

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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Prof^ª Dr^ª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof^ª Dr^ª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Prof^ª Dr^ª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás

Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. 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. 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
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andrezza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª 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
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. 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^ª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Ma. Lilians Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^ª Dr^ª 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^ª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Prof^ª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª 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^ª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof^ª Dr^ª 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^ª 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^ª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Prof^ª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof^ª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Prof^ª 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

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
Livia 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-Al₂O₃-SiO₂

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

CELULOSE BACTERIANA PARA APLICAÇÕES BIOMÉDICAS: UMA PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA

Data de aceite: 01/02/2021

Ricardo Barbosa de Sousa

Programa de Pós-Graduação em Química da
Universidade Federal do Piauí, Laboratório
Interdisciplinar de Materiais Avançados
Teresina - Piauí
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Tocantins, Campus Araguaína
Araguaína – Tocantins
<http://lattes.cnpq.br/7417235183974526>

Amanda Maria Claro

Laboratório de Biopolímeros e Biomateriais
da Universidade de Araraquara/BioPolMat/
UNIARA
Araraquara – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/9696947742883765>

Hernane da Silva Barud

Laboratório de Biopolímeros e Biomateriais
da Universidade de Araraquara/BioPolMat/
UNIARA
Araraquara – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/7020467292690112>

Sidney José Lima Ribeiro

Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho”, Instituto de Química, Campus
Araraquara
Araraquara – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/6446047463034654>

Edson Cavalcanti da Silva Filho

Programa de Pós-Graduação em Química da
Universidade Federal do Piauí, Laboratório
Interdisciplinar de Materiais Avançados
Teresina – Piauí
<http://lattes.cnpq.br/7892423373858047>

RESUMO: A celulose bacteriana é um exopolissacarídeo secretado principalmente por bactérias acéticas e que tem sido aplicado nas mais diversas áreas, entre elas a biomédica. Neste trabalho, foi realizado um mapeamento científico e tecnológico das aplicações biomédicas desse biopolímero nos últimos dez anos, por meio de buscas utilizando palavras-chave adequadas nas bases de patentes *European Patent Office* (EPO), *United States Patent and Trademark Office* (USPTO) e Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI), além da base *Derwent Innovation Index (DII)* da *Web of Science/Clarivate Analytics* e nas bases de artigos *Scopus* e *Web of Science*. As buscas foram realizadas no mês de outubro de 2020. A China foi o país que mais publicou artigos relacionados à área, seguida do Brasil. Com relação às patentes depositadas, a China também liderou o *ranking*, seguida da Organização Mundial da Propriedade Intelectual (WIPO), enquanto o Brasil ficou em 5º lugar junto à Coreia do Sul. A área de Ciência dos Materiais possuiu o maior número de artigos publicados sobre o tema. No que diz respeito à Classificação Internacional de Patentes, a subclasse *A61L* relacionada ao desenvolvimento de curativos e similares e a subclasse *A61K* associada a materiais com finalidades médicas e odontológicas se destacaram. O número de patentes depositadas relacionadas ao tema cresceu na última década, assim como a quantidade de artigos com culminância o ano de 2019. Apesar disso, o número de patentes depositadas é módico em relação ao número de artigos publicados, sobretudo no Brasil, o que sugere perspectivas presentes e futuras de

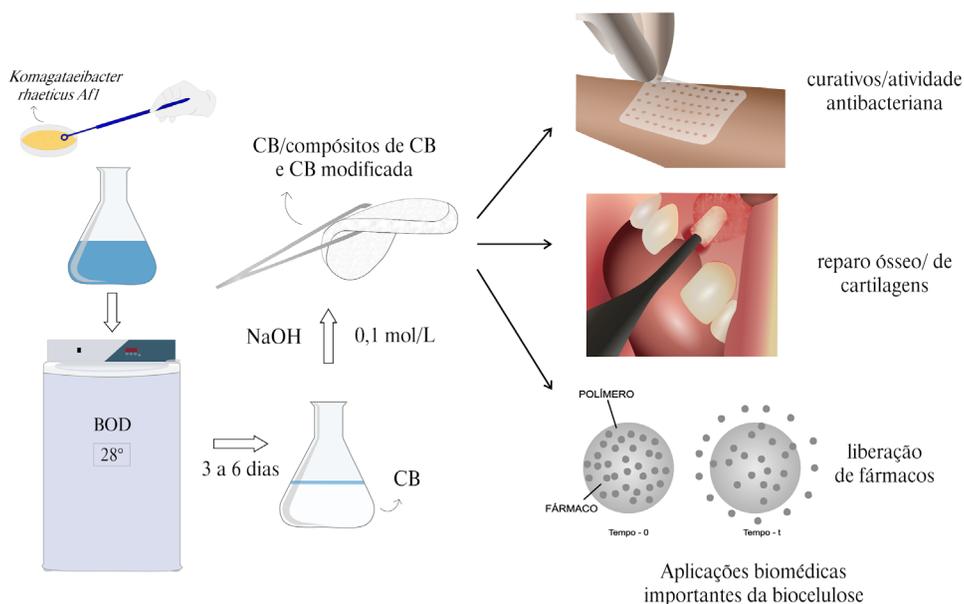
desenvolvimento de produtos patenteáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Biocelulose. Polissacarídeo. Aplicações biomédicas.

ABSTRACT: Bacterial cellulose is an exopolysaccharide secreted mainly by acetic bacteria and it has been applied in several areas, including the biomedical field. In this work, a scientific and technological mapping related to the biomedical applications of this biopolymer was carried out for the last ten years by using appropriate keywords research at the European Patent Office (EPO), at the United States Patent and Trademark Office (USPTO), at the Brazilian Institute of Industrial Property (INPI), and at both the Derwent Innovation Index (DII) base of the Web of Science / Clarivate Analytics patent bases and the Scopus and Web of Science articles bases. The searches were carried out on October 2020. China is the country that had published most of the articles related to the area, followed by Brazil. Regarding the patents deposited, China also led the ranking, followed by the World Intellectual Property Organization (WIPO), while Brazil occupies the 5th place together with South Korea. The Materials Science field had the largest number of articles published on this subject. Concerning the International Patent Classification, *A61L* related to the development of dressings and similar materials and *A61K* related to materials for medical and dental purposes have stood out. The number of patents related to this topic has grown in the last decade as well as the number of articles with culmination in 2019. Despite this, the number of patents deposited is modest compared to the number of published articles, mainly in Brazil, which suggests present and future development perspectives of patentable products.

KEYWORDS: Biocelulose. Polysaccharide. Biomedical applications.

GRAPHICAL ABSTRACT



INTRODUÇÃO

A celulose é o mais abundante e um dos mais importantes biopolímeros renováveis da Terra. Extraída principalmente de plantas, a celulose pode também ser produzida por algas marinhas, musgos, animais marinhos como os tunicados e por bactérias, em especial as pertencentes ao gênero *Komagataeibacter* (CHEN *et al.*, 2020; OLIVEIRA-ALCANTARA *et al.*, 2020; HE *et al.* 2020; ROVERA *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2015). Independentemente da origem, vegetal ou microbiana, a celulose é formada por ligações β -(1 \rightarrow 4) glicosídicas interconectadas, conforme apresentado na Figura 1. Contudo, a celulose vegetal está frequentemente associada a outros polímeros, em geral hemicelulose e lignina, demandando complexos processos químicos para sua purificação, o que acarreta em alterações estruturais irreversíveis e na geração de poluentes ambientais (TRONCOSO; TORRES, 2020; WANG *et al.* 2020; CARVALHO *et al.*, 2020; TORGBO; SUKYAI. 2018).

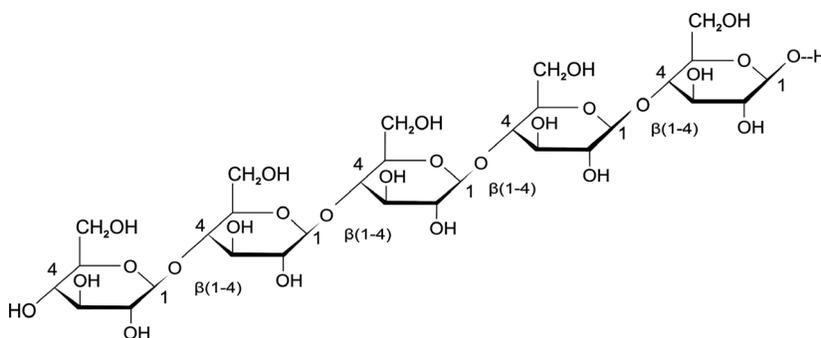


Figura 1 - Estrutura da celulose evidenciando as ligações β -(1 \rightarrow 4) glicosídicas.

A celulose de origem microbiana, conhecida como biocelulose ou celulose bacteriana (CB), é isenta de lignina e hemicelulose, sendo de elevada pureza e cristalinidade superior a apresentada pela celulose vegetal (até 90%). Ademais, exibe propriedades peculiares, tais como elevada capacidade de retenção e absorção de água, alta resistência mecânica, durabilidade, elasticidade e biocompatibilidade. A CB é considerada um material promissor para diversas áreas e aplicações, como enquanto suporte para a produção de biossensores para detecção de glicose, plataformas multifuncionais para a síntese de materiais, aproveitamento de resíduos agroindustriais, na produção de alimentos como nata de coco e bebida kombucha, na produção de embalagens inteligentes (*smart packages*), em aplicações cosméticas na forma de máscaras faciais, em aplicações biomédicas na forma de curativos para feridas e queimaduras e na liberação controlada de fármacos, e na engenharia de tecidos duros como o osso e de tecidos moles como revestimento de vasos sanguíneos (SILVA *et al.*, 2019; BARUD *et al.*, 2016; LUSTRI *et al.*, 2015; MACHADO *et al.*, 2016; OLIVEIRA BARUD *et al.*, 2015; KOLESOV; SEMJONOV, 2020; CARVALHO *et*

al., 2020; PACHECO et al., 2018; BETLEJ et al., 2020; NIRMAL et al., 2020; TAPIAS et al., 2020; PIRSA; SHAMUSI, 2019; MA et al., 2020).

A CB pode ser utilizada na produção de materiais em sua forma nativa, onde grupos hidroxila interagem fortemente entre si por meio de ligações de hidrogênio intra e intermoleculares, ou modificada e/ou funcionalizada quando necessário orientar/modificar suas propriedades para determinados fins, por exemplo a partir da oxidação dos grupos OH a fim de aumentar a taxa de degradação do material (LUZ et al., 2020). Neste sentido diversos processos de obtenção de CB têm sido explorados considerando a influência das condições de cultivo (meio empregado, pH, fontes de carbono variadas, adição de materiais *in situ*) sobre as propriedades do material final (SOUSA et al., 2018; TORGBO, SUKYAI, 2020; WANG *et al.*, 2020; TRONCOSO; TORRES, 2020; PANG *et al.*, 2020; LIU *et al.*, 2020; ESLAHI *et al.*, 2020; QIU; NETRAVALI, 2014; LUO *et al.*, 2014).

Apesar da coletânea de características atrativas da biocelulose, algumas delas restringem sua aplicação na área biomédica em sua forma nativa, sobretudo em aplicações relacionadas à regeneração de tecidos. Entre estes entraves, está a ausência de bioatividade e biodegradabilidade *in vivo*. Biomateriais são considerados biodegradáveis quando as taxas de degradação no organismo variam de poucos meses até dois anos. Segundo ampla revisão sistemática da literatura realizada por Gorgieva (2020), a resistência à degradação, sobretudo *in vivo*, e a ausência de bioatividade tem limitado as aplicações médicas específicas da biocelulose. Para algumas aplicações, como em implantes biológicos, a estabilidade do material é bastante satisfatória. Contudo, no que diz respeito a engenharia tecidual, campo da medicina regenerativa cuja base está assentada no cultivo de células em *scaffolds*, ambas as características, biodegradação e bioatividade, são sobremaneira importantes. (GORGIEVA, 2020; PANDEY *et al.*, 2017; KATARI *et al.*, 2014; RAJWADE *et al.* 2015; PHOMRAK; PHISALAPHONG, 2020; YAN *et al.*, 2018).

Uma vez que constatada a resistência à degradação *in vivo* em sua forma primitiva (não modificada), a CB não atende a um dos pré-requisitos fundamentais da engenharia tecidual: que os *scaffolds* sejam degradados e reabsorvidos pelo organismo em uma taxa proporcional à taxa de regeneração tecidual (HU et al., 2016; LI *et al.*, 2009). Para que a degradação da CB seja otimizada diversas estratégias têm sido investigadas, desde alterações do meio de cultura para a sua formação até modificação superficial e *ex-situ*. Uma das modificações que tem sido exploradas é a irradiação dessas membranas com raios gama. Darwis *et al.* (2013) verificaram que a CB modificada com radiação gama com doses de 25 a 50 kGy após imersão do material em fluido corpóreo simulado, atingiu perdas de massa de 18 a 25% em seis meses. Por outro lado, Saska *et al.* (2011) realizaram tratamento com radiação gama de 20 kGy em compósitos de CB/hidroxiapatita (HAp) e não observaram alterações significativas na estabilidade térmica dos compósitos, indicando que este é um método apropriado de esterilização deste material.

Alta cristalinidade e ausência de enzimas que degradam a celulose no corpo

humano conduzem o material em contato com o meio biológico ao mecanismo de hidrólise não-enzimática das ligações β -(1-4) glicosídicas que é extremamente lenta. Dessa forma, estratégias como a modificação química dos grupos hidroxila por outros grupos funcionais que viabilizem a degradação sem comprometer a biocompatibilidade da CB têm sido amplamente estudadas: entre estas reações estão a oxidação, esterificação, eterificação, silanização e acetilação (GORGIEVA *et al.*, 2020). Ademais a CB nativa é um material bioinerte, isto é, uma vez implantado não causa reações no organismo. Para algumas aplicações que requerem que o material seja bioativo, isso pode ser atingido por meio da combinação da CB com materiais orgânicos ou inorgânicos para fabricação de compósitos nos quais o outro componente tenha propriedades convenientes. É o caso dos fosfatos de cálcio (Ca-P) que são bioativos e frequentemente utilizados em associação a materiais poliméricos para aplicações em reparo ósseo, substituição óssea e melhoria do desempenho de enxertos ósseos (SOUSA *et al.*, 2020; BUSUIOC, *et al.* 2016, ARMENTANO *et al.*, 2018; JESUS; PELLOSI; TEDESCO, 2019, BASU *et al.*, 2019).

O objetivo deste trabalho é apresentar uma prospecção tecnológica das aplicações biomédicas da celulose bacteriana em sua forma nativa, modificada ou associada a outros materiais na forma de compósitos, a partir de dados publicados nos periódicos das bases *Web of Science* e *Scopus* e também por meio de buscas de patentes depositadas nas bases do Instituto Nacional de Propriedade Intelectual - INPI, do Escritório Europeu de Patentes - EPO, do Escritório de Patentes e Marcas dos Estados Unidos e na base *Derwent Innovation Index (DII)* da *Web of Science/Clarivate Analytics*, na última década (2011-2020).

METODOLOGIA

Neste trabalho, foi realizada uma busca de anterioridade em bases de artigos e patentes. Os artigos foram pesquisados nas bases *Scopus* e *Web of Science* e as patentes nas bases INPI, EPO, USPTO e *Derwent*. Foram utilizadas palavras-chave em inglês, à exceção da base INPI em que as pesquisas foram realizadas em português. “*Bacterial cellulose*” AND “*biomedic**”, “*Bacterial cellulose*” AND “*medic**”, “*Bacterial cellulose*” AND “*calcium phosphate*”, “*Bacterial cellulose*” AND “*modification*”, “*Bacterial cellulose*” AND “*bone*” foram algumas das palavras-chave empregadas, conforme Figura 2. Além disso, as buscas foram restritas à última década (2011-2020) e as pesquisas foram realizadas entre setembro e outubro de 2020.

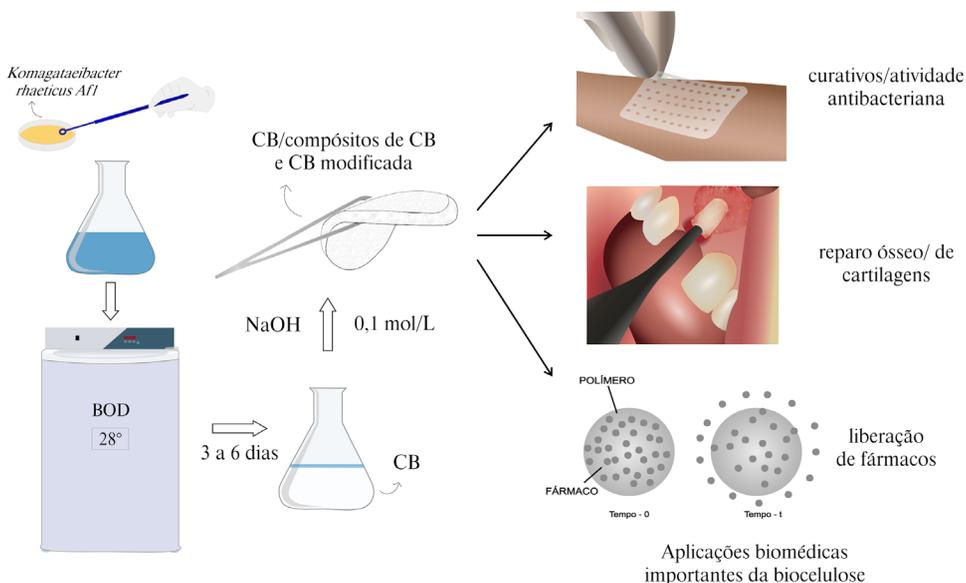


Figura 2 - Arranjo ilustrativo relacionado às aplicações da celulose bacteriana encontradas neste trabalho.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Indubitavelmente, a celulose bacteriana tem expressiva participação no que diz respeito ao interesse de pesquisadores de diversas áreas, devido ao conjunto de suas propriedades físico-químicas atrativas (OLIVEIRA BARUD *et al.*, 2016). Uma pesquisa nas bases de artigos *Scopus* e *Web of Science*, utilizando o termo “*bacterial cellulose*” e restringindo as pesquisas ao intervalo entre 2011-2020, resultou em 3293 e 4010 artigos científicos publicados, respectivamente, conforme Tabela 1. Ao realizar a busca do mesmo termo nas bases de patentes, percebeu-se que os resultados foram mais discretos, tendo-se registrado os maiores valores para a base europeia (EPO) com 1361 registros e a base *Derwent* com 1901 registros.

Palavras-chave	Bases de artigos		Bases de patentes			
	<i>Scopus</i>	<i>Web of Science</i>	INPI	EPO	USPTO	<i>Derwent</i>
Bacterial cellulose	3293	4010	24	1361	38	1901
Bacterial cellulose and calcium phosphates	28	10	0	50	0	11
bacterial cellulose and modification	283	433	0	68	0	49
bacterial cellulose and functionalization	58	122	0	3	0	3
bacterial cellulose and production	685	777	0	301	3	235
bacterial cellulose and biosynthesis	292	379	0	5	0	11
bacterial cellulose and composites	999	1681	0	409	8	552
bacterial cellulose and medicine	325	258	0	175	0	208
bacterial cellulose and biomedical	347	422	0	44	0	44

Tabela 1 - Palavras-chave principais empregadas para buscas de patentes e artigos científicos. Limitou-se a busca de artigos em periódicos da *Scopus* e *Web of Science* assim como nas bases de patentes aos anos de 2011-2020.

Na combinação de palavras-chave “*bacterial cellulose*” AND “*medic**” traduzida no conjunto de usos médicos/biomédicos da celulose bacteriana, conforme se observa na Tabela 1 foram obtidos 325 e 258 artigos científicos nas bases *Scopus* e *Web of Science*, respectivamente, o que corresponde reciprocamente a cerca de 9,9% e 6,4% das aplicações destes materiais para fins biomédicos nos últimos dez anos. Este percentual fica em torno de 10,5% quando são utilizadas as palavras-chave “*bacterial cellulose*” AND “*biomedic***”. Nas bases de patentes EPO e *Derwent*, esses valores estão em torno de 12,8% e 10,9%, de modo recíproco. Nas bases INPI e USPTO não foram registrados resultados de depósitos de patentes com as palavras-chave empregadas, apesar do número de artigos. Isso revela que, apesar da viabilidade do uso da celulose bacteriana para aplicações biomédicas apontada pelo índice crescente de artigos publicados, o desenvolvimento de novos produtos na forma de curativos, enxertos para reparo ósseo, cartilagens, tecidos vasculares entre outros, é ainda incipiente. Ainda dentro desses percentuais, há uma quantidade relevante de usos mais específicos, os quais constam na Figura 3.

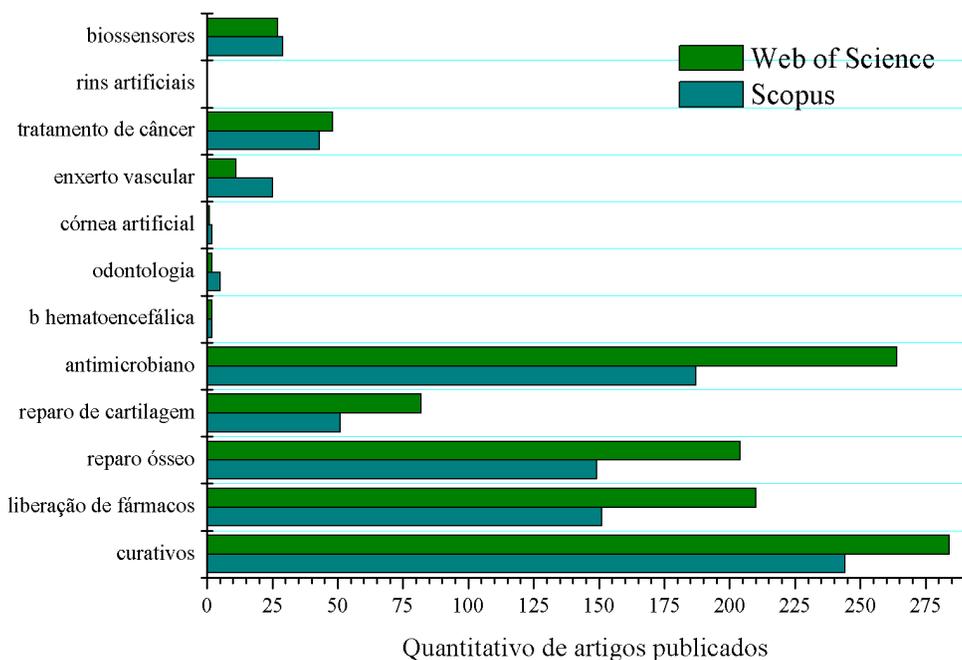


Figura 3 - Quantitativo de artigos científicos publicados na última década (2011-2020), utilizando para consulta as bases *Scopus* e *Web of Science* para aplicações biomédicas específicas (*b hematoencefálica* refere-se a barreira hematoencefálica).

Pela análise do gráfico da Figura 3, é possível constatar que as aplicações biomédicas relacionadas a curativos, materiais antimicrobianos, liberação de fármacos e reparo ósseo têm maior destaque. De forma similar, a Figura 4 exibe as principais competências tecnológicas da CB associadas a fins biomédicos, onde as mesmas aplicações, exceto liberação de fármacos, aparecem de forma mais recorrente.

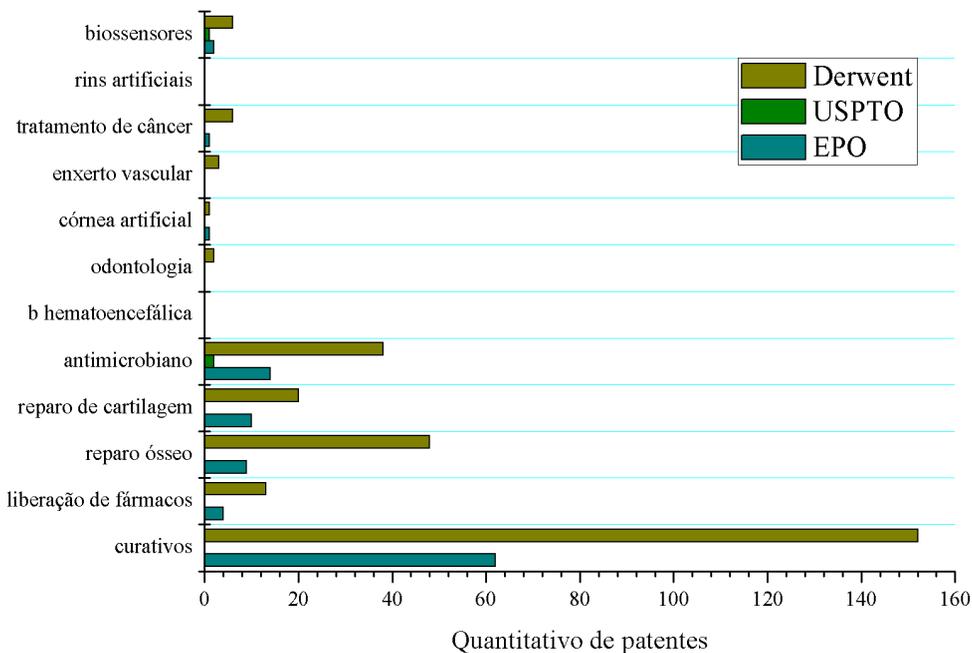


Figura 4 - Quantitativo de patentes depositadas na última década (2011-2020), utilizando para consulta as bases INPI, EPO, USPTO e Derwent, para aplicações biomédicas específicas (*b hematoencefálica* refere-se a barreira hematoencefálica).

De fato, a aplicação de CB na forma de biocurativos foi uma das primeiras aplicações biomédicas para a qual foi destinada a celulose bacteriana. De acordo com Oliveira Barud *et al.* (2016), Fontana e colaboradores (1990) foram os pioneiros a sugerir a aplicação da celulose bacteriana na forma de curativos para queimaduras da pele. A partir de então, só tem aumentado o número de publicações que investigam o uso da CB como cobertura temporária para o tratamento de feridas causadas por abrasões, lacerações, queimaduras de segundo grau, feridas diabéticas, entre outras.

Moraes e colaboradores (2016) realizaram uma investigação comparativa da eficiência de curativos a base de celulose bacteriana/colágeno em relação à pomada comercial a base de colagenase. Os resultados se mostraram estatisticamente significantes a partir do 7º dia e um melhor desempenho na cicatrização de feridas induzidas em ratos foi obtido pelo curativo de CB/colágeno em comparação a pomada de colagenase e ao grupo controle, o que demonstra que este é um material bastante promissor para aplicação na forma de curativo.

O desenvolvimento de materiais que sejam capazes de acelerar o processo cicatricial de queimaduras da pele tem sido o foco de muitos pesquisadores. Neste sentido, Sajjad *et al.* (2020) investigaram a eficácia de nanocompósitos de celulose bacteriana carregados com curcumina (CB-Cur). Além de apresentar atividade antibacteriana, conhecida propriedade

da curcumina, contra patógenos diversos (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* e *Salmonella typhimurium*), o nanocompósito não apresentou citotoxicidade, tendo se mostrado capaz de promover uma acelerada cicatrização de feridas em até 64,25% após 15 dias em camundongos Balb/c. Outros trabalhos têm investigado as estruturas cristalina e supramolecular da CB em diferentes níveis de hidrólise enzimática para obter curativos biodegradáveis capazes de cicatrizar feridas de terceiro grau. Ivanova e colaboradores (2020) utilizaram a enzima celobiohidrolase isolada a partir do fungo *Scytalidium candidum* 3C para hidrolisar celulose bacteriana, cuja taxa de reação foi medida em termos de equivalentes de celulose liberados em função do tempo. O controle sobre a taxa de hidrólise enzimática do material é possível em condições nas quais pretende-se promover a regeneração ou cicatrização de tecidos danificados, além de permitir otimização da taxa de degradação do curativo. Adicionalmente, foi demonstrado que a hidrólise enzimática parcial da CB promoveu alterações significativas no material nativo, tendo modificado sua morfologia (aumento considerável da espessura de suas nanofibras de 8 para 14 nm e de sua largura de 50 nm para 500 nm, tornando suas dimensões mais próximas às das fibras de colágeno), aumentado a permeação das membranas à água e ao vapor (requisito interessante para acelerar o processo de cicatrização) e reduzido pela metade sua área específica superficial, o que alterou de forma positiva suas propriedades adesivas.

Apesar da biocompatibilidade e do uso satisfatório como biomaterial para cicatrização de feridas, a CB nativa não possui atividade antimicrobiana. Entretanto, ao ser associada com compostos antimicrobianos pode adquirir tal propriedade. A literatura apresenta ainda numerosos estudos em que a CB é associada a nanopartículas metálicas com atividade antimicrobiana tais como a prata (CB-Ag), a materiais semicondutores como o TiO_2 que viabilizam a destruição de microrganismos pela geração de espécies reativas de oxigênio, ou mesmo a antibióticos (GORGIEVA, 2020; ARAÚJO *et al.*, 2018; HORUE *et al.*, 2020; BARUD *et al.*, 2011).

Horue e colaboradores (2020) desenvolveram compósitos à base de celulose bacteriana e argila montmorilonita modificada por troca iônica com Ag^+ (CB-MMT-Ag) sugerindo seu uso para tratamento de feridas cutâneas crônicas. Obtiveram resultados muito positivos na inibição de bactérias Gram-positivas (*S. aureus*) e Gram-negativas (*P. aeruginosa*) e os compósitos, contendo entre 1 e 25% de MMT-Ag, apresentaram satisfatória biocompatibilidade *in vitro* quando ensaiadas com células fibroblásticas L929. Ademais, quando comparado este material com o compósito CB-Ag, isto é, sem a presença da argila, foi verificada para este último uma elevada liberação de íons Ag^+ , o que pode conduzir a efeitos colaterais indesejáveis com o desenvolvimento de patologias como a argiria. Dessa forma, o uso de montmorilonita modificada foi uma estratégia eficaz para controlar a liberação de prata. Araújo e colaboradores (2018) desenvolveram nanocompósitos de CB/nanopartículas de cobre (CB-Cu) e avaliaram o efeito do tempo de processamento

sobre as propriedades físico-químicas dos materiais. Foram identificadas nanopartículas de Cu(0) e também de óxidos de cobre (Cu_xO_y). Os filmes de CB-Cu apresentaram elevada atividade antibacteriana contra cepas de *E. coli*, *S. aureus* e *Salmonella*, sendo, portanto, sugeridos para uso enquanto curativos para feridas contaminadas. Barud *et al.* (2011), por sua vez, produziram compósitos de CB-Ag por um método *in situ* no qual nanopartículas de Ag foram obtidas a partir da decomposição hidrolítica de nitrato de prata, utilizando trietanolamina como agente complexante e redutor. Neste trabalho, diferentemente daquele desenvolvido por Araújo *et al.* (2018) onde as nanopartículas metálicas foram obtidas juntas a nanopartículas em sua forma oxidada, foram obtidas apenas nanopartículas de Ag e não uma mistura contendo nanopartículas de Ag junto a óxidos de prata na presença de etanolamina. Ainda nesse trabalho foi possível verificar que a concentração de etanolamina é determinante para controlar o tamanho das partículas sobre a superfície da CB. Os compósitos de CB-Ag apresentaram forte atividade antibacteriana *Staphylococcus aureus* (bactérias Gram-positivas), *Pseudomonas aeruginosa* e *Escherichia coli* (bactérias Gram-negativas), que são bactérias encontradas comumente em feridas contaminadas.

Alguns estudos envolvendo derivados de CB também demonstram, além de atividade antibacteriana, sua aplicação para liberação controlada de fármacos e atividade antitumoral. Para citar um exemplo, Chaabane *et al.* (2020) prepararam um compósito de celulose bacteriana modificada por macromoléculas quelantes (bases de Schiff) para precipitação de nanopartículas de magnetita (Fe_3O_4 -NPs). A modificação se iniciou pela preparação de 2,3-dialdeído-celulose bacteriana (DACB) por oxidação dos grupos -OH via periodato de sódio (NaIO_4). Para a produção da base de Schiff, houve enxertia (*grafting*) subsequente com etilenodiamina e grupos benzil bem como a precipitação de íons Fe^{3+} em condições básicas. O nanocompósito, facilmente separável por meio da aplicação de um campo magnético, apresentou atividade antimicrobiana e citotóxica superior às apresentadas pelo controle positivo, sem que exibissem citotoxicidade contra células mononucleares do sangue periférico. Ademais, foram realizados ensaios *in vivo* durante dez dias, nos quais o material foi implantado em ratas com câncer de cólon e verificou-se uma maior supressão das dimensões do tumor (atividade antitumoral) associado ao tratamento quimioterápico.

Cacicedo e colaboradores (2020) desenvolveram compósitos de celulose bacteriana e quitosana como sistemas para a liberação do fármaco ciprofloxacina. A associação com a quitosana foi estratégica para o compósito, uma vez que, em sua forma nativa, a CB não é capaz de encapsular e controlar a liberação de moléculas menores como antibióticos. Outro trabalho publicado recentemente explorou o emprego de nanofibras de celulose bacteriana (CBNF) como excipiente farmacêutico para o desenvolvimento de sistemas de liberação controlada (MENEGUIN *et al.*, 2020). A celulose bacteriana foi inicialmente desfibrilada por diversos métodos mecânicos, entre eles o de dispersão através do emprego de um *Ultraturrax*, e, em seguida, as suspensões de CBNF obtidas foram misturadas a manitol (MN),

maltodextrina (MD) ou hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) e secas em um *spray-dryer* para obtenção de micropartículas. Entre os sistemas desenvolvidos, as micropartículas à base de CBNF-MN tiveram o melhor desempenho na liberação dependente do pH de fármacos lipofílicos via administração oral. A Figura 5 ilustra o processo de fabricação das formulações de CBNF contendo cafeína e diclofenaco de sódio obtidas por meio da técnica de *spray-dryer*.

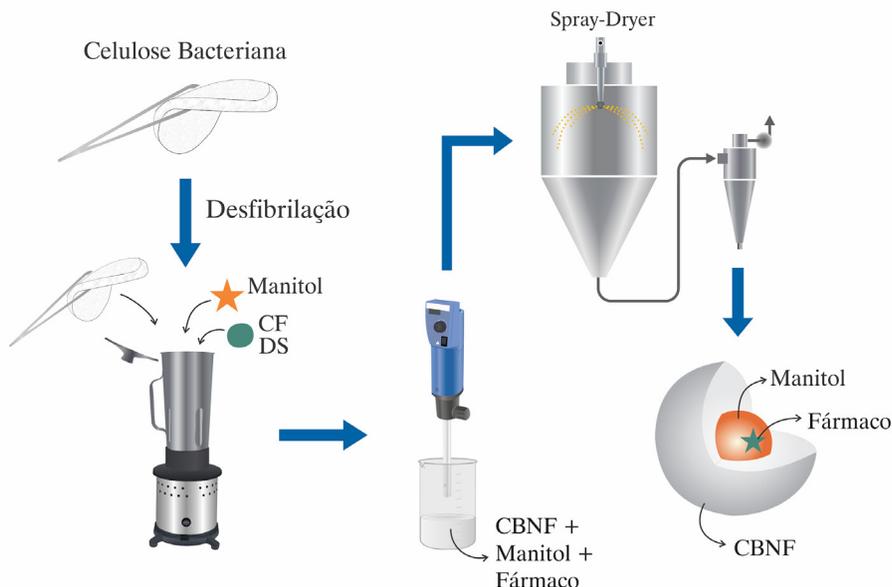


Figura 5 - Arranjo experimental empregado para a fabricação de formulações de CBNF/MN/DS e CBNF/MN/CF. CBNF= nanofibras de celulose bacteriana; MN= manitol; DS = diclofenaco sódico; CF=cafeína).

Fonte: Adaptado de MENEGUIN *et al.* (2020).

Uma aplicação também bastante explorada da celulose bacteriana está associada ao reparo do tecido ósseo, com 204 publicações na *Web of Science* e 149 publicações na *Scopus*, entre 2011 e 2020. Isso indica que a pesquisa envolvendo esse biopolímero no reparo/regeneração de tecidos ósseos é uma aplicação que tem sido investigada com afinco, apesar de o número de patentes depositadas não ser tão expressivo, haja vista que, utilizando-se a combinação de palavras-chave “*bacterial cellulose*” AND “*bone*”, constatam-se 9 depósitos na base EPO e 48 na base *Derwent*. Para as bases INPI e USPTO não houve registros com essas palavras-chave.

O grupo de pesquisa de Yizao Wan, da Escola de Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade de Tianjin (China), tem envidado esforços em pesquisas relacionadas

ao desenvolvimento de compósitos ou derivados de celulose bacteriana para aplicações biomédicas, em especial relacionadas à engenharia tecidual óssea, investigando, entre outros temas, a influência da modificação de parâmetros no processo de mineralização. Gao *et al.* (2011), por exemplo, desenvolveram esponjas de celulose bacteriana por liofilização de uma emulsão de CB a fim de aumentar os poros desse biomaterial, haja vista que a CB nativa possui porosidade muito inferior ao necessário para o crescimento e migração celulares. Além de ter sido possível otimizar as propriedades do material através da obtenção de porosidade adequada para a proliferação celular, conforme demonstrado por meio de ensaios *in vitro* com o uso de células-tronco mesenquimais derivadas da membrana sinovial, o material apresentou excelente biocompatibilidade. Ainda nesse sentido, com o objetivo de investigar o processo de mineralização *in situ* de fosfatos de cálcio em membranas de celulose bacteriana, Luo *et al.* (2015) utilizaram a técnica de Espectroscopia de raios-X (XANES) para a análise dos compósitos obtidos. Os pesquisadores puderam, por meio deste trabalho, provar que a química superficial dos materiais tridimensionais investigados (celulose bacteriana nativa ou modificada: CB fosforilada, CB-gelatina ou CB- ϵ -polissilano) influencia significativamente a formação dos fosfatos de cálcio e quais transições estes podem sofrer. A Figura 6 a seguir, adaptada de Luo *et al.* (2015), ilustra o mecanismo de formação dos fosfatos de cálcio, conforme descrito pelos autores.

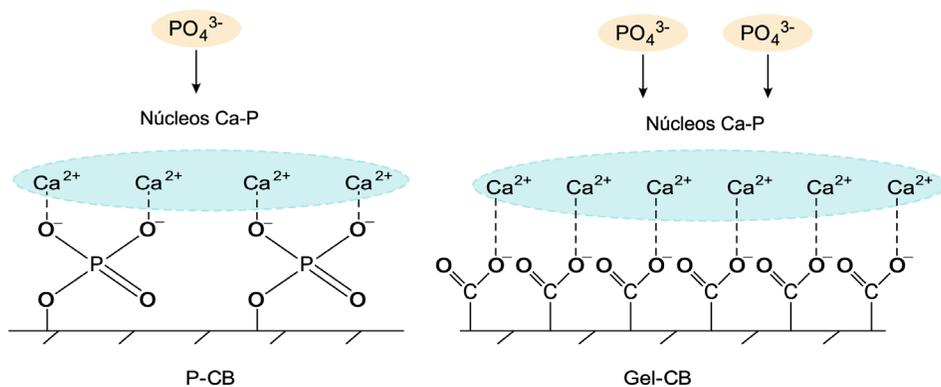


Figura 6 - Mecanismo de formação de Ca-P sobre as superfícies de celulose bacteriana fosforilada (P-CB) e de celulose bacteriana modificada com gelatina (Gel-CB).

Fonte: Adaptada de Luo *et al.* (2015).

Com efeito, uma quantidade significativa de trabalhos científicos e competências tecnológicas foram publicados na última década envolvendo aplicações biomédicas da celulose bacteriana, com aumento considerável de publicações e depósitos de patentes conforme mostrado nas Figuras 7 e 8, em que foram utilizadas as palavras-chave “*bacterial cellulose*” and *medic**. Em ambos os casos, houve um número mais significativo no ano

de 2019. Esse incremento no número de publicações ao longo dessa década e com seu cume em 2019 sugere que nos últimos anos se intensificaram as pesquisas relacionadas às aplicações da celulose bacteriana na área biomédica, sobretudo na forma de curativos, sistemas para liberação de fármacos e aplicações relacionadas à engenharia tecidual. Apesar de o presente trabalho não contemplar todo o ano de 2020, considera-se que houve um decréscimo no número de pesquisas em 2020, o que pode estar associado ao fato de que os pesquisadores da área biomédica, biotecnológica e de áreas correlatas, têm direcionado esforços sobretudo ao desenvolvimento de novas estratégias para o combate do novo coronavírus (SARS-CoV-2).

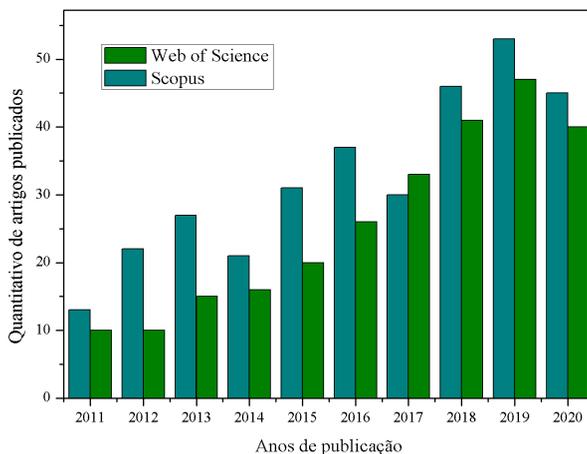


Figura 7 - Artigos científicos por base e anos de publicação (2011-2020).

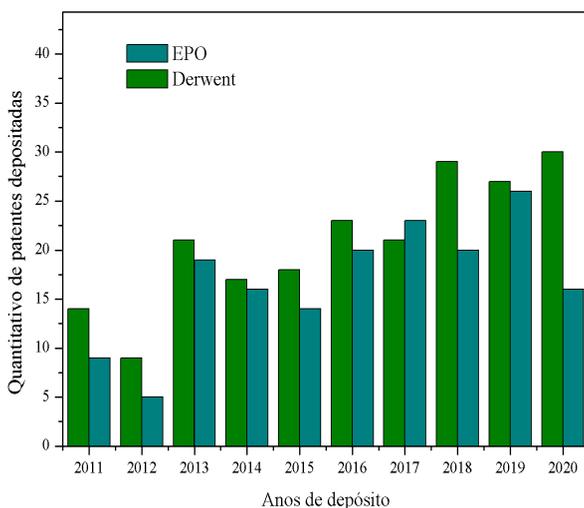


Figura 8 - Patentes depositadas por base e ano de depósito (2011-2020).

A Figura 9 ilustra o *ranking* dos países que mais publicaram artigos científicos ao longo dessa década, com as palavras-chave anteriormente relacionadas.

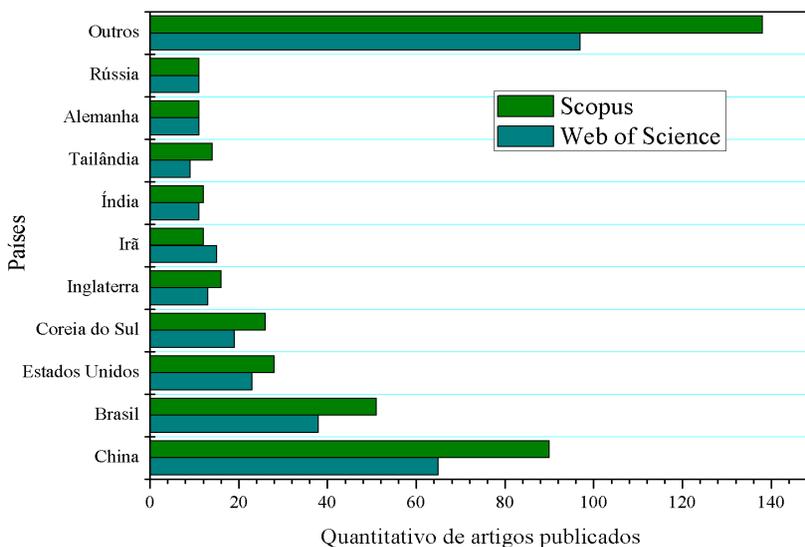


Figura 9 - *Ranking* dos países que mais publicaram artigos com as palavras-chave anteriormente supracitadas.

Observa-se na Figura 9 que a China figura em primeiro lugar com 65 publicações na *Web of Science* e 90 na base *Scopus*. Em segundo e terceiro lugares, na base *Web of Science* e na *Scopus*, estão o Brasil (38 e 51 publicações, respectivamente) e os Estados Unidos (com 23 e 28 publicações, respectivamente). Quando analisados os depósitos de patentes, conforme Figura 10, os maiores depositantes são a China (148 patentes na EPO e 162 patentes na *Derwent*) e a Organização Mundial de Propriedade Intelectual (*WIPO*) (7 patentes na EPO e 20 patentes na *Derwent*), seguidos da Rússia com 11 patentes depositadas em cada base. Posteriormente aparecem os Estados Unidos com o depósito de 4 patentes na base EPO e 5 na base *Derwent*. China e Estados Unidos são potências que recebem muitos investimentos oriundos da iniciativa privada, o que conduz a um maior impulso ao desenvolvimento de novos produtos nesses países, culminando em maior número de registros das competências tecnológicas dessas nações.

O Brasil, por sua vez, apesar da quantidade expressiva de publicações, ocupa o 5º lugar junto a outros países como México, Coreia do Sul e Índia, com apenas quatro registros na base *Derwent*. A China, tanto em termos de publicações quanto registros de patentes, detém o pioneirismo conforme resultados apresentados. O país tem tradição no desenvolvimento científico e tecnológico em diferentes áreas, como é o caso da área biomédica, o que explica certa consonância entre desenvolvimento científico e tecnológico,

diferentemente de países emergentes como o Brasil que, apesar de bem posicionado em relação às contribuições científicas, ainda necessita de maiores investimentos em inovação.

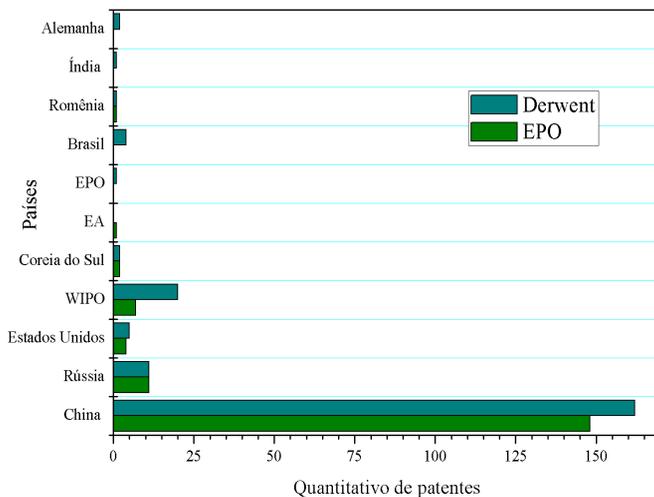


Figura 10 - *Ranking* dos países que mais depositaram patentes com as palavras-chave anteriormente supracitadas. Siglas: EPO = European Patent Office (escritório europeu de patentes), EA = Organização Euroasiática de Patentes, WIPO = World Intellectual Property Organization (Organização Mundial da Propriedade Intelectual).

Com relação às áreas do conhecimento, as Figuras 11 e 12 demonstram as áreas predominantes dos artigos científicos da base *Scopus* e *Web of Science*, respectivamente.

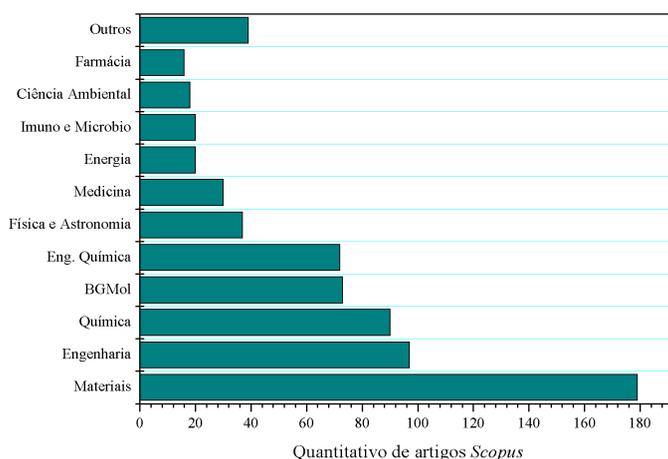


Figura 11 - Áreas do conhecimento predominantes nos artigos publicados na base *Scopus*. Abreviações: Imuno e Microbio = Imunologia/Microbiologia, BGMol = Bioquímica, Genética e Biologia Molecular.

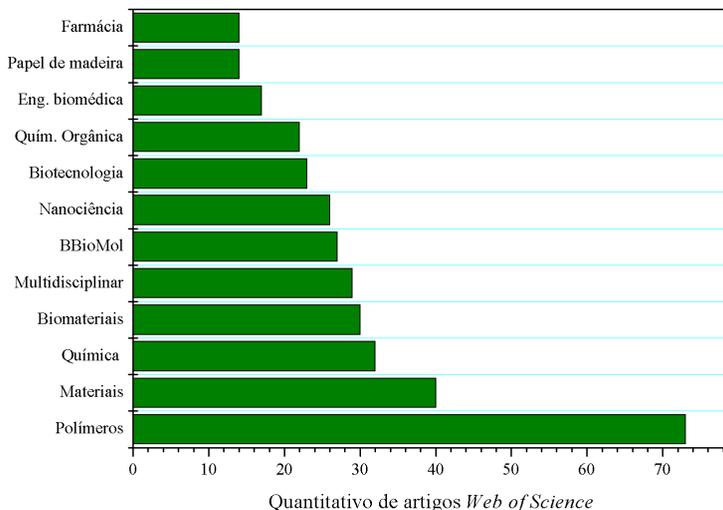


Figura 12 - Áreas do conhecimento predominantes nos artigos publicados na base *Web of Science*. Abreviações: Tec. Alimentos = Tecnologia em Alimentos, BBioMol = Bioquímica/ Biologia Molecular, C&T = Ciência e Tecnologia.

Para ambas as bases de artigos, a área Ciência dos Materiais é predominante (179 publicações na *Scopus* e 73 publicações na *Web of Science*). É importante ressaltar que a Ciência dos Polímeros é uma subárea da Ciência dos Materiais, que inclusive aborda materiais como a celulose bacteriana, um polímero natural. De fato, a Ciência dos Materiais é uma área multidisciplinar e bastante atrativa para pesquisadores de múltiplos campos do conhecimento investirem em pesquisas. A área de Engenharia, e nessa inclui-se a Engenharia de Materiais, é a segunda colocada para a base *Scopus* (97 publicações), enquanto na base *Web of Science* aparece a área de Ciência de Materiais propriamente dita (40 publicações). A área de Química é a terceira colocada para ambas as bases, com 90 publicações na *Scopus* e 32 publicações na *Web of Science*. Os artigos também são relacionados a áreas do conhecimento estratégicas tais como biomateriais, biotecnologia, engenharia química, bioquímica e biologia molecular, além de farmácia e farmacologia.

Para os bancos de patentes, as áreas do conhecimento específicas relacionadas às patentes não são pesquisadas da mesma forma que os artigos são buscados, mas por meio de classificações, sobretudo utilizando a Classificação Internacional de Patentes (*IPC - International Patent Classification*) criada no Acordo de Estrasburgo em 1971 (INPI, 2020). Tendo em vista que as bases INPI e USPTO não apresentaram registros com a busca da combinação de palavras-chave relacionada a aplicações biomédicas da celulose bacteriana, os gráficos das Figuras 13 e 14 apresentam as classificações das patentes depositadas nas bases EPO e *Derwent*, nessa mesma ordem.

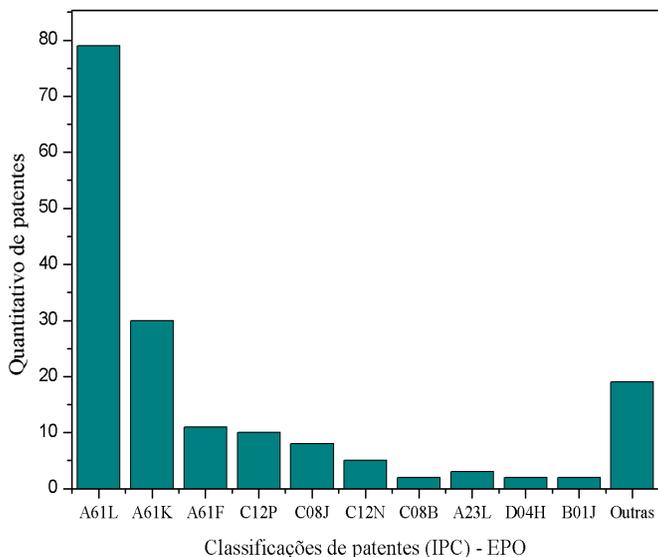


Figura 13 - Principais classificações atribuídas às patentes pesquisadas na base EPO.

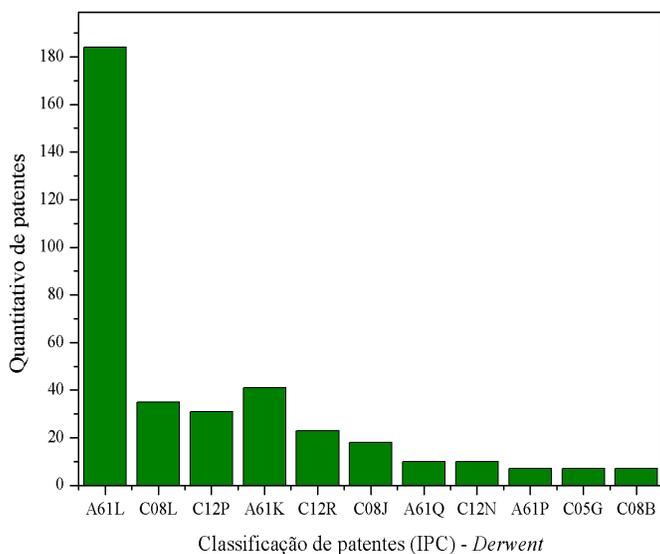


Figura 14 - Principais classificações atribuídas às patentes pesquisadas na base *Derwent*.

Convém destacar que a uma mesma patente são atribuídas, de maneira geral, várias classificações. Para a base EPO do escritório europeu de patentes, as três principais classificações atribuídas foram: *A61L* (relativa, entre outras aplicações, a aspectos químicos de bandagens, curativos ou materiais para artigos cirúrgicos), *A61K* (preparações para fins médicos e dentários) e *A61F* (filtros implantáveis em vasos sanguíneos, dispositivos

ortopédicos, bandagens, curativos entre outras). Evidentemente, a classificação que se destaca, *A61L*, relacionada a patentes de biocelulose na forma de curativos ou bandagens, corrobora com o fato de que as pesquisas envolvendo a produção de curativos à base de celulose bacteriana foram as primeiras propostas de uso bem-sucedido de CB no campo biomédico.

Com relação à classificação *A61K*, que aparece como a segunda mais numerosa, esta está diretamente relacionada a pesquisas envolvendo biomateriais para fins médicos e, mais especificamente, para fins odontológicos. Essa apuração pode estar associada a resultados positivos no que concerne o emprego da celulose bacteriana no desenvolvimento de compósitos com fosfatos de cálcio para a produção de enxertos aloplásticos, ou mesmo materiais para regeneração óssea guiada, que consiste na formação de uma barreira que impede o crescimento de tecidos conjuntivos orientando, portanto, o processo de neoformação óssea. A classificação *A61F* relacionada de forma ampla às aplicações biomédicas mencionadas e também a filtros implantáveis em vasos sanguíneos, indica a versatilidade das aplicações médicas relacionadas à celulose bacteriana.

Para a base *Derwent*, a classificação mais atribuída às patentes também foi a *A61L*, entretanto seguida da *C08L* (compostos macromoleculares) e da *A61K*. Convém, entretanto, mencionar que há expressividade da classificação *C12P* relacionada a processos fermentativos para realizar a síntese de compostos químicos de interesse. Nesse caso, esta classificação está relacionada às inovações nos processos produtivos de celulose bacteriana, por meio do controle dos microorganismos e da investigação de alterações nas condições de cultivo como a fonte de carbono, que podem resultar em maior rendimento do bioproduto.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo revelou o panorama em termos de desenvolvimento científico e as tendências tecnológicas durante esta década (2011-2020) aferidas pelas publicações de artigos científicos e depósitos de patentes. Foi possível mapear a relevância do uso da celulose bacteriana em aplicações médicas/biomédicas, o crescimento do interesse pela pesquisa e inovação nesse campo, com maior número de publicações de artigos (53 publicações na *Scopus* e 47 na *Web of Science*) e depósitos de patentes em 2019 (26 na base gratuita EPO e 27 na base *Derwent*). A China foi o país que mais publicou artigos relacionados à área, seguida do Brasil. Com relação às patentes depositadas, a China também liderou o *ranking*, seguida da Organização Mundial da Propriedade Intelectual (WIPO), enquanto o Brasil ficou em 5º lugar junto à Coreia do Sul. Com relação às áreas do conhecimento, a área de Ciência de Materiais/Ciência dos Polímeros teve destaque nas bases *Scopus* e *Web of Science* com, respectivamente, 179 e 73 artigos publicados sobre o tema. A classificação internacional de patentes *A61L*, que se refere a aspectos

químicos de bandagens, curativos ou materiais para artigos cirúrgicos, destacou-se em ambas as bases de patentes que apresentaram registros com as palavras-chave combinadas. As classificações *A61K* (biomateriais para fins médicos e ou odontológicos) e *A61F* (filtros implantáveis em vasos sanguíneos, dispositivos ortopédicos, bandagens, curativos entre outras) foram também bastante atribuídas às patentes. Estas classificações revelam o potencial tecnológico da celulose bacteriana a ser explorado não somente no desenvolvimento de curativos e bandagens, mas também para aplicações odontológicas, como materiais para regeneração tecidual.

Há, de fato, uma discrepância significativa entre o número de artigos publicados e o número de patentes depositadas, ainda que tenham sido consideradas quatro bases de patentes distintas e apenas duas bases de artigos científicos. O elevado número de publicações sugere que há muitos estudos em andamento com relação ao uso da celulose bacteriana na área biomédica, entretanto a materialização dessas pesquisas em produtos patenteáveis de inovação ainda é incipiente e tem perspectivas futuras animadoras.

AGRADECIMENTOS

Hernane da Silva Barud agradece ao CNPq (Financiamento nº 407822/2018-6; INCT-INFO), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (Financiamentos nº 2018/25512-8 e nº 2013/07793-6) e TA Instrumentos Brasil.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, I. M. S.; SILVA, R. R.; PACHECO, G.; LUSTRI, W. R.; TERCJAK, A.; GUTIERREZ, J.; SANTOS JÚNIOR, J. R.; AZEVEDO, F. H. C.; FIGUÊREDO, G. S.; VEGA, M. L.; RIBEIRO, S. J. L.; BARUD, H. S. Hydrothermal synthesis of bacterial cellulose–copper oxide nanocomposites and evaluation of their antimicrobial activity. **Carbohydrate Polymers**, v. 179, p. 341-349, 2018.

ARMENTANO, I.; GIGLI, M.; MORENA, F.; ARGETANTI, C.; TORRE, L.; MARTINO, S. Recent advances in nanocomposites based on aliphatic polyesters: Design, synthesis, and applications in regenerative medicine. **Applied Sciences**, v. 8, p. 1452–1462, 2018.

BARUD, H. S.; GUTIERREZ, J.; LUSTRI, W.R.; PERES, M. F. S.; RIBEIRO, S. J. L.; SASKA-SPECIAN, S.; TERCJAK, A. Bacterial cellulose. In: NEVES, N. M.; REIS, R. L. (edit.). **Biomaterials from nature for advanced devices and therapies**, 1. ed. John Wiley & Sons, Inc. Published, 2016.

BARUD, H. S.; REGIANI, T.; MARQUES, R. F. C.; LUSTRI, W. R.; MESSADDEQ, Y.; RIBEIRO, S. J. L. Antimicrobial bacterial cellulose-silver nanoparticles composite membranes, **Journal of Nanomaterials**, v. 2011, 2011.

BASU, P.; SAHA, N.; ALEXANDROVA, R.; SAHA, P. Calcium phosphate incorporated bacterial cellulose-polyvinylpyrrolidone based hydrogel scaffold: structural property and cell viability study for bone regeneration application. **Polymers**, v. 11, n. 11, 2019.

BETLEJ, I.; SALERNO-KOCHAN, R.; KRAJEWSKI, K.; ZAWADZKI, J.; BORUSZEWSKI, P. The influence of culture medium components on the physical and mechanical properties of cellulose synthesized by kombucha microorganisms. **Bioresources**, v. 15, n. 2, p. 3125-3135, 2020.

BUSUIOC, C.; STROESCU, M.; STOICA-GUZUN, A.; VOICU, G.; JINGA, S. I. Fabrication of 3D calcium phosphates based scaffolds using bacterial cellulose as template. **Ceramics International**, v. 42, n. 14, p. 15449–15458, 2016.

CACICEDO, M. L.; PACHECO, G.; ISLAN, G. A.; ALVAREZ, V. A.; BARUD, H. S.; CASTRO, G. R. Chitosan-bacterial cellulose patch of ciprofloxacin for wound dressing: Preparation and characterization studies. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 147, p. 1136-1145, 2020.

CARVALHO, T.; GUEDES, G.; SOUSA, F. L.; FREIRE, C. S. R.; SANTOS, H. A. Latest advances on bacterial cellulose-based materials for wound healing, delivery systems, and tissue engineering. **Biotechnology Journal**, v. 14, n. 12, p. 1–19, 2019.

CHAABANE, L.; CHAHDOURA, H.; MEHDAOUI, R.; SNOUSSI, M.; BEYOU, E.; MOHAMMED LAHCINI, M.; BAOUAB, M. H. V. Functionalization of developed bacterial cellulose with magnetite nanoparticles for nanobiotechnology and nanomedicine applications. **Carbohydrate Polymers**, v. 247, n. July, 2020.

CHEN, S. Q.; CAO, X.; LI, Z. F.; ZHU, J.; LI, L. Effect of lyophilization on the bacterial cellulose produced by different *Komagataeibacter* strains to adsorb epicatechin. **Carbohydrate Polymers**, v. 246, n. 11663, 2020.

DARWIS, D.; KHUSNIYA, T.; HARDININGSIH, L.; NURLIDAR, F.; WINARNO, H. In-vitro degradation behaviour of irradiated bacterial cellulose membrane. **Atom Indonesia**, v. 38, n. 2, p. 78–82, 2012.

ESLAHI, N.; MAHMOODI, A.; MAHMOUDI, N.; ZANDI, N.; SIMCHI, A. Processing and properties of nanofibrous bacterial cellulose-containing polymer composites: a review of recent advances for biomedical applications. **Polymer Reviews**, v. 60, n. 1, p. 144–170, 2020.

FONTANA, J. D.; DE SOUZA, A. M.; FONTANA, C. K.; TORRIANI, I. L.; MORESCHI, J. C.; GALLOTTI, B. J.; DE SOUZA, S. J.; NARCISCO, G. P.; BICHARA, J. A.; FARAH, L. F. X. *Acetobacter* cellulose pellicle as a temporary skin substitute. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 24–25, p. 253–264, 1990.

GAO, C.; WAN, Y.; YANG, C.; DAI, K.; TANG, T.; LUO, H.; WANG, J. Preparation and characterization of bacterial cellulose sponge with hierarchical pore structure as tissue engineering scaffold. **Journal of Porous Materials**, v. 18, n. 2, p. 139–145, 2011.

GORGIEVA, S. Bacterial cellulose as a versatile platform for research and development of biomedical materials, **Processes**, n. 8, v. 624, 2020.

HE, X. L.; MENG, H. Y.; SONG, H. D.; DENG, S. Y.; HE, T. T.; WANG, S.; WEI, D. S.; ZHANG, Z. J. Novel bacterial cellulose membrane biosynthesized by a new and highly efficient producer *Komagataeibacter rhaeticus* TJPU03. **Carbohydrate Research**, v. 493, n. 108030, 2020.

HORUE, M.; CACICEDO, M. L.; FERNANDEZ, M. A.; RODENAK-KLADNIEW, B.; SÁNCHEZ, R. M. T.; CASTRO, G. R. Antimicrobial activities of bacterial cellulose – Silver montmorillonite nanocomposites for wound healing. **Materials Science and Engineering C**, v. 116, n. November 2019, p. 111152, 2020.

HU, Y.; ZHU, Y.; ZHOU, X.; RUAN, C.; PAN, H.; CATCHMARK, J. M. Bioabsorbable cellulose composites prepared by an improved mineral-binding process for bone defect repair. **Journal of Materials Chemistry B**, v. 4, p. 1235–1246, 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE PROPRIEDADE INDUSTRIAL - INPI, Classificação de patentes. Disponível em: <<http://antigo.inpi.gov.br/menu-servicos/patente/classificacao-de-patentes>> Acesso em: 13 out. 2020.

IVANOVA, L. A.; USTINOVICH, K. B.; KHAMOVA, T. V.; ENEYSKAYA, E. V.; GORSHKOVA, Y. E.; TSVIGUN, N. V.; BURDAKOV, V. S.; VERLOV, N. V.; ZINOVEV, E. V.; ASADULAEV, M. S.; SHABUNIN, A. S.; FEDYK, A. M.; BARANCHIKOV, A. Y.; KOPITSA, G. P.; KULMINSKAYA, A. A. Crystal and supramolecular structure of bacterial cellulose hydrolyzed by cellobiohydrolase from *scytalidium candidum* 3C: A basis for development of biodegradable wound dressings. **Materials**, v. 13, n. 9, 2020.

JESUS, P. C. C.; PELLOSI, D. S.; TEDESCO, A. C. Magnetic nanoparticles: applications in biomedical processes as synergic drug-delivery systems. **Materials for Biomedical Engineering**, v. 29, n. 5, p. 371–396, 2019.

KATARI, R. S.; PELOSO, A.; ORLANDO, G. Tissue Engineering. **Advances in Surgery**, p. 1–18, 2014.

KOLESOVS, S.; SEMJONOV, P. Production of bacterial cellulose from whey—current state and prospects. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 104, p. 7723–7730, 2020.

LI, J.; WAN, Y.; LI, L. F.; LIANG, H.; WANG, J. Preparation and characterization of 2,3-dialdehyde bacterial cellulose for potential biodegradable tissue engineering scaffolds. **Materials Science and Engineering C**, v. 29, p. 1635–1642, 2009.

LIMA, L. R.; SANTOS, D. B.; SANTOS, M. V.; BARUD, H. S.; HENRIQUE, M. A.; PASQUINI, D.; PECORARO, E.; RIBEIRO, S. J. L. Nanocristais de celulose a partir de celulose bacteriana. **Química Nova**, v. 38, n. 9, p. 1140–1147, 2015.

LIU, W.; DU, H.; ZHANG, M.; LIU, K.; LIU, H.; XIE, H.; ZHANG, X.; SI, C. Bacterial cellulose-based composite scaffolds for biomedical applications: a review. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, n. 8, p. 7536–7562, 2020.

LUO, H.; XIONG, G.; ZHANG, C.; LI, D.; ZHU, Y.; GUO, R.; WAN, Y. Surface controlled calcium phosphate formation on three-dimensional bacterial cellulose-based nanofibers. **Materials Science and Engineering C**, v. 49, p. 526–533, 2015.

LUSTRI, W. R.; OLIVEIRA BARUD, H. G.; BARUD, H. S.; PERES, M. F. S.; GUTIERREZ, J.; TERCJAK, A.; OLIVEIRA JUNIOR, O. B.; RIBEIRO, S. J. L. Microbial cellulose — biosynthesis mechanisms and medical applications. In: **Cellulose - fundamental aspects and current trends**, 2015.

LUZ, E. P. C. G.; CHAVES, P. H. S.; VIEIRA, L. A. P.; RIBEIRO, S. F.; BORGES, M. F.; ANDRADE, F. K.; MUNIZ, C. R.; INFANTES-MOLINA, A.; RODRIGUÉZ-CASTELLÓN, E.; ROSA, M. F.; VIEIRA, R. S. *In vitro* degradability and bioactivity of oxidized bacterial cellulose-hydroxyapatite composites. **Carbohydrate Polymers**, v. 237, 2020.

MA, X. X.; CHEN, Y. J.; HUANG, J. Y.; LV, P. F.; HUSSAIN, T.; WEI, Q. F. In situ formed active and intelligent bacterial cellulose/cotton fiber composite containing curcumin. **Cellulose**, 2020.

MACHADO, R. T. A.; GUTIERREZ, J.; TERCJAK, A.; TROVATTI, E.; UAHIB, F. G. M.; NASCIMENTO, A. P.; BERRETA, A. A.; RIBEIRO, S. J. L.; BARUD, H. S. Komagataeibacter rhaeticus as an alternative bacteria for cellulose production, **Carbohydrate Polymers**, v. 152, p. 841-849, 2016.

MENEGUIN, A. B.; BARUD, H.S.; SÁBIO, R. M.; SOUSA, P. Z.; MANIERI, K. F.; FREITAS, L. A. P.; PACHECO, G.; ALONSO, J. D.; CHORILLI, M. Spray-dried bacterial cellulose nanofibers: a new generation of pharmaceutical excipient intended for intestinal drug delivery. **Carbohydrate Polymers**, v. 249, n. March, 2020.

MORAES, P. R. F. S.; SASKA, S.; BARUD, H.; LIMA, L. S.; MARTINS, V. C. A.; PLEPIS, A. M. G.; RIBEIRO, S. J. L.; GASPAS, A. M. M. Bacterial cellulose/collagen hydrogel for wound healing. **Materials Research**, v. 19, n. 1, p. 106–116, 2016.

NIRMAL, N.; PILLAY, M. N.; MARIOLA, M.; PETRUCCIONE, F.; VAN ZYL, W. E. Formation of dialysis-free Kombucha-based bacterial nanocellulose embedded in a polypyrrole/PVA composite for bulk conductivity measurements. **RSC Advances**, v. 10, n. 46, p. 27585-27597, 2020.

OLIVEIRA BARUD, H. G.; SILVA, R.R.; BARUD, H. S.; TERCJAK, A.; GUTIERREZ, J.; LUSTRI, W.R.; OLIVEIRA JUNIOR, O. B.; RIBEIRO, S. J. L. A multipurpose natural and renewable polymer in medical applications: Bacterial cellulose. **Carbohydrate Polymers**, v. 153, p. 406-420, 2016.

OLIVEIRA-ALCANTARA, A. V.; ABREU, A. A. S.; GONCALVES, C.; FUCINOS, P.; CERQUEIRA, M. A.; GAMA, F. M. P.; PASTRANA, L. M.; RODRIGUES, S.; AZEREDO, H. M. C. Bacterial cellulose/cashew gum films as probiotic carriers. **LWT - Food Science and Technology**, v. 130, n. 109699, 2020.

PACHECO, G.; MELLO, C.V.; CHIARI-ANDRÉO, B. G.; ISAAC, B.L.V.; RIBEIRO, S. J. L.; PECORARO, E.; TROVATTI, E. Bacterial cellulose skin masks—Properties and sensory tests. **Journal of Cosmetic Dermatology**, v. 17, p. 840-847, 2018.

PANDEY, A. R.; SINGH, U. S.; MOMIN, M.; BHAVSAR, C. Chitosan : Application in tissue engineering and skin grafting, **Journal of Polymer Research**. n. 24, v. 125, 2017.

PANG, M.; HUANG, Y.; MENG, F.; ZHUANG, Y.; LIU, H.; DU, M.; MA, Q.; WANG, Q.; CHEN, Z.; CHEN, L.; CAI, T.; CAI, Y. Application of bacterial cellulose in skin and bone tissue engineering. **European Polymer Journal**, v. 122, p. 109365, 2020.

PHOMRAK, S.; PHISALAPHONG, M. Lactic acid modified natural rubber-bacterial cellulose composites. **Applied Sciences Basel**, v. 10, n. 10, 2020.

PIRSA, S.; SHAMUSI, T. Intelligent and active packaging of chicken thigh meat by conducting nano structure cellulose-polypyrrole-ZnO film. **Materials Science and Engineering C**, v.102, p. 798-809, 2019.

QIU, K.; NETRAVALI, A. N. A review of fabrication and applications of bacterial cellulose based nanocomposites, **Polymers Reviews**, v. 54, p. 598–626, 2014.

RAJWADE, J. M.; PAKNIKAR, K. M.; KUMBHAR, J. V. Applications of bacterial cellulose and its composites in biomedicine. **Applied Microbiology & Biotechnology**, 2015.

- ROVERA, C.; FIORI, F.; TRABATTONI, S.; ROMANO, D.; FARRIS, S. Enzymatic Hydrolysis of Bacterial Cellulose for the Production of Nanocrystals for the Food Packaging Industry. **Nanomaterials**, v. 10, n. 735, 2020.
- SAJJAD, W.; HE, F.; ULLAH, M.W.; IKRAM, M.; SHAH, M. A.; KHAN, R.; KHAN, T.; KHALID, A.; YANG, G.; WAHID, F. Fabrication of bacterial cellulose-curcumin nanocomposite as a novel dressing for partial thickness skin burn. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 8, n. September, p. 1–12, 2020.
- SASKA, S.; BARUD, H. S.; GASPAR, A. M. M.; MARCHETTO, R. RIBEIRO, S. J. L.; MESSADDEQ, Y. Bacterial cellulose-hydroxyapatite nanocomposites for bone regeneration. **International Journal of Biomaterials**, v. 2011, 2011.
- SILVA, R. R.; RIBEIRO, S. L. J.; BARUD, H. S.; BARUD, H. O.; OLIVEIRA J. R., O. N.; MEJÍA-SALAZAR, J. R. Biopolymer-Metal Composites. Cap. 11. In: **Metal Nanostructures for Photonics**, p. 261-301, 2019.
- SOUSA, R. B.; VIEIRA, E. G.; MENEGUIN, A. B.; SÁBIO, R. M.; ANTEVELI OSAJIMA FURTINI, J. A. O.; SILVA FILHO, E. C. Recent advances in methods of synthesis and applications of bacterial cellulose/calcium phosphates composites in bone tissue engineering: **International Journal of Advances in Medical Biotechnology - IJAMB**, [s. l.], v. 1, n. 2, p. 11-20, 2018.
- TAPIAS, Y. A. R.; PELTZER, M. A.; DELGADO, J. F.; SALVAY, A. G. Kombucha tea by-product as source of novel materials: formulation and characterization of films, **Food and Bioprocess Technology**, v. 13, n. 7, p. 1166-1180, 2020.
- THOMAS, P.; DUOLIKUN, T.; RUMJIT, N. P.; MOOSAVI, S.; LAI, C. W.; JOHAN, M. R. B.; FEN, L. B. Comprehensive review on nanocellulose: recent developments, challenges and future prospects. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, v. 110, n. April, p. 103884, 2020.
- TORGBO, S.; SUKYAI, P. Bacterial cellulose-based scaffold materials for bone tissue engineering. **Applied Materials Today**, v. 11, p. 34–49, 2018.
- TORGBO, S.; SUKYAI, P. Biodegradation and thermal stability of bacterial cellulose as biomaterial : The relevance in biomedical applications. **Polymer Degradation and Stability**, v. 179, p. 109232, 2020.
- TRONCOSO, O. P.; TORRES, F. G. Bacterial cellulose — graphene based nanocomposites. **International Journal of Molecular Sciences**, n. 22, p. 1–17, 2020.
- WANG, X.; TANG, J.; HUANG, J.; HUI, M. Production and characterization of bacterial cellulose membranes with hyaluronic acid and silk sericin. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 195, p. 111273, 2020.
- YAN, H.Q.; HUANG, D.G.; CHEN, X.Q.; LIU, H.F.; FENG, Y.H.; ZHAO, Z.D.; DAI, Z.H.; ZHANG, X.Q. ; LIN, Q. A novel and homogeneous scaffold material: preparation and evaluation of alginate/bacterial cellulose nanocrystals/collagen composite hydrogel for tissue engineering. **Polymer Bulletin**, v. 75, n. 3, p.985-1000, 2018.

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
- ✉ contato@atenaeditora.com.br
- 📷 @atenaeditora
- 📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br



Trabalhos nas Áreas de Fronteira da Química

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

