



A Produção do Conhecimento na Engenharia Química 2

**Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)**



A Produção do Conhecimento na Engenharia Química 2

**Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)**

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Karine de Lima

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



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

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. 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.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
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. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
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 Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. 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
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Msc. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Msc. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Msc. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Msc. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Msc. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof^a Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^a Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^a Dr^a Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Msc. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Msc. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Msc. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^a Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof^a Msc. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

P964 A produção do conhecimento na engenharia química 2 [recurso eletrônico] / Organizadora Carmen Lúcia Voigt. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web.

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-976-9

DOI 10.22533/at.ed.769203001

1. Engenharia química – Pesquisa – Brasil. I. Voigt, Carmen Lúcia.

CDD 660.76

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Neste segundo volume, sobre a Produção do Conhecimento na Engenharia Química, apresentamos diversos trabalhos desenvolvidos com pesquisas relacionadas às áreas de energias renováveis, abordando diferentes biomassas, produção de bioetanol, biodiesel e também utilização de energia solar nos processos.

Com intuito de reduzir os impactos gerados pelos combustíveis fósseis, os trabalhos apresentados mostram, por exemplo, o farelo de arroz como suplemento no meio fermentativo para produção de etanol, obtenção de biodiesel a partir de óleo de mamona comparada ao simulador, estudo da biomassa do capim elefante, energia solar para destilação de etanol, entre outros.

Além disto, este volume trás para você pesquisas voltadas à área de bebidas fermentadas, sendo o foco destes estudos a melhoria dos produtos e dos processos de fabricação. Os trabalhos abordam, entre outras coisas, efeitos de produtos adicionados na fermentação, como trub, e no mosto, como chá verde; avaliação microbiológica e melhoria na produção de cerveja artesanal; bem como desenvolvimento de procedimentos para determinação de metais em cachaça de alambique de cobre.

Também é possível visualizar trabalhos com diferentes tipos de métodos empregados com a finalidade de proporcionar melhores processos produtivos e gerar maiores cuidados com o meio ambiente, relacionados à prevenção e remoção de poluentes. Nestes trabalhos verificam-se métodos de adsorção, secagem, caracterização, separação, assim como simulação computacional de processos.

Portanto, os trabalhos selecionados possibilitam conhecimento de novos materiais, técnicas e processos, como também cuidados com meio ambiente e desenvolvimento tecnológico, expondo a produção de conhecimento na Engenharia Química, de grande importância para ciência e para a sociedade.

Fundamentado nestes trabalhos, que você possa aperfeiçoar seus saberes nesta área.

Bom estudo.

Carmen Lúcia Voigt

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ETANOL POR <i>SACCHAROMYCES CEREVISIAE</i> SUPLEMENTADO COM FARELO DE ARROZ	
Mariane Almeida Gonçalves Grazieli Tavares Amoglia Daniel Elvis Basílio da Silva Fernanda Palladino	
DOI 10.22533/at.ed.7692030011	
CAPÍTULO 2	8
ESTUDO COMPARATIVO DA OBTENÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DE ÓLEO DE MAMONA EM LABORATÓRIO E NO SIMULADOR DE PROCESSOS QUÍMICOS DWSIM	
Anna Luiza Araújo Baptista Clara de Castro Amaral Marcos Vinicius Ribeiro	
DOI 10.22533/at.ed.7692030012	
CAPÍTULO 3	16
ESTUDO CINÉTICO DE DIFERENTES CULTIVARES DA BIOMASSA DO CAPIM ELEFANTE (<i>PENNISETUM PURPUREUM</i> SCHUM.)	
Mayara de Oliveira Lessa Renata Martins Braga Emerson Moreira de Aguiar Marcus Antônio de Freitas Melo	
DOI 10.22533/at.ed.7692030013	
CAPÍTULO 4	30
USO DA ENERGIA SOLAR NA DESTILAÇÃO DO ETANOL APLICADO NA EXTRAÇÃO DE ÓLEO DE COCO	
Lucas Rodrigo Custódio Silva Marina Barbosa Maluf Ribeiro Amanda Dornelas Oliveira Caroline Santos Silva Érica Victor de Faria Kássia Graciele dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.7692030014	
CAPÍTULO 5	44
AVALIAÇÃO DA CINÉTICA DE ADSORÇÃO DE FURFURAL PELO ADSORVENTE CARVÃO ATIVADO	
Ana Cláudia Rodrigues De Barros Riann de Queiroz Nóbrega Lorena Lucena De Medeiros Flávio Luiz Honorato Da Silva Joelma Moraes Ferreira	
DOI 10.22533/at.ed.7692030015	
CAPÍTULO 6	54
AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA DE CERVEJA TIPO PILSEN ADICIONADA DE CHÁ VERDE NA ETAPA DE FERVURA DO MOSTO	
Natália Pinto Guedes de Moraes Thaís Cardozo Almeida	

João Vitor Cabral Gonçalves
Luana Tashima
Ligia Marcondes Rodrigues dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.7692030017

CAPÍTULO 7 63

PRODUÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL COM ADIÇÃO DE ÁCIDO ASCÓRBICO A PARTIR DE FRUTO AMAZÔNICO

Catherinne Édi Muniz Pimentel
Igor Lins Santiago
Syra Kelly Murabac Silva Oliveira
Ricardo Lima Serudo

DOI 10.22533/at.ed.7692030018

CAPÍTULO 8 71

DESENVOLVIMENTO DE PROCEDIMENTO DETERMINATIVO PARA ANÁLISE QUANTITATIVA DE NÍQUEL EM CACHAÇAS DE ALAMBIQUE DE COBRE EMPREGANDO ESPECTROFOTOMETRIA UV-VIS

Alexandre Mendes Muchon
Karina Moraes Lima
Alex Magalhães de Almeida

DOI 10.22533/at.ed.7692030019

CAPÍTULO 9 77

PRODUÇÃO DE LIPASES POR FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO: UMA ANÁLISE PRELIMINAR DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO

Enylson Xavier Ramalho
Pedro Henrique Barbosa Fernandes
Cristian Orlando Avila
Rodrigo Silva Dutra
Lina María Grajales

DOI 10.22533/at.ed.76920300110

CAPÍTULO 10 85

SECAGEM DOS FRUTOS DE AÇAIRANA (*MICONIA CILIATA* (RICH.) DC) EM DIFERENTES LEITOS

Letícia Bahia Vieira
Ingrid Layanne dos Santos Pereira
Juliana Ferreira Costa
Lidiane Diniz do Nascimento
Elisangela Lima Andrade
Lorena Gomes Corumbá
Nielson Fernando da Paixão Ribeiro
Elza Brandão Santana
Lênio José Guerreiro Faria
Cristiane Maria Leal Costa

DOI 10.22533/at.ed.76920300111

CAPÍTULO 11 97

COMPORTAMENTO COLORIMÉTRICO DE EXTRATOS DE AÇAIRANA (*MICONIA CILIATA*)

Ingrid Layanne dos Santos Pereira
Leticia Bahia Vieira
Paulo César Souza de Moraes Júnior
Wandson Braamcamp de Souza Pinheiro

Samara de Paula Pinheiro Menezes Marques
Hellen Carvalho Barros
Davi do Socorro Barros Brasil
Elza Brandão Santana
Lênio José Guerreiro Faria
Cristiane Maria Leal Costa

DOI 10.22533/at.ed.76920300112

CAPÍTULO 12 108

HIDROCARBONIZAÇÃO DE EFLUENTES DE UMA LAVANDERIA INDUSTRIAL

Larissa Yukie Pianho
Fernanda Carla Camilo Lima
Thiago Peixoto de Araújo
Maria Angélica Simões Dornellas de Barros

DOI 10.22533/at.ed.76920300113

CAPÍTULO 13 115

MODIFICAÇÃO DAS PROPRIEDADES TEXTURAIS DA PENEIRA MOLECULAR DO TIPO MCM-41 POR DEPOSIÇÃO DE CARBONO

Diogo Pimentel de Sá da Silva
Raul César da Silva Nascimento
Ivo da Silva
Julyane da Rocha Santos
Antonio Osimar Sousa da Silva

DOI 10.22533/at.ed.76920300114

CAPÍTULO 14 123

ESTUDO COM TROCADORES DE ÍONS PARA A DETERMINAÇÃO DE FERRO DISPONÍVEL PARA PLANTAS EM SOLOS DA REGIÃO DE FORMIGA-MG

Luana Cristina Camargos Gomes
Alex Magalhães de Almeida
Anísio Cláudio Rios Fonseca
Alexandre Mendes Muchon

DOI 10.22533/at.ed.76920300115

CAPÍTULO 15 128

AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA TROCA TÉRMICA EM UNIDADE PILOTO DE UM SISTEMA COILED TUBING

Lorena Rodrigues Justino
Caroline Eulino Gonçalves Pereira
Beatriz Rosas Oliveira
Eduardo Cunha Hora Paraíso
Luís Américo Calçada
Cláudia Míriam Scheid

DOI 10.22533/at.ed.76920300116

CAPÍTULO 16 136

SIMULAÇÃO FLUIDODINÂMICA DE LEITO JORRO RETANGULAR USANDO CFD - COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

Ana Paula Silva Artur
Elaine Cristina Batista da Silva
Tuane Tayrine Mendes Cardozo
Welberth Santos Laizo

Aderjane Ferreira Lacerda
Reimar de Oliveira Lourenço
DOI 10.22533/at.ed.76920300117

CAPÍTULO 17 150

SIMULAÇÃO DO CARREGAMENTO DE FERTILIZANTE EM TAMBORES ROTATIVOS COM SUSPENSORES USANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS DISCRETOS (DEM)

Gabrielle Ferreira Gravena
José Luiz Vieira Neto
Kassia Graciele dos Santos
Beatriz Cristina Silvério

DOI 10.22533/at.ed.76920300118

CAPÍTULO 18 160

SEPARATION OF ACETONA-CHLOROPHORM MAXIMUM BOULATING AZEOTROPE USING METHYL SULPHOXIDE THROUGH PROSIMPLUS SIMULATOR

Guilherme Ferreira da silva
Kerilen Paola Teixeira de Castro

DOI 10.22533/at.ed.76920300119

CAPÍTULO 19 172

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE SABONETES LÍQUIDOS E EM BARRA

Vanessa Mendes Santos
Amanda Dias Monteiro

DOI 10.22533/at.ed.76920300120

CAPÍTULO 20 183

MODELAGEM CINÉTICA DA CLORAÇÃO DO TA_2O_5 COM C_2CL_4

Rogério Navarro Correia de Siqueira
Taiane Zocatelli
Eduardo de Albuquerque Brocchi

DOI 10.22533/at.ed.76920300121

SOBRE A ORGANIZADORA..... 201

ÍNDICE REMISSIVO 202

SIMULAÇÃO DO CARREGAMENTO DE FERTILIZANTE EM TAMBORES ROTATIVOS COM SUSPENSORES USANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS DISCRETOS (DEM)

Data de submissão: 05/11/2019.

Data de aceite: 21/01/2020

Gabrielle Ferreira Gravena

Aluna de graduação em Engenharia de Alimentos,
bolsista PIBIC CNPq

Instituição: Aluna do departamento de Engenharia
de alimentos da Universidade Federal do
Triângulo Mineiro

Endereço: Avenida Dr Randolpho Borges Júnior,
1400, ICTE – Bairro Univerdecidade, Uberaba –
MG, Brasil. CEP 38064-200.

<http://lattes.cnpq.br/5652499690683006>

E-mail: gabfgravena@hotmail.com

José Luiz Vieira Neto

Engenheiro Químico e de Segurança e Doutor
pela Universidade Federal de Uberlândia

Instituição: Professor na Universidade Federal do
Triângulo Mineiro- Departamento de Engenharia
Química.

Endereço: Avenida Dr Randolpho Borges Júnior,
1400, ICTE – Bairro Univerdecidade, Uberaba –
MG, Brasil. CEP 38064-200.

<http://lattes.cnpq.br/4074369473895050>

E-mail: jose.neto@uftm.edu.br

Kassia Graciele dos Santos

Engenheira Química e Pós-Doutora pela
Universidade Federal de Uberlândia e premiada
pela CAPES no Prêmio Teses 2012.

Instituição: Professora na Universidade Federal
do Triângulo Mineiro – Departamento de
Engenharia Química.

Endereço: Avenida Dr Randolpho Borges Júnior,
1400, ICTE – Bairro Univerdecidade, Uberaba –
MG, Brasil. CEP 38064-200.

<http://lattes.cnpq.br/9680475824447820>

E-mail: kassiagsantos@gmail.com;

kassiagsantos@hotmail.com

Beatriz Cristina Silvério

Engenheira Química e Doutora pela Universidade
Federal de Uberlândia

Instituição: Professora na Universidade Federal
do Triângulo Mineiro – Departamento de
Alimentos.

Endereço: Avenida Dr Randolpho Borges Júnior,
1400, ICTE – Bairro Univerdecidade, Uberaba –
MG, Brasil. CEP 38064-200.

<http://lattes.cnpq.br/3183875510988475>

E-mail: beatriz.silverio@uftm.edu.br

RESUMO: O Método de Elementos Discretos (DEM), está sendo uma técnica computacional, cada vez mais utilizada, para simular o comportamento de procedimento em fase discreta, em sistemas particulados. Este trabalho avaliou simulações do escoamento de partículas de fertilizantes super fosfato simples granulado em tambores rotativos, com e sem suspensores. As simulações foram feitas com diferentes combinações de valores de parâmetros no software EDEM®, e através da comparação dessas simulações com dados

experimentais de massa de sólidos retida nos suspensores foi possível avaliar o efeito de cada parâmetro e da combinação de parâmetros para o escoamento de fertilizantes granulados. Ao todo foram feitas 26 simulações, alterando-se quatro parâmetros: coeficiente de atrito estático partícula-partícula, coeficiente de atrito estático partícula-parede, coeficiente de atrito de rolamento partícula-partícula e coeficiente de atrito de rolamento partícula-parede. Usando uma análise estatística e a técnica de superfícies de resposta para o tratamento dos resultados foi possível verificar a influência de cada parâmetro nos suspensores em nas posições angulares de 0°, 30°, 60° e 90°. Os resultados revelam que nem todos os parâmetros estudados foram significativos. Os parâmetros de atrito estático partícula-partícula e de rolamento partícula-partícula foram significativos na análise. Observou-se que a significância do parâmetro de rolamento partícula-partícula e partícula-parede sofreram alteração com a posição angular.

PALAVRAS-CHAVE: Secadores rotativos, tambores rotativos, DEM, fertilizantes.

FERTILIZER HOLDUP SIMULATION ON ROTARY DRUMS WITH FLIGHTS USING THE DISCRETE ELEMENT METHOD (DEM)

ABSTRACT: The Discrete Element Method (DEM) is an increasingly used computational technique to simulate discrete phase procedure behavior in particulate systems. This work evaluated particle flow simulations of granulated superphosphate fertilizers in rotating drums, with and without suspensors. The simulations were made with different parameter value in the comercial software EDEM®. Comparing the simulations with experimental data of retained solids mass, or holdup fligths, it was possible to evaluate the effect of each parameter and the combination of parameters for the fertilizer flow. In all, 26 simulations were performed, changing four parameters: particle-particle static friction coefficient, particle-wall static friction coefficient, particle-particle rolling friction coefficient and particle-wall rolling friction coefficient. Using a statistical analysis and the response surface technique for the treatment of the results it was possible to verify the influence of each parameter on the fligths at 0°, 30°, 60° and 90° angular positions. The results reveal that not all parameters studied were significant. The particle-particle static friction and particle-particle rolling friction parameters were significant in the analysis. It was observed that the significance of the particle-particle and wall-particle rolling parameter changed with the angular position.

KEYWORDS: Rotary dryer, rotary drum, DEM, fertilizer.

1 | INTRODUÇÃO

A utilização de tambores rotatórios em indústrias ocorre por ser uma geometria descomplicada e ao seu baixo custo de operação, onde a estrutura é horizontal e cilíndrica que gira em torno do seu próprio eixo, acoplado internamente ao tambor existem suspensores, onde a função é de produzir o cascadeamento dos sólidos no interior do secador, assim melhorando o contato com o ar de secagem. Sendo um

equipamento excelente para processos como misturas, moagem, secagem de matérias granuladas, granulação, fermentação (TJAKRA et al., 2012; SCATENA et al., 2014). Ressalta-se a importância do estudo de tambores rotativos na secagem de fertilizantes pela importância desta operação na fabricação de fertilizantes granulados, bem como o custo energético envolvido nesta operação que impacta consideravelmente o custo do material obtido. Desta forma, vários estudos têm sido desenvolvidos com o objetivo de se otimizar o equipamento e maximizar a secagem diminuindo os custos energéticos e aumentando a capacidade do equipamento. (SILVÉRIO *et al.* 2015, Silvério *et al.* 2012, SILVÉRIO *et al.* 2011.) Destes estudos a simulação fluidodinâmica computacional tem se mostrado uma ferramenta importante para a compreensão do escoamento das partículas e para o estudo de ângulo de repouso e carregamento de tambores rotativos. (VIEIRA NETO et al. 2017, SILVERIO et al. 2015, SILVÉRIO *et al.* 2014(a), SILVÉRIO *et al.* 2014(b).

A abordagem Lagrangeana, conhecida também como DEM (Discrete Element Method), consiste no acompanhamento de cada partícula individualmente, juntamente com a consequente aplicação do balanço de forças, levando em consideração interações com as demais partículas, esta abordagem se sobressai por permitir a visualização e utilização de partículas irregulares (JUST et al., 2013). Dentre as dificuldades encontradas na abordagem Lagrangeana é possível ressaltar a necessidade de se utilizar coexistências para descrever as interações partícula-parede, partícula-partícula e partícula-gás, e a dificuldade de prever as variáveis de campo para a fase particulada, dificultando assim a visualização científica dos fenômenos que influenciam as trajetórias das partículas.

Os parâmetros utilizados no projeto e os requisitos operacionais são de extrema importância para a compreensão da interação das partículas dentro de um tambor rotatório. Assim, o objetivo do trabalho é comparar os valores de carga de sólidos nos suspensores em função da posição angular, obtidos através de trabalhos experimentais, com os valores estimados através de simulações DEM, avaliando os diferentes valores dos parâmetros: coeficientes de atrito estático partícula-partícula (μ_{spp}), coeficiente de atrito estático partícula-parede (μ_{spw}), coeficiente de atrito de rolamento partícula-partícula (μ_{rpp}) e coeficiente de atrito de rolamento partícula-parede (μ_{rpw}).

2 | METODOLOGIA

Com o intuito de avaliação do efeito dos parâmetros do método DEM sobre o ângulo dinâmico de repouso nos suspensores, bem como a carga de fertilizantes nos suspensores, foram realizadas simulações previstas por meio de um planejamento composto central (PCC), no qual a escolha dos valores foi realizada baseando-se em trabalhos da literatura (tabela 1) e assim, realizar a construção da geometria do tambor com 6 suspensores no software EDEM®. A Tabela 1 mostra os valores dos coeficientes utilizados em diversos trabalhos da literatura.

Literatura	μ_{spp}	μ_{spw}	μ_{rpp}	μ_{rpw}
Yu et al. (2011)	0,6	0,6	0,01	0,05
Marigo et al. (2012)	0,5	0,35	0,01	0,005
Hashemia e Spet (2014)	0,4-2,0	0,4-2,0	0,01-0,09	0,01-0,09
Ebrahimi e Crapper (2016)	0,154	0,154	0,1	0,1
Lima (2017)	0,8	0,5	0,03	0,06
Nascimento (2018)	0,7	0,4	0,04	0,04

Tabela 1 mostra os valores de coeficientes da literatura.

Simulações	μ_{spp}	μ_{spw}	μ_{rpp}	μ_{rpw}
1	0.3	0.3	0.07	0.03
2	0.3	0.3	0.03	0.03
3	0.7	0.7	0.03	0.07
4	0.8	0.5	0.05	0.05
5	0.3	0.3	0.07	0.07
6	0.7	0.7	0.03	0.03
7	0.5	0.5	0.05	0.05
8	0.7	0.3	0.07	0.07
9	0.5	0.8	0.05	0.05
10	0.2	0.5	0.05	0.05
11	0.7	0.7	0.07	0.07
12	0.7	0.3	0.03	0.03
13	0.3	0.7	0.07	0.07
14	0.7	0.3	0.03	0.07
15	0.3	0.7	0.07	0.03
16	0.5	0.5	0.05	0.08
17	0.5	0.5	0.08	0.05
18	0.5	0.5	0.05	0.05
19	0.7	0.7	0.07	0.03
20	0.5	0.2	0.05	0.05
21	0.5	0.5	0.02	0.05
22	0.3	0.3	0.03	0.07
23	0.3	0.7	0.03	0.07
24	0.3	0.7	0.03	0.03
25	0.7	0.3	0.07	0.03
26	0.5	0.5	0.05	0.02

Tabela 2 - Planejamento de simulações com valores dos parâmetros conforme o PCC elaborado.

A metodologia de simulação foi baseada nos estudos de Silvério 2012, Lima 2017. Os parâmetros utilizados foram: coeficientes de atrito estático partícula-partícula (μ_{spp}), coeficiente de atrito estático partícula-parede (μ_{spw}), coeficiente de atrito de rolamento partícula-partícula (μ_{rpp}) e coeficiente de atrito de rolamento partícula-parede (μ_{rpw}).

Foram utilizadas as mesmas medidas do tambor rotativo da unidade experimental de forma a se garantir que o tamanho das células fosse no mínimo três vezes maior do que o raio da esfera de igual volume da partícula (dp). Os dados de entrada para a simulação estão contidos na tabela 3 e os não informados foram utilizados os valores

sugeridos pelo próprio software. Após a realização da construção da geometria fez-se a injeção das partículas e posteriormente as 26 simulações.

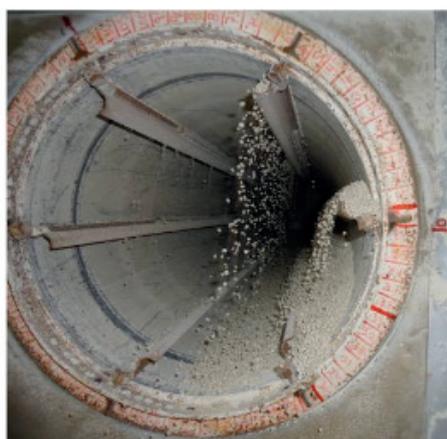
Modelo	Hertz-Mindlin (noslip)
Velocidade Rotacional (rpm)	3,6
Nº de partículas	20583
Tempo simulado (s)	33
Nº de suspensores	6
Diametro do tambor (m)	0,30
Comprimento do tambor (m)	0,15
Densidade da partícula (kg/m³)	1800
Tamanho da célula	3 x raio da partícula

Tabela 3 - Condições para a simulação das metodologias experimentais dos coeficientes de atrito estático e de rolamento no *software* EDEM.

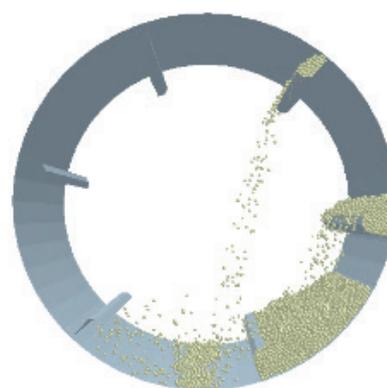
Após realizar as simulações analisou cada uma no tempo de 17 segundos e 18.5 segundos, (após a injeção de partículas) para obter as massas contidas nos suspensores em posições 0°, 30°, 60°, 90°, ou seja, as mesmas posições e tempo avaliados experimentalmente por Silvério 2012.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Observa-se nas figuras 1 e 2 abaixo que qualitativamente as simulações no EDEM® obtiveram resultados compatíveis ao que se vê nas imagens experimentais de Silvério 2012.



(a) Silvério 2012

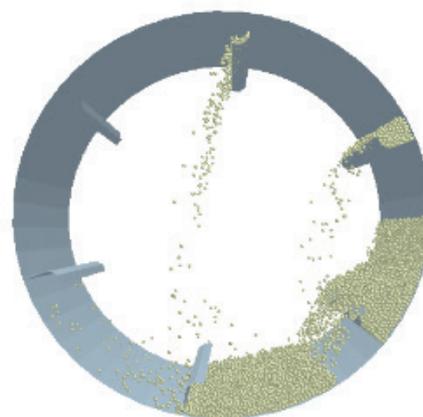


(b) Gravena 2019

Figura 1 - Secador rotativo convencional com os suspensores nas posições 0°, 60° e 120°: (a) experimento e (b) imagem obtida da simulação 7 do PCC.



(a) Silvério 2012



(b) Gravena 2019

Figura 2 - Secador rotativo convencional com os suspensores nas posições 30° e 90°: (a) experimento e (b) imagem obtida da simulação 7 do PCC.

A tabela 4 apresenta os resultados das simulações que foram comparadas com os resultados experimentais de massa de partículas de fertilizante no experimento no tambor rotativo, com a mesma geometria e condições usadas na simulação.

Experimento Silvério 2012	1,1244	0,5907	0,4071	0,1496
Simulação/ângulo	0°	30°	60°	90°
1	1,5031	0,9544	0,6393	0,1567
2	1,4258	0,8885	0,5576	0,1033
3	1,4059	0,8942	0,5657	0,1837
4	1,4812	0,9358	0,6261	0,2111
5	1,5187	0,9479	0,6470	0,1844
6	1,4275	0,9108	0,5690	0,1358
7 Ponto Central	1,4741	0,9311	0,6470	0,2067
8	1,5288	1,0834	0,6629	0,3337
9	1,4589	0,9425	0,6951	0,2361
10	1,4427	0,9047	0,5657	0,1378
11	1,5497	0,9662	0,6450	0,0858
12	1,4160	0,9105	0,5900	0,1256
13	1,5106	0,9733	0,6528	0,2151
14	1,4589	0,9425	0,6177	0,2019
15	1,5119	0,9571	0,6545	0,1753
16	1,4900	0,9594	0,6271	0,2101
17	1,5582	1,0006	0,7007	0,2773
18 Ponto Central	1,4819	0,9311	0,6450	0,1901
19	1,5339	0,9496	0,6599	0,2438
20	1,4508	0,9611	0,6194	0,1297
21	1,3998	0,8736	0,5785	0,1334
22	1,4136	0,8855	0,5896	0,1388
23	1,4265	0,9007	0,5684	0,1472
24	1,4062	0,8929	0,5751	0,1131
25	1,5173	0,9848	0,6697	0,1915

26	1,4548	0,9510	0,6170	0,1635
----	--------	--------	--------	--------

Tabela 4 – Resultados experimentais e das 26 simulações do PCC com diferentes parâmetros de simulação das massas de partículas em kg.

Verifica-se que os resultados simulados foram diferentes dos resultados experimentais de Silvério 2012 em todos os ângulos analisados. Assim, a Tabela 5 mostra o erro da massa obtida na simulação em relação ao experimento em cada posição angular.

Pequenos erros de resultados de massa de partículas na simulação, de até 10% foram encontrados apenas com o suspensor no ângulo de 90°. Na posição angular de 0° erros maiores que 25%. A partir desses resultados observa-se que a faixa de parâmetros usada na literatura e apresentada na tabela 1 pode não ser os valores ideais de coeficientes de atrito estático e de rolamento para as condições experimentais aplicadas. Observa-se então a importância de se utilizar os parâmetros corretos para bons resultados de simulação no EDEM® e assim obter maior confiabilidade dos resultados. Assim sendo, verifica-se a importância de estudos relacionados a estes coeficientes tanto para obtenções experimentais desses parâmetros quanto a verificação e validação dos mesmos na simulação.

Para melhor compreensão da influência dos coeficientes de atrito estático e de rolamento, este trabalho também realizou uma análise estatística dos resultados com a finalidade de observar a significância dos parâmetros nos resultados de massa de partículas em cada posição angular, nas simulações do PCC.

Simulação/ângulo	0°	30°	60°	90°
1	33,68	61,56	57,03	4,74
2	26,81	50,42	36,96	30,92
3	25,03	51,39	38,97	22,80
4	31,73	58,42	53,80	41,09
5	35,07	60,48	58,94	23,25
6	26,96	54,19	39,78	9,25
7	31,10	57,62	58,94	38,15
8	35,97	83,40	62,84	123,03
9	29,75	59,56	70,74	57,79
10	28,31	53,16	38,95	7,90
11	37,83	63,57	58,44	2,66
12	25,93	54,13	44,92	16,02
13	34,34	64,76	60,35	43,80
14	29,75	59,56	51,72	34,99
15	34,46	62,02	60,77	17,16
16	32,51	62,42	54,05	40,41
17	38,58	69,40	72,13	85,33
18	31,79	57,62	58,44	27,09
19	36,42	60,76	62,09	62,98
20	29,03	62,71	52,14	13,32

21	24,49	47,90	42,10	10,83
22	25,72	49,90	44,84	7,22
23	26,87	52,47	39,61	1,58
24	25,06	51,16	41,27	24,38
25	34,94	66,71	64,51	27,99
26	29,38	60,99	51,56	9,26

Tabela 5 – Erros percentuais das 26 simulações do PCC com diferentes parâmetros de simulação comparadas com os resultados experimentais de Silvério, 2012.

Observou-se na análise estatística do PCC, que a variável linear referente ao coeficiente de atrito estático partícula-partícula, μ_{spp} , e o coeficiente de rolamento partícula-partícula, μ_{rpp} se mostraram significativos em todas as análises, ou seja para todas as posições angulares. Para as posições angulares de 0° e 90° o coeficiente de rolamento partícula parede também se mostrou significativo, o que pode ter ocorrido devido ao maior contato das partículas com a parede do suspensor na posição de 90° , por ter poucas partículas no suspensor e do maior contato das partículas da posição de 0° com a parede do tambor, durante o movimento de rotação. Na análise da posição angular de 30° e de 90° , o coeficiente de atrito estático partícula parede, μ_{spw} também se mostrou significativo.

A Figura 3 apresenta a variação da massa de partículas na posição angular de 0° com o aumento e diminuição dos coeficientes de atrito estático partícula partícula (μ_{spp}) e de rolamento partícula partícula (μ_{rpp}).

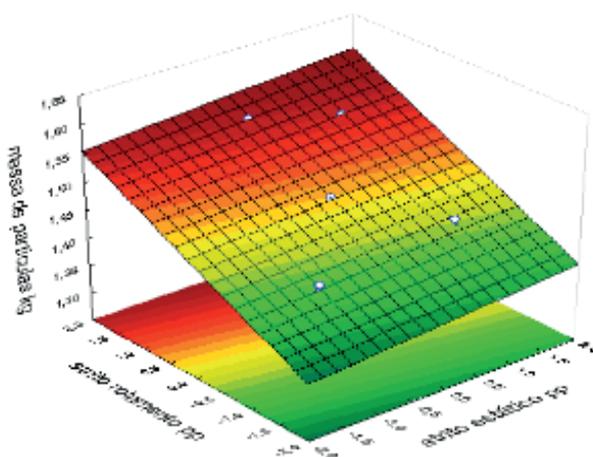


Figura 3 – Superfície de resposta para análise de significância das variáveis (μ_{spp}) e (μ_{rpp}).

Observa-se efeito mais significativo do μ_{rpp} quando comparado a influência do μ_{spp} , para a massa de partículas na posição 0° .

A figura 4 apresenta a variação da massa de partículas na posição angular de 30° com o aumento e diminuição dos coeficientes de atrito estático partícula-partícula (μ_{spp}) e de rolamento partícula-partícula (μ_{rpp}).

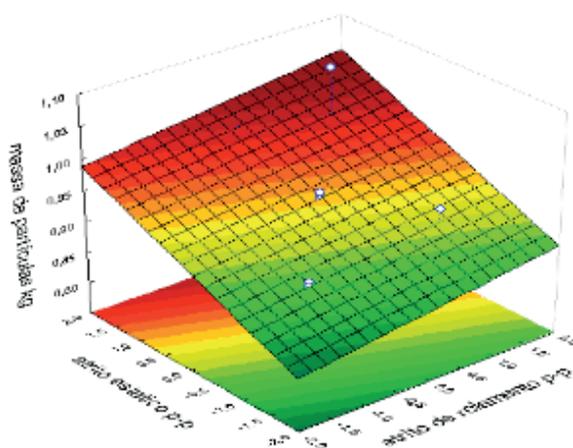


Figura 4 – Superfície de resposta para análise de significância das variáveis (μ_{spp}) e (μ_{rpp}).

Assim como na posição de 0° também observa-se efeito mais significativo do μ_{rpp} quando comparado a influência do μ_{spp} , para a massa de partículas na posição 30° .

4 | CONCLUSÕES

A partir dos resultados acima, pode-se concluir que a faixa de parâmetros escolhida para o estudo não foi a mais adequada para as simulações no software utilizado, sendo necessário um estudo de outras faixas de valores para os materiais deste estudo.

Podem-se observar com os resultados quais foram os parâmetros mais significativos e que os coeficientes de atrito estático e de rolamento partícula-partícula foram os que se mostraram significativos em todos os ângulos analisados, sendo que a influência do coeficiente de atrito de rolamento partícula-partícula apresentou maior influência nos resultados de massa de partículas nos suspensores.

5 | AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq e a FAPEMIG pelo apoio financeiro de bolsas e projetos de pesquisas vinculados a este trabalho.

REFERÊNCIAS

JUST, S.; TOSCHKOFF, G.; FUNKE, A.; DJURIC, D.; SCHARRER, G.; KHINAST, J.; KNOP, K.; KLEINEBUDDE, P. **Experimental analysis of tablet properties for discrete element modeling of an active coating process**. AAPS PharmSciTech, v. 14, n. 1, p. 402–11, 2013.

LIMA, R. M. **Estudo da dinâmica de partículas em tambores rotatórios empregando a abordagem numérica**. Dissertação de mestrado. 98 p. PPGEQ-UFU, Uberlândia/MG, 2017.

NASCIMENTO, S. M.. **Estudo da Dinâmica de Partículas em tambor rotatório com suspensores: Análise experimental e numérica utilizando abordagens euleriana e lagrangeana.** Dissertação de mestrado. 103 p. PPGEQ-UFU, Uberlândia/MG, 2018.

SANTOS, D. A.; DADALTO, F. O.; SCATENA, R.; DUARTE, C. R.; BARROZO, M. A. S. A hydrodynamic analysis of a rotating drum operating in the rolling regime. *Chemical Engineering Research and Design*, v. 94, p. 204–212, 2015.

SILVÉRIO, B. C.. **Estudos fluidodinâmicos e de secagem de fertilizantes em diferentes tipos de secadores rotatórios.** 138 p. Tese de Doutorado. PPGEQ-UFU, Uberlândia – MG, 2012.

SILVÉRIO, B.C.; ARRUDA, E.B. ; DUARTE, C.R. ; BARROZO, M.A.S. . **A novel rotary dryer for drying fertilizer: Comparison of performance with conventional configurations.** *Powder Technology (Print) JCR*, v. 270, p. 135-140, 2015.

SILVÉRIO, B. C.; SANTOS, K. G. ; DUARTE, C. R. ; BARROZO, M. A. S. . **Effect of the Friction, Elastic, and Restitution Coefficients on the Fluid Dynamics Behavior of a Rotary Dryer Operating with Fertilizer.** *Industrial & Engineering Chemistry Research JCR*, v. 53, p. 8920-8926, 2014. (a)

SILVÉRIO, B.C.; RESENDE, I.A. ; SANTOS, D.B. ; DUARTE, C.R. ; BARROZO, M.A.S. . A CFD Study of the Air Distribution at Non-Conventional Dryers Using Different Configurations of Mini Pipes. *Materials Science Forum (Online) JCR*, v. 802, p. 203-208, 2014. (b)

SILVÉRIO, B.C.; SOARES, A.C.C. ; ARRUDA, E.B. ; DUARTE, C.R. ; BARROZO, MARCOS A.S. . **Analysis of the Influence of Mini-Pipes Diameter in the Performance of a Non-Conventional Rotary Dryer.** *Materials Science Forum (Online) JCR*, v. 727-728, p. 1890-1895, 2012.

SILVÉRIO, B. C.; ARRUDA, E B ; FAÇANHA, J. M. F. ; MURATA, V. V. ; BARROZO, M. A. S. . **Fluid Dynamics in Concurrent Rotary Dryers and Comparison of their Performance with a Modified Dryer.** *Chemical Engineering & Technology JCR*, v. 34, p. 81-86, 2011.

VIEIRA NETO, J. L. ; COSTA, D. D. L.; VITARELI, L. ; PIRES, R. F. ; SOUZA, D. L. ; SILVÉRIO, B. C. ; SANTOS, K. G. . **A Fluid Dynamic Study in a Rotating Disk Applied in Granulation of Fertilizers.** *MATERIALS SCIENCE FORUM (ONLINE) JCR*, v. 899, p. 142-147, 2017.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Açairana 96, 97, 98, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 108, 109, 110, 112, 116

Ácido ascórbico 74, 76, 78, 79, 80

Análise estatística 5, 97, 111, 162, 167, 168

B

Bioetanol 44, 45, 46, 52

C

Camu-camu 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81

Capim Elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) 16, 17

Cerveja 54, 55, 57, 58, 59, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81

Cerveja artesanal 64, 73, 74, 76, 77, 78, 81

Chá verde 65, 67, 68, 69, 70, 71, 72

Cimentação 140

Cinética 7, 18, 23, 27, 44, 48, 49, 50, 51, 97, 98, 103, 104, 105, 106, 153, 154, 160, 194, 196, 204, 209, 210

Cinética de adsorção 44, 48, 50, 51

Colorimetria 109

Corante natural 109

Custos de produção 75, 88, 89, 90, 91, 93

D

Deposição de carbono 126, 127, 203

Destilação Solar 30, 31, 32, 43

E

Efluente 119, 120, 121, 123, 124, 125

Energia Solar 30, 31, 32, 42, 43

Enzimas lipolíticas 89, 92, 94, 95

Espectrofotometria UV-VIS 134

Estatística 1, 5, 72, 97, 111, 115, 162, 167, 168

Etanol 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 16, 17, 30, 31, 32, 43, 45, 46, 52, 53, 70, 91, 92, 109, 110, 114, 115, 116, 128

F

Farelo de Arroz 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

Fermentação 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 45, 46, 52, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 67, 68, 69, 71, 72, 79, 88, 89, 90, 92, 94, 95, 163

Fermentação em Estado Sólido 88, 89, 90, 94

Flexitubos 140

Furfural 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52

H

Hidrocarbonização 119, 120, 123, 124, 125

I

Inibidor 44, 47, 49, 51, 52

L

Lavanderia 119, 121, 124, 125

Leveduras 6, 7, 45, 46, 54, 58, 61, 63

Lúpulo 55, 57, 65, 67, 68, 71, 72, 75, 76

M

MCM-41 18, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133

Métodos não isotérmicos 16, 19, 27

Miconia ciliata 96, 97, 98, 100, 103, 106, 107, 108, 109, 110, 117

Modelagem 10, 11, 12, 27, 49, 94, 97, 145, 152, 153, 159, 194, 204

Modificação 42, 126

O

Ortofenantrolina 134, 136

P

Parâmetros cinéticos 16, 19, 20, 27, 28, 48, 51

R

Resíduos agroindustriais 89, 90, 95

Resina de troca iônica 134, 136, 138

S

Saccharomyces cerevisiae 1, 2, 3, 6, 61, 63, 64, 68

Sustentabilidade 30

T

Troca térmica 139, 140, 142, 144, 146

Trub 54, 55, 56, 57, 58, 60, 61, 62, 63, 64

 **Atena**
Editora

2 0 2 0