

# Trabalhos nas Áreas de Fronteira da Química

**Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua**  
(Organizador)



**Atena**  
Editora  
Ano 2021

# Trabalhos nas Áreas de Fronteira da Química

**Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua**  
(Organizador)



**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

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.



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 Humanas e Sociais Aplicadas**

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  
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Ivone Goulart Lopes – Instituto 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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> Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

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. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

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> Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

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. 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. 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
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  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Linguística, Letras e Artes**

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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. 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. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais  
Prof. Me. Aleksandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof<sup>ª</sup> 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. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná  
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  
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein  
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará  
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás  
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  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Livia 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. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo  
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  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa  
Prof<sup>ª</sup> 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  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
Prof<sup>ª</sup> 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



## Trabalhos nas áreas de fronteira da química

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Vanessa Mottin de Oliveira Batista  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizador:** Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

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

T758    Trabalhos nas áreas de fronteira da química / 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 978-65-5706-824-3

DOI 10.22533/at.ed.243212202

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



Ano 2021

## 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.

## APRESENTAÇÃO

O E-book intitulado: “Trabalhos nas Áreas de Fronteira da Química”, constituído por dezesseis trabalhos em forma de capítulos, promovem a apresentação e discussão científica de forma intra e interdisciplinar, que convergem para uma mesma problemática: melhoria na qualidade e expectativa de vida da sociedade. Esta coleção apresenta trabalhos que proporcionam: (i) melhorar e aperfeiçoar a relação ensino aprendizagem em diferentes níveis de ensino, possibilitando o aprofundamento da compreensão da relação homem e meio-ambiente, por meio do desenvolvimento de uma consciência que coloque o homem como parte integrante do meio; (ii) desenvolvimento de novos materiais com potencialidades de melhorar ou inovar suas aplicações nos diferentes seguimentos da sociedade, despertando a mudança da visão extrativista e fortalecendo a que seja capaz de reduzir impactos ao meio ambiente; (iii) uso da biotecnologia tanto no setor de saúde quanto no de alimentos que buscam aprimorar ou desenvolver novas aplicações; (iv) aplicação e potencialidades do uso de biomassa de resíduos e rejeitos gerados por atividades agroindustriais, possibilitando a incorporação destes como matéria-prima para aplicações em diferentes produtos, diminuindo o impacto gerado na extração de matérias-primas do ambiente que contribui para a preservação de recursos naturais para as gerações vindouras e (v) estudo de novas substâncias potencialmente capazes de melhorar ou desenvolver processos clínicos, tanto do ponto de vista de resolução de imagens em exames quanto de processos terapêuticos, possibilitando maior acessibilidade e disponibilidade a sociedade.

Neste sentido e com o intuito de colaborar para a disseminação destas e de outras informações que levem a despertar uma maior consciência da relação do homem e do meio ambiente, a Atena Editora lança o volume I do E-book “Trabalhos nas Áreas de Fronteira da Química”.

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

**ABORDANDO A IMPORTÂNCIA DA RECICLAGEM E DA COMPOSTAGEM NA PERSPECTIVA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, SOCIEDADE E AMBIENTE (CTSA)**

Estefano Poletto da Silva

Joanez Aires

**DOI 10.22533/at.ed.2432122021**

### **CAPÍTULO 2..... 14**

**ABORDAGEM CIÊNCIA, TECNOLOGIA, SOCIEDADE, AMBIENTE (CTSA) NO ENSINO DE QUÍMICA DO ENSINO SUPERIOR: OFICINAS DE PRODUÇÃO DE SABÃO EM COMUNIDADES PERIFÉRICAS DA CIDADE DE MARABÁ – PARÁ**

Aline Maria Viana de Souza

Elieuda dos Reis Santos

Joana D'arc Alexandre Barbosa

Jefferson Dias Vieira

Millena Lima Almeida

Marcos Francisco Ozorio dos Santos

Tatiani da Luz Silva

**DOI 10.22533/at.ed.2432122022**

### **CAPÍTULO 3..... 30**

**O USO DA QUÍMICA DOS PERFUMES NO ENSINO DE QUÍMICA ORGÂNICA EXPERIMENTAL**

Gabriel de Paula Bueno

Olga Maria Schimidt Ritter

Taís Viviane Hanauer

Victor Leonardo Rodrigues Pinheiro

Bruna Sthephany Grassi Magalhães

**DOI 10.22533/at.ed.2432122023**

### **CAPÍTULO 4..... 41**

**OFICINA PEDAGÓGICA COMO FERRAMENTA DE APRENDIZAGEM DE ASTRONOMIA**

Marcelo Monteiro Marques

Juliana Pereira da Costa

Rayanne Cristina da Silva Santos

**DOI 10.22533/at.ed.2432122024**

### **CAPÍTULO 5..... 52**

**A NANOTECNOLOGIA NA LUTA CONTRA O CÂNCER: UMA REVISÃO**

Angélica de Brito Sousa

Jéssica Randel da Silva Alves

Darlisson Slag Neri Silva

Juracir Francisco de Brito

Nelson Nunes da Silva Lopes Júnior

**DOI 10.22533/at.ed.2432122025**

**CAPÍTULO 6..... 64**

**CELULOSE BACTERIANA PARA APLICAÇÕES BIOMÉDICAS: UMA PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA**

Ricardo Barbosa de Sousa  
Amanda Maria Claro  
Hernane da Silva Barud  
Sidney José Lima Ribeiro  
Edson Cavalcanti da Silva Filho

**DOI 10.22533/at.ed.2432122026**

**CAPÍTULO 7..... 88**

**ENSAIOS PARA PRODUÇÃO DE UM SORVETE PROBIÓTICO A PARTIR DO USO DE EXTRATO DE *Theobroma grandiflorum* (CUPUAÇU) E CEPAS COMERCIAIS DE *Lactobacillus acidophilus***

Elaine Isabel Melo Alves Coelho  
Lívia Maria Pinto Rodrigues  
Edailson de Alcântara Corrêa

**DOI 10.22533/at.ed.2432122027**

**CAPÍTULO 8..... 99**

**NANOPARTÍCULAS DE COBRE BIODISSIMULADAS PELO FUNGO ENDOFÍTICO *Phaeoacremonium* SP. ISOLADO DAS AMÊNDOAS DE *Bertholletia excelsa* DUCKE**

Edmilson dos S. Moraes  
Fabrício H. Holanda  
Beatriz L. Ferreira  
Iracirema S. Sena  
Adilson L. Lima  
Victor H. de Souza Marinho  
Irlon Maciel Ferreira

**DOI 10.22533/at.ed.2432122028**

**CAPÍTULO 9..... 112**

**SÍNTESE HIDROTÉRMICA DE NANOPARTÍCULAS DE CARBONO A PARTIR DE GLICOSE E UREIA**

Pedro Rafael da Cruz Almeida  
Michael Douglas Santos Monteiro  
Jonatas de Oliveira Souza Silva  
José Carlos dos Santos Junior  
José Fernando de Macedo  
Anderson Alex Conceição Alves  
Mércia Vieira da Silva Sant'Anna  
Eliana Midori Sussuchi  
Lucas dos Santos Lima

**DOI 10.22533/at.ed.2432122029**

**CAPÍTULO 10..... 123**

**INFLUÊNCIA DOS HIDRÓXIDOS DE MAGNÉSIO E ALUMÍNIO NA ATIVAÇÃO**

## MECANOQUÍMICA DO SISTEMA MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>

Constança Amaro de Azevedo

Francisco Manoel dos Santos Garrido

Jairo Moura de Melo

Marta Eloísa Medeiros

**DOI 10.22533/at.ed.24321220210**

## **CAPÍTULO 11** ..... 131

### IMPLICAÇÕES E APLICAÇÕES DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Marluce Oliveira da Guarda Souza

Carine Pereira da Silva

Fernanda Sales Silva

**DOI 10.22533/at.ed.24321220211**

## **CAPÍTULO 12**..... 143

### ICE TEMPLATE ADAPTADA: A PRODUÇÃO DE POROS ATRAVÉS DO CONGELAMENTO

Natália Reigota César

Jeniffer Silveira Gonçalves

Aparecido Junior de Menezes

Walter Ruggeri Waldman

**DOI 10.22533/at.ed.24321220212**

## **CAPÍTULO 13**..... 157

### CARACTERIZAÇÃO DO INSUMO FARMACÊUTICO ATIVO SULFATO DE ATAZANAVIR

Emiliana Moraes de Carvalho

Erika Martins de Carvalho

**DOI 10.22533/at.ed.24321220213**

## **CAPÍTULO 14**..... 169

### UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA PARA O CASO DA PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO, DE INDÚSTRIAS QUÍMICAS, EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO EM BATELADA

Rony Peterson da Rocha

Claudilaine Caldas de Oliveira

Eugênia Leandro Almeida

Mauro A.S.S. Ravagnani

Cid Marcos G. Andrade

**DOI 10.22533/at.ed.24321220214**

## **CAPÍTULO 15**..... 184

### EFEITO DE PROTEÍNAS *ZINC-FINGER* EM DOENÇAS HUMANAS: UM FOCO NA CO-CHAPERONA HSP40 E DOENÇAS NEURODEGENERATIVAS

Jemmyson Romário de Jesus

**DOI 10.22533/at.ed.24321220215**

## **CAPÍTULO 16**..... 196

### NAFTOIMIDAZÓIS COMO POTENCIAIS COMPONENTES TERANÓSTICOS FLUORESCENTES: SÍNTESE E AVALIAÇÃO

Victória Laysna dos Anjos Santos

Helinando Pequeno de Oliveira

Arlan de Assis Gonsalves

Cleônia Roberta Melo Araújo

**DOI 10.22533/at.ed.24321220216**

**SOBRE O ORGANIZADOR.....209**

**ÍNDICE REMISSIVO.....210**

## ICE TEMPLATE ADAPTADA: A PRODUÇÃO DE POROS ATRAVÉS DO CONGELAMENTO

Data de aceite: 01/02/2021

Data de submissão: 06/11/2020

### Natália Reigota César

Universidade Federal de São Carlos  
Sorocaba – SP  
<http://lattes.cnpq.br/3615702921384821>

### Jeniffer Silveira Gonçalves

Universidade Federal de São Carlos  
Sorocaba – SP  
<http://lattes.cnpq.br/0471333214958640>

### Aparecido Junior de Menezes

Departamento de Física, Química e Matemática  
Universidade Federal de São Carlos  
Sorocaba – SP  
<http://lattes.cnpq.br/0484426340349483>

### Walter Ruggeri Waldman

Departamento de Física, Química e Matemática  
Universidade Federal de São Carlos  
Sorocaba – SP  
<http://lattes.cnpq.br/0616238673458322>

**RESUMO:** Os biopolímeros, como a pectina, têm a capacidade de formar géis que são usualmente utilizados como espessantes em gelatina na indústria alimentícia, por exemplo. Os géis porosos de pectina são geralmente homogêneos, formando uma malha rica em água. As diferentes aplicações acerca de estruturas porosas, fazem com que esse seja um material interessante de ser desenvolvido de maneira simples, com baixo custo e eficiente. Compreender como esses

poros são formados e conhecer técnicas de produção de materiais porosos, permite aplicar essas estruturas a favor de possíveis utilizações em diferentes áreas da ciência. *Ice template*, ou *freeze casting*, é a técnica utilizada na produção de materiais com poros através do congelamento, o método convencional utiliza equipamentos pouco acessíveis para a produção dessas estruturas. Esse trabalho tem como objetivo desenvolver uma adaptação da técnica de *ice template*, utilizando um congelador comum sem sistema *frost-free*, para realizar o congelamento e formação de estruturas porosas.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Ice Template* adaptado, *freezer* doméstico, estruturas porosas.

### ADAPTED ICE TEMPLATE: THE PRODUCTION OF PORES THROUGH FREEZING

**ABSTRACT:** Biopolymers, such as pectin, have the ability to form gels which allows their use as jelly thickeners in food industries, for example. Porous pectin gels are generally homogeneous, forming a water-rich mesh. The different applications about porous structures, make this an interesting material to be developed in a simple way, with short and efficient bass. Understanding how these pores are formed and knowing techniques for producing porous materials, allows applying these structures in favor of possible uses in different areas of science. *Ice template*, or *freeze casting*, is the technique used in the production of materials with pores by freezing, the conventional method uses equipment that is not very accessible for the production of these structures. This work aims to



develop an adaptation of the ice template technique, using a common freezer without a frost-free system, to freeze and form porous hydrogels.

**KEYWORDS:** Adapted ice template; common freezer; porous structures.

## INTRODUÇÃO

O uso de estruturas porosas no cotidiano da vida humana não é um fato raro, esse tipo de estrutura se apresenta em diferentes materiais e para as mais variadas aplicações, sendo desde usos muito simples, como uma esponja doméstica ou até mesmo usos mais complexos, como estudos de crescimento celular<sup>1</sup> e remoção de contaminantes em sistemas aquáticos<sup>2</sup>.

A importância em relação a utilização de estruturas porosas, se dá por conta da versatilidade proveniente das características desses materiais, por exemplo, os tipos de poros que uma estrutura apresenta modulam as funções para quais o material pode ser utilizado<sup>3</sup>. Essas características são determinadas de acordo com a direção, tamanho e conexão entre os poros de uma estrutura, podendo ser unidirecionais, poros seguindo uma única direção, ou multidirecionais, onde os poros não seguem um padrão de formação<sup>4</sup>.

Entre as diversas técnicas que podem ser utilizadas na produção de estruturas porosas, o *ice template*, ou *freeze-casting*, utiliza o congelamento para este fim<sup>5</sup>, e envolve não apenas a influência dos fatores físicos a que um material é submetido, como também das propriedades químicas envolvidas, tempo de congelamento, tamanho de partículas e viscosidade das substâncias submetidas ao processo de congelamento<sup>6</sup>. Sem mencionar ainda a química presente nas substâncias utilizadas, incluindo a quantidade de água e presença de sólidos solúveis<sup>7</sup>.

O método de *ice template*, que utiliza os cristais de gelo para a produção de estruturas porosas, que tem foco principalmente em materiais cerâmicos, é um método simples e de baixo impacto ambiental, que permite produzir estruturas porosas únicas<sup>8-9</sup>, como apresentado pelos trabalhos de Deville,<sup>10</sup> que podem ser uma referência sobre a técnica convencional.

Para elucidar como ocorre o desenvolvimento das estruturas porosas por decorrência da formação de gelo a partir da água, usada na maioria das vezes como solvente nos processos de *ice template*<sup>10</sup>, Ickes sugeriu que o processo de congelamento ocorre através da teoria da nucleação<sup>11</sup>, onde foi observado que após o superesfriamento da água, no início do congelamento é formado um embrião de gelo, com a capacidade de influenciar sob outras moléculas, incentivando que as mesmas se solidifiquem, congelando todo o sistema.

Para que haja essa difusão da molécula de água para fase sólida, ocorre a quebra das ligações de hidrogênio das moléculas de água, gerando aumento da energia interna da água, provocando um processo exotérmico, aumentando por um período rápido, a

temperatura durante o congelamento<sup>10</sup>. Esse processo é determinado como calor latente, correspondendo a energia necessária para alternar a mudança de fase da água, de líquida à sólida<sup>9-10</sup>. A nucleação e a formação dos cristais de gelo proporcionam a formação de poros, mas as estruturas desenvolvidas podem ser diferentes<sup>11-12</sup>. Partículas dispersas na água durante a formação de gelo alteram a taxa de resfriamento da água, principalmente se forem muito pequenas, por esse motivo a temperatura durante o processo pode sofrer oscilações<sup>13-14</sup>.

A formação de estruturas, partindo do princípio da técnica de *ice template*, utiliza etapas para formar os poros cerâmicos, que são quatro, até a formação da estrutura final (Figura 1); primeiro há o preparo da formulação que será congelada (a), no início do congelamento há formação dos cristais simultaneamente à precipitação do soluto pela menor disponibilidade de solvente (b). Ao fim do congelamento é feita a sublimação do solvente, geralmente por liofilização (c). Esta sublimação faz com que o gelo seja retirado, mas a forma dos cristais permanece, formando poros, e por fim a sinterização, somente para o caso de materiais cerâmicos, que aglutina as partículas do material para manter sua estrutura (d)<sup>15</sup>, esta não é uma etapa necessária no uso de polímeros.

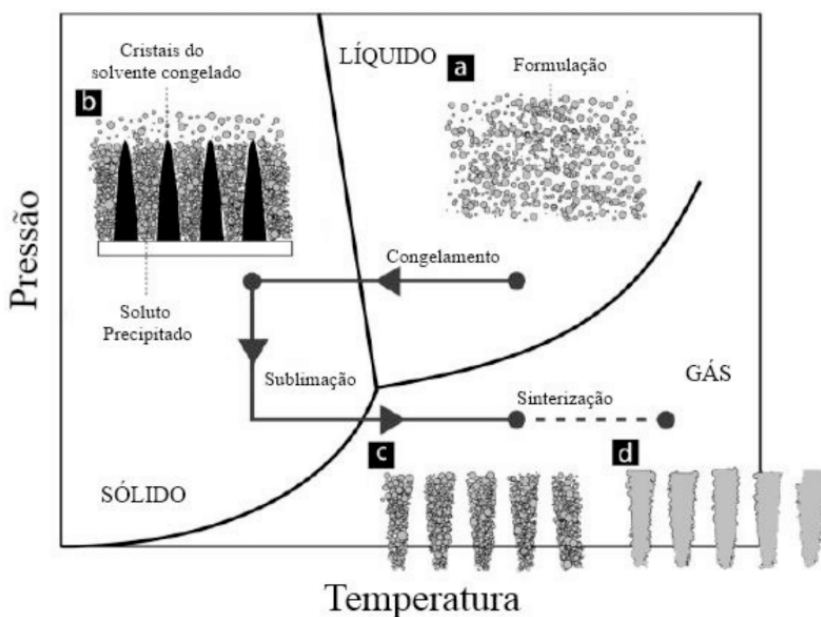


Figura 1. Esquema do processo de ice template, sendo: a) preparo da formulação cerâmica usada para a produção dos materiais; b) evolução dos cristais de gelo, e precipitação do soluto, com conseqüentemente aumento da concentração; c) sublimação do solvente, mantendo a estrutura exata das cerâmicas que haviam sido formados; d) sinterização para manutenção da estrutura formada. Fonte: Adaptado de Deville<sup>15</sup>

Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma técnica adaptada de *ice template*, utilizando um congelador doméstico sem sistema *frost-free*. Trata-se de uma metodologia de baixo custo e fácil acesso que permite que quaisquer hidrogéis tornem-se porosos após a etapa de *freeze casting*.

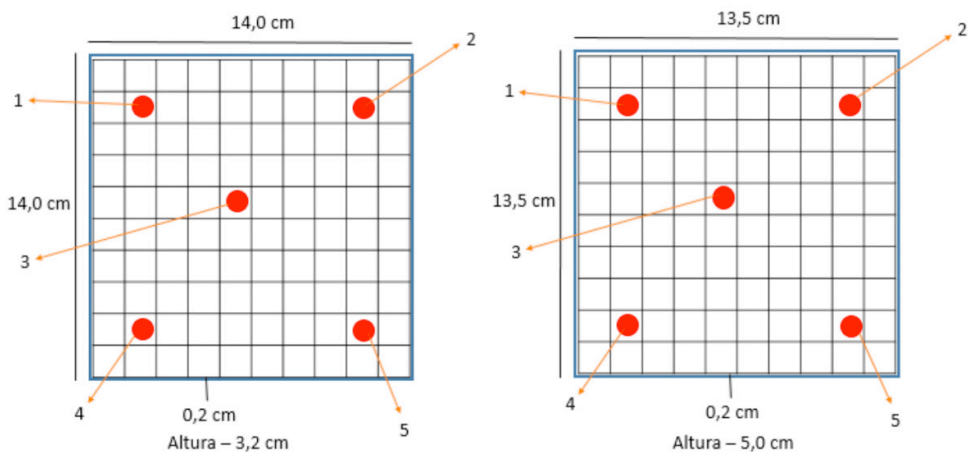
## PARTE EXPERIMENTAL

### Materiais

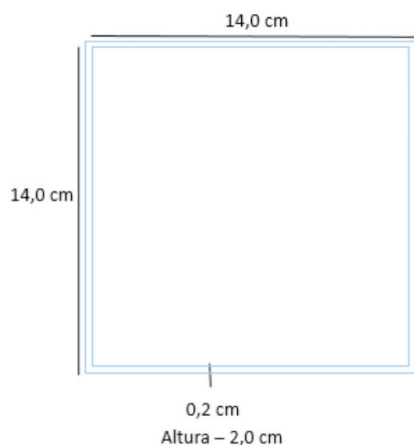
A produção dos géis foi feita utilizando a pectina denominada GENU® LM-102 AS-Z, fornecida pela CPKelco. Esta é extraída de cascas de frutas cítricas e, segundo dados do fornecedor, possui baixa metoxilação (abaixo de 50%), grau de esterificação de aproximadamente 30% e grau de amidação de aproximadamente 19%. A reticulação do gel foi feita com o uso de solução de cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) da marca Anidrol. A água mineral utilizada é da marca Crystal (fonte Mogi das Cruzes, pH 7,37 (25°C) e condutividade elétrica 159,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (25°C).

### Seleção do material a ser utilizado como isolante

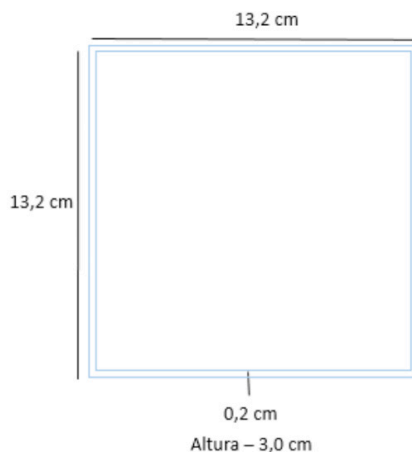
Para determinar o material que seria utilizado durante o condicionamento das amostras no congelador sem sistema *frost-free* (Eletrólux, DC 35 A), a fim de que houvesse um maior isolamento térmico possível durante o congelamento, foram feitos testes com caixa de polipropileno (PP) com dimensões de 14 x 14 x 4  $\text{cm}^3$  e com a caixa de isopor contendo caixa de papelão dentro; a caixa de papelão possuía área de 13,5 x 13,5 x 5  $\text{cm}^3$  (marca Cralplast) e a caixa de isopor com tamanho interno de 14 x 14 x 6,5  $\text{cm}^3$  e tamanho externo de 25 x 25 x 6,7  $\text{cm}^3$ ; todas as dimensões encontram-se na Figura 2.



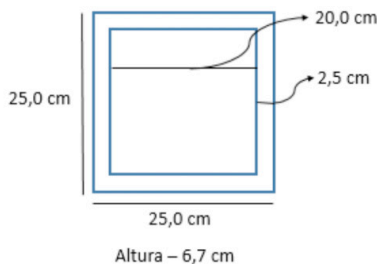
(C) Caixa PP – Tapa, vista interna



(D) Caixa de Papelão – Tapa, vista interna



(E) Caixa de Isopor – Tapa, vista interna



(F) Caixa de Isopor – parte de baixo, vista interna

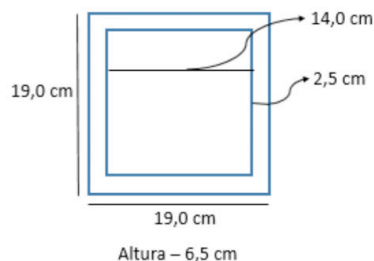


Figura 2. Dimensões das caixas. (A) Vista interna da parte de baixo da caixa de PP, (B) Vista interna da parte de baixo da caixa de papelão, (C) Vista interna da tampa da caixa de PP e (D) Vista interna da tampa da caixa de papelão. (E) Vista interna da tampa da caixa de isopor e (F) Vista interna da parte de baixo da caixa de isopor. Os pontos vermelhos com as setas nas imagens (A) e (B) indicam as localizações em que foram colocados os termostatos digitais para acompanhamento das temperaturas durante o experimento

Foram utilizados termostatos digitais em cinco lugares diferentes dentro das caixas, assim como dentro do *freezer*, a temperatura foi acompanhada a cada 3 minutos pelo período de 225 minutos. Este teste foi realizado sem interferência externa; ou seja, sem abertura do congelador durante o processo.

### Varição da temperatura dentro da caixa isolante

Após selecionar o melhor material isolante, foram realizados testes para verificar possíveis variações de temperatura dentro da caixa isolante através da localização dos termostatos.

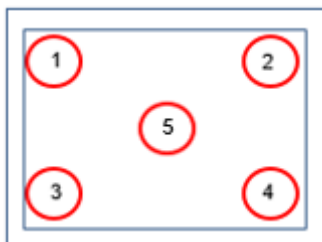


Figura 3. Posições em que foram colocados os termostatos digitais, dentro da caixa isolante

Este acompanhamento foi realizado de em intervalos de 3 minutos, por 222 minutos. A formulação utilizada foi a do gel contendo solução de pectina a 0,05 %, solução de  $\text{CaCl}_2$  a  $0,0020 \text{ mol L}^{-1}$  e  $1860 \mu\text{L}$  de água, a solução foi agitada manualmente e condicionadas em *ependorfs* de 2 mL. Esta solução pré-gel é homogênea a temperatura ambiente com concentração abaixo da suficiente para a reticulação da pectina, não havendo a formação de estrutura de gel. Além das temperaturas internas, também houve o registro da temperatura interna do congelador.

### **Registro do tempo de congelamento das amostras dos géis no sistema de refrigeração sem *frost-free* - Validação da formação de gel pela técnica de adaptada de *ice template***

Foi realizado o acompanhamento do congelamento das amostras buscando determinar o tempo de formação das estruturas porosa, ou seja, a formação dos géis porosos a partir da técnica adaptada de *ice template*.

As temperaturas foram acompanhadas em intervalos de 3 minutos pelo período de 600 minutos; sendo registrados os valores dos géis, da água e da temperatura interna do congelador. O acompanhamento foi realizado em triplicata.

### **Hidrogél de pectina poroso obtido a partir da técnica adaptada de *ice template***

A formulação utilizada foi a do gel contendo solução de pectina a 0,7 %, solução de  $\text{CaCl}_2$  a  $0,0245 \text{ mol L}^{-1}$  e  $1530 \mu\text{L}$  de água, a solução foi agitada manualmente e condicionada em *ependorfs* de 2 mL por 24h dentro da caixa de papelão e isopor no congelador. Foram preparadas amostras em triplicata.

O processo de secagem utilizado foi o da liofilização, realizada no laboratório de biomateriais da Pontifícia Universidade Católica (PUC) – Sorocaba, em parceria com a Professora Eliana Duek. O liofilizador utilizado é do modelo K 105, marca LIOTOP; as amostras foram condicionadas a temperatura de  $-100^\circ\text{C}$  por 48h.

### **Caracterização morfológica do gel poroso**

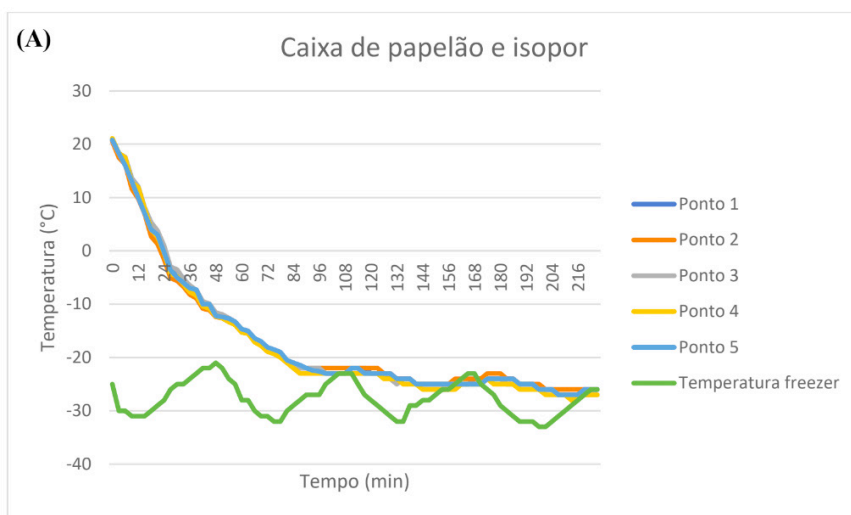
As análises dos géis foram realizadas no microscópio Quanta, modelo 650 FEG

e no microscópio *Inspect* modelo F50, no Laboratório de Microscopia Eletrônica (LME) do Laboratório Nacional de Nanotecnologia (LNNano) localizados no Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM) em Campinas, SP. As amostras foram inicialmente colocadas em porta-amostras de alumínio e recobertas com uma fina camada de material condutor (ouro).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Seleção do material a ser utilizado como isolante

Foram acompanhadas as temperaturas internas das caixas que foram utilizadas durante o experimento, a fim de selecionar o material (PP ou isopor e caixa de papelão) que fosse mais isolante possível, assim as amostras teriam um congelamento lento, permitindo a formação do hidrogél poroso. Na Figura 3 encontra-se os gráficos com as temperaturas para cada material.



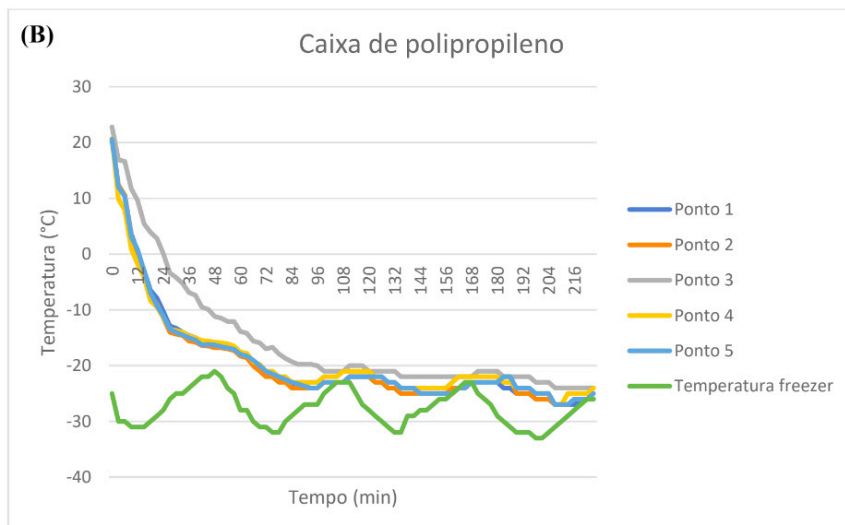


Figura 4. Gráficos de acompanhamento da temperatura das caixas de do isopor com caixa de papelão (A) e PP (B)

Através dos dados obtidos durante os experimentos, foi possível observar que o sistema adaptado utilizando como isolante o isopor contendo a caixa de papelão demonstrou menor alterações térmicas, apresentando menores oscilações entre temperaturas máximas e mínimas do que as observadas na caixa de PP, que mostrou muita influência em relação a variedade da temperatura do *freezer*. A partir dessa análise foi determinado que o isolamento realizado com papelão e isopor se mostrou mais efetivo. Além do experimento de isolamento térmico, o custo do material é menor, o que também favorese seu uso, já que o PP é um material mais caro.

### Variação da temperatura dentro da caixa isolante

Foram realizados testes para a verificação de possíveis variações internas de temperatura em posições diferentes da caixa de papelão. Este teste foi realizado em duplicata e os gráficos estão apresentados na Figura 5 (A) e (B).

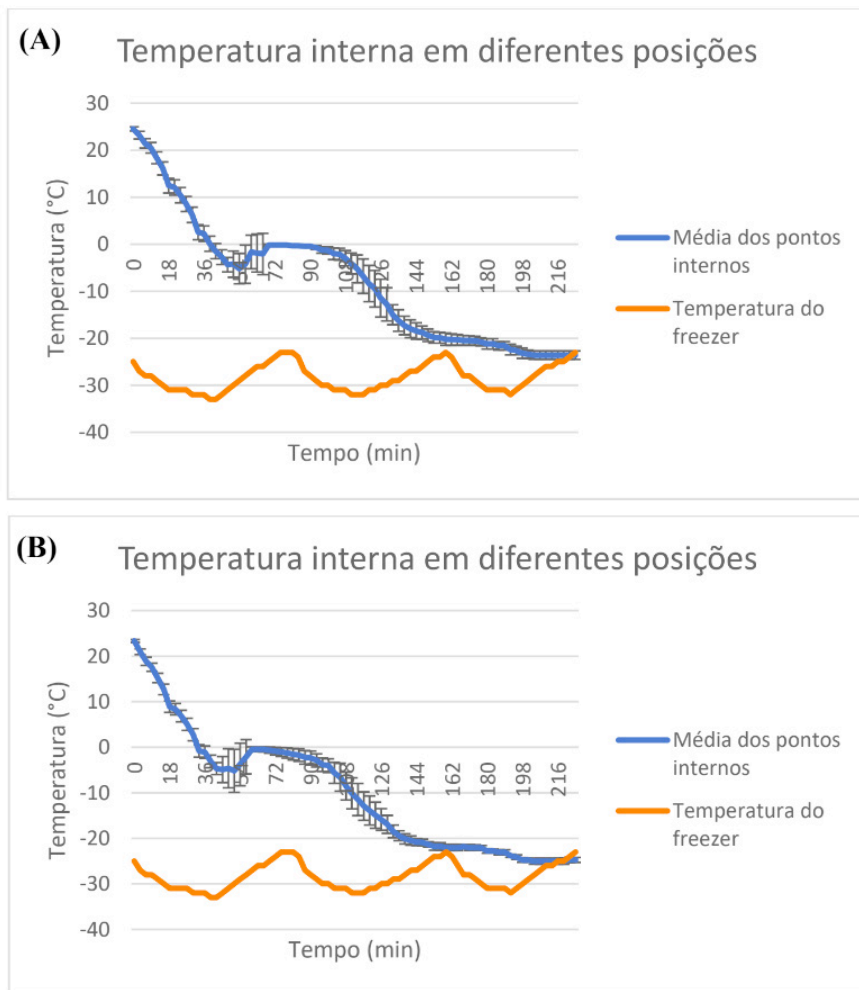


Figura 5. Acompanhamento, em diferentes posições, das temperaturas internas da caixa (A) e (B)

Após análise a comparação dos dados apresentados na Figura 5 (A) e (B), observa-se que não há alterações significativas de temperatura nas diferentes posições internas da caixa de papelão. Assim, acredita-se que todas as amostras estão sendo condicionadas sob a mesma temperatura de resfriamento ao longo de todo o experimento.

### **Registro do tempo de congelamento das amostras dos géis no sistema de refrigeração sem *frost-free* - Validação da formação de gel pela técnica adaptada de *ice template***

Utilizando a metodologia de validação de formação do gel pela técnica adaptada de *ice template* foi possível observar em qual o ponto do experimento ocorreu o total congelamento das amostras e a respectiva formação do gel de pectina, perfurado pelos



cristais de água congelada. Na Figura 6 é possível visualizar o congelamento ao longo do tempo juntamente com algumas imagens de formação das estruturas porosas.

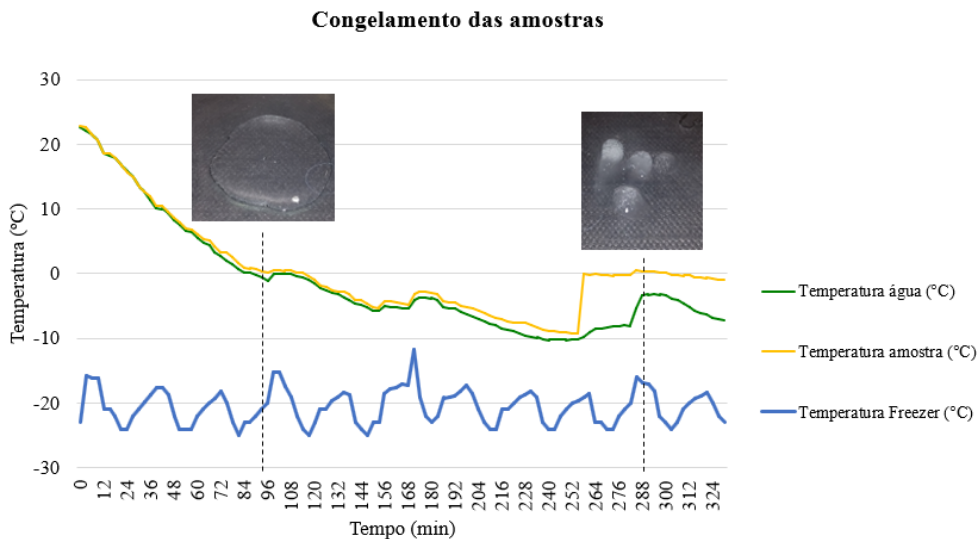


Figura 6. Acompanhamento da formação do gel poroso, congelamento da água e temperatura do freezer nos tempos de 0 a 324 minutos

Após o período de 100 min de processo de congelamento, não houve reticulação do gel de pectina, ainda que a temperatura já estivesse em 0 °C, um resultado esperado, visto que a formação inicial de gelo trata-se de um evento exotérmico, que não ocorre quando a temperatura atinge exatos 0 °C<sup>8-10</sup>.

Uma nova análise foi realizada aos 153 minutos do processo, onde a temperatura atingiu aproximadamente -5 °C, ainda neste momento nenhuma das amostras estavam congeladas ou houve reticulação do gel.

Após 282 minutos de processo, foi possível observar o início de congelamento, com formação de poucos cristais nas paredes dos recipientes, porém conferindo um rápido descongelamento, logo após pouco tempo em exposição à temperatura ambiente. Nesse intervalo houve o início da formação do gel de pectina, que podem ser observadas na Figura 7.

O processo de não haver a formação de um gel robusto, ainda que haja o início do congelamento da amostra, ocorre por conta de que a concentração do soluto, que aumenta de acordo com a menor disponibilidade de solvente<sup>7</sup>, ainda não promove uma reticulação forte o suficiente para a formação de uma estrutura estável.

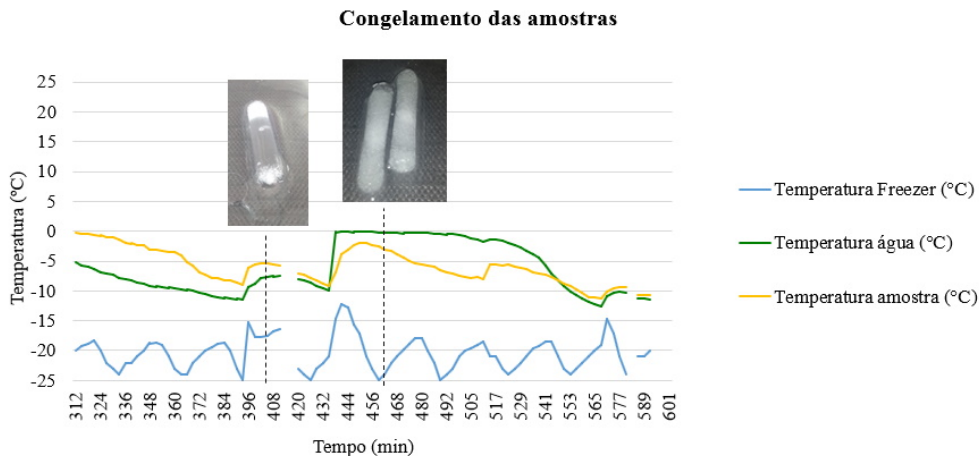


Figura 7. Acompanhamento da formação do gel poroso, congelamento da água e temperatura do freezer nos tempos de 312 a 600 minutos

Nos tempos de 400, 450 e 500 minutos os géis foram formados, assim como seus poros, através dos cristais de gelo formados no processo, podendo ser observado na estrutura do gel formado na Figura 7, em 435 minutos, indicado pela seta da cor preta, assim como nos intervalos posteriores, indicando a estabilidade da reticulação da pectina com formação da estrutura porosa.

A partir dos ensaios realizados no estudo da técnica adaptada, é possível observar que são necessárias aproximadamente 7 horas para a formação total do gel, este após formado apresenta curva de temperatura similar ao comportamento da curva da água, sendo que ambos apresentam oscilações de temperatura próximas as oscilações do freezer.

A formação do gel após o congelamento das amostras comprova a possibilidade do desenvolvimento de estrutura porosa através da utilização de um congelador comum sem sistema *frost free*, permitindo a validação de uma técnica de produção, proveniente de um método eficiente, que requer menor necessidade da disponibilidade de recursos de alto custo, adaptando a técnica de *ice template*.

### Hidrogel de pectina poroso obtido a partir da técnica adaptada de *ice template*

Foram preparadas amostras utilizando a técnica proposta em seguida foram secas por liofilização. Na Figura 8 encontram-se amostra úmida (A) e liofilizada (B).



Figura 8. Imagem da estrutura porosa após descongelamento (A) e após liofilização (B)

Todas as amostras secas por liofilização mantiveram a mesma estrutura do gel pós descongelamento (Figura 8 (B)). Resultado semelhante também foi observado em gel de alginato e cálcio obtido pela autora Gonçalves<sup>7</sup>.

### Caracterização morfológica do gel poroso

A amostra do hidrogel foi caracterizada morfológicamente pela técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Na imagem 9 (A) estão apresentadas as microscopias do hidrogel poroso úmido, pós descongelamento e (B) pós liofilização.

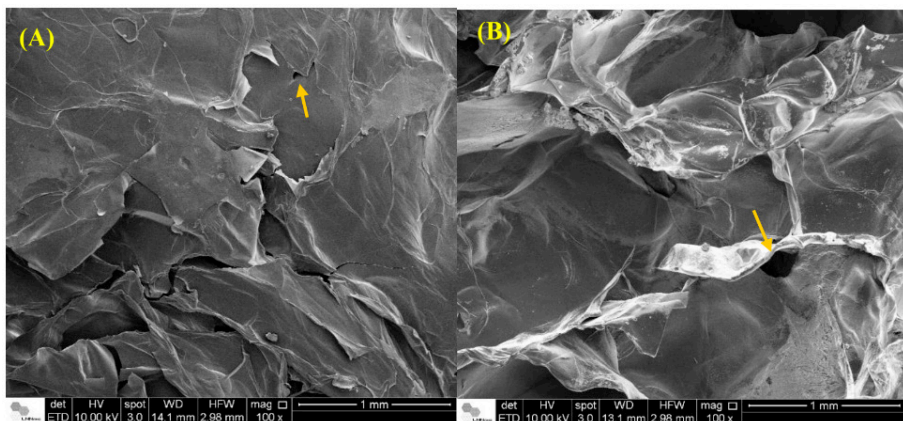


Figura 9. Microscopias eletrônicas de varredura do gel após descongelamento (A) e após liofilização (B)

A partir das imagens de MEV, observa-se que as estruturas dos géis formados são unidirecionais, foram obtidas estruturas porosas após o *ice template* (Figura 9 (A), seta amarela) e esta estrutura manteve-se após a etapa de secagem (Figura 9 (B), seta amarela). Choi e colaboradores<sup>16</sup> estudaram *beads* de quitosana para possível aplicação

na área médica e também observaram que suas estruturas se mantinham similares quando liofilizadas pós descongelamento.

Com a caracterização morfológica dos hidrogéis porosos formados é possível afirmar que técnica de *ice template* adaptada proposta é aplicada de forma satisfatória, possibilitando formação de estruturas porosas organizadas unidirecionalmente com baixo custo, pois obteve-se materiais similares aos obtidos com *cold finger*, com investimentos inferiores em relação aos equipamentos; além de ser uma técnica de mais fácil acesso.

## CONCLUSÃO

Foi possível desenvolver uma técnica adaptada de *ice template*, substituindo o equipamento convencional utilizado (*cold finger*) pelo uso de um congelador sem sistema *frost-free*, um sistema de baixo custo e fácil acesso. Foi possível ainda selecionar o melhor material isolante para o uso neste sistema (caixa de isopor e papelão), estes materiais possibilitaram um congelamento lento; o que resultou na formação de materiais porosos e unidirecionais. A temperatura interna dentro das caixas em diferentes posições também foram acompanhadas e mostraram não haver diferença significativa de temperatura em diferentes localizações internas; ou seja, as amostras foram submetidas as mesmas condições de congelamento independentes das posições. Com as imagens de MEV identificou-se poros nas estruturas após o descongelamento e secagem, comprovando o uso satisfatório da nova técnica proposta.

## AGRADECIMENTO

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS

1. ISHIZAKI, K.; KOMARNENI, S.; NANKO, M. **Porous Materials: Process technology and applications**. Springer, 1998. 240 p. (Materials Technology Series). ISBN 978-1-4615-5811-8.
2. SILVA, L. L.; GALEMBECK, F. Morphology of latex and nanocomposite adsorbents prepared by freeze-casting. **Journal Of Materials Chemistry A**, [s.l.], v. 3, n. 14, p.7263-7272, 2015.
3. SADER, M. S.; FERREIRA, M.; DIAS, M. L. Preparação e caracterização de estruturas porosas de poli(3-hidroxibutirato). **Polímeros**, v. 16, n. 1, p. 12-18, 2006.
4. WHITE, M.; CONRAD, J.; ELLIS, S. N.; CHEN R.; Investigations of ice-structuring agents in ice-templated ceramics. **Journal of the American Ceramic Society**, v. 100, n. 11, p. 5066-5074, 2017.
5. DEVILLE, S. Freeze-Casting of Porous Ceramics: A Review of Current Achievements and Issues. **Advanced Engineering Materials**, v. 10, n. 3, p.155-169, 2008.

6. LIU, Gang; BUTTON, Tim W. The effect of particle size in freeze casting of porous alumina–zirconia composite. **Ceramics International**, v. 39, n. 7, p.8507-8512, 2013.
7. Gonçalves, J. S. **Produção de géis porosos por congelamento**. 2018. 86 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2018.
8. BIGLIA, A.; COMBA, L.; FABRIZIO, E.; Gay, P.; AIMONINO, D. R. Case Studies in Food Freezing at Very Low Temperature. **Energy Procedia**, v. 101, p.305-312, 2016.
9. RAUT, U.; FAMÁ, M.; TEOLIS, B D.; BARAGIOLA, R. A. Characterization of porosity in vapor-deposited amorphous solid water from methane adsorption. **The Journal Of Chemical Physics**, v. 127, n. 20, p.1-6, 2007.
10. DEVILLE, S. Freeze-Casting of Porous Biomaterials: Structure, Properties and Opportunities. **Materials**, v. 3, n. 12, p.1913-1927, 2010.
11. ICKES, Luisa et al. Classical nucleation theory of homogeneous freezing of water: thermodynamic and kinetic parameters. **Physical Chemistry Chemical Physics**, v. 17, n. 8, p.5514-5537, 2015.
12. LIBBRECHT, Kenneth G. Physical Dynamics of Ice Crystal Growth. **Annual Review of Materials Research**, v. 47, n. 1, p.271-295, 2017.
13. MORITZ, Tassilo; RICHTER, Hans-jürgen. Ice-mould freeze casting of porous ceramic components. **Journal of The European Ceramic Society**, v. 27, n. 16, p.4595-4601, 2007.
14. YOON, B.; KOH, Y. H.; PARK, C. S.; KIM, H. E. Generation of Large Pore Channels for Bone Tissue Engineering Using Camphene-Based Freeze Casting. **Journal of American Ceramic Society**, v. 90, pp. 1744–1752, 2007.
15. DEVILLE, S. Ice-templating freeze casting: Beyond materials processing. **Journal of Materials Research**, v. 28, n. 17, p.2202-2219, 2013.
16. Choi, S.-W.; Zhang, Y.; Yeh, Y.-C.; Wooten, A. L.; Xia, Y.; Biodegradable porous beads and their potential applications in regenerative medicine. **Journal of Materials Chemistry**, v. 22, p. 11442-11451, 2012.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Adsorção 130, 131, 134, 136, 137, 138, 139, 141, 142

Água 16, 19, 20, 21, 26, 27, 32, 34, 35, 55, 56, 66, 73, 95, 101, 102, 114, 115, 116, 123, 125, 133, 135, 136, 139, 143, 144, 145, 146, 148, 152, 153, 160, 191, 200

Aminoácidos 184, 185, 187, 188

Análise térmica 126

Aprendizagem 16, 29, 36, 37, 41, 42, 46, 49, 50

Astronomia 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50

### B

Bandas 113, 119, 120, 128, 160, 161, 205

Biocatálise 99, 101

### C

Câncer 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 74, 185, 186

Carbono 67, 82, 112, 113, 114, 118, 119, 140, 162, 203

Células 52, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 67, 73, 74, 76, 94, 103, 106, 133, 185, 186, 191, 192

Celulose 64, 66, 67, 68, 69, 70, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 80, 82, 83, 85, 133, 141

Ciência 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 22, 28, 42, 49, 53, 64, 75, 80, 82, 98, 108, 131, 143, 171, 196

Cobre 73, 74, 99, 100, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 110, 188

Contexto 13, 23, 28, 89, 90, 131, 134, 157, 158, 159

Corante 131, 136, 137, 138, 139

Cromatografia líquida de alta eficiência 163

### D

Descarte 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 16, 17, 19, 22, 24, 25, 26, 27, 139

Desenvolvimento 3, 9, 12, 14, 16, 17, 28, 31, 41, 42, 43, 48, 52, 53, 58, 59, 60, 64, 65, 70, 72, 73, 74, 76, 77, 78, 82, 83, 88, 89, 94, 96, 101, 106, 107, 115, 153, 157, 158, 159, 167, 170, 188, 193, 209

Diagnóstico 25, 186, 196, 197, 198

Difração de raios X 127, 128, 160, 164

Difratograma 165, 167

Doenças 4, 31, 52, 56, 60, 88, 89, 100, 157, 184, 185, 188, 193, 197

## **E**

Educação 1, 2, 3, 4, 8, 11, 12, 13, 16, 23, 28, 39, 43, 46, 47, 49, 50, 64, 96, 209

Educação ambiental 1, 16, 23, 209

Eletroquímicos 114

Espectro de infravermelho 118, 167

Espectroscopia de fluorescência 117

Estabilidade química 113

Estabilidade térmica 67, 157, 159, 164, 167, 190, 191, 193

Estruturas químicas 196

## **F**

Fármacos 52, 54, 55, 56, 58, 60, 66, 71, 74, 75, 77, 160, 164

Fase sólida 144

Fluorescência 114, 117, 120, 196, 199, 202, 206, 207

Fotocatálise heterogênea 131, 134, 136, 138, 139, 209

Fungos 99, 100, 101, 103, 106, 107

## **H**

Hidroxilas 123

Homeostase 184, 185, 186, 188, 193

## **I**

Impacto ambiental 4, 5, 14, 16, 144

Infravermelho com transformada de Fourier 34, 117

Isomorfos 127

## **M**

Medicamentos 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 157, 158, 168

Meio ambiente 3, 10, 13, 15, 17, 19, 22, 24, 26, 27, 131, 134

Metais 100, 106, 107, 134, 188, 193

Metodologia 3, 6, 12, 22, 26, 30, 34, 35, 43, 44, 45, 47, 68, 116, 146, 151, 169, 170, 172, 200, 209

Moagem 123, 124, 125, 126, 127, 128, 132, 133

## **N**

Nanomateriais 52, 53, 54, 55, 59, 60, 112

Nanopartículas 53, 54, 55, 60, 73, 74, 99, 100, 102, 103, 104, 105, 107, 108, 109, 110, 112, 113, 114, 115

Nanotecnologia 52, 53, 59, 60, 149

## **O**

Óxidos metálicos 131, 134, 139, 198

## **P**

Polimórfica 157, 164, 165, 166

Poluentes 66, 107, 134

Poros 55, 76, 139, 143, 144, 145, 153, 155, 188

Potencial zeta 99, 103, 104, 105

Probióticos 88, 89, 90, 94, 98

Proteínas 58, 94, 95, 100, 104, 106, 107, 115, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 193, 194

## **R**

Rejeitos 14, 16

Resíduos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 26, 66, 132, 134, 159, 184, 187, 188, 192, 193, 209

## **S**

Saúde 16, 52, 88, 89, 93, 94, 96, 97, 157, 159, 168, 188, 196

Síntese 34, 38, 66, 82, 99, 100, 101, 103, 109, 110, 112, 113, 115, 116, 118, 119, 130, 131, 159, 196, 199, 200, 202, 208

Sociedade 1, 2, 3, 4, 5, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 20, 22, 28, 49, 50

Soluto 145, 152

Solvente 26, 32, 115, 144, 145, 160, 192, 199, 200, 201, 202, 205, 206

Superfície 16, 20, 54, 55, 74, 103, 113, 114, 115, 120, 123, 133, 138, 139, 188

## **T**

Técnicas espectroscópicas 161, 196

Tecnologia 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 22, 28, 64, 80, 97, 98, 123, 160

Temperaturas 18, 94, 100, 103, 114, 124, 131, 147, 148, 149, 150, 151

Terapêutica 54, 196, 197, 198

Toxicidade 54, 55, 113, 114, 115, 188





Transições eletrônicas 112

## **Z**

Zinco 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 192, 193, 194



# Trabalhos nas Áreas de Fronteira da Química

-  [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)



# Trabalhos nas Áreas de Fronteira da Química

- 🌐 [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)

