



As Engenharias agregando Conhecimento em Setores Emergentes de Pesquisa e Desenvolvimento

Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado
(Organizadores)


Atena
Editora
Ano 2021



As Engenharias agregando Conhecimento em Setores Emergentes de Pesquisa e Desenvolvimento

Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado
(Organizadores)

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
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. Liliansi 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

As engenharias agregando conhecimento em setores emergentes de pesquisa e desenvolvimento

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremona
Correção: Vanessa Mottin de Oliveira Batista
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadores: Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 As engenharias agregando conhecimento em setores emergentes de pesquisa e desenvolvimento / Organizadores Franciele Braga Machado Tullio, Lucio Mauro Braga Machado. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-769-7

DOI 10.22533/at.ed.697211102

1. Engenharia. I. Tullio, Franciele Braga Machado (Organizador). II. Machado, Lucio Mauro Braga (Organizador). III. Título.

CDD 620

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

A obra “As Engenharias Agregando Conhecimento em Setores Emergentes de Pesquisa e Desenvolvimento” contempla vinte capítulos em que os autores abordam suas pesquisas aplicadas nos mais diversos setores da engenharia.

Pesquisas relacionadas a propriedades físico-químicas de materiais e desenvolvimento de novos produtos com a finalidade de aplicar na indústria.

Desenvolvimento de novos materiais e aplicação de inteligência artificial para utilização na medicina também são abordados.

Geração de energia, desenvolvimento de projetos sustentáveis e tratamento de efluentes são assuntos em evidência no meio acadêmico.

Por fim, estudo sobre a gestão de projetos de obras de arte especiais com a finalidade de auxiliar os gestores na tomada de decisões e intervenções nas mesmas.

Esperamos que esta obra promova ao leitor o desejo de desenvolver ainda mais estudos, agregando mais conhecimento em setores de pesquisa e desenvolvimento. Boa leitura!

Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

CONSTRUÇÃO DE IMPELIDORES POR MANUFATURA ADITIVA: UMA METODOLOGIA PARA O ENSINO DE OPERAÇÕES UNITÁRIAS

Tadeu Henrique Aparecido da Silva

Monica Taís Siqueira D'Amelio

DOI 10.22533/at.ed.6972111021

CAPÍTULO 2..... 17

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ACIDEZ E PERÓXIDO NO ÓLEO DE FRITURA UTILIZADO NO REFEITÓRIO DO IFMT – CAMPUS CONFRESA

Fábio Gonçalves Marinho

Felipe Gimenes Rodrigues Silva

Ulisses Alberto Rodrigues da Silva

Milton Fantinell Junior

Carlos Bonfim Gonçalves Marinho

Geovana Rodrigues Soares

DOI 10.22533/at.ed.6972111022

CAPÍTULO 3..... 22

ESTUDO DA SEDIMENTAÇÃO DESCONTÍNUA DE CaCO_3 E Ca(OH)_2 EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES VISANDO A SEPARAÇÃO DE PARTICULADO

Dinalva Schein

Carolina Smaniotto Fronza

Gabriela Aline Kroetz Bremm

Isaac dos Santos Nunes

Andréia Monique Lermen

Naiara Jacinta Clerici

Paula Gabriela Dalla Porta

Suelyly Ribeiro Hollas

DOI 10.22533/at.ed.6972111023

CAPÍTULO 4..... 33

FUNCIONALIZAÇÃO DO TERPOLÍMERO ACRILONITRILA-BUTADIENO-ESTIRENO COM ANIDRIDO MALEICO – UMA REVISÃO DA LITERATURA

Carlos Bruno Barreto Luna

Danilo Diniz Siqueira

Eduardo da Silva Barbosa Ferreira

Edson Antonio dos Santos Filho

Edcleide Maria Araújo

DOI 10.22533/at.ed.6972111024

CAPÍTULO 5..... 54

ANÁLISE DE DESGASTE NAS LASTRINAS DA CAIXA MATRIZ NA INDÚSTRIA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS

Tiago da Silva Fernandes

Anderson Daleffe

DOI 10.22533/at.ed.6972111025

CAPÍTULO 6..... 68

ANÁLISE QUÍMICA E ÂNGULO DE CONTATO DE FILMES FORMADOS POR BLENDA DE POLIESTIRENO/POLI(CAPROLACTONA) FOTODEGRADADAS POR LUZ ULTRAVIOLETA

Catarina Barbosa Levy

Maria Oneide Silva de Moraes

Walter Ricardo Brito

João de Deus Pereira de Moraes Segundo

DOI 10.22533/at.ed.6972111026

CAPÍTULO 7..... 75

APLICAÇÃO DE NANOBIMATERIAIS NO TRATAMENTO DE FERIDAS

Rayanne Cornelio Silva Carvalho

Deuzuita dos Santos Freitas Viana

Vicente Galber Freitas Viana

DOI 10.22533/at.ed.6972111027

CAPÍTULO 8..... 87

INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE FERROCARBONILA EM MATERIAIS ABSORVEDORES DE RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Cecília Maia Corsato

Nicholas Eras Fonseca

Bruno Ferraz Donati

Gustavo Freitas de Souza

Rademaks Bento de Oliveira

Valdirene Aparecida da Silva

DOI 10.22533/at.ed.6972111028

CAPÍTULO 9..... 96

INCORPORAÇÃO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO RECICLADAS EM COMPÓSITO CONCRETO

Gabriela T. Santiago

Matheus Vosgnach

Vinicio Ceconello

Edson Francisquetti

Mara Andrade Zeni

DOI 10.22533/at.ed.6972111029

CAPÍTULO 10..... 105

ANÁLISE DO ÂNGULO DE INCLINAÇÃO SOLAR DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS PARA LOCALIDADES NO BAIXO TOCANTINS – PA

Marinaldo de Jesus dos Santos Rodrigues

Silvio Bispo do Vale

Tatiane Perna Rodrigues

DOI 10.22533/at.ed.69721110210

CAPÍTULO 11	117
SIMULAÇÃO ENERGÉTICA PARA RECUPERAÇÃO DE CALOR DO AR EM AGÊNCIAS BANCÁRIAS	
Alexandre Fernandes Santos	
Jeová Alves Diniz Junior	
Heraldo José Lopes de Souza	
DOI 10.22533/at.ed.69721110211	
CAPÍTULO 12	131
USO DO SISTEMA DX (EXPANSÃO DIRETA) PARA SISTEMAS GEOTÉRMICOS EM CURITIBA	
Alexandre Fernandes Santos	
Paulo Henrique Colombo	
Heraldo José Lopes de Souza	
Fabio Francisco Ferreira	
DOI 10.22533/at.ed.69721110212	
CAPÍTULO 13	143
MÉTODOS DE APRENDIZAGEM DE MÁQUINA APLICADOS NA CLASSIFICAÇÃO DE NÍVEIS DE APNEIA UTILIZANDO SINAIS DE ELETROCARDIOGRAMA	
João Pedro dos Santos Silva	
Pedro Henrique dos Santos Almeida	
Letícia Chaves Lima Cananéa	
Helder Alves Pereira	
DOI 10.22533/at.ed.69721110213	
CAPÍTULO 14	153
ANÁLISE E SIMULAÇÃO DE CONTROLE VOLUMÉTRICOS E DINÂMICOS EM SISTEMAS DE PERFURAÇÃO DE POÇOS PETROLÍFEROS	
Juliana Gomes da Silva	
Savio Raider Matos Sarkis	
DOI 10.22533/at.ed.69721110214	
CAPÍTULO 15	173
UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA (AHP) COMO FERRAMENTA DE AUXÍLIO MULTICRITÉRIO NO PROCESSO DE DECISÃO DE PRIORIZAÇÃO DE PROJETOS DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO NA AMAZÔNIA AZUL	
Andrezza de Oliveira Agápito	
Dalessandro Soares Vianna	
Marcilene de Fátima Dianin Vianna	
Edwin Benito Mitacc Meza	
DOI 10.22533/at.ed.69721110215	
CAPÍTULO 16	185
IMPLANTAÇÃO DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA EM COMPLEXO ALIMENTÍCIO INDUSTRIAL	
Yuri de Oliveira Godoy	

Aldo Muro Júnior

DOI 10.22533/at.ed.69721110216

CAPÍTULO 17..... 196

AVANÇOS PARA MELHORIA DA RESISTÊNCIA À INCRUSTAÇÃO EM MEMBRANAS DE ULTRAFILTRAÇÃO COM POTENCIAL PARA APLICAÇÃO NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS OLEOSAS: uma revisão

Victor José Romão dos Santos

Suellen Cristine Meira

DOI 10.22533/at.ed.69721110217

CAPÍTULO 18..... 211

ANÁLISE PROBABILÍSTICA E DETERMINÍSTICA DA ESTABILIDADE DE TALUDES EM BARRAGEM DE TERRA DO ESTADO DO CEARÁ

Fernando Feitosa Monteiro

Andressa de Araujo Carneiro

Yago Machado Pereira de Matos

Giovanna Monique Alelvan

DOI 10.22533/at.ed.69721110218

CAPÍTULO 19..... 222

A GESTÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS MUNICIPAIS: CONCEPÇÃO DE UM MODELO CONCEITUAL DE BANCO DE DADOS APLICADO ÀS PONTES, VIADUTOS E PASSARELAS

André Felipe Bozio

Vivian da Silva Celestino Reginato

DOI 10.22533/at.ed.69721110219

CAPÍTULO 20..... 240

ALTERAÇÕES MORFOLÓGICAS DO PORTO MARAVILHA, RIO DE JANEIRO: TRANSFORMAÇÕES URBANAS

Amanda Martins Marques da Silva

Gisele Silva Barbosa

Patricia Regina Chaves Drach

Eduardo Praun Machado

Victor Marques Zamith

DOI 10.22533/at.ed.69721110220

SOBRE OS ORGANIZADORES 255

ÍNDICE REMISSIVO..... 256

CAPÍTULO 1

CONSTRUÇÃO DE IMPELIDORES POR MANUFATURA ADITIVA: UMA METODOLOGIA PARA O ENSINO DE OPERAÇÕES UNITÁRIAS

Data de aceite: 01/02/2021

Data de submissão: 06/11/2020

Tadeu Henrique Aparecido da Silva

Universidade São Francisco
Bragança Paulista - SP
<http://lattes.cnpq.br/6033039791120888>

Monica Taís Siqueira D'Amelio

Universidade São Francisco
Bragança Paulista - SP
<http://lattes.cnpq.br/0347184334616712>

RESUMO: Na Engenharia Química uma das áreas mais atuantes no mercado de trabalho são as operações unitárias, dentro destas a de agitação e mistura, na qual o estudo das correntes formadas por ela é bem complexo. Por isso, este projeto desenvolveu o uso de impelidores impressos, em impressora 3D, para a identificação de correntes e a busca de uma metodologia experimental de ensino. Foram projetados e impressos quatro diferentes impelidores, que após estudo e teste, observou-se a diferença das correntes em cada tipo e um método adequado de identificá-las. Por fim, foi proposto um roteiro de aula para ser aplicado na componente curricular de Laboratório de Operações Unitárias da Universidade São Francisco, o qual inclui desde a escolha do tipo de impelidor, o projeto, impressão e determinação das correntes.

PALAVRAS-CHAVE: Agitação e mistura; ensino; impressão 3D.

CONSTRUCTION OF IMPELLERS BY ADDITIVE MANUFACTURING: A METHODOLOGY FOR TEACHING UNIT OPERATIONS

ABSTRACT: In Chemical Engineering, one of the most important areas in the labor market is unit operations, within these the Agitation and Mixing, in which the study of the currents formed by it is very complex. Therefore, this project developed the use of printed impellers, in 3D printers, for the identification of currents and the search for an experimental teaching methodology. Four different impellers were designed and printed, which after study and test, the difference of currents in each type and an appropriate method of identifying them were observed. Finally, a lesson script was proposed to be applied in the curricular component of the Unitary Operations Laboratory of the University of São Francisco, which includes from the choice of the type of impeller, the design, printing and determination of the currents.

KEYWORDS: Agitation and mixing; teaching; 3D printing.

1 | INTRODUÇÃO

Para um estudante de engenharia química a experiência prática é de fundamental importância para seu desenvolvimento profissional, no qual consegue visualizar os processos que este poderá gerenciar. A pesquisa leva ao estudante se aproximar da teoria e assim levá-lo a um rico conhecimento e de forma clara do que este estuda durante o

curso.

No caso de processos que envolvam a Operação Unitária de agitação e/ou mistura o engenheiro químico deve ter conhecimento amplo, desde o desenvolvimento do agitador até seu funcionamento, uma vez que este é uma operação unitária presente em muitos processos industriais.

Dentro das Operações Unitárias destaca-se a de agitação e mistura. A agitação consiste no movimento induzido em um sistema para um fim específico. Destaca-se que a agitação consiste em uma operação com uma fase só. Duas ou mais fases, com o objetivo de homogeneizá-las, tem-se uma mistura (McCabe, 1993).

Para entender todo esse processo é importante o estudo de um agitador. O agitador possui três componentes principais: impelidor (eixo e impulsores), rotor (motor e redutor de velocidade) e um tanque (ver Figura 1). Podem ser colocadas chicanas para melhorar o sistema, diminuindo os vórtices, por exemplo (Tadini et al., 2018).

Estes devem ser bem projetados para que não haja a formação de vórtices e de zonas mortas, o que diminui a qualidade do processo. Ademais, os impelidores precisam promover uma agitação rápida e eficiente. Este projeto é bastante complexo diversos aos fatores que influenciam no sistema (PERRY, 2008).

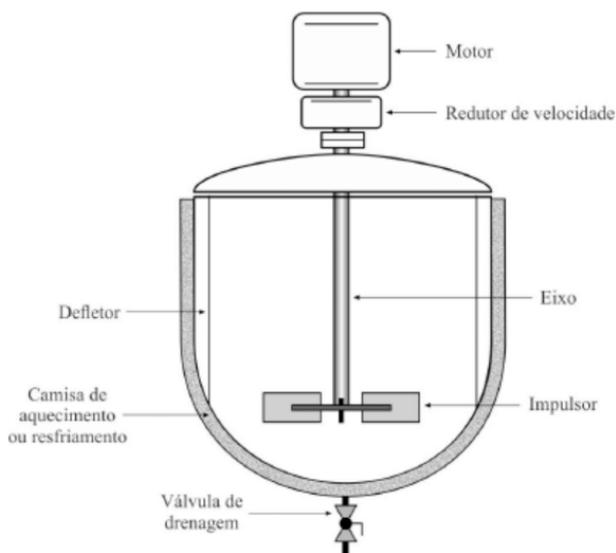


Figura 1. Esquema de um tanque com agitador

Fonte: Tadini et al., 2018.

Apesar de o equipamento utilizado para essas operações unitárias ser o mesmo, o tipo de impelidor é diferente, pois o objetivo de cada sistema é diferente. A influência do

impelidor no meio é determinante para que o equipamento realize seu funcionamento com a melhor eficiência.

A escolha do impelidor depende do fluxo das correntes desejadas, fazendo com que haja misturadores com impelidores diferentes para que misturem conforme as correntes de fluxo. Para isso, deve-se conhecer os diversos tipos de impelidores e os tipos de fluxo de correntes e assim correlaciona-los.

Fasano (1994) destaca quatro tipos mais comuns quando se fala de impelidores e ressalta que diversos fatores, incluindo o regime de fluxo predominante, são determinantes para a escolha do impelidor adequado ao sistema. Colocando o fator de escoamento através do Número de Reynolds (NRe), Fasano (1994) apresenta a relação dos Impelidores e suas aplicações como pode se observar no Quadro 1.

Aplicações de Impelidores		
Tipos de Impelidores	Faixas de NRe Preferenciais	Aplicações Recomendadas
Três lâminas, alta eficiência 	≥ 100	<ul style="list-style-type: none"> Mistura de líquidos miscíveis Suspensão de sólidos Transferências de calor
Quatro lâminas, 45° inclinado 	≥ 10	<ul style="list-style-type: none"> Retirada de sólidos de superfície ou gás Dispersões de viscosos imiscíveis líquido-líquido e gás-líquido
Quatro lâminas, Planas 	≥ 1	<ul style="list-style-type: none"> Mistura local no fundo do tanque Mistura na faixa transicional do NRe (de $1 < NRe < 500$) Agitação durante a retirada do vaso
Seis lâminas, Disco 	≥ 1	<ul style="list-style-type: none"> Mistura intensa de gás-líquido Fina dispersão de líquidos imiscíveis Reações rápidas em semi-batelada

Quadro 1. Aplicação dos Impelidores mais usuais.

Adaptado de Fasano et al., 1994.

Além destes ressaltam-se os impelidores do tipo Âncora, os quais apresentam características únicas que o destaca dentre os outros. Estes são impelidores que geram movimento tangencial, pois produz movimento circular lento do meio ao redor da parede do tanque de mistura e utilizado em meio muito viscoso (Spogis, 2002).

Tipo	Rotação RPM	Aplicação
Agitador tipo hélice plana (Pitch Blade 45°)	60-100	Líquidos com viscosidades até 7.000 cP. Dispersão e manutenção da suspensão. 1 ou 2 Hélices com 2 ou 4 pás com ângulo de 45°. Fluxo axial, movimento de convecção.
Agitador tipo hélice radial	60-100	Líquidos com viscosidade até 7.000 cP. Manutenção da suspensão. 1 ou 2 Hélices com 2 ou 4 pás verticais. Deve ser usado com quebra-ondas. Fluxo radial.
Agitador tipo ancora	20-60	Cremes, produtos viscosos acima de 7.000 cP. Aquecimento e resfriamento sem queima de produto nas paredes. Com ou sem raspadores de Teflon. Fluxo radial. Pode ser combinado com tipo Pitch Blade para produzir movimento axial.

Quadro 2. Relação dos Agitadores com a Viscosidade do meio

Adaptada de: MMC Equipamentos, 2020.

A viscosidade é um dos fatores que determinam a escolha do impelidor. O Quadro 2 apresenta a relação entre os impelidores escolhidos nesse projeto, com a indicação da rotação e da viscosidade do meio a ser utilizado.

Analisando o Quadro 2 verifica que os impelidores de hélice plana como o *Pitch Blade 45°* e o radial são usados para a mesma viscosidade, porém geram fluxos diferentes. Já o impelidor do tipo Âncora normalmente opera em regime laminar, ou seja, misturar produtos de alta viscosidade (Spogis, 2002). Logo é preciso analisar cada tipo de fluxo.

Os fluxos gerados em um sistema de agitação e mistura são três: axial, radial e tangencial.

Fluxo Axial são correntes geradas pelo impelidor que ocorrem paralelas ao seu eixo, pode-se observá-la na Figura 2:

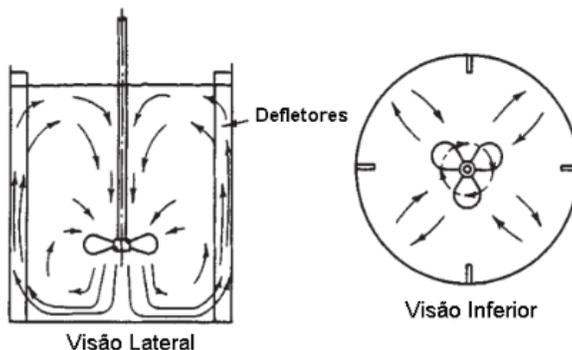


Figura 2. Representação da corrente axial

Adaptado de: Perry, et al., 2008.

Neste caso, o fluxo tem um padrão de sair do impelidor e retornar, em relação à parte central das lâminas (Perry, 2008).

Fluxo Radial são correntes geradas pelo impelidor que ocorrem paralelas às pás do próprio impelidor (Perry, 2008). Este sistema pode ser observado na Figura 3:

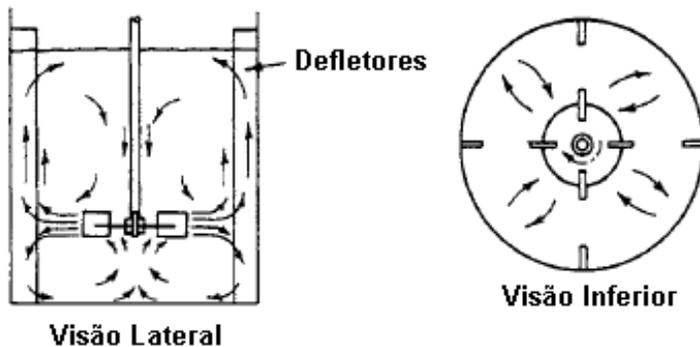


Figura 3. Padrão de fluxo típico em um tanque perplexo com uma hélice de fluxo radial posicionada no centro

Adaptado de Perry, et al., 2008.

Fluxo Tangencial ocorre quando o impelidor gera um fluxo circular e impulsiona o meio em direção em torno da parede do tanque, normalmente ocorre em regime laminar, pode-se observar o seu padrão de fluxo na Figura 4. Este tipo de fluxo promove a formação de vórtices, o que é prejudicial ao sistema. Para minimizá-los, são adicionadas chicanas ao tanque (McCabe, 1993).

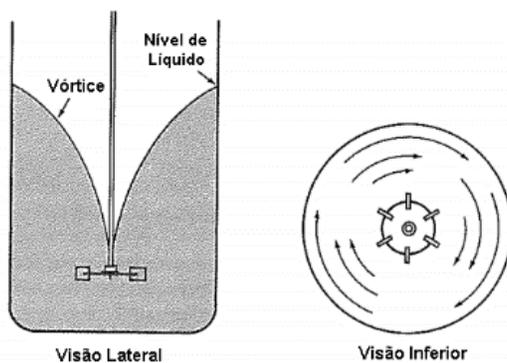


Figura 4. Misturador com fluxo tangencial

Adaptado de: McCabe, et al., 1993.

Manufatura Aditiva para melhoria do sistema de ensino

A manufatura aditiva tem sido uma das mais interessantes novas metodologias de ensino. Segundo Schelly e colaboradores (2015), esta tecnologia tem o potencial de trazer novas experiências para a sala de aula e de mudar a visão dos alunos de meros consumidores de produtos e agentes passivos na aquisição de conhecimento, para agentes ativos na construção de novos produtos, além de chamar a atenção daqueles que têm dificuldades com métodos tradicionais de ensino.

A manufatura aditiva é um processo que permite a criação de formas geométricas por meio da adição de materiais, normalmente através de empilhamento de camadas do material, seu princípio se baseia no fato de que qualquer objeto, teoricamente, poder ser fatiado em camadas e posteriormente ser reconstruído com elas, independentemente de sua complexidade (Figura 5).

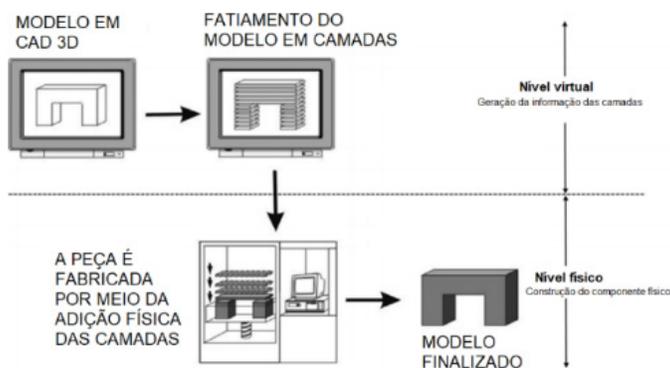


Figura 5. Conceito de manufatura aditiva.

Adaptado de GEBHARDT e HÖTTER, 2016.

Sua praticidade leva o estudante mais perto de equipamentos industriais ou peças específicas que não seriam viáveis em sala de aula (Gebhardt e Hötter, 2016). Este projeto estudou quatro diferentes impelidores, identificando o melhor sistema, através da manufatura aditiva. Ao término, foi proposta uma metodologia de estudo da agitação e mistura em forma de projeto, a ser implementado na componente curricular de Laboratório de Operações Unitárias da Universidade São Francisco (USF), contribuindo para a maior qualidade do ensino da graduação do curso de Engenharia Química.

2 | METODOLOGIA

A metodologia deste projeto foi dividida em duas partes distintas. A primeira foi o

estudo dos impelidores e a segunda a montagem de uma metodologia de aula experimental de agitação e mistura.

Parte 1 – Estudo dos impelidores

No projeto dos impelidores foram selecionados três diferentes tipos de impelidores: um tipo pá reta 90°, um tipo pá reta 45° e dois do tipo âncora sendo um chapado e outro cruzado, sendo para verificar diferentes meios de agitação e mistura.

Foi utilizado o *software* AutoCAD® para dos impelidores. A impressão dos impelidores foi realizada na Impressora 3D Zmorph 2.0 SX disponível no Campus Bragança Paulista da Universidade São Francisco.

O material utilizado para a impressão foi o ABS de alta densidade (Figura 6), devido à necessidade que ele fosse resistente a altas rotações e a forças de arraste e centrífuga no agitador. A configuração de impressão foi máxima densidade, o que os tornou bem mais resistentes.



Figura 6. Filamentos de ABS alta densidade.

Assim que impressos, foram testadas sua resistência em dois tipos de rotores: primeiro em um *mixer* utilizado para fabricação de cremes no laboratório de química da USF e depois em uma furadeira Tork devido à sua alta potência e força. No segundo teste com a furadeira também foi realizado em água para verificar sua resistência às forças contidas em um tanque com um meio aquoso.

Para o estudo das correntes formadas foram realizados vários testes com cada impelidor, esses testes foram gravados e através do *software* Kinovea®, foi possível rastrear as partículas colocadas no meio aquoso e perceber o fluxo formado em cada um dos testes realizados.

Parte 2 – Metodologia de ensino de aula experimental de Agitação e Mistura

A metodologia desenvolvida foi baseada na vivência do autor para desenvolver o projeto e estudo das correntes. Foi proposto um projeto disciplinar para ser realizado em etapas durante todo o semestre da componente curricular Laboratório de Operações Unitárias e será aplicado nos três Campus da Universidade.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Parte 1 – Viabilidade de Impressão de Impelidores por manufatura aditiva

A revisão bibliográfica realizada auxiliou no desenvolvimento teórico da metodologia a ser empregada e permitiu definir *a priori* 4 tipos de impelidores para o estudo: tipo pá Reta, um com pá 90° e outro com pá 45° e outros dois do tipo âncora, sendo um chapado e outro cruzado.

Para determinar a dimensão dos impelidores, foi conhecido os limites da impressora, a qual possui limite de altura de 15 cm. A partir desta condição de contorno, os impelidores foram desenhados. Também se definiu um padrão para todos os impelidores em função da altura através da Tabela 1.

Dimensões (cm)	
Altura do Impelidor	15
Diâmetro do Eixo	1
Largura máxima	11
Espessura da Pá	0,3
Comprimento da pá	5

Tabela 1. Dimensões padrões para a impressão.

Para manter as dimensões padrões propostas cada impelidor foram realizadas algumas adaptações como, por exemplo, no impelidor pá 45° foi necessário desenhar uma base quadrada para que fosse possível colocar o ângulo proposto no eixo. No impelidor âncora, foi colocada uma haste de suporte.

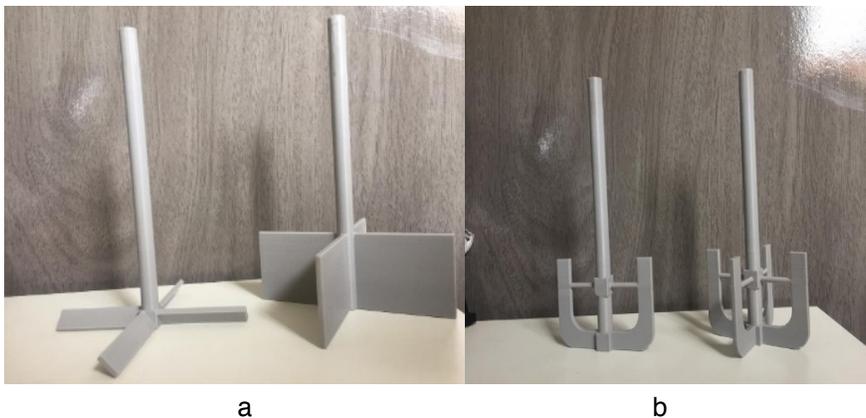


Figura 7. a) Impelidores impressos do tipo pá reta 45° e 90°, b) Impelidores do tipo âncora impressos.

A Figura 7 apresenta os impelidores após a impressão com manufatura aditiva. Os impelidores foram testados com dois tipos de rotores. O primeiro, com baixa rotação e o segundo, uma furadeira, com o objetivo de verificar a estabilidade da estrutura dos impelidores. Todos os impelidores apresentaram boas características para essas atividades.

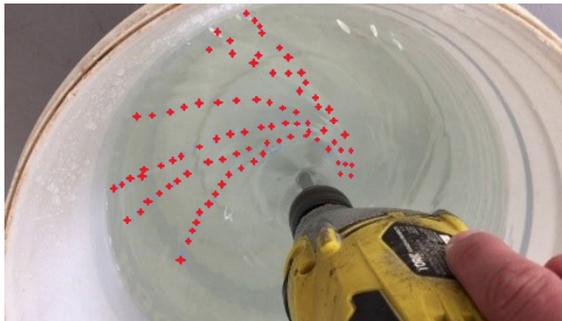


Figura 8. Teste de visualização no Software Kinovea.

A Figura 8 apresenta o resultado obtido com o software Kinovea® para rastrear as partículas colocadas no sistema e identificar a corrente gerada.

As correntes radiais e axiais foram parcialmente visíveis no recipiente opaco, já a tangencial foi preciso um recipiente translúcido para que houvesse visualização. De início foi testado em um balde branco opaco onde pode-se analisar correntes axiais e radiais e depois em um balde plástico transparente para a visualização das correntes tangenciais.

Também foi importante verificar a possibilidade de tanques diferentes, por exemplo os impelidores do tipo âncora são conhecidos como raspadores porque devem ter de largura

95% da largura de um tanque, neste caso testar em béqueres com soluções viscosas.

Parte 2 – Metodologia de Ensino experimental

O objetivo da metodologia proposta consiste no estudo das diferentes correntes promovidas por diferentes impelidores. Para tal, os alunos projetarão um agitador caseiro. Sugere-se a utilização de uma furadeira ou parafusadeira, ou outro equipamento adequado como rotor.

Em seguida, será realizada a escolha do impelidor e do tanque para que possa ser projetado em *software* as medidas adequadas do impelidor, considerando os limites de impressão da Impressora 3D. O estudo das correntes poderá ser através do rastreamento das partículas com o *software* Kinovea® ou com corantes.

O método foi escolhido como projeto disciplinar, devido à impressão dispende cerca de 2 a 4 horas para cada peça. Os testes e o estudo das correntes poderão ser realizados na residência do aluno ou em laboratório.

A seguir está apresentada a metodologia desenvolvida:

A sala será dividida em grupos de 4 a 6 integrantes. Será dividido ou sorteado um tipo de impelidor diferente para cada equipe e ela terá de estudar sobre o impelidor e calcular suas respectivas dimensões de acordo com as predefinições dadas ao grupo para a impressão e posteriores cálculos.

Primeiramente, o aluno dimensionará o impelidor correspondente ao seu grupo, de acordo com as especificações do projeto. O dimensionamento deve ocorrer através do desenho do impelidor em softwares próprios para tal função como *SolidWorks*® ou *AutoCAD*®, este último é disponível nos computadores da USF. O aluno terá um período de 15 dias para o envio ao Docente.

O dimensionamento deve ter alguns parâmetros universais para todas as duplas, como a impressora 3D têm um limite de impressão de 15 cm de altura, este será o tamanho máximo que poderá dimensionar o impelidor. Também é necessário atentar-se ao diâmetro do eixo, para que possam testá-los em diferentes rotores, por isso sugere-se que o eixo tenha 1 cm de diâmetro para eixos cilíndricos e 1 cm de lado para eixos quadrados.

Sugerem-se os seguintes impelidores:

Pá Reta 90° - O dimensionamento do impelidor tipo pá reta 90° deve ser focado na altura e na largura da pá, porque as 4 pás devem ter o mesmo tamanho e elas não podem ser muito altas para que joguem o líquido para fora do tanque. Mas também não devem ser muito baixas para que não haja resistência e consigam movimentar o líquido formando correntes. O dimensionamento sugerido está na Tabela 2.

Dimensões (cm)	
Altura do Impelidor	15
Diâmetro do Eixo	1
Altura da Pá	2,5
Largura da Pá	0,3
Comprimento da pá	5

Tabela 2. Dimensões sugeridas para o impelidor Pá Reta 90°.

Pá Reta 45° - O dimensionamento da pá reta 45° deve ser focado nas pás terem o ângulo desejado mantendo a altura e a largura das pás iguais. As 4 pás devem ser do mesmo tamanho e posicionadas corretamente para que o ângulo de 45° exista. Uma forma é o corpo do eixo ser cilíndrico, porém na base das pás ser cúbica para que as pás consigam ser posicionadas. A sugestão é que use as dimensões da Tabela 4 com exceção da altura da pá que deve ser de 1 cm.

Tipo Âncora - O dimensionamento da pá tipo âncora deve ser focado na sua estrutura, como ela tem somente duas hélices e as pás são em outro formato, deve haver um suporte cilíndrico que a mantenha estável durante a rotação, segue também um exemplo do formato na Figura 9.



Figura 9. Desenho do impelidor tipo âncora.

Na Tabela 3 que há o dimensionamento sugerido, e além dele sugere-se que da mesma forma que no impelidor pá reta 45°, a base e a posição do suporte podem ser cúbicas para melhor alinhamento e impressão das pás laterais.

Dimensões (cm)	
Altura do Impelidor	15
Diâmetro do Eixo	1
Altura da Pá	5
Largura da Pá	1
Comprimento da pá	3
Comprimento do suporte	2
Espessura da pá e do Suporte	0,3

Tabela 3. Dimensões sugeridas para o impelidor tipo Âncora.

Após aprovação do Docente em relação ao dimensionamento, o aluno converterá o arquivo em extensão **.stl** e o docente enviará todos os desenhos para a impressão avisando previamente o técnico do Centro de Tecnologia (CT) das engenharias e o responsável da impressora. Os impelidores devem ser enviados para o setor de impressão antecipadamente, para que passe pelo *Software* exclusivo da impressora.

O material utilizado para a impressão deve ser o ABS de alta densidade, devido à necessidade que ele seja resistente a altas rotações e que resista a forças de arraste e centrífuga no agitador. A configuração de impressão deve ser de máxima densidade, o que os torna bem mais resistentes. Após impressos os impelidores, o Docente os devolverá a cada grupo para que possam realizarem os testes caseiros.

Os testes caseiros servem para que o aluno entenda o processo de agitação e mistura, e a formação dos tipos de correntes derivados do seu tipo de hélice. Cada grupo pode usar materiais caseiros para a realização dos testes, como por exemplo uma furadeira no lugar do rotor, um balde ou um recipiente de fundo redondo (ele deve manter o formato redondo até o topo para a visualização das correntes).

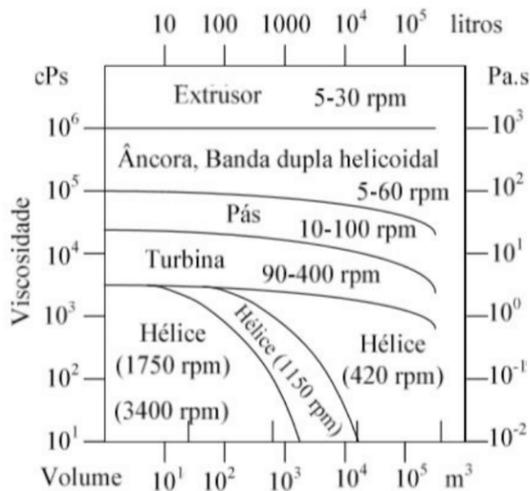


Figura 10. Ábaco impelidor x viscosidade x volume

Adaptado de: PENNY, 1970.

O meio deve ser escolhido adequadamente de acordo com o tipo de impelidor, pois cada um é próprio de um nível de viscosidade diferente, conforme ábaco apresentado na Figura 10, o qual mostra a relação entre volume, viscosidade e os tipos de impelidores. Desta forma, pode-se estudar diferentes tipos de meios a partir dos impelidores.

Definido meio, recipiente e rotor, o aluno testará o impelidor projetado por ele e identificará o tipo de fluxo e a formação de sua corrente. Fará o registro em formato fotográfico ou em vídeo e apresentado no relatório final. Para a identificação do fluxo, o aluno pode realizá-lo visualmente utilizando corantes ou através de *softwares* como o Kinovea®, gratuito, o qual rastreia uma partícula no meio e permite traçar a trajetória, como na Figura 8 que apresenta uma trajetória definida pelo *software*.

Após os testes o aluno comparará os resultados obtidos com os da literatura e apresentar discussão a respeito. Deverá verificar se o seu impelidor está nas dimensões corretas e apresentar os resultados obtidos, se não estiver deverá apresentar um novo cálculo e uma estimativa de como seria o dimensionamento correto e o desenho dele, este será o resultado obtido a partir dos testes.

Com o conhecimento obtido sobre o seu tipo de impelidor, sobre o tipo de meio específico e o seu fluxo de corrente, o aluno fará o projeto do agitador que poderia ser usado com seu impelidor e em que meio. Por exemplo, projetar um agitador que misture cremes com um impelidor tipo âncora.

Para o dimensionamento do agitador são necessárias as seguintes informações: as dimensões, o volume útil e volume total do tanque, a densidade e viscosidade do produto. Então, será dividido em duas partes o dimensionamento do tanque e seus elementos e o

do rotor e seus elementos, como a potência.

Tanque - Deve-se considerar o tipo e localização do impulsor, as proporções do vaso, o número e as dimensões dos deflectores, entre outras variáveis (MCCABE, 1993).

Tadini (2018) diz que “a semelhança geométrica entre o projeto e o agitador é essencial para garantir as semelhanças cinéticas e dinâmicas”. É preciso estabelecer uma semelhança completa entre os dois sistemas, e estas são estabelecidas por relações simples entre as variáveis de projeto.

Outro ponto importante é que as relações definem a altura do líquido no tanque (H), então a altura do tanque deverá ser maior, para que não seja lançado o meio para fora do tanque. A partir das dimensões definidas você terá a seguinte Tabela 4 preenchida, segue exemplo:

Dimensões (cm)	
Altura do Impelidor	15
Diâmetro do Eixo	1
Altura da Pá (W)	2,5
Largura da Pá	0,3
Comprimento da pá (L)	5
Diâmetro total do impelidor (Da)	11
Diâmetro do Tanque (Dt)	33
Altura do Líquido no tanque (H)	33
Largura da Chicana (J)	2,8
Altura da Pá em relação ao fundo do tanque (E)	11

Tabela 4. Dimensões do Sistema agitado.

Rotor - Na agitação de um líquido existem variáveis como a potência fornecida pelo motor (P_o) que será em função da densidade (ρ) e da viscosidade (μ) do meio, a rotação do impelidor (N) e do diâmetro do agitador (D_a). Estas são relacionadas através de números adimensionais de potência (N_{P_o}) (Equação 1), de Reynolds (N_{Re}) (Equação 2) e de Froude (N_{Fr}) (Equação 3):

$$N_{P_o} = \frac{P_o}{N^3 D_a^5 \rho} \quad (1)$$

$$N_{Re} = \frac{D_a^2 N \rho}{\mu} \quad (2)$$

$$N_{Fr} = \frac{N^2 D_a}{g} \quad (3)$$

Ressalta-se que o número de Froude (N_{Fr}) é considerado somente quando há

formação de vórtice. Essa questão se revela para questões em que o $NRe > 300$ e para tanques sem defletores (chicanas).

Para o cálculo do número de Potência são consideradas as curvas de NPo em função do número de Reynolds. Estas já são pré-determinadas experimentalmente e em função dos diferentes tipos de agitadores.

Para finalizar o projeto do agitador, o aluno deverá entregar os Números de Potência (NPo), de Reynolds (NRe) e de Froude (NFr) e um desenho em software do agitador. Sugestão que tudo isso seja entregue ao professor em formato de Relatório Técnico.

4 | CONCLUSÃO

Em relação ao estudo das correntes, nos primeiros testes dos impelidores de pá reta foram perceptíveis os fluxos radiais e axiais devido ao meio ser água que favorece em pás retas, já com as hélices do tipo âncora não foram nítidas inicialmente, mas mudando a dimensão, formato e translucidez foi possível a visualização da corrente tangencial, tudo isso levando a adquirir conhecimento na área de agitação e mistura.

Os testes iniciais permitiram traçar linhas de estudos de metodologias para aplicação em aula práticas. Ademais, foram observadas novas possibilidades de estudo para este projeto como adicionar chicanas aos estudos das correntes.

A partir do projeto observa-se que o estudo dos impelidores impressos aditivamente é um método eficiente para o aprendizado do estudante de engenharia química através de uma metodologia ativa, pois faz este obter o conhecimento de todo o processo de desenvolvimento, dimensionamento e fora que o faz ter contato com a produção do impelidor de forma inovadora que é a impressão 3D, algo que só tende a ser a cada vez mais utilizado em todos os processos possíveis por sua facilidade, praticidade e rentabilidade.

REFERÊNCIAS

FASANO, J.B., BAKKER, A., PENNEY, W.R **Advanced impeller geometry boosts liquid agitation**. Chemical Engineering, p. 110-6, Aug.1994.

GEBHARDT, A.; HÖTTER, J.S. **Additive Manufacturing: 3D Printing for Prototyping and Manufacturing**, Munique: Carl Hanser Verlag, 2016.

MCCABE, WARREN L. SMITH, J.C. HARRIOT, P. **Unit Operations of Chemical Engineering**. 5. ed. McGraw-Hill, Inc., 1993.

MMC Equipamentos. MMC Tecnologia, 2020. **Agitadores para líquidos**. Disponível em: < <http://www.mmcequipamentos.com.br/folderAgitadores.htm> >. Acesso em: 28 de fevereiro de 2020.

PENNY, W.R. **Guide to trouble free mixers**. Chem. Eng., Vol.77, No.12, 1970, p.171.

PERRY, ROBERT H. **Perry's chemical engineers' handbook**. 7. Ed. McGraw-Hill, Inc. 2008.

SCHELLY, C.; ANZALONE, G.; WIJNEN, B.; PEARCE, J.M. **Open-source 3-D printing technologies for education: Bringing additive manufacturing to the classroom**. Journal of Visual Languages & Computing, v. 28, p. 226-237, 2015.

SPOGIS, N. **Metodologia para determinação de curvas de potência e fluxos característicos para impelidores axiais, radiais e tangenciais utilizando a fluidodinâmica computacional**. 2002. (Dissertação de Mestrado - Engenharia Química) – UNICAMP, Campinas, 2002.

TADINI, Carmen C. **Operações unitárias na indústria de alimentos**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

TATTERSON, G.B. **Scale-up and Design Industrial Mixing Process**. McGraw-Hill, Inc., 1994.

ÍNDICE REMISSIVO

A

ABS 7, 12, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53

Agitação 1, 2, 4, 6, 7, 8, 12, 14, 15, 20, 69, 203, 204, 207

Ângulo de inclinação 105, 106, 107, 111, 114

Anidrido maleico 33, 34, 35, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46

Aspersão térmica 54, 58, 59, 61, 62, 64, 65, 66

B

Banda larga 87, 94, 95

Blenda PS/PCL 68

C

Cicatrização 75, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84

Concreto 96, 97, 98, 100, 103, 104, 136, 226, 229, 230, 232, 233, 234, 235, 237, 238, 239

Construção civil 96, 97, 103

D

Desgaste abrasivo 54, 58, 59, 60, 63, 65, 66

E

Ensino 1, 6, 8, 10, 21, 255

F

Feridas 75, 77, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85

Ferrocarbonila 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95

Filme fino 68

Fotodegradação UV 68

I

Impressão 3D 1, 15

Índice de acidez 17, 18, 19, 20, 21

Índice de peróxido 17, 19, 20, 21

M

Materiais absorvedores de radiação eletromagnética 87, 88, 95

Matlab 105, 106, 107

Mecanismo de reação 33, 35, 39

Medicina regenerativa 75, 76, 77, 78, 79, 80, 83, 84

Mistura 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 12, 15, 34, 37, 39, 41, 43, 44, 45, 46, 51, 69, 97, 99, 203, 204

Modificação química 33, 38, 39, 40, 41, 46

N

Nanobiomateriais 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84

O

Óleo de soja 17, 19, 21

Operação unitária 2, 23

P

Painéis solares fixos 105

Polipropileno 96, 97, 99, 104

R

Reciclagem 96, 97, 186, 189, 192, 194

Refletividade 87, 90, 91, 92, 93, 94, 95

Reutilização 17, 18, 19, 96, 186, 189, 191, 194

Revestimentos cerâmicos 54, 55, 56, 60, 67

S

Sedimentação 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32

Separação de partículas 22, 23

Sistemas fotovoltaicos 105, 106

Suspensão 4, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 30, 32, 203, 204

T

Teste de proveta 22, 23, 24

As Engenharias agregando Conhecimento em Setores Emergentes de Pesquisa e Desenvolvimento

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

@atenaeditora 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Atena
Editora

Ano 2021

As Engenharias agregando Conhecimento em Setores Emergentes de Pesquisa e Desenvolvimento

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Atena
Editora

Ano 2021