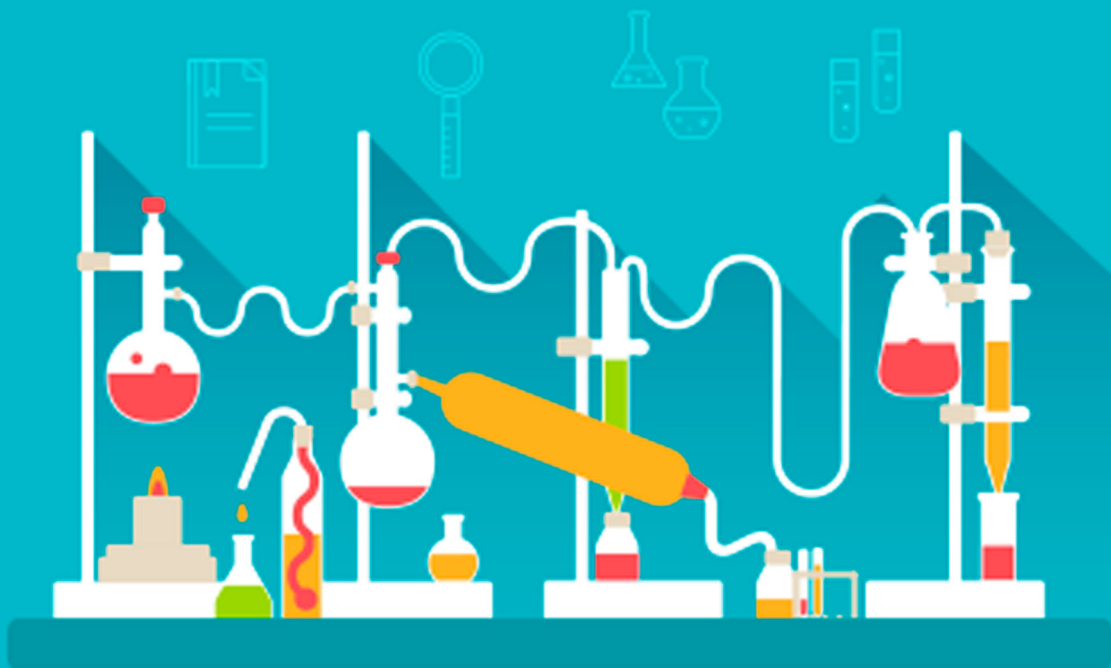


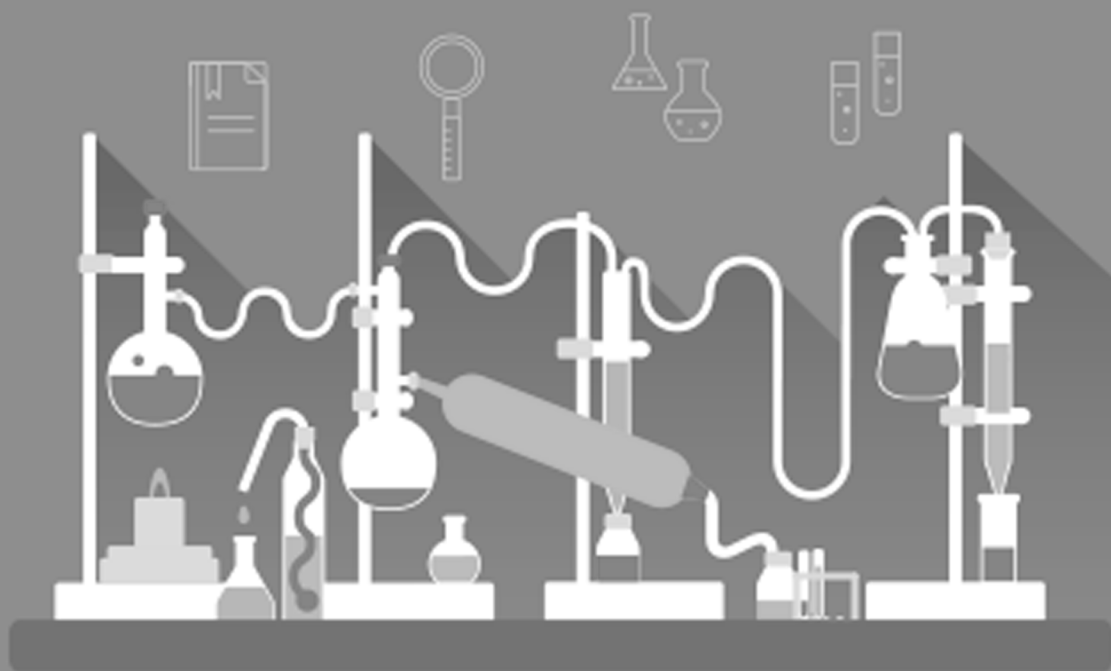
# A Química nas Áreas Natural, Tecnológica e Sustentável



Érica de Melo Azevedo  
(Organizadora)

 **Atena**  
Editora  
Ano 2020

# A Química nas Áreas Natural, Tecnológica e Sustentável



Érica de Melo Azevedo  
(Organizadora)

**Atena**  
Editora  
Ano 2020

**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecário**

Maurício Amormino Júnior

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Karine de Lima Wisniewski

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 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.

A Atena Editora não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação.

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

## **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves -Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

## **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Linguística, Letras e Artes**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí  
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa  
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina  
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza  
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social  
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe  
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay  
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia  
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR  
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior  
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo  
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal

Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba  
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista



## A química nas áreas natural, tecnológica e sustentável

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecário** Maurício Amormino Júnior  
**Diagramação:** Camila Alves de Cremona  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizadora:** Érica de Melo Azevedo

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)</b> <b>(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
Q6	A química nas áreas natural, tecnológica e sustentável 1 [recurso eletrônico] / Organizadora Érica de Melo Azevedo. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.  Formato: PDF Requisitos de sistemas: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-5706-385-9 DOI 10.22533/at.ed.859201709  1. Química – Pesquisa – Brasil. 2. Tecnologia. 3. Sustentabilidade. I. Azevedo, Érica de Melo.
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

**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)

## APRESENTAÇÃO

A Coleção “A Química nas Áreas Natural, Tecnológica e Sustentável” apresenta artigos de pesquisa na área de química e que envolvem conceitos de sustentabilidade, tecnologia, ensino e ciências naturais. A obra contém 69 artigos, que estão distribuídos em 3 volumes. No volume 1 são apresentados 29 capítulos sobre aplicações e desenvolvimentos de materiais adsorventes sustentáveis e polímeros biodegradáveis; o volume 2 reúne 20 capítulos sobre o desenvolvimento de materiais alternativos para tratamento de água e efluentes e propostas didáticas para ensino das temáticas em questão. No volume 3 estão compilados 20 capítulos que incluem artigos sobre óleos essenciais, produtos naturais e diferentes tipos de combustíveis.

Os objetivos principais da presente coleção são apresentar aos leitores diferentes aspectos das aplicações e pesquisas de química e de suas áreas correlatas no desenvolvimento de tecnologias e materiais que promovam a sustentabilidade e o ensino de química de forma transversal e lúdica.

Os artigos constituintes da coleção podem ser utilizados para o desenvolvimento de projetos de pesquisa, para o ensino dos temas abordados e até mesmo para a atualização do estado da arte nas áreas de adsorventes, polímeros, análise e tratamento de água e efluentes, propostas didáticas para ensino de química, óleos essenciais, produtos naturais e combustíveis.

Após esta apresentação, convido os leitores a apreciarem e consultarem, sempre que necessário, a coleção “A Química nas áreas natural, tecnológica e Sustentável”. Desejo uma excelente leitura!

Érica de Melo Azevedo

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO EMPREGANDO BAGAÇO DE UVA (*VITIS LABRUSCA*) IN NATURA E MODIFICADO COMO ADSORVENTE**

Júlia Cristina Diel  
Isaac dos Santos Nunes  
Dinalva Schein  
Joseane Sarmento Lazarotto  
Vitória de Lima Brombilla  
Carolina Smaniotto Fronza

**DOI 10.22533/at.ed.8592017091**

### **CAPÍTULO 2..... 14**

#### **ADSORÇÃO DE CONTAMINANTE ORGÂNICO EM ÁGUA POR RESÍDUO AGROINDUSTRIAL TRATADO SIMULTANEAMENTE COM ÁCIDO E ULTRASSOM**

Matias Schadeck Netto  
Carlos Heitor Fernandez Cervo  
Jivago Schumacher de Oliveira  
Edson Luiz Foletto  
Evandro Stoffels Mallmann  
Osvaldo Chiavone-Filho  
Guilherme Luiz Dotto

**DOI 10.22533/at.ed.8592017092**

### **CAPÍTULO 3..... 24**

#### **ADSORÇÃO DE ÍONS CÁDMIO POR DERIVADOS CARBOXIMETILADOS E SULFATADOS DE QUITOSANA**

João Lucas Isidio de Oliveira Almeida  
Micaele Ferreira Lima  
Shirley Abel Barboza Coelho  
Emanuela Feitoza da Costa  
Flavia Oliveira Monteiro da Silva Abreu  
Carlos Emanuel de Carvalho Magalhães

**DOI 10.22533/at.ed.8592017093**

### **CAPÍTULO 4..... 32**

#### **AGGLOMERATED BOARDS EVALUATION WITH WASTE OF POLYURETHANE SKIN AND NON-HALOGENATED FLAME RETARDANTS**

Aguinaldo Oliveira Machado  
Jocelei Duarte  
Maria Fernanda de Oliveira  
Ana Maria Coulon Grisa  
Mara Zeni Andrade

**DOI 10.22533/at.ed.8592017094**

### **CAPÍTULO 5..... 43**

#### **POLIURETANOS BIODEGRADÁVEIS: UMA ABORDAGEM DOS ELEMENTOS**

## ENVOLVIDOS NO PROCESSO DE SÍNTESE

Amanda Furtado Luna  
Andressa Lima Delfino  
Glenda Kélvia Ferreira Bezerra  
Domingos Rodrigues da Silva Filho  
Fernando da Silva Reis  
José Milton Elias de Matos

**DOI 10.22533/at.ed.8592017095**

## **CAPÍTULO 6..... 56**

### **CARACTERIZAÇÃO DA *PHORMIUM TENAX* PARA USO COMO REFORÇO EM COMPOSITO DE POLIPROPILENO**

Fábio Furtado  
Thais Helena Sydenstricker Flores-Sahagun  
Talita Szlapak Franco  
Harrison Lourenço Corrêa

**DOI 10.22533/at.ed.8592017096**

## **CAPÍTULO 7..... 67**

### **CARACTERIZAÇÃO DO HIDROGEL À BASE DE POLIACRILATO DE AMÔNIO E A SUA UTILIZAÇÃO NA ADUBAÇÃO POTÁSSICA DO TOMATEIRO**

Ivonete Oliveira Barcellos  
Raíssa dos Santos Conceição  
Ana Lúcia Bertarello Zeni

**DOI 10.22533/at.ed.8592017097**

## **CAPÍTULO 8..... 80**

### **PREPARAÇÃO E MEDIÇÃO DE PROPRIEDADES TÉRMICAS DO COMPOSITO EPÓXI - PZT**

Victor Ciro Solano Reynoso  
Edinilton Moraes Cavalcante

**DOI 10.22533/at.ed.8592017098**

## **CAPÍTULO 9..... 91**

### **CULTIVO DE *Aspergillus niger* EM ESTADO SÓLIDO EM BIORREATOR DE LEITO EMPACOTADO SEGUIDO DE EXTRAÇÃO DE ENZIMAS POR PERCOLAÇÃO**

Fernanda Perpétua Casciatori  
Natalia Alvarez Rodrigues  
Samuel Pratavieira de Oliveira  
Eric Takashi Katayama

**DOI 10.22533/at.ed.8592017099**

## **CAPÍTULO 10..... 104**

### **EFEITO DA TEMPERATURA NA ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO USANDO BAGAÇO DE MALTE *IN NATURA***

Renata Cândido Araújo de Lima  
Kevyn Zapelão  
Andréia Anschau

**DOI 10.22533/at.ed.85920170910**

**CAPÍTULO 11.....113**

**EFEITO DAS CONDIÇÕES DE REPROCESSAMENTO NA DEGRADAÇÃO DO POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE**

Lisete Cristine Scienza  
Amanda Vecila Cheffer de Araújo  
Haniel Marçal Kops Hubert  
Vinícius Martins  
Luis Henrique Alves Cândido  
Ademir José Zattera

**DOI 10.22533/at.ed.85920170911**

**CAPÍTULO 12..... 124**

**ENCAPSULAMENTO DE ZEÓLITA FERTILIZANTE UTILIZANDO BIOPOLÍMERO**

Suzana Frighetto Ferrarini  
Beatriz Bonetti  
Marta Eliza Hammerschmitt  
Camila Fensterseifer Galli  
Marçal José Rodrigues Pires

**DOI 10.22533/at.ed.85920170912**

**CAPÍTULO 13..... 135**

**ENVELHECIMENTO NATURAL: COMPARAÇÃO DE TECIDOS DE POLIETILENO DE ULTRA ALTA MASSA MOLAR APLICADOS EM PROTEÇÃO BALÍSTICA**

Vitor Hugo Cordeiro Konarzewski  
Ruth Marlene Campomanes Santana  
Edson Luiz Fancisquetti

**DOI 10.22533/at.ed.85920170913**

**CAPÍTULO 14..... 149**

**ESTUDO DA PRODUÇÃO DE PISOS DE BORRACHA SBR, E DE SILICONE, UTILIZANDO A BORRACHA DE SILICONE RECICLADA COMO CARGA**

Miriam Lucia Chiquetto Machado  
Blenda de Assunção Cardoso Gaspar  
Nilson Casimiro Pereira  
Max Filipe Silva Gonçalves  
Cícera Soares Pereira

**DOI 10.22533/at.ed.85920170914**

**CAPÍTULO 15..... 162**

**SUPORTE HÍBRIDO CONTENDO Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> E QUITOSANA PARA IMOBILIZAÇÃO DA PAPAÍNA**

Aurileide Maria Bispo Frazão Soares  
Lizia Maria Oliveira Gonçalves  
Samuel de Macêdo Rocha  
Wallonilson Veras Rodrigues  
Anderson Fernando Magalhães dos Santos

Anderson Nogueira Mendes  
Welter Cantanhêde da Silva  
**DOI 10.22533/at.ed.85920170915**

**CAPÍTULO 16..... 177**

**INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE PÓS-CURA NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO COMPOSITO POLIMÉRICO NANOESTRUTURADO REFORÇADO COM ÓXIDO DE GRAFENO**

Marivaldo Batista dos Santos Junior  
Erica Cristina Almeida  
Alan Santos Oliveira  
Vaneide Gomes

**DOI 10.22533/at.ed.85920170916**

**CAPÍTULO 17..... 184**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ADSORÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO UTILIZANDO FIBRA DO MESOCARPO DO COCO *IN NATURA* E PRÉ-TRATADA COM PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO ALCALINO**

Isabela Nogueira Marques Ribeiro  
Geovanna Miranda Teixeira  
Emanuel Souza e Souza  
Êmile dos Santos Araujo  
Luciene Santos de Carvalho  
Luiz Antônio Magalhães Pontes  
Leila Maria Aguilera Campos

**DOI 10.22533/at.ed.85920170917**

**CAPÍTULO 18..... 197**

**MÉTODOS DE SÍNTESE E A CLASSIFICAÇÃO DOS POLIANIDRIDOS BIODEGRADÁVEIS**

Jairo dos Santos Trindade  
Vanessa Karen Ferreira dos Santos Guimarães  
José Milton Elias de Matos

**DOI 10.22533/at.ed.85920170918**

**CAPÍTULO 19..... 209**

**O USO DA BORRACHA DE PNEUS EM LIGANTES ASFÁLTICOS**

Matheus Borges Lopes

**DOI 10.22533/at.ed.85920170919**

**CAPÍTULO 20..... 212**

**OBTENÇÃO DE CARVÃO ATIVADO DE CASCA DE SOJA E APLICAÇÕES EM PROCESSOS DE ADSORÇÃO**

Roberta Sorhaia Samayara Sousa Rocha de França  
Letícia Pinto  
Andréia Anschau

**DOI 10.22533/at.ed.85920170920**

<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>224</b>
PARTÍCULAS DE P(BA-CO-MMA)/PMMA CONTENDO ÁCIDO ITACÔNICO OBTIDAS ATRAVÉS DA COPOLIMERIZAÇÃO EM EMULSÃO	
Leonardo Zborowski	
Daniela Beirão Porto	
Jesus Roberto Taparelli	
Lucia Helena Innocentini Mei	
Diego de Holanda Saboya Souza	
<b>DOI 10.22533/at.ed.85920170921</b>	
<b>CAPÍTULO 22</b> .....	<b>236</b>
PECTINA: UM SUBPRODUTO VALIOSO DA INDÚSTRIA CITRÍCOLA	
Camila Souza da Mata Losque	
Patrícia Reis Pinto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.85920170922</b>	
<b>CAPÍTULO 23</b> .....	<b>247</b>
PROJETO DE CERTIFICAÇÃO PARA PLÁSTICOS RECICLADOS NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA: DE REFUGO A RECURSO	
Ormene Carvalho Coutinho Dorneles	
Daniel Coutinho Dorneles	
<b>DOI 10.22533/at.ed.85920170923</b>	
<b>CAPÍTULO 24</b> .....	<b>258</b>
PROPRIEDADES DE COMPÓSITOS FABRICADOS COM RESÍDUO INDUSTRIAL, PROJETO E PROSPECÇÃO DE CUSTO DE PRODUÇÃO DE MOBILIÁRIO URBANO COM CONCEITO DE ECONOMIA CIRCULAR	
Fernanda Pereira de Castro Negreiros	
Paula Bertolino Sanvezzo	
Marcia Cristina Branciforti	
<b>DOI 10.22533/at.ed.85920170924</b>	
<b>CAPÍTULO 25</b> .....	<b>277</b>
PROPRIEDADES DE ESPUMAS DE POLI(URETANO-CO-ISOCIANURATO) BASEADAS EM DIFERENTES DIÓIS	
Thiago do Carmo Rufino	
José Giaretta	
<b>DOI 10.22533/at.ed.85920170925</b>	
<b>CAPÍTULO 26</b> .....	<b>292</b>
SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE SÍLICA MESOPOROSA E SEU POTENCIAL USO COMO ADSORVENTE NA DESCONTAMINAÇÃO DE EFLUENTES	
Cezar Augusto Moreira	
Matheus Devanir Custódio	
Jéssica de Lara Andrade	
Angélica Gonçalves Oliveira	
Edgardo Alfonso Gómez Pineda	
Ana Adelina Winkler Hechenleitner	

Daniela Martins Fernandes de Oliveira

**DOI 10.22533/at.ed.85920170926**

**CAPÍTULO 27..... 307**

**USO DOS POLÍMEROS NA LIBERAÇÃO CONTROLADA DE MEDICAMENTOS  
PARA O TRATAMENTO DO CÂNCER**

Ingrid Ribeiro

Wanyr Romero Ferreira

Aline Pereira Leite Nunes

**DOI 10.22533/at.ed.85920170927**

**CAPÍTULO 28..... 315**

**INFLUÊNCIA DO HÍBRIDO NANOARGILA COM ÓLEOS ESSENCIAIS NA BLEND  
DE PEBD/ATP**

Marília Cheis Farina

Rafaela Reis Ferreira

Anderson Maia

Rondes Ferreira da Silva Torin

**DOI 10.22533/at.ed.85920170928**

**CAPÍTULO 29..... 322**

**EFEITO DA HOMOGENEIZAÇÃO À ALTA PRESSÃO NA ESTABILIZAÇÃO DE  
EMULSÕES OBTIDAS POR SISTEMAS DE BIOPOLÍMEROS WPC:ALG**

Kívia Mislaine Albano

Vania Regina Nicoletti

**DOI 10.22533/at.ed.85920170929**

**SOBRE A ORGANIZADORA..... 333**

**ÍNDICE REMISSIVO..... 334**



# CAPÍTULO 15

## SUORTE HÍBRIDO CONTENDO $\text{Fe}_3\text{O}_4$ E QUITOSANA PARA IMOBILIZAÇÃO DA PAPAÍNA

Data de aceite: 01/09/2020

Data de submissão: 22/07/2020

### **Aurileide Maria Bispo Frazão Soares**

Universidade Federal do Piauí  
Teresina – Piauí  
<http://lattes.cnpq.br/9346123079665344>

### **Lizia Maria Oliveira Gonçalves**

Universidade Federal do Piauí  
Teresina – Piauí  
<http://lattes.cnpq.br/8610941865895820>

### **Samuel de Macêdo Rocha**

Universidade Federal de Santa Catarina  
Florianópolis – Santa Catarina  
<http://lattes.cnpq.br/4581563346022900>

### **Wallonilson Veras Rodrigues**

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Estado do Maranhão  
Caxias – Maranhão  
<http://lattes.cnpq.br/1397793364158233>

### **Anderson Fernando Magalhães dos Santos**

Universidade Federal do Piauí  
Teresina – Piauí  
<http://lattes.cnpq.br/8492762985248770>

### **Anderson Nogueira Mendes**

Universidade Federal do Piauí  
Teresina – Piauí  
<http://lattes.cnpq.br/3475177618039218>

### **Welter Cantanhêde da Silva**

Universidade Federal do Piauí  
Teresina – Piauí  
<http://lattes.cnpq.br/5196604770480188>

**RESUMO:** Neste trabalho a papaína foi covalentemente imobilizada no suporte híbrido contendo nanopartículas de magnetita modificadas quitosana ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /quitosana). A Cristalinidade, organização e estrutura foram investigadas por difração de raios-X (DRX), Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET), Espectroscopia nas regiões do UV-Vis e infravermelho (FTIR). Os planos cristalográficos confirmaram a obtenção das  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  NPs de morfologia quase esférica, observado por MET. A funcionalização das  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  com quitosana foi evidenciada pela reação com ninidrina, através da formação do complexo Roxo de Ruhemann. A incorporação da papaína às NPs se deu via formação de ligação imida com o suporte  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /quitosana ativado com glutaraldeído, confirmada por FTIR. Os ensaios de atividade proteolítica frente ao colágeno e caseína confirmam que a papaína não perdeu sua atividade após imobilização nas NPs. Dessa forma, material sintetizado no presente trabalho apresenta potencial para aplicações que requerem a atividade proteolítica da papaína associada ao caráter magnético das  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  NPs como aplicações que necessitem a separação e reutilização do biocatalisador.

**PALAVRAS-CHAVE:**  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  NPs, Quitosana, Papaína, Imobilização Enzimática.

### HYBRID SUPPORT CONTAIN $\text{Fe}_3\text{O}_4$ AND CHITOSAN FOR PAPAINE IMMOBILIZATION

**ABSTRACT:** In this work, papain was covalently immobilized on the hybrid support containing magnetite nanoparticles modified by chitosan

(Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> / chitosan). Crystallinity, organization and structure were investigated by X-ray diffraction (XRD), Transmission Electron Microscopy (TEM), and spectroscopy in the UV-Vis and infrared (FTIR) regions. The crystallographic planes confirmed the achievement of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> NPs of almost spherical morphology, observed by MET. The functionalization of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> with chitosan was evidenced by the reaction with ninhydrin, through the formation of the Ruhemann Purple complex. The papain incorporation to the NPs occurred via the formation of an imide bond with the Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> / chitosan support activated with glutaraldehyde, confirmed by FTIR. The tests of proteolytic activity against collagen and casein confirm that papain did not lose its activity after immobilization in NPs. Thus, material synthesized in the present work has potential for applications that require the papain proteolytic activity associated with the magnetic character of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> NPs as applications that require the separation and reuse of the biocatalyst.

**KEYWORDS:** Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> NPs, Chitosan, Papain, Enzymatic Immobilization.

## 1 | INTRODUÇÃO

A papaína é enzima proteolítica de origem vegetal presente nas folhas e nos frutos do mamão que possui atividade associada à clivagem de ligações peptídicas (LEITE et al., 2012). Com ação anti-inflamatória, bactericida, bacteriostática, desbridante, aceleradora e modeladora do tecido de granulação e dos processos de cicatrização tecidual, a papaína possui uma ampla faixa de aplicações na indústria alimentar, como amaciante de carnes, fabricação de cervejas, na indústria de laticínios e panificação, remoção de cárie dentária, constituinte de cosméticos e detergentes e tratamento de feridas (PERES et al., 2015; RAŠKOVIC et al., 2015).

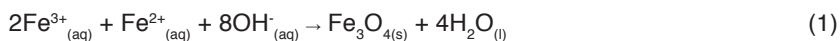
Contudo, uma das limitações da aplicação de enzimas em processos industriais consiste na sua utilização na forma solúvel, apresentando dificuldade de remoção do meio reacional após aplicação, promovendo a contaminação do produto obtido e impedindo reutilização do biocatalisador (LOU et al., 2016; MENDES et al., 2011; WAHBA, 2017).

A estratégia de imobilização de enzimas em substratos sólidos por interações físicas ou químicas é vista como vantajosa para o setor industrial, visto que pode garantir uma maior estabilidade à enzima, reduzindo a sua inativação por influência de mudanças de pH, temperatura e natureza do solvente utilizado (WAHBA, 2017).

Nanopartículas de magnetita (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> NPs) são amplamente empregadas para imobilização de diversos tipos de enzimas, devido ao seu caráter superparamagnético, o que facilita a separação do meio reacional e garante a reutilização do biocatalisador. Bordbar e colaboradores (2017) estudaram as aplicações e avanços da imobilização da enzima celulase em nanopartículas magnéticas. Sarno et al (2017) investigaram a atividade da lipase na produção de aromatizantes artificiais, observando uma alta atividade e estabilidade da enzima imobilizada.

As  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  NPs vêm despertando grande atenção da comunidade científica devido suas diversas propriedades, tais como grande comportamento magnético, biocompatibilidade, rota sintética simples, baixa toxicidade, facilidade de obtenção, superfície diversificadamente funcionalizável, dentre outros (CHEN et al., 2016; DING et al., 2014; FARAJI; YAMINI; REZAEI, 2010; NAZIFI; NAEIMI, 2013).

Ao longo do tempo, métodos de preparação da magnetita vem sendo desenvolvidos, de acordo com sua aplicação, de modo que se pode produzi-las com um número distinto de componentes e fases (FARAJI; YAMINI; REZAEI, 2010; LU et al., 2011). Dentre os métodos de preparação, destaca-se a coprecipitação já que promove uma síntese rápida, com água como solvente, baixos custo e temperatura de reação, além de permitir bom controle de tamanho e forma de partícula. O método de coprecipitação consiste na adição de uma base sobre uma mistura de íons  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Fe}^{3+}$  na proporção molar de 1:2, respectivamente (Equação 1).



Para imobilização de enzimas nas  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  NPs, faz-se necessário o processo de funcionalização das nanopartículas com agentes que possuam grupos funcionais aptos a interagir com grupos específicos das enzimas. A quitosana, biopolímero obtido a partir da reação de desacetilação da quitina, possui a função de agente estabilizante, evitando a agregação das nanopartículas a partir de impedimento estérico bem como a funcionalização de suportes nanoestruturados para interação com outros materiais como, por exemplo, enzimas a partir da formação de ligações amídicas (BORDBAR et al., 2017; RINAUDO, 2006; TAVARES et al., 2017; ZANG et al., 2014).

Nesse contexto, este trabalho consiste na imobilização da enzima papaína em nanopartículas de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  funcionalizadas com quitosana, caracterização do suporte nanoestruturado e avaliação da atividade proteolítica frente a degradação da caseína.

## 2 | PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### 2.1 Materiais e Reagentes

Cloreto de ferro (III) hexahidratado ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , Sigma Aldrich), cloreto de ferro (II) tetra hidratado ( $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , Sigma Aldrich) e hidróxido de amônio 30 % ( $\text{NH}_4\text{OH}$ , Dinâmica), ácido acético glacial P.A. ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ , Netec), hidróxido de sódio 99 % ( $\text{NaOH}$ , Impex), biopolímero quitosana (Polymar Ciência e Nutrição S/A, Glutaraldeído 25 % ( $\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$ , Sigma Aldrich) e a enzima papaína (farmácia de manipulação Galeno) foram os materiais utilizados nesta pesquisa. Todos os reagentes utilizados no desenvolvimento deste trabalho foram de grau analítico sem a necessidade de purificação adicional.

## 2.2 Síntese das nanopartículas de Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

As nanopartículas de magnetita foram sintetizadas pelo método de coprecipitação (ZANG et al., 2014). Inicialmente, 50,00 mL de uma solução constituída de FeCl<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O (0,01 mol; 1,99 g) e FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O (0,02 mol; 5,40 g) foi mantida sob condições de agitação magnética vigorosa, atmosfera de N<sub>2</sub> e aquecimento a 80 °C por 30 min. Logo após, adicionaram-se gota a gota 10,00 mL de 7,20 mol L<sup>-1</sup> NH<sub>4</sub>OH (0,07 mol) para obtenção de um precipitado de coloração preta, característico das Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> NPs, que foi mantido nas condições reacionais por 2 h. Por fim, o precipitado foi lavado com água ultrapura até obtenção do pH = 7 e seco em estufa a 90 °C por 3 h.

## 2.3 Síntese do suporte Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/quitosana

A preparação do suporte Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/quitosana foi realizada sob adaptação do método descrito por Zang e colaboradores (2014). Inicialmente, dissolveram-se 125 mg de quitosana em 25,00 mL de ácido acético 1% (v/v). Em seguida, adicionou-se 1 g de Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> NPs e a mistura foi mantida por 30 minutos sob agitação magnética. Posteriormente, adicionaram-se 25,00 mL de NaOH (1,0 mol L<sup>-1</sup>) sobre à mistura para precipitação da quitosana sobre as Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> NPs. O precipitado obtido foi lavado com água ultrapura até obtenção do pH 7,0 e reservado para a imobilização.

## 2.4 Imobilização da Papaína

Sob 330,0 mg do suporte Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/quitosana, adicionaram-se 10,00 mL de uma solução de glutaraldeído a 2,5 % (v/v), que permaneceu sob agitação por 2 h a temperatura ambiente. Em seguida, o precipitado foi lavado três vezes com água ultrapura para remoção do excesso de glutaraldeído. Sob as NPs obtidas, adicionaram-se 16,50 mL de solução de papaína a 6,0 mg mL<sup>-1</sup> e o sistema foi mantido sob agitação magnética suave por 2 h a temperatura ambiente. As NPs obtidas foram lavadas três vezes com água ultrapura para remover a papaína que não reagiu e seco em estufa a 40 °C por 1 h.

## 2.5 Caracterizações dos nanomateriais sintetizados

A cristalinidade e organização dos materiais sintetizados foram investigadas por difração de raios X (DRX) utilizando um difratômetro de raios X Empyrean Instrument (PANanalytical) com radiação Co-K $\alpha$  e velocidade de varredura de 0,026 °/min num intervalo de 10 a 90°. A organização estrutural e morfologia dos materiais foram investigados por microscopia eletrônica de transmissão (MET) obtidas em um microscópio TECNAI 20 utilizando uma voltagem de aceleração de 200 KV, respectivamente. As medidas de Espectroscopia de Eletrônica na região do Ultravioleta-Visível (UV-Vis) foram realizadas utilizando um espectrofotômetro

UV-6100S da Allcrom (Mapada Instruments) de feixe duplo utilizando cubetas de quartzo com 1 cm de caminho ótico. Os espectros na região do infravermelho (FTIR) foram obtidos utilizando um espectrômetro da Perkin Elmer Spectrum 100 na faixa de 4000 a 400  $\text{cm}^{-1}$  e as amostras foram preparadas em pastilha de KBr.

## 2.6 Teste de atividade da enzima imobilizada a partir da hidrólise do colágeno

A capacidade proteolítica da enzima imobilizada foi avaliada utilizando teste com gelatina, conforme descrito por Lima e colaboradores (2008). Para isso, 10,00 mL de gelatina foram adicionadas a três tubos de ensaio denominados como A, B e C. Em seguida, adicionaram-se 3,00 mL de água no tubo A para o controle negativo, 3,00 mL de 1  $\text{mg mL}^{-1}$  de papaína livre no tubo B para o controle positivo e 3,00 mL de 10  $\text{mg mL}^{-1}$  de papaína imobilizada no tubo C, deixando-os sob agitação até homogeneização, seguida de resfriamento por 4 h. A capacidade de proteólise da enzima imobilizada foi avaliada mediante a observação de formação do gel.

## 2.7 Teste de degradação da caseína pela papaína imobilizada

Em uma dispersão de 6,0  $\text{mg mL}^{-1}$  de papaína imobilizada, adicionaram-se 10,00 mL de leite, e manteve-se o sistema sob agitação constante por 300 min a temperatura ambiente. A degradação da caseína foi acompanhada por espectroscopia na região do UV-Vis, onde se obteve espectros a partir de uma dispersão contendo 20  $\mu\text{L}$  do meio reacional e 6,00 mL de água nos intervalos de tempo correspondentes a 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240, 300 min (CARREIRA et al, 2003).

# 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 3.1 Síntese, estrutura molecular e cristalinidade

A modificação das  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  com quitosana ocorreu a partir de interações eletrostáticas e formação de ligações de hidrogênio entre grupos  $-\text{OH}$ , presentes nas NPs e grupos  $-\text{NH}_2$  da quitosana. Após aminofuncionalização, a superfície das NPs foi modificada com grupos aldeídos via ativação com glutaraldeído, agente bifuncional que reage com grupos  $-\text{NH}_2$  para formação de ligações iminas, e a papaína foi então ligada covalentemente ao suporte (FAHAMI; BEALL, 2015; QI; XU, 2004).

A organização e estrutura molecular dos materiais sintetizados e de seus precursores foram investigados por Difração de Raios X (DRX). Para a quitosana (Fig. 1a) os picos em  $2\theta = 12^\circ$  e  $23^\circ$  são atribuídos a rede cristalina  $\alpha$  desse biopolímero, uma vez que as fortes interações intermoleculares e intramoleculares provenientes das ligações de hidrogênio existentes nos grupamentos hidroxila, amina e outros

grupos funcionais presentes na molécula conferem um perfil semicristalino a esse polímero (KUMAR, 2004; URAGAMI; TOKURA, 2006). Para a papaína livre na Fig. 1b, o pico de difração em  $2\theta = 23^\circ$  está associado a larga extensão dos sítios ativos da enzima que podem ser divididos em 7 domínios, no qual cada um deles acomoda um resíduo de aminoácido do substrato peptídico. Nesses domínios há presença de fendas em que ocorre o encaixe do substrato, o que acaba por conferir um perfil semicristalino a papaína (SCHECHTER, 1967; SCHRBDER et al., 1993).

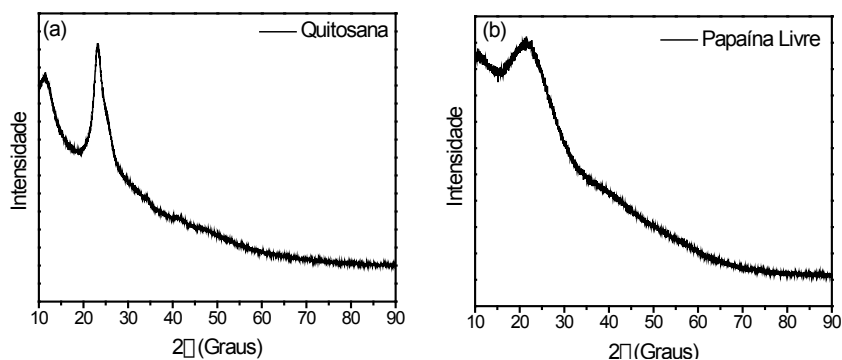


Figura 1. Difratogramas para: (a) Quitosana e (b) Papaína Livre.

As  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  NPs que apresentaram nove planos cristalográficos (Fig. 2) em  $2\theta = 21^\circ; 35^\circ; 41^\circ; 50^\circ; 63^\circ; 67^\circ; 74^\circ; 85^\circ$  e  $89^\circ$  referentes aos planos (111), (220), (311), (400), (422), (511), (440), (620) e (533), respectivamente, que correspondem a estrutura cristalina cúbica de espinélio invertido da magnetita, de acordo com o padrão JCPDS 01-088-0315 (ZHANG et al., 2010).

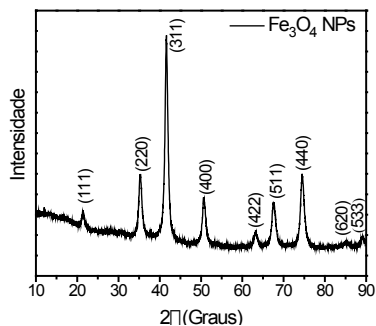


Figura 2. Difratograma para as  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  NPs.

Nos padrões cristalográficos do suporte  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /quitosana e da Papaína Imobilizada, Fig. 3a e 3b, respectivamente, estão presentes todos os picos cristalográficos referentes a estrutura cubica de espinélio invertido das  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  NPs. Não foi possível observar o plano característico da quitosana ou da papaína nos difratogramas dos nanomateriais  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /quitosana e papaína imobilizada, entretanto a mudança da linha de base na faixa de  $10^\circ$  a  $20^\circ$  sugere a incorporação desses materiais na estrutura da magnetita.

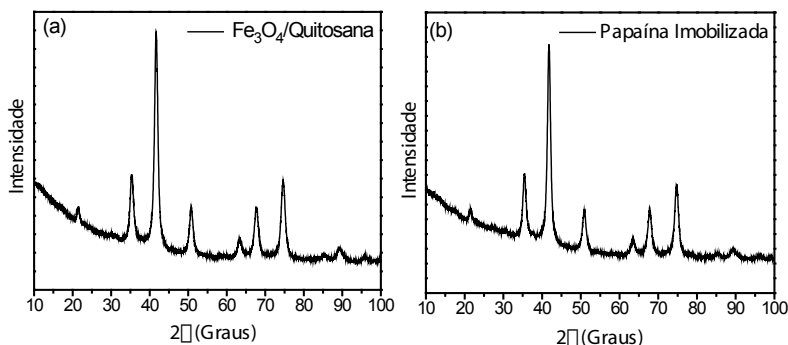


Figura 3. Difratogramas para: (a)  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /quitosana e (b) Papaína Imobilizada.

### 3.2 Investigação espectroscópica e reatividade

A fim de investigar a formação dos materiais em suspensão coloidal, realizaram-se medidas de Espectroscopia Eletrônica na região do UV-Vis. Observou-se para as  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  NPs (Fig. 4) um aumento da linha de base do espectro que é provocado pelo efeito de dispersão da luz, fenômeno associado ao tamanho nanométrico do material obtido, com aumento na absorção em torno de 350 nm (SANTOS; MELO; CRESPILO, 2014; SILVA, 2015; MELO et al., 2013). A papaína livre apresentou uma absorção em 192 nm, atribuída a transição eletrônica do orbital não ligante  $n$  para o orbital antiligante  $\sigma$  desocupado ( $n \rightarrow \sigma^*$ ), sendo possível devido a presença do grupo amina e amida presentes na estrutura da enzima (PAVIA, 2010).

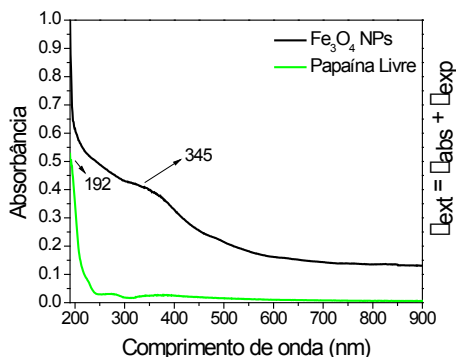


Figura 4. Espectros eletrônicos na região do UV-Vis para papaína livre e  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  NPs.

Nos espectros de UV-Vis para o suporte  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /quitosana (Fig. 5a), observou-se uma absorção em torno de 356 nm que ocorre devido a presença das  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  NPs, bem como o aumento da linha de base característico das NPs (MELO et al., 2013). A presença de quitosana no suporte foi evidenciada através da reação com ninidrina, teste específico para determinação de grupos  $\text{NH}_2$  uma vez que, em condições de pH ácido e elevada temperatura, a ninidrina reage com grupos  $\text{NH}_2$  livres formando um composto de coloração púrpura, conhecido como Roxo de Ruhemann que possui absorção característica em 568 nm (Fig. 5b) (LU, 2013).

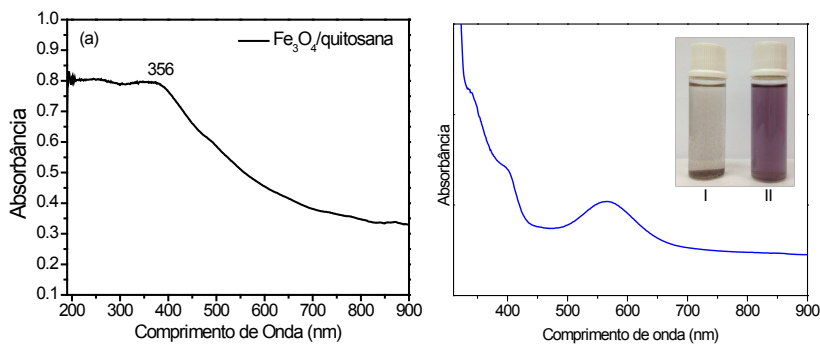


Figura 5. Espectros eletrônicos na região do UV-Vis para: a)  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /quitosana e b) reação da ninidrina com  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /quitosana (I: Antes e II: Depois da reação com ninidrina).

No espectro da papaína imobilizada (Fig. 6), observou-se que a absorção característica das  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  NPs sofreu deslocamento batocrômico para 381 nm, podendo este ser indicativo de interação com a enzima.



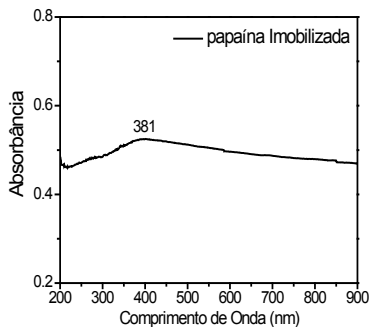


Figura 6. Espectros eletrônicos na região do UV-Vis para Papaína imobilizada.

Na Fig. 7 estão dispostos os espectros de FTIR para a quitosana e papaína livre. A quitosana apresenta a absorção em torno de  $3350\text{ cm}^{-1}$ , atribuído aos estiramentos O-H e N-H e as ligações de hidrogênio intra e intermoleculares das moléculas de quitosana. As absorções em  $2931$  e  $2875\text{ cm}^{-1}$  são típicas de  $\nu\text{C-H}$ , enquanto as absorções em  $1658$ ,  $1583$ ,  $1418$ ,  $1315\text{ cm}^{-1}$  foram atribuídas à amida I, deformação  $\nu\text{N-H}$  presente no grupo  $\text{NH}_2$ , deformação axial  $\nu\text{C-N}$  e da amida III, respectivamente. As vibrações em  $1074$  e  $1034\text{ cm}^{-1}$  foram atribuídas aos estiramentos C-O de C3-OH e C6-OH (DEHAGHI et al., 2014; CAI et al 2015). Para a papaína livre, a banda larga entre  $3594$  e  $3033\text{ cm}^{-1}$  foi atribuída aos  $\nu\text{OH}$ ,  $\nu\text{N-H}$  da amina secundária e  $\nu_{\text{ass}}\text{C-H sp}^3$ . O espectro de FTIR da papaína também apresentou absorções em  $1638$  e  $1532\text{ cm}^{-1}$ , correspondentes a vibrações de estiramento  $\nu\text{C=O}$  de amida I e II, respectivamente (MAHMOUD et al., 2013). Na região entre  $1074$  e  $928\text{ cm}^{-1}$  notou-se uma sobreposição de diversas bandas, nas quais, encontram-se presentes as deformações em  $1050\text{ cm}^{-1}$ ,  $1076\text{ cm}^{-1}$  e  $844\text{ cm}^{-1}$  provenientes dos estiramentos C-S de sulfeto e dissulfeto (PERES et al., 2015; SHARMA et al., 2011).

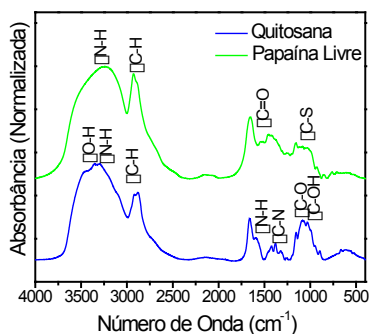


Figura 7. Espectros de FTIR para quitosana e papaína.

A formação da funcionalização das  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  NPs também foi investigada por FTIR. Para a magnetita (Fig. 8a) nota-se a presença de absorção em 3401 e 1625  $\text{cm}^{-1}$ , atribuídos aos estiramentos da ligação O-H de moléculas OH- adsorvidas na superfície das NPs, além da absorção em 588  $\text{cm}^{-1}$ , associada ao estiramento da ligação Fe-O (WANG et al., 2012; SHARAFI; SEYEDSADJADI, 2013). Para o nanomaterial  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /quitosana (Fig. 8b) percebeu-se a presença de todas as absorções características da quitosana, bem como das  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  NPs que interagem entre si por meio de interações eletrostáticas e ligação de hidrogênio (ZANG et al., 2014).

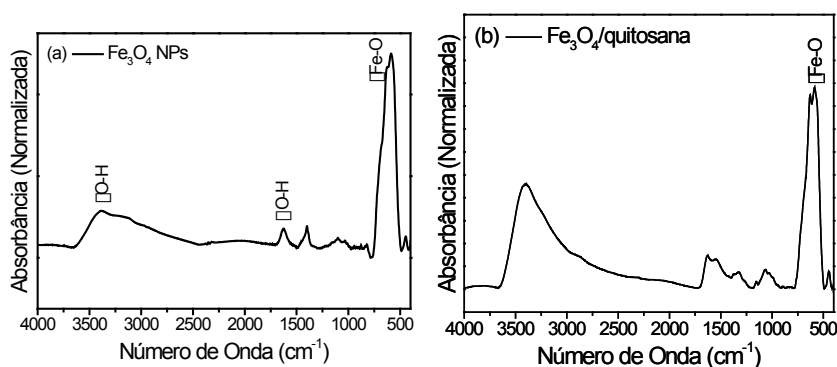


Figura 8. Espectros de FTIR para: a)  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  NPs b) suporte  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /quitosana.

A imobilização da papaína no suporte proposto,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /quitosana foi confirmada por FTIR, Fig. 9, visto que o aumento na absorção em 1640  $\text{cm}^{-1}$  para  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /quitosana-glutaraldeído e papaína imobilizada confirmaram a formação da ligação C=N entre o suporte e a enzima. A formação da ligação C=N é possível devido a presença dos grupos  $\text{NH}_2$  no suporte  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /quitosana e na enzima, pois estes agem como nucleófilos e atacam os grupos aldeídos presentes no glutaraldeído formando a ligação imina, facilmente observada por FTIR (KRAJEWESKA, 2004; HANEFELD; GARDOSSI; MAGNER, 2009).

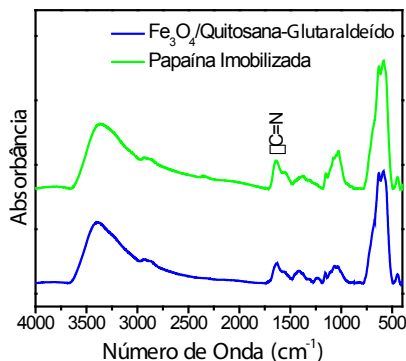


Figura 9. Espectros de FTIR para  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /quitosana-Glutaraldeído e Papaína imobilizada.

### 3.3 Arranjo supramolecular e tamanho

A microscopia eletrônica de transmissão (MET) foi utilizada com o intuito de analisar a organização supramolecular, a morfologia e o tamanho dos materiais obtidos. A Fig. 10a mostra a formação das  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  NPs com morfologia quase esférica com tamanho de aproximadamente 16 nm. Além disso, as  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  NPs se mostraram polidispersas com formação de agregados em virtude de sua natureza magnética (ZANG et al., 2014). O mesmo comportamento é observado para a enzima imobilizada, Fig. 10b, entretanto, a formação de agregados maiores ocorreu devido da condensação das moléculas de quitosana quando estas foram submetidas a reação com glutaraldeído (ZANG et al., 2014).

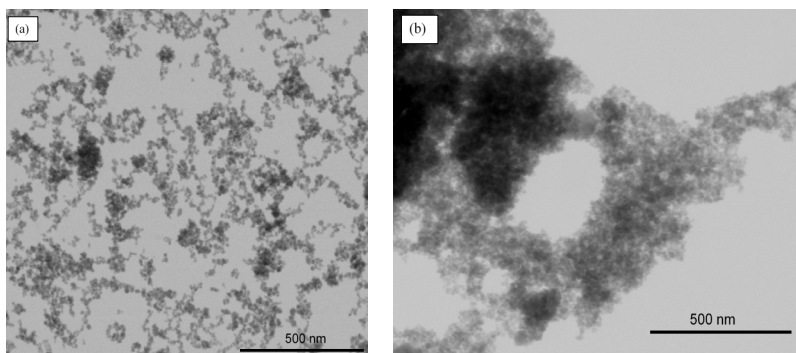


Figura 10. Imagens de microscopia eletrônica de transmissão para (a)  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  NPs e (b) papaína imobilizada.

### 3.4 Ensaio de Atividade Proteolítica

A avaliação da capacidade proteolítica da papaína imobilizada se torna necessário uma vez que a imobilização de enzimas via ligação covalente pode

interferir na sua estabilidade e desempenho catalítico (KRAJEWSKA, 2004). A Fig. 11 mostra o resultado do teste qualitativo realizado utilizando gelatina comercial para avaliação da atividade proteolítica da papaína imobilizada. Neste ensaio observou-se que para o controle negativo, Fig. 11a, houve total gelificação, já que não houve hidrólise da proteína presente na gelatina, uma vez que no meio não há a presença de enzima proteolítica (LIMA, 2008). Por outro lado, para a papaína livre (controle positivo) e papaína imobilizada (Fig. 11b e 11c), a presença de proteólise acarretou na não formação de gel, devido a presença da enzima no meio causando hidrólise das moléculas de proteínas presentes na gelatina, interrompendo o processo de gelificação (LIMA, 2008). Isso indica que o processo de imobilização da papaína no suporte  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ /quitosana não promoveu a perda da atividade enzimática da papaína.



Figura 11. Teste da atividade proteolítica sob a formação da gelatina para: a) controle negativo b) controle positivo (Papaína livre) e c) papaína imobilizada

Outra maneira utilizada para avaliar a atividade proteolítica da enzima imobilizada foi através da reação de hidrólise da caseína. Sabe-se que o leite bovino possui alto teor de caseína, sendo, portanto, um material acessível para encontrar essa proteína (CARREIRA, et al., 2003). A Fig. 12a mostra o espectro de absorção na região do UV-Vis para uma amostra de leite diluída em água. Observou-se a presença de uma absorção em 235 nm que foi atribuída às moléculas de caseína e aminoácidos aromáticos presentes no leite (CARREIRA, et al., 2003).

A reação de hidrólise da caseína pela papaína imobilizada foi acompanhada por espectrofotometria na região do UV-Vis. É válido destacar que a papaína pode hidrolisar a caseína presente no leite em peptídeos menores (CARREIRA et al., 2003), tornando possível a avaliação de sua atividade proteolítica por este método. Pode-se observar na Fig. 12b que a papaína imobilizada não perdeu atividade visto que promove a degradação da caseína, observada pela diminuição significativa da absorção característica da caseína com o tempo.

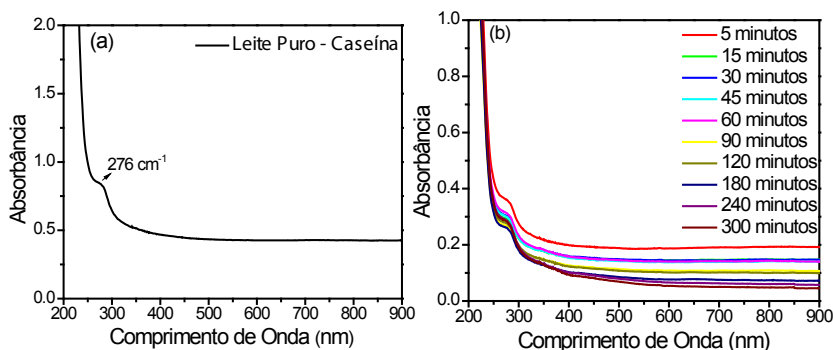


Figura 12. Espectros eletrônicos na região do UV-Vis para: (a) leite puro e teste de atividade proteolítica para papaína imobilizada por 300 min.

## 4 | CONCLUSÃO

A papaína foi imobilizada no suporte híbrido contendo nanopartículas esféricas de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  modificadas com quitosana. A imobilização da papaína às NPs ocorreu via adsorção química com formação de ligação imina entre a enzima e o suporte ativado com glutaraldeído. Os testes de formação do colágeno e degradação da caseína indicam que a enzima imobilizada não perdeu sua capacidade proteolítica, mostrando assim que o nanomaterial obtido tem potencialidade para ser empregado em aplicações que necessitem da atividade proteolítica da papaína e magnética das  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  para recuperação do biocatalisador.

## REFERÊNCIAS

- BORDBAR, A. et al. Immobilization of cellulase enzyme onto magnetic nanoparticles: Applications and recent advances. **Molecular Catalysis**, v. 442, p. 66–73, 2017.
- CAI, J. et al. Preparation and characterization of N-benzoyl-O-acetyl-chitosan. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 77, p. 52–58, 2015.
- CARREIRA, R. L. et al. Otimização da hidrólise da caseína para elevar o teor de pequenos peptídeos: emprego da pepsina. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, n. 3, p. 625–634, 2003.
- CHEN, X. et al. Biopanning and characterization of peptides with  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles-binding capability via phage display random peptide library technique. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 141, p. 537-545, 2016.
- DE LIMA, S. L. T. et al. Estudo da Atividade Proteolítica de Enzimas Presentes em Frutos. **Química Nova na Escola**, v. 28, p. 2008, 2008.
- DEHAGHI, S. M. et al. Removal of permethrin pesticide from water by chitosan-zinc oxide nanoparticles composite as an adsorbent. **Journal of Saudi Chemical Society**, v. 18, n. 4, p. 348–355, 2014.

DING, X. et al. Colloidal synthesis of ultrathin g-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoplates. **RSC Advances**, v. 4, n. 18, p. 9314–9320, 2014.

FAHAMI, A.; BEALL, G. W. Mechano-synthesis of carbonate doped chlorapatite–ZnO nanocomposite with negative zeta potential. **Ceramics International**, v. 41, n. 9, p. 12323–12330, 2015.

FARAJI, M.; YAMINI, Y.; REZAEI, M. Magnetic nanoparticles: Synthesis, stabilization, functionalization, characterization, and applications. **Journal of the Iranian Chemical Society**, v. 7, n. 1, p. 1–37, 2010.

KRAJEWSKA, B. Application of chitin- and chitosan-based materials for enzyme immobilizations: A review. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 35, n. 2-3, p. 126–139, 2004.

KUMAR, A. B. V et al. Low molecular weight chitosans: Preparation with the aid of papain and characterization. **Biochimica et Biophysica Acta - General Subjects**, v. 1670, n. 2, p. 137–146, 2004.

LEITE, A. P. et al. Uso e efetividade da papaína no processo de cicatrização de feridas: uma revisão sistemática. **Rev Gaúcha Enferm.**, v. 33, n. 3, p. 198–207, 2012.

LOU, W. et al. Recent advances in immobilized enzymes on nanocarriers. **Chinese Journal of Catalysis**, v. 37, p. 1814–1823, 2016.

LU, G. Q. M. et al. Magnetic nanocomposites with mesoporous structures: synthesis and applications. **Small**, v. 7, n. 4, p. 425–443, 2011.

LU, H.-T. Synthesis and characterization of amino-functionalized silica nanoparticles. **Colloid Journal**, v. 75, n. 3, p. 311–318, 2013.

MAHMOUD, K. A. et al. Preparation of Well-Dispersed Gold/Magnetite Nanoparticles Embedded on Cellulose Nanocrystals for Efficient Immobilization of Papain Enzyme. **Applied Materials e Interfaces**, v. 5, 2013.

MELO, A. F. A. A. ET AL. Highly Stable Magnetite Modified with Chitosan, Ferrocene and Enzyme for Application in Magneto-Switchable Bioelectrocatalysis. **J. Braz.Chem. Soc.**, v. 24, n. 2, p. 285–294, 2013.

MENDES, A. A. et al. Aplicação de quitosana como suporte para a imobilização de enzimas de interesse industrial. **Química Nova**, v. 34, n. 5, p. 831–840, 2011.

NAZIFI, Z. S.; NAEIMI, H. A highly efficient nano-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> encapsulated-silica particles bearing sulfonic acid groups as a solid acid catalyst for synthesis of 1,8-dioxo-octahydroxanthene derivatives. **Journal of nanoparticle research**, v. 15, p. 2026–2036, 2013.

PAVIA D. L., LAMPMAN G. M., KRIZ G. S., **Introduction to Spectroscopy. A Guide for Students of Organic Chemistry**, 3 ed., S. College.

PERES, R. S. et al. Applied Surface Science Transport and antifouling properties of papain-based antifouling coatings. **Applied Surface Science**, v. 341, p. 75–85, 2015.

QI, L.; XU, Z. Lead sorption from aqueous solutions on chitosan nanoparticles. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 251, n. 1-3, p. 183–190, 2004.

- RAŠKOVIC, B. et al. Molecular and Biomolecular Spectroscopy Fourier transform infrared spectroscopy provides an evidence of papain denaturation and aggregation during cold storage. **Spectrochimica Acta**, v. 150, p. 238–246, 2015.
- RINAUDO, M. Chitin and chitosan: properties and applications. **Progress in polymer science**, v. 31, p 603-632, 2006.
- SANTOS, G. P.; MELO, A. F. A. A.; CRESPILO, F. N. detection via particle – electrode collisions. **Phys. Chem. Chem. Phys.**, v. 16, p. 8012–8018, 2014.
- SARNO, M. et al. High activity and selectivity immobilized lipase on  $Fe_3O_4$  nanoparticles for banana flavour synthesis. **Process Biochemistry**, v. 56, p. 98–108, 2017.
- SCHECHTER, I. On the Size of the Active Site in Proteases. I. Papain. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 425, n. 3, p. 497–502, 1967.
- SCHRBDER, E. et al. X-ray crystallographic structure of a papain-leupeptin complex. **Federation of European Biochemical Societies**, v. 315, n. 1, p. 38–42, 1993.
- SHARAFI, A.; SEYEDSADJADI, M. Modified Superparamagnetic Nanoparticles  $Fe_3O_4$  @PEG for Drug Delivery. **International Journal of Bio-Inorganic Hybrid Nanomaterials Surface**, v. 2, n. 3, p. 437–441, 2013.
- SHARMA, M. et al. Development of enteric submicron particle formulation of papain for oral delivery. **International Journal of Nanomedicine**, v. 6, p. 2097–2111, 2011.
- TAVARES, A. P. M. et al. Optimization of enzyme immobilization on functionalized magnetic nanoparticles for laccase biocatalytic reactions. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 117, p. 1–8, 2017.
- URAGAMI, T.; TOKURA, S. **Material Science of Chitin and Chitosan**, Japan:Kodansha Ltd., Springer, 2006.
- WAHBA, M. I. Porous chitosan beads of superior mechanical properties for the covalent immobilization of enzymes. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 105, p. 894–904, 2017.
- WANG, J. et al. Immobilization of Lipases on Alkyl Silane Modified Magnetic Nanoparticles : Effect of Alkyl Chain Length on Enzyme Activity. **Lipase Immobilization**, v. 7, n. 8, p. 21–25, 2012.
- ZANG, L. et al. Preparation of magnetic chitosan nanoparticles as support for cellulase immobilization. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 53, n. 9, p. 3448–3454, 2014.
- ZHANG, X. et al. Prussian blue modified iron oxide magnetic nanoparticles and their high peroxidase-like activity. **Journal of Materials Chemistry**, v. 20, p. 5110–5116, 2010.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Adsorção 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 104, 105, 106, 107, 108, 110, 111, 112, 174, 184, 185, 187, 188, 190, 191, 192, 193, 195, 196, 212, 213, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 292, 293, 294, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303

Alginato de sódio 322, 323, 324, 325

Asfalto-borracha 209

Ativação química 14, 15, 19, 212, 214, 215, 223

Azul de metileno 1, 4, 12, 13, 104, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 184, 185, 187, 188, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 215, 217, 218, 220, 221, 222, 223, 295, 299

### B

Bagaço de uva 1, 3, 4, 6, 11, 12

Biodegradável 24, 25, 43, 44, 46, 49, 110, 114, 126, 198, 202, 203, 206, 236, 310, 315

Biomassa lignocelulósica 184, 186

Biorreator de leite empacotado 91, 101

Biossorção 24, 104, 110, 111, 186, 212, 223

Borracha de silicone 149, 151, 152, 153, 157, 158, 159, 160, 161

Borracha SBR 149, 153

### C

Câncer 203, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313

Cápsulas de zeólita fertilizante 124

Caracterização térmica 90, 282

Carboximetilação 24, 25, 26, 28, 30

Chitosan 13, 24, 125, 134, 162, 163, 174, 175, 176, 195, 312, 313

Coacervação complexa 322

Comportamento reológico de emulsões 322, 329, 332

Compósito 41, 56, 64, 80, 81, 82, 83, 87, 90, 124, 129, 132, 177, 178, 179, 180, 182, 183, 203, 260, 261, 272, 273

Corante 1, 4, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 21, 104, 105, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 184, 185, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 217, 218, 221, 222, 223, 292, 295, 296, 298, 299, 300, 301, 302, 303



## **E**

Economia circular 45, 247, 251, 254, 255, 256, 258, 260, 261, 263, 270, 274, 275

Efluente têxtil 104

Envelhecimento natural 135, 138, 143, 144, 145, 258, 262, 265, 266, 267, 268, 269, 274

Enzymatic Immobilization 163

Epóxi-PZT 80, 82

Eugenol 315, 316, 320, 321

Extração de enzimas 91

Extrusão 113, 115, 116, 118, 119, 261, 263, 272, 273

## **G**

Geleificantes 236

## **H**

Hidrofilicidade 56, 64

Hidrogéis 67, 68, 69

## **I**

Insumo agrícola 67

## **L**

Liberação controlada de medicamentos 198, 307, 309

Ligantes asfálticos 209

## **M**

Montmorilonita 127, 315, 316

## **O**

Óxido de grafeno 177, 178, 179, 182

## **P**

Papain 162, 163, 175, 176

Partículas core-shell 224, 225

PEAD 113, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122

Pectina 214, 236, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 328

PEUAM 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146

Poliacrilatos 67, 73, 78

Poliisocianurato 277, 278

Polimerização em emulsão 224, 225, 228, 235  
Poliol 43, 45, 46, 47, 49, 50, 279, 280, 281, 283, 287  
Poliuretano 32, 33, 40, 41, 42, 45, 47, 48, 50, 51, 277  
Prospecção de custo de produção 258

## **R**

Resíduo agroindustrial 11, 14, 16, 21, 213  
Resíduos 1, 3, 4, 12, 14, 15, 17, 21, 32, 33, 40, 41, 44, 52, 78, 93, 102, 106, 111, 113, 125, 134, 150, 151, 152, 153, 156, 157, 158, 159, 160, 184, 186, 187, 195, 212, 219, 223, 227, 240, 241, 246, 251, 256, 258, 259, 260, 261, 275, 321, 333  
Retardante de chamas 33

## **S**

Sílica mesoporosa 292, 293, 294, 295, 303  
Sulfatação 24, 25, 26

## **U**

Ultrassom 14, 16, 17, 19, 20, 21, 179, 180, 308, 324, 326, 332  
Uso de Biopolímero 124

# A Química nas Áreas Natural, Tecnológica e Sustentável

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

# A Química nas Áreas Natural, Tecnológica e Sustentável



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



[contato@arenaeditora.com.br](mailto:contato@arenaeditora.com.br)



[@arenaeditora](https://www.instagram.com/arenaeditora)



[www.facebook.com/arenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/arenaeditora.com.br)