

Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia na Engenharia Química 2

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
(Organizador)

Atena
Editora

Ano 2021

Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia na Engenharia Química 2

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
(Organizador)

Atena
Editora

Ano 2021

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 Cremo

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
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant'Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador
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. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª 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
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra
Profª Drª 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
Profª Drª 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
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federacl 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
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalves de Lima – Universidade Federal do Piauí
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
Profª Drª Edna Alencar da Silva Rivera – Instituto Federal de São Paulo
Profª Drª Fernanda Tonelli – Instituto Federal de São Paulo,
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 Miraniide 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. Alessandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras
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. Carlos Augusto Zilli – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Profª Drª 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. Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior – Universidade Estadual de Maringá
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
Prof^a Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atílio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Prof. Me. Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho – Universidade Federal do Cariri
Prof^a Dr^a 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
Prof^a Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Prof^a 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
Prof^a Dr^a Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Prof^a Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFGA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Prof^a Dr^a Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFRP
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^a Ma. Lilian de Souza – Faculdade de Tecnologia de Itu
Prof^a Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^a Dr^a Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. 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. Me. Luiz Renato da Silva Rocha – Faculdade de Música do Espírito Santo
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

Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Dr. Pedro Henrique Abreu Moura – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Rafael Cunha Ferro – Universidade Anhembi Morumbi
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Profª Ma. Thatiany Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvío Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Desenvolvimento e transferência de tecnologia na engenharia química 2

Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizador: Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

D451 Desenvolvimento e transferência de tecnologia na engenharia química 2 / 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 978-65-5706-922-6

DOI 10.22533/at.ed.226211904

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

CDD 660

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

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

Este e-book intitulado: “Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia na Engenharia Química 2” é composto por dezoito capítulos de livros que foram organizados e divididos em três áreas temáticas: (i) minerais e materiais lignocelulósicos; (ii) aplicações industriais e (iii) aplicação de tecnologias avançadas de tratamento com destaque para os processos oxidativos avançados (POAs).

A primeira temática é constituída por oito trabalhos que apresentam estudos de utilização de resíduos como matéria-prima na produção de materiais cerâmicos e a obtenção de materiais de elevado custo e aplicabilidade a partir de matéria-prima mais abundante e economicamente mais acessível. Além disso, apresenta um trabalho que descreve um procedimento experimental para a escolha mais adequada e viável de uma biomassa de origem vegetal que pode apresentar características de um adsorvente e vir a ser utilizado tanto na forma *in natura* quanto modificada quimicamente, objetivando-se a remoção de compostos inorgânicos e orgânicos em diferentes matrizes aquosas. Neste sentido, trabalhos que investigaram a capacidade de remoção de poluentes utilizando minerais (argila) e biomassas vegetais (ricas em celulose e/ou lignina) apresentaram resultados satisfatórios em relação aos compostos-alvo de interesse, com destaque para a remoção do metal cromo hexavalente (Cr^{6+}) e fósforo e nitrogênio amoniacal que provocam a eutrofização de corpos aquáticos e morte de toda a biota.

O segundo tema está associado à aplicação dos conhecimentos de química e engenharia em diferentes seguimentos: (i) alimentação e (ii) processos industriais. No setor de alimentos é apresentado um trabalho que trata da avaliação microbiológica de biscoitos e empanados processados com filé de carpa Húngara, bastante abundante no estado de Santa Catarina. Já em processos industriais é apresentado um estudo que avalia o melhor dimensionamento de um condensador de amônia que possui grandes aplicações em diferentes seguimentos industriais; um estudo que avalia e compara os reatores CSTR e PFR para a produção de combustível proveniente de fontes renováveis e por fim um estudo de caso que avaliou a utilização de biometano em frotas de ônibus de seis cidades do estado de São Paulo.

A última temática trata da aplicação de diferentes POAs (Fenton e fotocatalise heterogênea tanto com o trióxido de tungstênio dopado com prata ($\text{WO}_3\text{-Ag}$) quanto o dióxido de titânio (TiO_2) para a degradação de diferentes CIEs (fármacos, microplásticos) que vem sendo reportado em trabalhos realizados em todo o mundo. No Brasil a falta de uma legislação mais restritiva associada a falta de fiscalização vem colaborando para a maior detecção e quantificação de diferentes CIEs nos diferentes compartimentos aquáticos afetando a qualidade e a sobrevivência dos diferentes organismos presentes nos inúmeros ecossistemas brasileiros.

Neste sentido, a Atena Editora vem colaborando com pesquisadores de todas as áreas do conhecimento possibilitando a divulgação de seus trabalhos e contribuindo com a disseminação destas informações de forma gratuita e acessível em diferentes plataformas digitais.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ANÁLISE DA INCORPORAÇÃO DE LAMA ABRASIVA PROVENIENTE DO CORTE DE GRANITO NA PRODUÇÃO DE CERÂMICA VERMELHA

Adriel Martins da Silva
Keina Dalila dos Santos
Luan Regio Pestana
Luís Ramon Silva Ferreira
Façal Gazel

DOI 10.22533/at.ed.2262119041

CAPÍTULO 2..... 13

VULCANIZAÇÃO COM PRODUTOS NATURAIS: UMA ANÁLISE ATRAVÉS DA MODELAGEM MOLECULAR

Helson Moreira da Costa
Valéria Dutra Ramos

DOI 10.22533/at.ed.2262119042

CAPÍTULO 3..... 40

OBTAINING GRAPHENE OXIDE FROM GRAPHITE USING THE HUMMERS METHOD

Dailson José de Queiroz Lima
Samantha Amorim Rebolledo
Everton Fabrício Franceschi
Leonardo Auco Brochetti

DOI 10.22533/at.ed.2262119043

CAPÍTULO 4..... 56

PROCEDIMENTOS ALTERNATIVOS DE ADSORÇÃO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES: UMA TRIAGEM EXPERIMENTAL

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
Bruno Elias dos Santos Costa
Nivia Maria Melo Coelho

DOI 10.22533/at.ed.2262119044

CAPÍTULO 5..... 69

UTILIZAÇÃO DE ARGILA TIPO CAULINITA IN NATURA E TRATADA SUPERFICIALMENTE NA ADSORÇÃO DE CROMO HEXAVALENTE Cr(VI)

Lenice Campos
Robert Orlando Braz Giacomini
João Batista dos Santos Magalhães de Almeida
Pedro Roberto Araújo Santos Filho
Mario Sérgio da Rocha Gomes

DOI 10.22533/at.ed.2262119045

CAPÍTULO 6..... 81

AValiação DA INFLUÊNCIA DE PRÉ-TRATAMENTOS ALCALINOS NA EXTRAÇÃO DA

LIGNINA PRESENTE NA FIBRA DO MESOCARPO DO COCO

Geovanna Miranda Teixeira

Emanuel Souza de Souza

Leila Maria Aguilera Campos

DOI 10.22533/at.ed.2262119046

CAPÍTULO 7..... 95

EL TAMAÑO DE LA PARTÍCULA DE BAMBÚ ANGUSTIFOLIA “BAMBUSOIDEAE” FACTOR DETERMINANTE DEL PORCENTAJE DE CELULOSA EXTRAIDO

Willam Esparza

Luis Chamorro

Wilson Herrera

DOI 10.22533/at.ed.2262119047

CAPÍTULO 8..... 105

OTIMIZAÇÃO DA REMOÇÃO DE FÓSFORO E NITROGÊNIO AMONÍACAL POR LIGNINA

Lenice Campos

Bárbara Leticia Peroni

João Batista dos Santos Magalhães de Almeida

Pedro Roberto Araújo Santos Filho

Mario Sérgio da Rocha Gomes

DOI 10.22533/at.ed.2262119048

CAPÍTULO 9..... 118

HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DA PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR: ESTUDO CINÉTICO E MODELAGEM SEMI-MECANÍSTICA

Gustavo Batista

Renata Beraldo Alencar de Souza

Antonio José Gonçalves Cruz

DOI 10.22533/at.ed.2262119049

CAPÍTULO 10..... 126

APLICAÇÃO DE WETLANDS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Camila Daniely Costa

Daylaine Aguiar Santos

Manfredo Frederico Felipe Hoppe

DOI 10.22533/at.ed.22621190410

CAPÍTULO 11..... 141

AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA DE BISCOITOS E EMPANADOS PROCESSADOS COM E SEM GLÚTEN A PARTIR DE FILÉ DE CARPA HÚNGARA (*CYPRINUS CARPIO*)

Arthur Mateus Schreiber

Alessandro Hermann

DOI 10.22533/at.ed.22621190411

CAPÍTULO 12..... 148

DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE DE CONDENSADOR DE AMÔNIA DO TIPO PLACA

EM ESPIRAL

Maria Clara de Carvalho Aguiar
Alex Vazzoler

DOI 10.22533/at.ed.22621190412

CAPÍTULO 13..... 157

ANÁLISE COMPARATIVA DO USO DOS REATORES CSTR E PFR PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Gabriella Santos Soares
Sabrina Rodrigues da Silva

DOI 10.22533/at.ed.22621190413

CAPÍTULO 14..... 171

BIOMETHANE FROM LANDFILL GAS IN URBAN BUS FLEETS: STUDY CASE IN SIX CITIES IN ARC, STATE OF SÃO PAULO, BRAZIL

Mauro Donizeti Berni
Paulo Cesar Manduca
Ivo Leandro Dorileo
Leonardo G. de Vasconcelos

DOI 10.22533/at.ed.22621190414

CAPÍTULO 15..... 180

REAGENTES FENTON: TÉCNICA ANALÍTICA PARA PRÉ-TRATAMENTO DE AMOSTRAS DE ÁGUAS RESIDUAIS CONTAMINADAS POR MICROPLÁSTICOS

Andressa Rossatto
Maurício Zimmer Ferreira Arlindo
Taiana Denardi de Souza
Christiane Saraiva Ogradowski

DOI 10.22533/at.ed.22621190415

CAPÍTULO 16..... 184

UTILIZAÇÃO DE MATERIAS BIOADSORVENTES PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS CONTAMINADAS E REDUÇÃO DE RISCOS AMBIENTAIS

José Henrique Hammerschmidt Muhlbeier
Luís Fernando Cusioli
Laiza Bergamasco Beltran
Rosângela Bergamasco

DOI 10.22533/at.ed.22621190416

CAPÍTULO 17..... 194

SÍNTESE E AVALIAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE WO₃-Ag PARA FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA NA DEGRADAÇÃO DE ACETAMINOFENO

Beatriz Lara Diego dos Reis Fusari
Antonio Carlos Silva Costa Teixeira
Priscila Hasse Palharim

DOI 10.22533/at.ed.22621190417

CAPÍTULO 18.....	207
DEGRADAÇÃO DA AMOXICILINA POR PROCESSO OXIDATIVO AVANÇADO EM REATOR CONTÍNUO COM TiO₂ FIXADO AO LEITO	
Bruno Rampanelli Dahmer	
Sabrina Grando Cordeiro	
Giovana Wanessa Franke Bohn	
Jéssica Adriane Barth	
David Green	
Eduardo Miranda Ethur	
Elisete Maria de Freitas	
Gustavo Reisdorfer	
Lucélia Hoehne	
DOI 10.22533/at.ed.22621190418	
SOBRE O ORGANIZADOR.....	218
ÍNDICE REMISSIVO.....	219

ANÁLISE COMPARATIVA DO USO DOS REATORES CSTR E PFR PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 08/03/2021

Gabriella Santos Soares

Centro Universitário UniFBV | Wyden
Recife – Pernambuco
<http://lattes.cnpq.br/5856055030534458>

Sabrina Rodrigues da Silva

Centro Universitário UniFBV | Wyden
Recife – Pernambuco
<http://lattes.cnpq.br/5238436742116338>

RESUMO: Visando a redução dos impactos ambientais pelo uso de combustíveis fósseis, o biodiesel, mistura de monoésteres metílicos ou etílicos tendo obtenção a partir de óleos vegetais ou gorduras animais, surge como uma alternativa promissora tendo em vista suas vantagens em comparação ao diesel obtido do petróleo. Para a síntese do biodiesel, a reação mais comumente utilizada é a transesterificação. Este trabalho tem como objetivo a realização de uma análise comparativa do uso dos reatores contínuos, CSTR e PFR, para a produção do biodiesel com base em 6 artigos selecionados, avaliando parâmetros que caracterizam o uso de cada um. Constatou-se que o PFR foi abordado na maioria dos artigos como melhor desempenho para tal produção, pois além de permitir fácil controle em elevadas pressões e temperaturas, para uma mesma conversão dos reagentes apresenta menor tamanho em relação ao CSTR. Tal estudo é de extrema importância para o

entendimento de parâmetros que devem ser levados em consideração na escolha do uso do reator adequado ao sistema reacional, no caso da produção do biodiesel, visando condições ótimas de operação.

PALAVRAS-CHAVE: Biodiesel. Reatores CSTR e PFR. Reatores contínuos. Reação de Transesterificação.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE USE OF CSTR AND PFR REACTORS FOR THE PRODUCTION OF BIODIESEL

ABSTRACT: Aiming at reducing environmental impacts through the use of fossil fuels, biodiesel, a mixture of methyl or ethyl monoesters obtained from vegetable oils or animal fats, appears as a promising alternative in view of its advantages in comparison to diesel obtained from petroleum. For the synthesis of biodiesel, the most commonly used reaction is transesterification. This work aims to carry out a comparative analysis of the use of continuous reactors, CSTR and PFR, for the production of biodiesel based on 6 selected articles, evaluating parameters that characterize the use of each one. It was found that PFR was approached in most articles as the best performance for such production, because in addition to allowing easy control at high pressures and temperatures, for the same conversion of the reagents it is smaller in size compared to CSTR. Such a study is extremely important for the understanding of parameters that must be taken into consideration when choosing the use of the appropriate reactor for the reaction system, in the case of biodiesel production, aiming at optimal operating conditions.

KEYWORDS: Biodiesel. CSTR and PFR reactors. Continuous reactors. Transesterification reaction.

1 | INTRODUÇÃO

A necessidade e interesse por combustíveis oriundos de fontes renováveis cresce em todo o mundo devido a uma crescente instabilidade no mercado internacional de petróleo e, principalmente, devido a poluição causada por combustíveis fósseis, aumentando significativamente o efeito estufa provocado pelo aquecimento global. O Brasil está em uma posição de grande destaque quanto ao cenário de todo o mundo por conta do grande potencial de produção de etanol e possui uma grande diversidade de produção de possíveis substâncias oleaginosas que são a matéria prima de biocombustíveis. Esse processo foi impulsionado pela aplicação do biodiesel no diesel. O novo desafio para as indústrias é fazer o uso de tecnologias capazes de aperfeiçoar a produção.

Os óleos vegetais aparecem como uma fonte alternativa de combustível e o seu uso direto em motores de combustão interna não constitui uma inovação recente. Rudolf Diesel (1858 - 1913), inventor do motor do ciclo diesel, em 1900 utilizou óleo vegetal de amendoim para demonstrar seu invento em Paris (RABELO, 2001 e DEMIRBAS, 2003). As principais matérias-primas para a síntese de biodiesel são os óleos vegetais e os álcoois. As vantagens do óleo vegetal como combustível em relação ao diesel são: líquido natural, renovável, alto valor energético, baixo conteúdo de enxofre, baixo conteúdo aromático e biodegradável (FANGRUI et al., 1999).

No Brasil, devido à grande diversidade de espécies oleaginosas, pode-se produzir biodiesel a partir de diferentes óleos vegetais como soja, milho, amendoim, algodão, babaçu e palma (Ferrari e cols., 2005). Além disso, esse biocombustível pode ser produzido a partir de óleos de frituras e de sebo bovino, diminuindo, assim, os riscos de poluição ambiental causados por esses materiais (Suarez e cols., 2007; Costa Neto e cols., 2000). Porém, a escolha de uma oleaginosa deve levar em consideração o teor de óleo na planta, características físico-químicas, rendimento agrícola e a disponibilidade de colheita em cada região.

O processo mais utilizado nas plantas industriais, no momento, é a obtenção de biodiesel por transesterificação, pois apresenta cinética mais diferenciada em função do tipo de catalisador utilizado, sendo os básicos homogêneos aqueles que fornecem maior velocidade de reação e os mais utilizados industrialmente (CARVALHO et al., 2007). A transesterificação de triglicerídeos com álcool de baixa massa molar utilizando catalisadores homogêneos básicos apresenta algumas vantagens, como o baixo custo a etapa de reação, as condições reacionais brandas e a simplicidade dos equipamentos (MA e HANNA, 1999). Segundo Ma e Hanna (1999) e Van Gerpen (2005), uma série de inconvenientes acompanha tal tecnologia, como a necessidade de especificação da matéria

prima, possibilidade de saponificação e dificuldades na separação pós-reação, sendo, portanto, necessário o desenvolvimento de processos alternativos que possam resolver estes problemas.

A maior influência sobre a qualidade de um produto é na escolha adequada do reator químico, equipamento que mistura e gera reações através das substâncias presentes em seu interior. Devido à diversidade de reações químicas e suas complexas relações, os tipos e modos de operação dos reatores são geralmente muito diferentes. Uma classificação fixa de reatores é, portanto, apenas condicionalmente possível. Habitualmente é feita uma distinção entre reatores descontínuos (bateladas) e reatores contínuos (a batelada perfeitamente agitada e o reator tubular).

Os reatores batelada são aplicados em processos de pequena escala. Já os reatores contínuos, são geralmente utilizados em processo de grande escala em que a demanda de produção é maior (FELIPPE, 2018). Cada reator opera de uma forma característica, os reatores de batelada, por exemplo, não são alimentados continuamente, os reagentes são adicionados, e só após um determinado tempo, em que a conversão é atingida, que o produto é retirado. Entretanto, nos reatores contínuos como o próprio nome já diz, os reagentes são alimentados e os produtos retirados do reator continuamente sem realizar pausa. Os reatores semi bateladas, são utilizados em processos que há variação da composição com o tempo (GONÇALVES, 2016).

Com base no parágrafo acima, neste estudo trataremos de uma comparação dos dois principais reatores contínuos abordados no ensino de cinética e cálculo de reatores especificamente na produção de biodiesel. O primeiro é o PFR que opera continuamente e em estado estacionário, por isso, é ideal para produção em larga escala quando a taxa de reação é razoavelmente ou extremamente alta. Este reator é modelado em função de uma diferencial de volume. O segundo, por fim, o CSTR. Este é um reator agitado que opera continuamente em estado estacionário, seu conteúdo é considerado perfeitamente misturado. Consequentemente, entende-se que a temperatura, a concentração e a velocidade da reação dentro de um CSTR independem do tempo, quando atingido o regime estacionário, ou da posição espacial das partículas da mistura (FOGLER, 2009).

O reator batelada, que é um reator simples e requer poucos acessórios, não será mencionado neste estudo, pois é ideal para a produção em pequena escala, pode ser empregado para experimentos de cinética das reações, para a fabricação de produtos caros e nos processos difíceis de ser convertido em operações contínuas. Como em todo processo descontínuo e semi-contínuo, o reator batelada opera em regime transiente por natureza.

2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Biodiesel – Uma visão geral

Conforme o artigo 4º da Lei nº 11.097 de janeiro de 2005, o biodiesel pode ser definido como sendo um biocombustível para utilização em motores com base em combustão interna, com ignição por compressão ou, que possa substituir total ou parcialmente combustíveis provenientes de origem fóssil, sendo o mesmo um derivado de biomassa renovável. Além disso, é possível usar produtos gerados em processos de craqueamento, esterificação e transesterificação, como biodiesel, pelo fato de não existir restrições na questão de rota tecnológica (SUAREZ & MENEGHETTI, 2007).

Segundo Portal Biodiesel BR 2008, por ter caráter renovável, o biodiesel surge como uma alternativa aos combustíveis minerais, obtidos a partir do petróleo, sendo uma fonte de geração de energia crucial em longo prazo.

O biodiesel, como produto, apresenta-se com teor de oxigênio em média 11%, tendo viscosidade e ponto de fulgor maior quando comparado ao diesel convencional, e número de cetano equivalente, também em comparação ao diesel, além de apresentar nicho de mercado direcionado, associado à atividades agrícolas, e ser isento de aromáticos e compostos de enxofre, contribuindo à redução da poluição ambiental (DANTAS, 2006).

Conforme explanado por Gonçalves 2007, usar diretamente óleos vegetais como combustíveis para motores, ocasiona problemas, pois em razão do processo de oxidação pode haver a formação de goma na combustão direta, bem como a formação de substância tóxica, como a acroleína, proveniente da decomposição do glicerol e polimerização durante a combustão e armazenagem. Além disso, a quantidade de ácidos graxos livres e outras características que também podem ser causadas, juntas levam a geração de falhas e atraso na ignição, e a partida do motor a frio também se torna comprometida.

As reações químicas podem contornar os problemas ocorrentes no uso direto dos óleos vegetais por meio da modificação de sua estrutura, bem como para outras matérias primas, a exemplo os resíduos graxos, transformando os mesmos em biodiesel. Usam-se para essa adaptação, reações como a transesterificação, pirólise, hidroesterificação, craqueamento catalítico, microemulsificação e decomposição térmica, transformando as moléculas do óleo quimicamente de modo a facilitar seu uso para a fabricação dos combustíveis (SRIVASTAVA & PRASSAD, 2000). Segundo Gonçalves 2007, as novas moléculas obtidas através destas reações químicas, devem apresentar características físico-químicas e termodinâmicas ainda melhores, ou no mínimo, equivalentes ao diesel.

Para a produção do biodiesel, as matérias primas graxas típicas são os óleos vegetais e a gordura animal, podendo ainda afirmar-se que as principais oleaginosas para tal produção, são: girassol, soja, algodão, amendoim, mamona, canola, pinhão manso e dendê. Segundo Oliveira 2010, para a escolha da oleaginosa adequada, deve-se atentar para o teor de óleo contido na planta, a disponibilidade da colheita conforme a região e o

rendimento agrícola. Consideram-se também como matéria prima para produzir biodiesel, as gorduras animais, tais como, óleos de peixes e mocotó, sebo bovino, óleos e gorduras residuais de processamentos domésticos, industrial e comercial e banha de porco (WUST, 2004; NETO E ROSSI, 2000).

Os álcoois mais empregados na produção de biodiesel são os de cadeia curta, entre eles, metanol, etanol, propanol e butanol, onde segundo Holanda 2004, o metanol por sua menor cadeia e maior polaridade, apresenta maiores vantagens do que o etanol, facilitando a separação entre a glicerina e os ésteres obtidos da transesterificação, enquanto o etanol apresenta vantagens na questão ambiental, por ser menos tóxico e por ser renovável, porém, precisando também conter menor quantidade de água para separar a glicerina, o que implica em custos maiores.

2.2 Processos de produção do biodiesel

A matéria prima selecionada para o processo para produção biodiesel define o método mais adequado a ser utilizado. Existe diversos meios reacionais que o biodiesel pode ser obtido e processado por diversos meios reacionais, dentre eles a transesterificação ou alcoólise, o craqueamento térmico ou pirólise, a microemulsificação (mistura co-solvente) e a hidroesterificação.

2.2.1 Transesterificação

A transesterificação ou alcoólise é o processo químico empregado mundialmente para a produção de biodiesel, na qual uma gordura animal ou óleo vegetal reage com um álcool (geralmente metanol ou etanol) na presença de um catalisador para formar, ésteres (biodiesel) e glicerol (RANESES et al., 1999; ZHANG et al., 2003).

A transesterificação de óleos vegetais a biodiesel com metanol pode ser conduzida usando catalisadores homogêneos (ácidos ou bases) e heterogêneos (ácido, básico e enzimático) (HUAPING et. al., 2006).

A reação de transesterificação sofre os efeitos das variações causadas pelo tipo de álcool, pelas proporções necessárias de álcool, por diferentes catalisadores, pela quantidade de catalisador, pela agitação da mistura, pela temperatura e pelo tempo de duração da reação (ZAGONEL,2000; CANAKSI e VAN GERPEN, 1999; HANNA et. al., 1996). O tempo de duração da reação afeta a produção de biodiesel realizada por bateladas; no entanto, deixa de ser uma variável em instalações mais sofisticadas onde o biodiesel é produzido com fluxo contínuo (DROWN, COX e WOOD, 1995).

A catálise homogênea é a mais utilizada na produção de biodiesel não só no Brasil como no exterior. A mesma pode ser básica (seus principais catalisadores são o Hidróxido de Potássio (KOH) e o Hidróxido de Sódio (NaOH) ou ácida, sendo que seus principais catalisadores são Ácido Clorídrico (HCl) e o Ácido Sulfúrico (H₂SO₄).

2.2.2 Pirólise

Pirólise é a conversão de uma substância em outra através de aquecimento com ou sem adição de catalisador. Envolve aquecimento na ausência de ar ou oxigênio e quebra de ligações químicas para produção de moléculas menores. O material a ser pirolisado pode ser óleo vegetal, gordura animal, ácidos graxos naturais e ésteres metílicos de ácidos graxos (FUKUDA, et al., 2001; KOH e MOHD GHAZI, 2011; BALAT e BALAT, 2010).

A vantagem é que os produtos gerados pela pirólise podem ter outras aplicações, como solvente, matérias-primas de plásticos, etc. No entanto, é um processo ainda caro (AGROONLINE, 2006).

Diferentemente de mistura direta, gorduras podem ser objeto de pirólise para a produção de compostos de menores cadeias. A pirólise de gorduras tem sido investigada há mais de 100 anos, especialmente em países com pequenas reservas de petróleo. (LIMA, 2005)

2.2.3 Microemulsificação

O processo de microemulsificação é definido como uma dispersão coloidal formada normalmente por dois líquidos imiscíveis: álcool e triglicerídeos. Este processo é empregado para resolver problemas de alta viscosidade dos óleos vegetais puros, reduzindo a viscosidade do óleo com solventes, tais como alcoóis simples (KOH e MOHD GHAZI, 2011; SINGH e SINGH, 2010).

2.2.4 Hidroesterificação

A partir de reações mais frequentemente observadas entre os alcoóis e ácidos carboxílicos os ésteres são formados. Essas reações são denominadas de “esterificação”.

A esterificação é uma das técnicas utilizadas para obtenção de biodiesel e consiste na reação entre os ácidos carboxílicos, encontrados nos óleos vegetais, com metanol ou etanol para formar ésteres metílicos ou etílicos, respectivamente, e água. Geralmente, a reação de esterificação é catalisada por ácidos inorgânicos como o ácido sulfúrico (BOOCOOCK et al., 2003).

O uso de solventes orgânicos na síntese de biodiesel por esterificação pode ser importante, visto que estes são solventes hidrofóbicos (fobia a água), ou seja, aumentam a solubilidade dos ácidos graxos e evitam a presença de água no processo da reação e com isso favorece o aumento da conversão. A presença de água no meio reacional ainda pode hidrolisar os ésteres formados e inativar a maioria dos catalisadores heterogêneos por inibição da taxa de reação. No entanto, alguns heteropoliácidos exibem elevadas atividades em várias reações, pois possuem elevada acidez e alta área superficial. Estes heteropoliácidos são classificados como ácidos de Brønsted fortes (VIEIRA, 2005).

Para aumentar o rendimento da reação de esterificação, outra opção, como o

excesso na quantidade de reagentes, pode ser utilizada ou a água produzida pode ser retirada (por secagem ou por um processo de separação como adição no meio reacional de peneira molecular) (LIMA et al, 1995). Adsorventes como alumina, sílica gel e zeólitas são efetivos na remoção de água de solventes orgânicos. Como a reação de esterificação é reversível, esse excesso de reagente é necessário para garantir a maior formação possível de ésteres. Mas, se tratando da síntese de ésteres em larga escala, é preferível a remoção do produto à medida que é formado, permitindo concentrações equimolares de reagentes, simplificando as etapas de recuperação e purificação dos produtos (VIEIRA, 2005).

Hidrólise é uma reação química onde um composto pode realizar uma reação de dupla troca com uma molécula de água. Em matérias primas ricas em triacilglicerídeos, estes podem ser clivados antes do processo de saponificação ou de esterificação (DARIO, 2006).

A hidrólise ácida é exatamente o inverso da esterificação ácida. Já a hidrólise básica ocorre sob condições alcalinas, onde evidentemente se obtém o ácido carboxílico (ácido graxo) e um álcool correspondente, o glicerol (ALINGER et al., 1976).

O processo de hidroesterificação (hidrólise seguida de esterificação) se insere neste contexto como uma alternativa ao processo convencional de produção de biodiesel. No Brasil existem pelo menos três fábricas que desenvolvem esse processo. Estas fábricas obtêm cerca de 99% de conversão (LIMA, 2007).

2.3 Reatores em escoamento contínuo

Dos vários tipos de reatores encontrados atualmente, tem-se dois tipos que são principais, sendo eles os reatores em tubos ou em tanques, onde ambos podem ser utilizados como contínuos ou de batelada (LEVENSPIEL, 1972).

Os reatores onde se realizam reações homogêneas podem ser: descontínuo ou batelada, contínuo ou tubular e semicontínuo, onde o descontínuo, é indicado para estudos de cinética em escala experimental e para trabalhos com pouca quantidade de material, já o semicontínuo, efetua a reação na medida em que são adicionados os reagentes, apresentando bom controle de velocidade da reação. Segundo Levenspiel 1926, o reator contínuo apresenta-se como sendo ideal para uso industrial, envolvendo grandes quantidades de material e com velocidades extremamente altas de reação, envolvendo muitos acessórios e controle rigoroso da qualidade, sendo vastamente usado na indústria de petróleo.

2.3.1 Reator contínuo de tanque agitado - CSTR

Empregado apenas em reações de fase líquida, o reator perfeitamente agitado, conhecido como CSTR, garante uma mistura adequada por meio de um agitador. O mesmo é muito utilizado na indústria de processos químicos de modo geral, bem como para processos de produção do biodiesel (LEVENSPIEL, 1972). Para este tipo de reator, a

temperatura e concentração é a mesma em qualquer ponto no interior do tanque da reação.

2.3.2 Reator tubular – PFR

No caso do reator conhecido como PFR, tal modelo apresenta sistema de fluxo contínuo para as reações e suas dimensões são as principais variáveis. Levenspiel (1972) descreve que o PFR, modelo de reator de fluxo em pistão, apresenta movimento constante ao longo de seu comprimento, sendo também utilizado nos processos de produção do biodiesel. Este tipo de reator é muito utilizado para reações em fase gasosa.

2.4 Processos contínuos aplicados à produção de Biodiesel

Segundo a pesquisa da BiodieselBR, acerca do processo utilizado por 57 usinas entrevistadas, 26 unidades (45%) utilizam o processamento do biodiesel por batelada e 31 unidades (55%) processam pelo método contínuo. Basicamente a diferença entre os dois processos é a escala de produção, onde no processo contínuo, necessita-se de grande quantidade de matéria prima e investimentos no processo, e no processo de batelada a produção é em escala mais reduzida, apresentando maior flexibilidade.

Para a seleção entre o sistema por batelada ou contínuo, deve-se atentar para a questão de custo benefício a exemplo do caso da usina Bio Óleo, de Cuiabá (MT), autorizada pela ANP para produção de cerca de 10 mil litros por dia (PORTAL BIODIESEL BR, 2010). O método de batelada, além de ter aplicabilidade para produção em escalas menores, permite diversificar o uso da matéria prima, podendo usar óleos vegetais diferenciados a cada batelada.

Os processos contínuos são aplicados para a produção de biodiesel em grandes escalas, tendo um melhor aproveitamento das matérias prima e com menor geração de resíduos, ocorrendo de modo ininterrupto numa sequência de reatores.

3 | METODOLOGIA

Para se proceder à análise comparativa do uso dos reatores CSTR e PFR para a produção de biodiesel, foram selecionados 6 estudos científicos, abordando experimentos para comprovação da eficiência apresentada pelos reatores para a produção em questão.

Segundo o trabalho de Morais (2011), o estudo experimental foi realizado com base nas reações de transesterificação utilizando óleo de soja comercial sem tratamento prévio como substrato, e álcool metílico, apresentando como catalisador utilizado no experimento o hidróxido de sódio, tendo o estudo, foco para os reatores tubulares - PFR. A metodologia experimental teve base no bombeamento contínuo do álcool metílico e substrato em questão, juntamente com hidróxido de sódio homogeneizado previamente, a uma razão molar determinada e vazão volumétrica conforme planejado para o procedimento, até preencher todo o sistema de reação com a mistura (MORAIS, 2011).

Com o intuito de verificar o desempenho e eficiência de reatores contínuos CSTR e PFR na produção de biodiesel, Maciel e Marques 2017, realizaram o estudo da simulação de transesterificação do triglicerídeo chamado de trioleína (TG) com metanol, na presença de catalisador alcalino, com uso do software Aspen Plus Dynamic que permite a análise do comportamento da reação com o tempo.

O estudo sobre a modelagem e simulação na otimização de um reator contínuo para a produção de biodiesel, foi realizado com o uso do software ANSYS CFX, para reator tubular – PFR, observando-se parâmetros como gradiente de velocidade, eficiência da mistura e geometrias empregadas (MIYAZAKI, RAMOS, SANT'ANNA, SILVA e SILVA, 2012).

O trabalho de Galante (2011) a respeito da modelagem e simulação de um reator tubular contínuo para a produção de biodiesel tem como objetivo central o desenvolvimento de um modelo multifísico, empregando o método de elementos finitos para tal produção em reator tubular, considerando em escala industrial e laboratorial. Foram estudados os aspectos transferência de massa, calor e quantidade de movimento ao longo do reator. Observou-se que a reação de óleo de colza e metanol ocorre rapidamente e atinge altas conversões em poucos minutos.

Após uma simulação, foi analisada por Fiori (2013) a possibilidade da aplicação prática de um reator PFR para produção de biodiesel, tendo em vista a proposição de alternativas para a produção desse combustível. Sendo assim, os dados de uma série de quatro reatores CSTR foram comparados com os resultados do reator PFR simulado e foi concluído que o reator simulado pode operar com uma conversão acima de 95%, produzindo 460kg de biodiesel por dia.

O estudo científico baseado em um reator CSTR com reciclo de Oliveira (2019), através construção de um protótipo desse reator, integrou os conceitos de determinação do tempo de residência, constante de equilíbrio e conversão da reação para o estudo da conversão da reação no protótipo foi escolhido uma reação de precipitação a partir dos reagentes sulfato de cobre e hidróxido de sódio.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados

4.1.1 Desenvolvimento de um processo contínuo para produção de biodiesel a baixas temperaturas

Segundo comparações apresentadas por Morais (2011), num estudo sobre a transesterificação num reator batelada e para um reator tubular contínuo – PFR, observou-se a produção de biodiesel e glicerina em composições equivalentes em ambos os reatores (tempo de 75 minutos com 89% de índice de graxos), porém o reator tubular contínuo –

PFR resultou no mesmo rendimento num tempo menor em comparação ao batelada, em torno de 13 minutos, o que seria aproximadamente 6 vezes mais rápido. Ainda sobre as conversões apresentadas, o reator contínuo apresentou uma faixa de 5 a 80% do obtido no reator batelada em 10 minutos de reação (MORAIS, 2011).

4.1.2 Projeto, simulação e controle na produção de biodiesel, através de reatores CSTR e PFR

Em comparação apresentada no estudo de Maciel e Marques (2012), para um volume de 2m³ no reator perfeitamente agitado CSTR, a conversão obtida foi de 97,62%, enquanto para o reator PFR em um volume de 0,085m³ a conversão apresentada foi de 98,84%. O estudo realizado revela que o reator PFR, com um volume ainda menor que o modelo CSTR, apresentou um leve aumento na conversão e concentração do biodiesel, onde já o CSTR precisa de um volume maior para equilibrar os resultados (MACIEL E MARQUES, 2012).

Segundo Maciel e Marques (2012) “o reator PFR, produz resultados mais eficientes quando comparados a sua produção, levando em consideração que o mesmo tem 4,25% do volume do CSTR”.

Sobre a análise de sensibilidade de pressão e temperatura, ambos os reatores revelaram os mesmos resultados, ou seja, mesmo com alteração na pressão, a taxa de conversão é mantida sem que haja mudança, e em comparações realizadas, a transesterificação no PFR apresentou melhor desempenho em relação ao CSTR para esta reação, o que comprova a viabilidade do PFR novamente (MACIEL E MARQUES, 2012).

4.1.3 Otimização de um reator contínuo para a produção de biodiesel

A produção do biodiesel em escala industrial é realizada com uso de reatores CSTR ou PFR, porém ambos apresentam resultados que diferem entre si. Segundo Miyazaki, Ramos, Sant’anna, Silva e Silva (2012) “O reator PFR apresenta vantagens em relação ao reator CSTR, devido ao fato desse primeiro apresentar um tamanho muito menor que o segundo para uma mesma conversão dos reagentes”.

4.1.4 Modelagem e simulação de um reator tubular contínuo para a produção de biodiesel

Nessa sessão serão apresentados os resultados obtidos por Galante (2012) das simulações do escoamento reativo para a produção de biodiesel empregando o método de elementos finitos, nas quais os modelos de transferência de massa, calor e quantidade de movimento foram considerados. A proporção molar de metanol e óleo de colza de 1:5 (óleo: álcool) foi empregada, considerando, assim, um modelo cinético completo, incluindo as reações diretas e reversas. O estudo foi realizado considerando o reator tubular em

escala laboratorial e industrial. Porém, nesse presente trabalho, será considerado apenas a escala industrial.

Com relação ao comportamento fluidodinâmico do escoamento reacional, pode-se constatar que a velocidade resultante ao longo do raio varia continuamente segundo um perfil parabólico, característica do modelo onde a velocidade na parede é nula, crescendo a partir daí sob a influência das forças cisalhantes no meio fluido até um valor máximo no eixo central. [...]

Verifica-se que o reator tubular, apesar de se comportar como um reator CSTR, possui um grande desvio com relação ao CSTR teórico de mesmo volume, indicando que o seu efeito de mistura não é ideal. Também pode ser observado que o CSTR teórico permite a obtenção de uma conversão 73% menor quando comparado com o reator tubular de mesmo volume. Como previsto, este resultado mostra que para pequenos volumes de reação o reator tubular é indicado para a obtenção de elevadas conversões.

Galante (2012) pôde verificar a partir disso que a reação de transesterificação oriunda do reator tubular contínuo com óleo de colza e metanol ocorre muito rapidamente, atingindo altas conversões (97%) em apenas 5 minutos. Em parte, esse desempenho decorreu devido ao fato da injeção dos reagentes misturados.

Constatou, ainda, que em uma simulação da produção de biodiesel em reator de escala industrial o estado estacionário foi atingido no tempo de 600 segundos, obteve-se uma concentração de biodiesel de 2568,60 mol/m³, representando uma conversão de 99,52%.

4.1.5 Análise e simulação de um reator tubular para produção contínua de biodiesel

FIORI (2013), traz uma análise simplificada a respeito dos reatores PFR e CSTR com base em uma comparação. Foram calculados valores que mostram que a conversão em um reator PFR atinge um nível de 95%, nesse caso a mistura reacional atravessou cerca de 70% do comprimento total do reator.

Destacou-se, através do estudo, que a teoria da engenharia das reações químicas de que um reator PFR pode ter o comportamento de uma bateria de reatores CSTR em série, em termos de conversão, pode ser refutada.

4.1.6 Estudo de um reator com reciclo

No estudo de Oliveira (2019) a partir do protótipo do reator CSTR com reciclo foram analisados os três métodos: o tempo de residência – DTR, a conversão da reação experimental e por último, a constante de equilíbrio K.

Oliveira (2019) depois de alguns cálculos com os dados coletados, constatou que conversão do reagente no protótipo do reator CSTR foi de 61%. Os reatores CSTR,

na teoria, não possuem uma alta conversão, desta forma a conversão obtida pode ser considerada como satisfatória.

5 | DISCUSSÕES

A análise de projeto em reatores é de fundamental importância para discernir entre a escolha do tipo de reator, no caso da produção de biodiesel, seja um PFR ou um certo número de reatores CSTR. Contudo, a comparação feita nesse presente estudo pode servir como um breve modelo ilustrativo baseado em seis trabalhos distintos a fim de conduzir a aceitação do uso de reatores PFR na produção de biodiesel em grande escala.

Há diversas variáveis que contribuem para um bom rendimento da produção em condições operacionais, mas observa-se entre os estudos aqui expostos que o comportamento do reator é de extrema importância para uma maior conversão do biodiesel.

6 | CONCLUSÃO

Conforme os resultados e discussões abordados pelos seis artigos base desse estudo, de modo geral, o reator PFR apresentou-se com melhor desempenho para os processos de produção do biodiesel em relação ao CSTR. Em relação à temperatura, os resultados foram semelhantes em ambos os reatores, onde o limite máximo de temperatura esteve em 70°C, e em relação ao volume, o reator PFR apresentou conversão 1,22% a mais de biodiesel do que o CSTR, e com uso de quantidades de 4,25% do volume do mesmo (MACIEL E MARQUES, 2012). Tais afirmações são ainda comprovadas por Miyazaki, Ramos, Sant'anna, Silva e Silva (2012), onde pelos estudos efetuados, afirmam que para uma mesma conversão dos reagentes, o PFR apresenta um tamanho relativamente menor do que o CSTR. Sobre a abordagem da metodologia acerca de reatores CSTR há uma escassez de trabalhos na literatura empregada no desenvolvimento desse trabalho, visando o estudo da produção de biodiesel em reatores contínuos a partir dele. Sendo assim, essa metodologia quase não foi explorada por pesquisadores da área de forma mais experimental até o momento (GALANTE, 2012). O modelo aqui abordado juntamente com as metodologias envolvidas mostrou grande potencial como ferramentas para o projeto e otimização de sistemas de produção, auxiliando na economia de tempo e recursos necessários aos testes experimentais. É possível constatar que a operação de um PFR é bem mais simplificada que a operação em série de reatores CSTR, além de utilizar uma quantidade menor de material de construção do próprio reator e requerer um subsídio mais reduzido de energia. (FIORI, 2013).

REFERÊNCIAS

BALAT, M.; BALAT, H.; Progress in biodiesel processing. Applied Energy, v.87, p.1815-1835, 2010.

CARVALHO, S. C. O.; OLIVEIRA, M. E. C.; FRANÇA, L. F. Modelagem e Simulação da Cinética de Transesterificação de Óleos Vegetais para Produção de Biodiesel. Anais do II Congresso da Rede Brasileira de Biodiesel, Brasília-DF, Nov, 2007

COSTA NETO, P.R.; ROSSI, L.F.S.; ZAGONEL, G.F. e RAMOS, L.P. Produção de biodiesel alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. Química Nova, v. 23, n. 4, p. 531-537, 2000.

DANTAS, H. J. Estudo Termoanalítico, Cinético e Reológico de Biodiesel Derivado do Óleo de Algodão (*Gossypium hisutum*). Dissertação de Mestrado – p.83. João Pessoa, PB, 2006.

FANGRUI, M.; HANNA, M. A.; *Bioresource Technology* 70: 1, 1999.

FERRARI, R.A.; OLIVERIA, V.S. e SCABIO, O.A. Biodiesel de soja – Taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. Química Nova, v. 28, n. 1, p. 19-23, 2005

FOGLER, H. S. Elementos de engenharia das reações químicas. 4ª ed. Rio de Janeiro, LTC, 2009.

FUKUDA, H.; KONDO, A.; NODA, H. Biodiesel Fuel Production by transesterification of Oils, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 92(5), p. 405-416, 2001.

GONÇALVES, JUSSARA DE ARAUJO. Esterificação de compostos modelos sobre ácido nióico para produção de biodiesel. 2007. 165F. Dissertação de Mestrado, programa de pós graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Escola de Química – EQ, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

HUAPING Z., ZONGBIN W., YUANXIONG C., PING Z., SHIJIE D., XIAOHUA L., ZONGQIANG M., Preparation of biodiesel catalyzed by solid super base of calcium oxide and its refining process, *Chin. J. Catal.*, 27, 5, May, 2006, 391-396.

LEVENSPIEL, O., "Engenharia das Reações Químicas", Vols. 1 e 2, Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1972.

LEVENSPIEL, OCTAVE.; CALADO, Verônica M. A. Engenharia das Reações Químicas. São Paulo: Edgard Blucher, 2005. 563 p.

MA, F; HANNA, M. A. Biodiesel production: a review. *Bioresource Technology*, 70, p.1-15, 1999.

PINTO, A.C.; GUARIEIRO, L.L.N.; REZENDE, M.J.C.; RIBEIRO, N.M.; TORRES, E.A.; LOPES, W.A.; PEREIRA, P.A.P. e ANDRADE, J.B. Biodiesel: an overview. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 16, n. 6B, p. 1313-1330, 2005

PORTAL BIODIESEL BR. Acesso em junho de 2020. <http://www.biodieselbr.com>, 2008.

PORTAL BIODIESEL BR. Acesso em junho de 2020. <http://www.biodieselbr.com>, 2010.

RABELO, I. D.; Estudo de desempenho de combustíveis convencionais associados a Biodiesel obtido pela transesterificação de óleo usado em fritura, Curitiba, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, CEFET-PR, 2001 Dissertação de mestrado.

RANESES, A.R.; GLASER, L.K.; PRICE, J. M.; DUFFIELD, J. A. Potential Biodiesel Markets and Their Economic Effects on the Agricultural Sector of the United States. *Industrial Crops and Products*, v.9, p.151–162, 1999.

SILVA, C.; CASTILHOS, FERNANDA.; OLIVEIRA, J. V.; FILHO, L.C.; Continuous production of soybean biodiesel with compressed etanol in a microtube reactor. *Fuel Processing Technology*, Volume 91, Issue 10, October 2010, Pages 1274-1281.

SRIVASTA, A., & PRASSAD, R. Triglycerides- based diesel fuel. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, v.4, 111-113, 2000.

SUAREZ, P. A., & MENEGHETTI, S. M. 70° Aniversário do biodiesel em 2007: Evolução histórica e situação atual no Brasil. *Química Nova*, v.30, 2068-2071, 2007.

SUAREZ, P.A.; MENEGHETTI, S.M.P.; MENEGHETTI, M.R. e WOLF, C.R. Transformação de triglicerídeos em combustíveis, materiais poliméricos e insumos químicos: algumas aplicações da catálise na óleoquímica. *Química Nova*, v. 30, n. 3, p. 667-676, 2007.

WUST, E. **Estudo da viabilidade técnico-científica da produção de biodiesel a partir de resíduos gordurosos**. 2004. 113p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Regional de Blumenau – FURB, Blumenau.

Documentos para consulta

1. MORAIS, F.R. Desenvolvimento de um processo contínuo para produção de biodiesel a baixas temperaturas / Fernanda Rocha Moraes. – São Cristóvão, 2011;
2. MACIEL, M.C; MARQUES, J.D. Projeto, simulação e controle na produção de biodiesel, através de reatores CSTR e PFR. Trabalho de Graduação – Engenharias. Universidade de São Francisco – USF, São Paulo, 2012;
3. RAMOS, A.; SILVA, G.F.; SANT'ANNA, M.; MIYAZAKI, M. N.; SILVA, G. Otimização de um reator contínuo para a produção de biodiesel. Universidade Federal de Sergipe – UFSE, Sergipe, 2011;
4. GALANTE, R. M. Modelagem e simulação de um reator tubular contínuo para a produção de biodiesel. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. – Santa Catarina, 2012;
5. FIORI, J.J. Análise e Simulação de um reator tubular para produção contínua de biodiesel. *Revista Engenho*, vol. 7 – abril de 2013;
6. OLIVEIRA, Caio Custódio de. Et al. Estudo de um reator com reciclo. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*. Ano 04, Ed. 10, Vol. 05, pp. 104-133. Outubro de 2019. ISSN: 2448-0959.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Absorbância 72, 73, 205, 212, 214

Adsorção 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 121, 127, 184, 186, 189, 190, 191, 192, 196, 201, 204, 205

Adsorvente 58, 59, 61, 62, 63, 64, 65, 69, 71, 72, 74, 79, 184, 186, 187, 188, 189, 190, 191

Águas superficiais 208, 209

Ambiente aquático 132, 185, 194

Analito 59, 60, 61, 62, 64, 65

B

Bactérias 128, 130, 136, 142, 146, 209

Bioadsorventes 58, 184, 218

Biocombustíveis 83, 158

Biodegradável 107, 158

Biodiesel 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 173

Biogás 179

Biomassa 59, 65, 82, 83, 84, 86, 87, 92, 119, 120, 121, 123, 124, 128, 160

C

Carbono 7, 13, 16, 21, 30, 40, 54, 83, 210, 212

Celulose 59, 60, 66, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 89, 90, 105, 116, 119, 120, 121, 124, 189

Coagulante 108, 117

Coliformes 116, 141, 142, 143, 145, 146

Condensador 148, 149, 150, 152, 153

Contaminação 26, 69, 215

Contaminantes emergentes 56, 185

Copolímero 13, 14, 20, 38

D

Degradação 65, 85, 127, 182, 194, 195, 197, 201, 202, 203, 204, 205, 207, 208, 209, 210, 212, 213, 214, 215, 216

Densidade 11, 29, 58, 107, 108, 112, 113

Desenvolvimento sustentável 2, 11

Dessorção 196, 201

Destilação 152

Diesel 157, 158, 160, 169, 170, 172, 173, 175, 176, 177, 179

Dióxido de titânio (TiO₂) 210

E

Ecosistema 129, 130

Espectroscopia 54, 61, 83, 86, 90, 184, 196

Estação de tratamento de esgoto (ETE) 65, 218

Estrutura amorfa 82, 83

F

Fármacos 64, 184, 185, 186, 194, 208

Fibras 60, 83, 86, 87, 96

Floculante 105, 106, 107, 110

Fluido 55, 148, 149, 150, 167

Fotoatividade 195, 213

Fotocatalisador 194, 203, 204, 210, 213

Fotocatálise heterogênea 194, 210

G

Granulometria 3, 4, 63, 84, 120, 190, 208, 212, 213, 216

H

Hidrofílico 21, 58

I

Indústria química 148

In natura 14, 59, 61, 64, 65, 67, 69, 71, 73, 74, 80, 83, 84, 85, 86, 87, 92, 120, 187, 188

L

Lignina 60, 61, 66, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 95, 96, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 105, 106, 107, 108, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 119, 120

M

Mananciais 2, 208

Materiais lignocelulósicos 56, 59, 60, 61, 85, 120

Matéria-prima 2, 83

Matrizes ambientais 183

Meio ambiente 1, 2, 70, 80, 82, 87, 106, 116, 126, 128, 181, 184

Metais 2, 55, 56, 57, 58, 62, 63, 64, 69, 70, 127, 130, 138, 186, 210, 218

Microscopia eletrônica de varredura (MEV) 62, 184, 196, 211, 212

Mineral 70

Mineralização 212, 215

N

Nanomateriais 40

Nanopartículas 184, 186, 187, 188, 192, 194, 195, 197, 212, 213

O

Óleos 13, 14, 16, 17, 20, 22, 25, 26, 29, 31, 32, 33, 37, 38, 39, 157, 158, 160, 161, 162, 164, 169

Otimização 20, 54, 56, 58, 62, 63, 84, 105, 106, 122, 153, 165, 166, 168, 170

Oxidação 54, 63, 70, 127, 160, 194, 204, 215

P

Patógenos 127, 141, 209

Polímero 14, 60, 96, 106, 107, 112, 119

Polissacarídeos 61

Pré-tratamento 58, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 119, 120, 124, 125, 180, 182, 183, 210

Processos industriais 70, 82, 83

Processos oxidativos avançados 57, 194, 195, 208, 209, 210, 218

R

Radiação 61, 132, 195, 196, 200, 210, 216, 218

Reaproveitamento 1, 3, 12, 56, 126, 136, 138

Recursos hídricos 69, 127, 128

Remediação ambiental 56, 58, 218

Remoção 57, 59, 64, 65, 67, 69, 70, 73, 74, 78, 79, 82, 84, 87, 88, 105, 110, 113, 114, 115, 116, 127, 128, 130, 131, 139, 163, 182, 183, 184, 185, 186, 190, 191, 192, 201, 216, 218

Renovável 82, 83, 158, 160, 161

Resíduo 1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 67, 81, 82

Resistência 1, 2, 7, 9, 10, 11, 14, 25, 58, 82, 118, 119, 122, 123, 124, 208

S

Semicondutor 213

Superfície 21, 61, 78, 79, 84, 110, 115, 130, 131, 132, 133, 143, 149, 186, 187, 188, 190,

196, 197, 204, 205, 211

T

Temperatura 1, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 17, 31, 63, 84, 95, 96, 98, 111, 112, 119, 120, 127, 136, 143, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 159, 161, 164, 166, 168, 182, 183, 187, 188, 189, 196, 197

Toxicidade 70, 194, 195, 209

Tratamento de efluentes 56, 57, 58, 65, 105, 126, 139, 208

Trocador de calor 148, 149, 152, 153, 154

Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia na Engenharia Química 2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

 **Atena**
Editora

Ano 2021

Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia na Engenharia Química 2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Atena
Editora

Ano 2021