de Souza Arantes Dias  
Camila Regina do Vale

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3522112111>

### **CAPÍTULO 2..... 6**

*Matricaria recutita*: ANÁLISE DE PROPRIEDADES TERAPÊUTICAS E EFEITOS BIOLÓGICOS DESCRITOS NA LITERATURA


Guilherme Costa Silva  
Lidiany Damacena Cruvinel  
Juliano Kenzo Watanabe Santana  
Camila Regina do Vale

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3522112112>

### **CAPÍTULO 3..... 11**

O ESSENCIAL: O SABONETE QUE LAVA, HIGIENIZA E PROTEGE


Gilma Silva Chitarra  
Fernanda Assis de Oliveira Nascimento  
Hélio Coelho de Ornellas  
Emerson Rodrigo Coletto  
Tony Vicente de Oliveira  
Senilde Solange Catelan  
Cristiane Silva Chitarra  
Bruno Rafael da Silva  
Renata Luiza de Castilho Rossoni  
Geise Ferreira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3522112113>

### **CAPÍTULO 4..... 21**

IMOBILIZAÇÃO DE ENZIMA LACASE E SUA EFICIÊNCIA NA OXIDAÇÃO E CAPTAÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS

Verônica Távilla Ferreira Silva  
Pedro Nascimento  
Alex Fernando de Almeida  
Ezequiel Marcelino da Silva


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3522112114>

### **CAPÍTULO 5..... 35**

SÍNTESES DE NANOPARTÍCULAS DE HIERRO (FeNPs) CON EXTRACTO ORGÁNICO DE *Azadirachta indica* (NEEM) PARA LA ADSORCIÓN DEL MERCURIO EN EL AGUA

Marcel Oswaldo Méndez Mantuano  
Gregorio Humberto Vásquez Montúfar


Ida Ivete Campi Mayorga  
Bayardo David Caicedo González

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3522112115>

**CAPÍTULO 6..... 61**

**ESTUDO DE CATALISADORES TIPO PEROVSKITA VISANDO A CONVERSÃO DE POLUENTES**


Júlia Alanne Silvino dos Santos  
Symone Leandro de Castro  
Davidson Nunes de Oliveira  
Filipe Martel de Magalhães Borges

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3522112116>

**CAPÍTULO 7..... 74**

**SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE NANO COMPÓSITO SUPERPARAMAGNÉTICO FUNCIONALIZADO COM WURTZITA POR MÉTODO SOLVOTERMA ASSISTIDO POR MICRO-ONDAS**


Felipe Abreu da Silva  
Marcelo Pereira da Rosa  
Sergio da Silva Cava  
Paulo Henrique Beck

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3522112117>

**CAPÍTULO 8..... 82**

**POTENCIALIDADE DA TÉCNICA FOTOACÚSTICA PARA A DETECÇÃO DE BIOMARCADORES RESPIRATÓRIOS**


Liana Genuncio Silva  
Arthur George Tissi Batista  
Rosana dos Santos Pereira  
Leonardo Mota  
Marcelo Silva Sthel  
Marcelo Gomes da Silva  
Maria Priscila Pessanha de Castro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3522112118>

**CAPÍTULO 9..... 98**

**CAUSAS DE DERRAMES PETROLEROS EN PLATAFORMAS SEMISUMERGIBLES EN EL GOLFO DE MEXICO**

María Patricia Torres Magaña  
Miguel Guardado Zavala  
Ana Laura Fernández Mena  
María Rivera Rodríguez  
Karina González Izquierdo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3522112119>

**SOBRE O ORGANIZADOR..... 106**

**ÍNDICE REMISSIVO ..... 107**

## IMOBILIZAÇÃO DE ENZIMA LACASE E SUA EFICIÊNCIA NA OXIDAÇÃO E CAPTAÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS

Data de aceite: 01/11/2021

Data de submissão: 04/08/2021

### Verônica Távilla Ferreira Silva

Universidade de São Paulo  
Lorena – São Paulo

### Pedro Nascimento

Universidade de São Paulo  
Lorena – São Paulo

### Alex Fernando de Almeida

Universidade Federal do Tocantins  
Gurupi – Tocantins

### Ezequiel Marcelino da Silva

Universidade Federal do Tocantins  
Gurupi – Tocantins

**RESUMO:** Lacases foram produzidas por *Pleurotus ostreatus* em Fermentação no Estado Sólido por 15 dias sobre casca de arroz suplementado com farelo de soja. Extrato bruto de lacases foi imobilizada por ligação covalente em alginato de cobre com epicloridrina e retenção da atividade de lacase ficou em 38,4%. Oxidação de verde Malaquita e Azure B foi ensaiada por lacase imobilizada com mediador ABTS. Verde Malaquita e Azure B mostraram diferentes comportamentos dentro da oxidação, ocorrendo absorção alta de Azure B sobre a enzima imobilizada em esferas de alginato de cobre e enquanto a oxidação de verde Malaquita foram observadas. Sistema redox ABTS-enzima alcançou 92% de oxidação de verde Malaquita

depois de 12h. Processo em aumento de escala em reator tipo cesto mostrou eficiente processo de oxidação de verde Malaquita em 90% dentro do sistema redox ABTS-enzima em batelada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lacase. Biorremediação. Azure B. verde Malaquita. *Pleurotus ostreatus*.

### IMMOBILIZATION OF LACCASE ENZYME AND ITS EFFICIENCY IN THE OXIDATION AND UPTAKE OF TEXTILE DYE

**ABSTRACT:** Laccases were produced by *Pleurotus ostreatus* in Solid State Fermentation for 15 days on rice husk supplemented whit soybean bran. Crude extract of laccases was immobilized by covalent bond in cuprum alginate with epichlorohydrine and 38.4% of laccase activity retention was attained. Oxidation of Malachite green and Azure B were assayed by immobilized laccase with mediator ABTS. Malachite green and Azure B showed different behaviors within the oxidation, high adsorption of Azure B on immobilized enzyme in beads of cuprum alginate and Malachite green oxidation were observed. ABTS-enzyme redox system attained 92% Malachite green oxidation after 12 h. Scale up process in basket bioreactor showed efficient Malachite green oxidation in 90% after 96 h into ABTS-enzyme redox batch system.

**KEYWORDS:** Laccase. Bioremediation. Azure B. Malachite green. *Pleurotus ostreatus*.

## 1 | INTRODUÇÃO

Indústrias têxteis dependem de corantes e seus efluentes, incluindo íons metálicos

pesados que são carcinogênicos, causam impactos ambientais severos, principalmente para o ecossistema aquático (BAZIN et al., 2012; CHOUDHURY, 2017). Este impacto conduz a várias investigações para reduzir os efeitos severos e muitas técnicas têm sido avaliadas em suas eficiências no processo de degradação. Processo por adsorção de corantes e metais tem sido empregado com Azure B e Black Reativo 5 e foi avaliado com carbono ativado, assim como azul de metileno e verde Malaquita com serragem de madeira (WONG et al., 2017; RANGABHASHIYAM et al., 2018). Alta velocidade de absorção foi obtida com verde Malaquita usando serragem de madeira, alcançando 90% de absorção.

O sistema usando processos oxidativos de compostos xenobióticos e recalcitrantes pode ser alcançado com o uso de enzimas oxidativas. Lacase (EC 1.10.3.2) é uma enzima e tem demonstrado ser versátil neste propósito. Lacases de *Trametes sp.* LAC-01 e de *Cerrena unicolor* GSM-01 foram avaliadas na presença de ABTS como mediador da enzima na descoloração de azul de Bromotimol e verde Malaquita (LING et al., 2015; WANG et al., 2017).

Processos industriais com enzimas imobilizadas têm apresentado eficiência com o reuso sem a perda de suas atividades. Métodos de imobilização e condições de processos têm sido avaliados por muitos pesquisadores (CHAMPAGNE, RAMSAY, 2010). As descolorações de corantes como Azul Brilhante de Rimazol R, Triclosan, Azul Ácido 74, Black Reativo 5 foram avaliados com lacases imobilizadas de *Trametes versicolor* (LE et al., 2016; CHAMPAGNE, RAMSAY, 2010; OSMA et al., 2010).

A produção e purificação de enzimas é ainda um processo industrial de alto custo. Entretanto, o uso de resíduos agroindustriais como substrato para fermentação em estado sólido (FES) rende alta produção de enzimas. Em adição, a eliminação do processo “*downstream*” para sistemas que não dependem de enzimas purificadas pode ser uma excelente alternativa em redução de custos. Brasil é um dos maiores produtores agrícolas e fornece uma grande quantidade de biomassa de plantas, tais como bagaço de cana-de-açúcar, palhas e cascas de cereais, farelos de grãos que se encontram disponíveis para este propósito (CANILHA et al., 2012; NEETHU et al., 2015; PANESAR et al., 2016).

Portanto, na presente pesquisa, extrato bruto contendo lacase produzida por *Pleurotus ostreatus* em casca de arroz suplementada com farelo de soja foi imobilizada em esferas de alginato de cobre usando epicloridrina como braço espaçador. Então, testes de descoloração de Azure B e Verde Malaquita foram realizados em pequena e grande escala.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

Alginato de sódio, sulfato de cobre, epicloridrina, Azure B, Verde Malaquita e ABTS adquiridos na Sigma-Aldrich.

## 2.2 Microrganismo

O fungo *Pleurotos ostreatus* foi obtido da coleção de cultura da Universidade Federal do Paraná – Brasil. O microrganismo foi cultivado a 30°C em BDA 2% (batata-dextrose-aguar) por 7 dias, estocado a 4°C e repicado a cada 90 dias.

## 2.3 Substrato sólido

Para o cultivo de *P. ostreatus* foi utilizado casca de arroz (CA) obtida em uma usina de beneficiamento de arroz localizada na cidade de Canas-SP. A CA foi imersa em água por 12h e em seguida filtrada em peneira. Secou-se a CA em estufa a 60 °C até a redução da umidade para 60 a 70%. Posteriormente utilizou-se farelo de soja (FS) cedido por um comerciante local da cidade de Lorena-SP para suplementar a CA na proporção de 90:10 (CA:FS). A umidade do substrato foi ajustada para 65% com água destilada. Distribui-se 350 g do substrato em sacos de polipropileno de 15 x 25 cm. Introduziu-se um tubo centrífuga de 15 mL no centro de cada saco para criar o canal de inoculação. Os sacos foram vedados com o auxílio de um anel de PVC, folha de papel manteiga, sobreposta com folha de papel alumínio de mesma dimensão e fechado com elástico de látex. Posteriormente, os sacos foram esterilizados por 1h a 120° C (duas vezes com intervalo de 24h). Após resfriamento dos sacos, em ambiente estéril, retirou-se o tubo de centrífuga e inoculou-se 10 discos-ágar ( $\varnothing = 7$  mm) do fungo crescido em placa de Petri. Os sacos, novamente vedados, foram incubados a 30°C por 8, 15 e 20 dias.

## 2.4 Extração da enzima

Com 8, 15 e 20 dias de cultivo, realizou-se a extração enzimática. Foram utilizados frascos Erlenmeyers de 250 mL contendo 20 g de massa seca do substrato cultivado e homogeneizado acrescido de 150 mL de tampão citrato-fosfato pH 3,0 a 50 mM. Os frascos foram fechados com folha de papel alumínio e incubados em shaker sob agitação de 120 rpm a 25°C por 1 hora. Ao término do processo, o extrato foi separado do substrato por filtração em gaze. O extrato bruto foi posteriormente centrifugado a 3000 rpm, 25°C por 10 min. Parte do sobrenadante foi congelado e a outra fração foi concentrada de 300 mL para 160 mL por liofilização durante 14 h. Por fim, os extratos brutos não concentrado e concentrado foram mantidos sob refrigeração a 4°C.

## 2.5 Preparo do suporte

O suporte de imobilização da enzima lacase foi preparado a partir de uma solução de 1,25% (m/v) de alginato de sódio em água destilada, utilizando agitador magnético para completa solubilização. A solução de alginato foi deixada em repouso por 20 min e então gotejada manualmente com seringa sobre uma solução de sulfato de cobre (0,2 M) sob baixa agitação. Utilizou-se uma agulha de 0,45 mm de diâmetro por 13 mm de comprimento (26G1/2"). Ao término do gotejamento, o sistema foi mantido em repouso por 30 min

para o enrijecimento das esferas. As esferas formadas foram separadas da solução de  $\text{CuSO}_4$  por filtração em papel de filtro e lavadas com água destilada. Posteriormente foram armazenadas a 4°C em tampão citrato-fosfato pH 3,0 a 50 mM (THAKUR et al., 2015).

## 2.6 Imobilização por aprisionamento

Para a imobilização por aprisionamento foi repetido o processo do item 2.5. No entanto, antes do gotejamento foi adicionado à solução de alginato de sódio o extrato bruto da enzima. As esferas foram submetidas à análise de atividade enzimática (item 2.9) e determinação do rendimento de imobilização (item 2.10). Estas análises foram repetidas para os próximos procedimentos de imobilização.

## 2.7 Imobilização por adsorção

Para a imobilização por adsorção as esferas preparadas de acordo com o item 2.5 foram lavadas. Retirou-se o excesso de água com papel absorvente. Posteriormente as esferas foram imersas no extrato bruto enzimático por 12 h sob refrigeração (4°C).

## 2.8 Imobilização por ligação covalente

As esferas utilizadas na imobilização covalente foram preparadas conforme o item 2.5. Posteriormente tratou-se as esferas com epicloridrina (ECH). A solução de ECH foi preparada a 1,5% (v/v) por diluição em água destilada. Em capela de exaustão imergiu-se as esferas na solução de epicloridrina, na proporção 1:10 (m/v) por 1 h. Posteriormente, as esferas ativadas foram lavadas três vezes com água destilada e armazenadas em tampão citrato fosfato 50 mM (pH 3,0) sob refrigeração a 4°C. Para a imobilização, removeu-se o excesso de tampão das esferas com papel absorvente, em seguida estas foram imersas no extrato concentrado sob refrigeração por 12 h.

## 2.9 Determinação da atividade enzimática da lacase livre e imobilizada

O ABTS (ácido-2,2'-azinobis-3-benzotiazolina-sulfônico) foi utilizado para determinar a atividade da enzima lacase livre e imobilizada. Para a enzima livre, a mistura reacional consistiu-se de 400  $\mu\text{L}$  de tampão citrato fosfato 50 mM (pH 3,0), 100  $\mu\text{L}$  de ABTS ( $\epsilon_{420} = 36.000 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ ) 1,0 mM e 500  $\mu\text{L}$  de extrato enzimático bruto (NIKU-PAAVOLA et al., 1988).

Os ensaios com a enzima imobilizada no suporte foram realizados em béquer contendo 9 mL de tampão citrato fosfato 50 mM (pH 3,0), 1 mL de ABTS 1,0 mM e 1,03 g de massa das esferas de alginato de cobre com a enzima imobilizada. A reação foi conduzida sob agitação suave durante 30 min, com coleta das amostras a cada 1 minuto para leitura espectrofotométrica. Em ambos os testes, a oxidação do ABTS foi acompanhada em espectrofotômetro a 420 nm. Todos os ensaios enzimáticos foram realizados a 25 °C. Definiu-se uma unidade (UI) como a oxidação de 1  $\mu\text{mol}$  de ABTS por min. A atividade da enzima imobilizada foi definida como UI por grama de suporte (UI/g).

## 2.10 Determinação do rendimento de imobilização

O rendimento de imobilização foi calculado a partir da relação entre a atividade enzimática do extrato bruto concentrado e a atividade enzimática deste após 14 h de imersão das esferas de alginato de cobre (Eq. A.1).

$$\eta (\%) = [(U_o - U_f) / U_o] * 100 \quad \text{Eq. (A.1)}$$

Onde:

$\eta$  (%) = rendimento de imobilização

$U_o$  = Atividade enzimática do extrato antes da imobilização

$U_f$  = Atividade enzimática do extrato após imobilização

## 2.11 Descoloração de corantes

Os ensaios de descoloração foram realizados em frascos Erlenmeyer de 125 mL tampados com folha de alumínio contendo 10 mL de solução de corante e 1,03 g das esferas de alginato de cobre. As esferas foram previamente pesadas em tubos de ensaio e conservadas em 1,5 mL de tampão citrato fosfato 50 mM (pH3,0). O excesso de tampão das esferas foi removido com papel absorvente antes de cada teste. Realizou-se os ensaios de descoloração com os corantes na concentração de 10 e 15 mg/L em água destilada, para o Azure B e o Verde Malaquita, respectivamente. O processo de descoloração foi conduzido a 25°C sob agitação de 50 rpm por 12 h. Foi realizada leitura espectrofotométrica em cubeta de acrílico a cada 2 h e o volume analisado foi devolvido. Utilizou-se água destilada como branco das amostras. Para análise da influência do mediador ABTS na descoloração, foram preparadas soluções de corantes contendo 9,9  $\mu\text{M}$  e 14,8  $\mu\text{M}$  de ABTS.

Na descoloração de ambos os corantes foram testados dois controles: esferas de alginato de cobre sem tratamento com ECH (Branco para Azure B (BA) e Branco para Verde Malaquita (BV)) e esferas de alginato de cobre tratadas com ECH (Branco com ECH para Azure B (BEA) e para verde Malaquita (BEV)). Para os ensaios, foram preparadas amostras usando a enzima imobilizada (EI.A/EI.V), enzima imobilizada com 9,9  $\mu\text{M}$  de ABTS (Enzima imobilizada com mediador 1 (EIM1.A/EIM1.V)) e enzima imobilizada com 14,8  $\mu\text{M}$  de ABTS (Enzima imobilizada com mediador 2 (EIM2.A/EIM2.V)).

Para análise do processo de descoloração foi determinado o comprimento de onda de máxima absorbância de cada corante pela varredura do espectro UV-VIS de 300 a 700 nm. Obteve-se os valores máximos em 620 nm para o Verde Malaquita e 650 nm para o Azure B, sendo estes valores utilizados para a determinação da concentração dos corantes durante a descoloração.

Ao final dos ensaios, as esferas foram coletadas e lavadas com água destilada. Foi realizada nova atividade enzimática para determinação da atividade residual das enzimas imobilizadas.



## 2.12 Porcentagem de descoloração

Determinou-se a porcentagem de descoloração dos corantes utilizando a equação (Eq. A.2)

$$D (\%) = [(A_0 - A_t) / A_0] * 100 \quad \text{Eq. (A.2)}$$

Onde:

D (%) = Porcentagem de descoloração

$A_0$  = Absorbância do corante no tempo zero

$A_t$  = Absorbância lida nos tempos de ensaio

## 2.13 Descoloração em reator tipo cesto

Reator tipo cesto encamisado com volume de 2 L foi utilizado para o ensaio de descoloração. Utilizou-se 1 L de solução do corante Verde Malaquita (45 mg/L), 24 g de enzima imobilizada covalentemente (aprisionadas em cesto) e 15 mL de ABTS (1,0 mM). Após 24 h de reação, adicionou-se mais 15 mL de ABTS 1,0 mM. O processo foi conduzido a 25°C sob agitação magnética. Foram realizadas leituras da absorbância a cada 2 h durante as primeiras 24 h, e depois a cada 24 h, concluindo o ensaio em 96 h. Assim como nos ensaios em menor escala, o volume analisado foi devolvido para o reator após leitura espectrofotométrica.

## 2.14 Análise estatística

Foi aplicada a Análise de Variância (ANOVA) mediante o uso do software estatístico R v3.4.4. Por meio do procedimento de Tukey, identificou-se dois grupos homogêneos, posteriormente foi feita uma comparação de médias para determinar quais testes eram diferentes entre si. Valores de  $p < 0.05$  foram considerados estatisticamente significativos.

## 2.15 Modelagem do experimento

Após a identificação dos grupos homogêneos, selecionou-se o teste que possuía a maior eficiência de descoloração. Foi analisada a interação das variáveis tempo e absorbância após as 12 h de ensaio mediante o uso do software estatístico Statgraphics Centurion XVI.II. Foi considerado um modelo linear com ajuste de logaritmo natural.

# 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 3.1 Produção enzimática

A utilização de subprodutos agroindustriais, além de ser sustentável, possibilita a redução dos custos com matéria prima. Conseqüentemente, o presente trabalho buscou avaliar o uso da casca de arroz suplementada com farelo de soja como substrato para a produção da enzima lacase pelo o fungo *P. ostreatus*. O tempo de cultivo analisado foi de 8 a 20 dias. Em 15 dias de cultivo foi alcançada a maior atividade enzimática de  $3,1 \pm 0,3$

UI/g. Tempos mais curtos ou mais longos de cultivo resultaram em menores atividades de  $2,0 \pm 0,1$  UI/g e  $2,8 \pm 0,2$  UI/g aos 8 e 20 dias, respectivamente. Das et al. (2016) reportaram que a lacase produzida pelo fungo *P. ostreatus* MTCC 142 alcançou atividade de  $0,35 \pm 0,02$  UI/g utilizando como substrato palha de arroz e casca de milho na proporção 1:1. Estes autores reportam que pode ocorrer variações na produção da enzima dependendo do substrato e suplementação utilizados. Além disso, Bettin et al. (2009) reportam que fontes de nitrogênio são indutores na produção da enzima lacase.

### 3.2 Escolha do suporte

Como já relatado por Teerapatsakul et al. (2008), o uso de agentes *cross-linking* como  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{CuSO}_4$  e  $\text{AlCl}_3$  aumentam a estabilidade da enzima. Além disso, Palmieri et al. (1994) reportaram que no caso da lacase, por ser uma cuproproteína, o uso do sulfato de cobre atua tanto na estabilização da enzima devido aos íons cobre, quanto na solidificação do suporte. Deste modo, o presente trabalho optou pelo uso de  $\text{CuSO}_4$  como agente solidificador do alginato, as esferas produzidas possuíram 3 mm de diâmetro e apresentaram um formato regular e aspecto rugoso.

### 3.3 Técnicas de imobilização para a Lacase

Foi avaliada a técnica de imobilização por aprisionamento, porém a enzima imobilizada não apresentou atividade. Teerapatsakul et al. (2008) utilizando metodologia similar em um processo automatizado obteve êxito na imobilização da enzima lacase ativa. O longo período requerido para a imobilização manual no presente trabalho pode ter levado a desnaturação da enzima.

Podemos observar as diferenças entre duas técnicas de imobilização: Adsorção física e Ligação covalente (Tabela 1). A imobilização por adsorção apresentou alto rendimento de imobilização e atividade de 31,63 UI/g. No entanto, mesmo após a retirada do suporte, o ABTS do meio reacional de teste continuou sendo oxidado. Este fato indica que a enzima foi lixiviada do suporte para o meio. No trabalho de imobilização da lacase em alginato de cobre, Palmieri et al. (1994) não observaram a oxidação do substrato após retirada das esferas. A ideia da imobilização é a recuperação das enzimas para sua utilização em uma nova reação, no entanto se o desprendimento enzimático é alto no primeiro uso, grande parte das enzimas não será recuperada.

Técnica de imobilização	Extrato enzimático bruto	Atividade de lacase imobilizada (UI/g)*	Desprendimento da enzima do suporte	Rendimento da imobilização (%)
Adsorção física	Não liofilizado	31,63	Alto	73,06
Ligação covalente (ECH)	Liofilizado	52,91	Baixo	38,24

Tabela 1. Comparação entre duas técnicas de imobilização da enzima lacase utilizando como suporte alginato de cobre 1,25% (m/v).

Optou-se por testar a imobilização por ligação covalente utilizando ECH como funcionalizador do suporte. Segundo Nishad et al. (2017), quanto maior a concentração de epicloridrina utilizada na funcionalização do suporte, mais grupos epóxidos serão adicionados a superfície das esferas e maior será o rendimento da imobilização. Na pesquisa de Bayramoglu et al. (2010) utilizaram concentração de 2% de ECH para imobilizar a enzima lacase em esferas de quitosana. No entanto, Iype et al. (2017) afirmam que a epicloridrina pode afetar a atividade enzimática. Dessa forma, o presente trabalho optou por utilizar a concentração de 1,5%. O rendimento de imobilização foi menor em relação a técnica de adsorção física. No entanto, o desprendimento de lacase foi baixo. Portanto, a técnica de imobilização por ligação covalente foi utilizada nas próximas etapas deste trabalho.

Foram realizados três testes de atividade enzimática consecutivos para avaliar a viabilidade de reutilização do suporte. Após cada ensaio, as esferas foram lavadas com água destilada e depois utilizadas no teste seguinte. Os valores obtidos para os ensaios foram 41,8, 25,2 e 21,1 UI/g, respectivamente. Observa-se uma redução de 40% entre os ensaios, na repetição, 1 e 2 na avaliação de reutilização das esferas de alginato de cobre recoberta com ECH imobilizadas com lacase de *P. ostreatus*. No entanto, entre o ensaio 2 e 3 esta diferença foi de 16%.

### 3.4 Teste de descoloração de 12 h

A utilização do suporte de alginato de cobre sem a presença de enzima, a descoloração máxima atingida para o verde Malaquita foi de 23% alcançada em apenas 2 h e após este tempo, o valor se manteve constante (Figura 1). O suporte funcionalizado com epicloridrina apresentou o mesmo comportamento, mas atingiu 40% de descoloração. A utilização da enzima imobilizada levou a uma descoloração de apenas 29%, também em 2 h, se mantendo constante até o fim da análise. Na presença do mediador ABTS em duas diferentes concentrações (9,9  $\mu\text{M}$  e 14,8  $\mu\text{M}$ ) foi observado um aumento significativo na descoloração, chegando a 92% para ambos. Assim, verifica-se que a enzima imobilizada na presença de ABTS (9,9  $\mu\text{M}$ ) foi responsável pela descoloração de 52% do verde

Malaquita, sendo observado 40% de adsorção no suporte. Das et al. (2016) obtiveram uma descoloração de 37% do corante Vermelho Congo ao utilizar lacase (produzida por *P. ostreatus*) de forma livre. Ling et al. (2015) alcançaram uma descoloração do verde Malaquita de 70% em 12 h utilizando a lacase também de forma livre (produzida por *Trametes sanguinea*). Teerapatsakul et al. (2017) constataram descoloração máxima de 82% para verde Malaquita de 100% para o corante Índigo Carmine utilizando lacase (produzida por *Ganoderma* sp.) imobilizada em alginato de cobre.

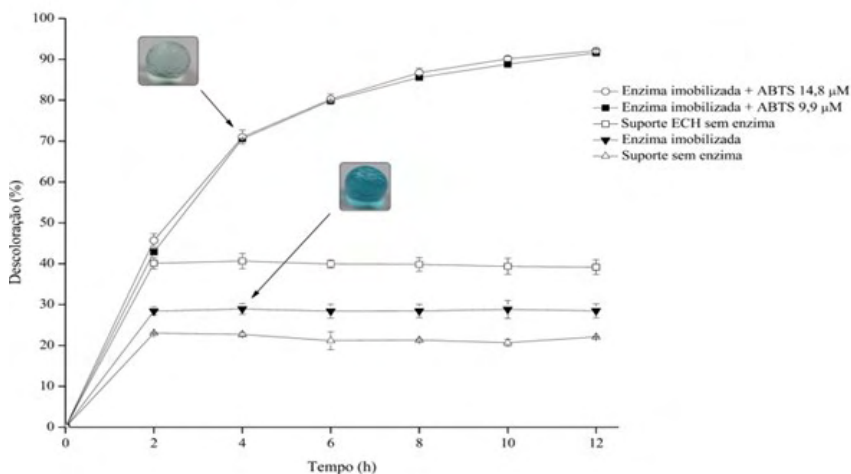


Figura 1. Descoloração do corante Verde Malaquita (45 mg/L) em 12 h

No entanto, ao contrário do que se observou neste trabalho, pesquisadores relatam que não houve adsorção significativa do corante nas esferas. Para o corante Azure B obteve-se a maior descoloração de 80% para a esfera tratada com ECH sem enzimas. A enzima imobilizada apresentou uma descoloração similar de 79%. Na presença do mediador ABTS, a descoloração foi ligeiramente reduzida pra 76%. Após 4 h de ensaio a descoloração permaneceu praticamente constante para todos os ensaios sem a presença de ABTS. Ling et al. (2015) utilizaram lacase de forma livre e constataram 0% de descoloração do Azure B em 4h. No tempo de 24h foram alcançadas descoloração de 8%. Segundo Claus et al. (2002), maior parte das lacases, mesmo estando ativas, não degradam o Azure B devido a estrutura deste corante. Arantes e Milagres (2007) também reportaram a ineficiência da lacase na descoloração do Azure B. Porém, quando realizaram um tratamento com outras enzimas na presença de  $\text{Fe}^{+3}$  e  $\text{H}_2\text{O}_2$  seguido pelo uso da lacase, esta degradou 40% do corante. Deste modo, observa-se que lacases produzidas por diferentes tipos de fungos não são eficientes na descoloração do Azure B quando utilizadas de forma isolada.

Enzima mais provável na degradação oxidativa de Azure B é lignina peroxidase produzida por *Phanerochaete chrysosporium* em meio de cultivo sintético em condições

limitadas de nitrogênio (ARCHIBALD, 1992). Pesquisa realizada por Silva et al. (2008) verificou que extrato de cultivo de fungo em substrato de madeira não é capaz de oxidar Azure B e nem mesmo álcool veratrílico. Provavelmente deve existir uma inibição enzimática ou a enzima não é produzida nessa condição de cultivo. O alto teor de íons potássio, cálcio, ferro e manganês presentes no resíduo de eucalipto e dos farelos de cereais podem ter causado essa inibição (SILVA et al., 2008).

Análise estatística do processo foi realizada utilizando diagrama de caixas. As médias da absorvância dos testes EIM1.V e EIM2.V (Enzima imobilizada + ABTS 9,9  $\mu\text{M}$  e Enzima imobilizada + ABTS 14,8  $\mu\text{M}$ , respectivamente) estão localizadas abaixo de 0,6. Além disso, 75% dos valores destes ensaios são menores que o valor mínimo dos testes BV, BEV e EI.V. As maiores eficiências de descoloração, obtidas nos testes EIM1.V e EIM2.V, podem ser explicadas devido a presença do mediador ABTS. Desta forma, ressalta-se a formação de dois grupos homogêneos, o primeiro grupo, constituído por BV, BEV e EI.V e o segundo por EIM1.V e EIM2.V. Neste ensaio a faixa média de ação do primeiro grupo foi 30%, enquanto do segundo foi 92%. Isto permite observar a velocidade de reação e a eficiência da descoloração do segundo grupo em relação ao primeiro. Balan et al. (2012) constatou que a presença do mediador HBT aumentou a descoloração do Verde Malaquita, obtendo um valor máximo de 96%. Desta forma, observa-se que o uso de mediadores como ABTS e HBT intensificam a capacidade da lacase em atacar os anéis aromáticos de compostos com alto potencial redox (SUN et al., 2016).

Para todos os testes com 24h de ensaio em Erlenmeyers observou-se intumescimento das esferas, algumas romperam-se e aumentaram a turbidez do meio, impossibilitando a análise da descoloração por medida de absorvância. Nishad et al. (2017) apontam o tratamento com epicloridrina como causa do intumescimento do suporte. Consequentemente foi realizada uma modelagem do processo para prever a descoloração após 12 h.

### 3.5 Modelagem do processo de descoloração

O modelo matemático com tendência linear ajustado com logaritmo natural, descreve o comportamento do teste EIM1.V (Enzima imobilizada + ABTS 9,9  $\mu\text{M}$ ) de acordo com as condições experimentais utilizadas e simula o possível comportamento após 12 h de ensaio (Figura 2). As linhas vermelhas indicam os limites superiores e inferiores com 95% de confiança. Este modelo desconsidera a turbidez que poderia ocorrer no processo devido à quebra das esferas, possibilitando observar a descoloração real do corante. Por conseguinte, o modelo prevê que em 36 h de ensaio o valor da absorvância seria menor que 0,01, o que corresponde a 99,9% de descoloração. Desta forma observa-se que este seria um processo eficiente.

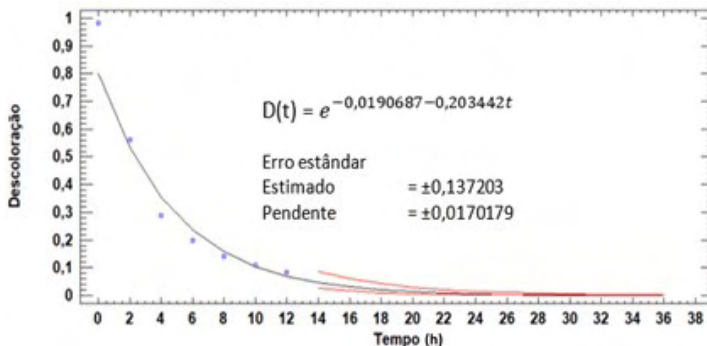


Figura 2. Modelo matemático com tendência linear ajustado com logaritmo natural para previsão do valor de absorbância após 12 h de ensaio.

### 3.6 Descoloração em reator tipo cesto

Devido aos resultados da projeção estatística decidiu-se aumentar a escala para um reator tipo cesto. Observou-se que a descoloração nas primeiras 8 h foi rápida, após este período a velocidade de descoloração foi reduzida (Figura 3). No entanto, no tempo de 24 h suplementou-se o volume com 15 mL de ABTS (1 mM), levando a um aumento na velocidade de descoloração. Em 96 h atingiu-se a descoloração máxima de 90%. Como as esferas estavam confinadas, o compartimento limitou a quantidade a ser utilizada. No entanto, este confinamento evitou a quebra e intumescimento das esferas, mesmo após 96 h de ensaio. Os resultados obtidos nesta etapa não alcançaram o valor estimado pelo modelo matemático. No entanto, como não houve quebra das esferas o processo foi mais eficiente em relação aos testes realizados em frascos Erlenmeyers.

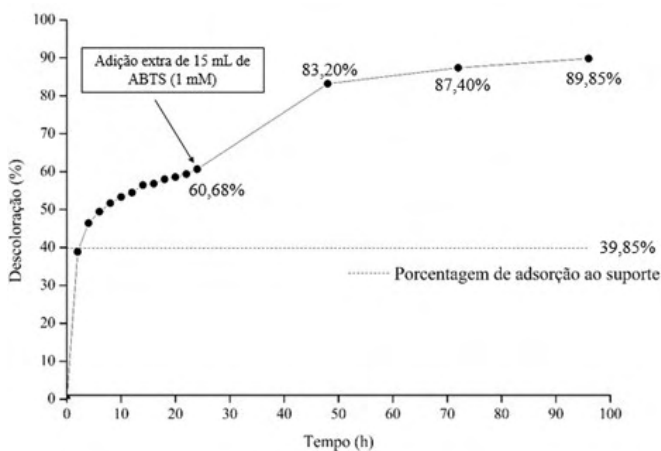


Figura 3. Ensaio de descoloração do corante Verde Malaquita (45 mg/L) em reator tipo cesto contendo a enzima imobilizada em esferas de alginato de cobre tratadas com ECH, com volume inicial de 15 mL de ABTS 1 mM. No tempo de 24 h foi feita nova adição de 15 mL de ABTS 1 mM.

## 4 | CONCLUSÕES

A produção da enzima lacase por *P. ostreatus* utilizando casca de arroz suplementada com farelo de soja como substrato mostrou-se viável. Já a imobilização da enzima lacase foi mais eficiente no suporte funcionalizado com epiclorigrina. Nos ensaios de descoloração, apenas o mecanismo redox enzima-mediador foi capaz de descolorir o corante Verde Malaquita, atingindo um valor máximo de 92%. No entanto, a descoloração do Azure B foi majoritariamente por adsorção física ao suporte. O teste realizado em reator proporcionou 90% de descoloração do Verde Malaquita, evidenciando assim a possibilidade de ampliação de escala no tratamento de corantes.

## REFERÊNCIAS

ARANTES, V., MILAGRES, A.M.F., 2007. **The synergistic action of ligninolytic enzymes (MnP and Laccase) and Fe<sup>3+</sup>-reducing activity from white-rot fungi for degradation of Azure B.** *Enzyme Microb. Technol.* 42, 17–22. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2007.07.017>

BALAN, K., SATHISHKUMAR, P., PALVANNAN, T., 2012. **Decolorization of malachite green by laccase: Optimization by response surface methodology.** *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* 43, 776–782. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2012.04.005>

ARCHIBALD, F. S. **A New assay for lignin-type peroxidases employing the dye azure B.** *Applied environmental microbiology*, v.58, p.3110-3116, 1992.

BAYRAYAMOGLU, G., YILMAZ, M., ARICA, M.Y., 2010. **Preparation and characterization of epoxy-functionalized magnetic chitosan beads: Laccase immobilized for degradation of reactive dyes.** *Bioprocess Biosyst. Eng.* 33, 439–448 <https://doi.org/10.1007/s00449-009-0345-6>

BAZINAZIN, I., IBN HADJ FASSINE, A., HAJ HAMOUDA, Y., MNIF, W., BARTEGI, A., LOPEZ-FEBER, M., DE WAARD, M., GONZALES, C., 2012. **Estrogenic and anti-estrogenic activity of 23 commercial textile dyes.** *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 85, 131–136. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2012.08.003>

BETTIN, F., MONTANARI, Q., CALLONI, R., GAIO, T.A., SILVEIRA, M.M., DILLON, A.J.P., 2009. **Production of laccases in submerged process by *Pleurotus sajor-caju* PS-2001 in relation to carbon and organic nitrogen sources, antifoams and Tween 80.** *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 36, 1–9. <https://doi.org/10.1007/s10295-008-0463-1>

CANILHLA, L., CHANDEL, A.K., SUZANE, T., ANTUNES, F.A.F., Freitas, W.L.C., FELIPE, M.G.A., Da Silva, S.S., 2012. **Bioconversion of sugarcane biomass into ethanol: An overview about composition, pretreatment methods, detoxification of hydrolysates, enzymatic saccharification, and ethanol fermentation.** *J. Biomed. Biotechnol.* 2012, 16. <https://doi.org/10.1155/2012/989572>

CHAMPAGNE, P.P., RAMSAY, J.A., 2010. **Dye decolorization and detoxification by laccase immobilized on porous glass beads.** *Bioresour. Technol.* 101, 2230–2235. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.11.066>

- CHOUDHURY, A.K.R., 2017. **Sustainable chemical technologies for textile production**, in: Subramanian Senthilkannan Muthu (Ed.), *The Textile Institute Book Series Sustainable Fibres and Textiles*. Elsevier Inc., pp. 267–322. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102041-8.00010-X>
- CLAUS, H., Faber, G., König, H., 2002. **Redox-mediated decolorization of synthetic dyes by fungal laccases**. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 59, 672–678. <https://doi.org/10.1007/s00253-002-1047-z>
- DAS, A., BHATTACHARYA, S., PANCHANAN, G., NAVYA, B.S., NAMBIAR, P., 2016. **Production, characterization and Congo red dye decolorizing efficiency of a laccase from *Pleurotus ostreatus* MTCC 142 cultivated on co-substrates of paddy straw and corn husk**. *J. Genet. Eng. Biotechnol.* 14, 281–288. <https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2016.09.007>
- HOSSAIN, L., SARKER, S.K., KHAN, M.S., 2018. **Evaluation of present and future wastewater impacts of textile dyeing industries in Bangladesh**. *Environ. Dev.* <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2018.03.005>
- IYPE, T., THOMAS, J., MOHAN, S., JOHNSON, K.K., GEORGE, L.E., AMBATTU, L.A., BHATI, A., AILSWORTH, K., MENON, B., RAYABANDLA, S.M., JESUDASAN, R.A., SANTHOSH, S., RAMCHAND, C.N., 2017. **A novel method for immobilization of proteins via entrapment of magnetic nanoparticles through epoxy cross-linking**. *Anal. Biochem.* 519, 42–50. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2016.12.007>
- LE, T.T., MURUGESAN, K., LEE, C.S., VU, C.H., CHANG, Y.S., JEON, J.R., 2016. **Degradation of synthetic pollutants in real wastewater using laccase encapsulated in core-shell magnetic copper alginate beads**. *Bioresour. Technol.* 216, 203–210. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.05.077>
- LING, Z.R., WANG, S.S., ZHU, M.J., NING, Y.J., WANG, S.N., LI, B., YANG, A.Z., ZHANG, G.Q., ZHAO, X.M., 2015. **An extracellular laccase with potent dye decolorizing ability from white rot fungus *Trametes* sp. LAC-01**. *Int. J. Biol. Macromol.* 81, 785–793. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.09.011>
- NEETHU, C.S., MUJEEB RAHIMAN, K.M., ROSMINE, E., SARAMMA, A. V., MOHAMED HATHA, A.A., 2015. **Utilization of agro-industrial wastes for the production of lipase from *Stenotrophomonas maltophilia* isolated from Arctic and optimization of physical parameters**. *Biocatal. Agric. Biotechnol.* 4, 703–709. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2015.09.002>
- NIKU-PAAVOLA, M.L., KARHUNEN, E., SALOLA, P., RAUNIO, V., 1988. **Ligninolytic enzymes of the white-rot fungus *Phlebia radiata***. *Biochem. J.* 254, 877–883. <https://doi.org/10.1042/bj2540877>
- NISHAD, P.A., BHASKARAPILLAI, A., VELMURUGAN, S., 2017. **Enhancing the antimony sorption properties of nano titania-chitosan beads using epichlorohydrin as the crosslinker**. *J. Hazard. Mater.* 334, 160–167. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.04.009>
- OSMA, J.F., TOCA-HERRERA, J.L., RODRIGUEZ-COUTO, S., 2010. **Biodegradation of a simulated textile effluent by immobilised-coated laccase in laboratory-scale reactors**. *Appl. Catal. A Gen.* 373, 147–153. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2009.11.009>
- PALMIERI, G., GIARDINA, P., DESIDERIO, B., MARZULLO, L., GIAMBERINI, M., SANNIA, G., 1994. **A new enzyme immobilization procedure using copper alginate gel: Application to a fungal phenol oxidase**. *Enzyme Microb. Technol.* 16, 151–158. [https://doi.org/10.1016/0141-0229\(94\)90078-7](https://doi.org/10.1016/0141-0229(94)90078-7)



PANESAR, P.S., KAUR, R., SINGLA, G., SANGWAN, R.S., 2016. **Bio-processing of Agro-industrial Wastes for Production of Food-grade Enzymes: Progress and Prospects.** Appl. Food Biotechnol. 3, 208–227. <https://doi.org/10.22037/afb.v3i4.13458>

RANGABHASIYAM, S., LATA, S., BALASUBRAMANIAN, P., 2018. **Biosorption characteristics of methylene blue and malachite green from simulated wastewater onto Carica papaya wood biosorbent.** Surfaces and Interfaces 10, 197–215. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2017.09.011>

SILVA, E. M., MARTINS, S.F., MILAGRES, A.M.F. 2008. **Extraction of manganese peroxidase produced by *Lentinula edodes*.** Bioresouce Technology, v.99, 2471-2479

SUN, H., HUANG, W., YANG, H., ZHANG, S., 2016. **Co-immobilization of laccase and mediator through a self-initiated one-pot process for enhanced conversion of malachite green.** J. Colloid Interface Sci. 471, 20–28. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2016.03.009>

TEERAPATSAKUL, C., BUCKE, C., PARRA, R., KESHAVARZ, T., CHITRADON, L., 2008. **Dye decolorisation by laccase entrapped in copper alginate.** World J. Microbiol. Biotechnol. 24, 1367–1374. <https://doi.org/10.1007/s11274-007-9617-y>

TEERAPATSAKUL, C., PARRA, R., KESHAVARZ, T., CHITRADON, L., 2017. **Repeated batch for dye degradation in an airlift bioreactor by laccase entrapped in copper alginate.** Int. Biodeterior. Biodegrad. 120, 52–57. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.02.001>

THAKUR, V., KUMAR, P., VERMA, A., CHAND, D., 2015. **Decolorization of dye by alginate immobilized laccase from *Cercospora* SPF-6: Using compact 5 stage plug flow reactor.** Int.J.Curr. Microbiol.App.Sci 4, 183–200.

WANG, S.S., NING, Y.J., WANG, S.N., ZHANG, J., ZHANG, G.Q., CHEN, Q.J., 2017. **Purification, characterization, and cloning of an extracellular laccase with potent dye decolorizing ability from white rot fungus *Cerrena unicolor* GSM-01.** Int. J. Biol. Macromol. 95, 920–927. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.10.079>

WONG, S., YAC'COB, N.A.N., NGADI, N., HASSAN, O., INUWA, I.M., 2017. **From pollutant to solution of wastewater pollution: Synthesis of activated carbon from textile sludge for dye adsorption.** Chinese J. Chem. Eng. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2017.07.015>

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Agentes químicos 13  
Analgésico 4  
Ansiedade 6, 7, 9  
Antiasmáticos 4  
Antifúngica 1, 2  
Anti-inflamatório 4, 8, 9  
Antimicrobiano 4  
Antioxidantes 4, 9  
Aromatizantes 6  
Azul Ácido 74 22  
Azul Brilhante de Rimazol 22  
Azul de Bromotimol 22  
Azul de Metileno 22  
Azure B 21, 22, 25, 29, 30, 32

### B

Band gap 75  
Bioacumulación 36  
Biomarcadores 82, 83, 84, 85, 86, 87, 92, 93, 94  
Black Reativo 5 22

### C

Camomila 6, 7, 8, 9, 10  
Casca de arroz 21, 22, 23, 26, 32, 74, 76, 77  
Catalisador 61, 65, 66, 67, 70, 71, 72  
Cicatrizante 4  
Cloruro 35, 44, 46, 51  
Combustão 61, 62, 63, 64, 66, 67, 69, 70, 72  
Companhia de Tecnologia e Saneamento Básico - CETESB 61  
Compostos fenólicos 4, 9  
Compostos Orgânicos Voláteis - COVs 62, 85  
Compostos xenobióticos 22

Contaminantes 35, 56, 106  
Corantes têxteis 21  
Coronavírus 12, 13, 14, 19, 20  
Covid-19 12, 14, 19

## D

Difratogramas de Raios-X - DRX 63

## E

Ecosistema aquático 22  
Efeitos biológicos 1, 6  
Efluentes 21, 106  
Enzima 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32  
Estrutura perovskita 62

## F

Fármacos 3  
Flavonóides 4, 8, 9  
Fotoacústica 82, 83, 84, 89, 90, 91, 92, 93, 96

## H

Hierro 35, 38, 39, 40, 41, 43, 44, 45, 46, 48, 49, 50, 56, 57, 58, 59, 60  
Higiene 12, 13, 14, 20  
*Hymenaea courbaril* 1, 2, 4, 5

## I

Insônia 6, 7

## L

Lacase 21, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 29, 30, 32

## M

Materiais particulados 61  
*Matricaria recutita* 6, 7, 8, 9, 10  
Meio ambiente 10, 62, 72, 73  
Microbiota 13, 87  
Micro-ondas 74, 75, 76, 79

## N

Nanocompósitos 79

Nanopartículas 35, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 48, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 79

## O

Organização Mundial de Saúde - OMS 2, 7, 84, 96

Oxidação 21, 24, 27

## P

Patogênicos 82, 83

Plantas medicinais 1, 2, 5, 7, 10

Poluentes 61, 62, 72, 76, 86

Poluição atmosférica 61

Processos oxidativos 22, 106

Produto artesanal 16

Propriedades terapêuticas 1, 6, 8

## R

Remédios 4

Resíduos agroindustriais 22

## S

Sabão 11, 12, 13, 14, 19

Sabonete 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19

Saúde humana 62, 72

Semicondutores 75, 91

Solvoterma 74, 76

Superparamagnético 74, 79

## V

Verde Malaquita 21, 22, 25, 26, 29, 30, 31, 32



# Química:

Desvendando propriedades e comportamentos da matéria

-  [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)



# Química:

Desvendando propriedades e comportamentos da matéria

-  [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)