



# 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<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
 Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
 Prof<sup>a</sup> 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](http://www.atenaeditora.com.br)  
[contato@atenaeditora.com.br](mailto: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

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7692030011</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>8</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7692030012</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>16</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7692030013</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>30</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7692030014</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>44</b>
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 Morais Ferreira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7692030015</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>54</b>
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  
Letícia 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 TEXTURAIIS 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  $C_2CL_4$

Rogerio 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](mailto: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](mailto: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](mailto:kassiagsantos@gmail.com);

[kassiagsantos@hotmail.com](mailto: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](mailto: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 ( $\mu_{spp}$ ), coeficiente de atrito estático partícula-parede ( $\mu_{spw}$ ), coeficiente de atrito de rolamento partícula-partícula ( $\mu_{rpp}$ ) e coeficiente de atrito de rolamento partícula-parede ( $\mu_{rpw}$ ).

## 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	$\mu_{spp}$	$\mu_{spw}$	$\mu_{rpp}$	$\mu_{rpw}$
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	$\mu_{spp}$	$\mu_{spw}$	$\mu_{rpp}$	$\mu_{rpw}$
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 ( $\mu_{spp}$ ), coeficiente de atrito estático partícula-parede ( $\mu_{spw}$ ), coeficiente de atrito de rolamento partícula-partícula ( $\mu_{rpp}$ ) e coeficiente de atrito de rolamento partícula-parede ( $\mu_{rpw}$ ).

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.

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

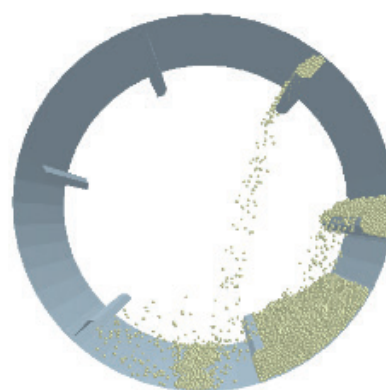
Após realizar as simulações analisou cada uma no tempo de 17 segundos e 18.5 segundos, (após a injeção de partículas) para obter as massas contidas nos suspensores em posições 0°, 30°, 60°, 90°, ou seja, as mesmas posições e tempo avaliados experimentalmente por Silvério 2012.

### 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.

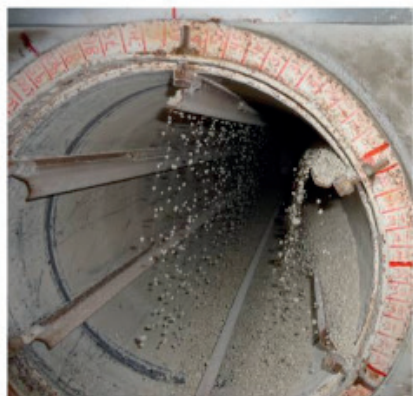


(a) Silvério 2012

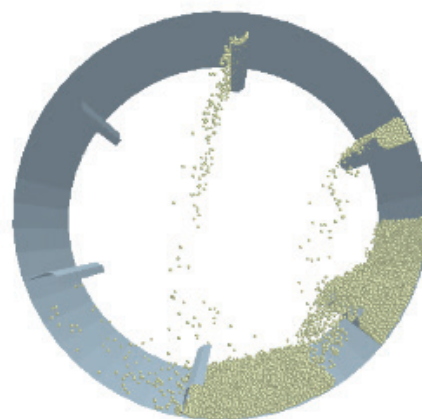


(b) Gravena 2019

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
<b>7 Ponto Central</b>	<b>1,4741</b>	<b>0,9311</b>	<b>0,6470</b>	<b>0,2067</b>
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
<b>18 Ponto Central</b>	<b>1,4819</b>	<b>0,9311</b>	<b>0,6450</b>	<b>0,1901</b>
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.

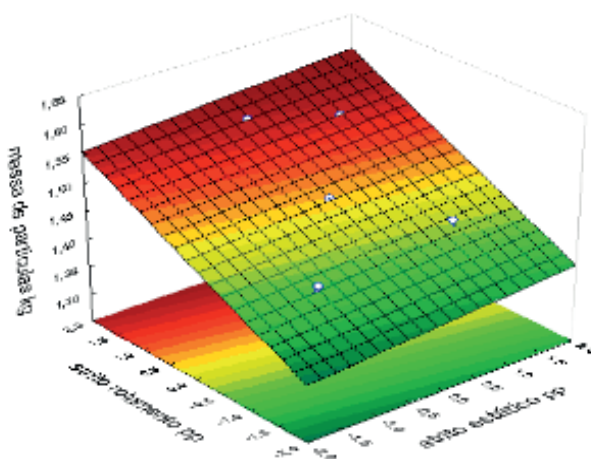
Simulação/ângulo	0°	30°	60°	90°
1	33,68	61,56	57,03	4,74
2	26,81	50,42	36,96	30,92
3	25,03	51,39	38,97	22,80
4	31,73	58,42	53,80	41,09
5	35,07	60,48	58,94	23,25
6	26,96	54,19	39,78	9,25
7	31,10	57,62	58,94	38,15
8	35,97	83,40	62,84	123,03
9	29,75	59,56	70,74	57,79
10	28,31	53,16	38,95	7,90
11	37,83	63,57	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,  $\mu_{spp}$ , e o coeficiente de rolamento partícula-partícula,  $\mu_{rpp}$  se mostraram significativos em todas as análises, ou seja para todas as posições angulares. Para as posições angulares de  $0^\circ$  e  $90^\circ$  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  $90^\circ$ , por ter poucas partículas no suspensor e do maior contato das partículas da posição de  $0^\circ$  com a parede do tambor, durante o movimento de rotação. Na análise da posição angular de  $30^\circ$  e de  $90^\circ$ , o coeficiente de atrito estático partícula parede,  $\mu_{spw}$  também se mostrou significativo.

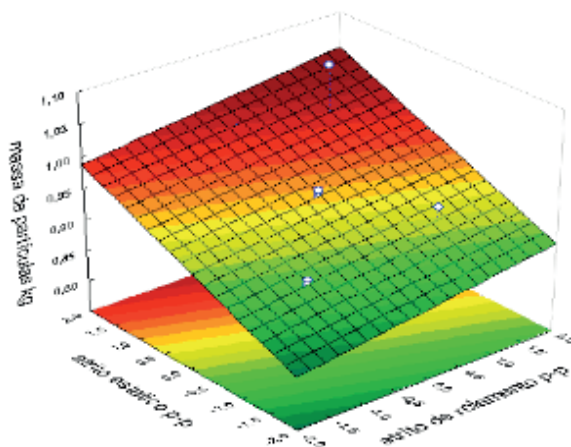
A Figura 3 apresenta a variação da massa de partículas na posição angular de  $0^\circ$  com o aumento e diminuição dos coeficientes de atrito estático partícula partícula ( $\mu_{spp}$ ) e de rolamento partícula partícula ( $\mu_{rpp}$ ).



**Figura 3** – Superfície de resposta para análise de significância das variáveis ( $\mu_{spp}$ ) e ( $\mu_{rpp}$ ).

Observa-se efeito mais significativo do  $\mu_{rpp}$  quando comparado a influência do  $\mu_{spp}$ , para a massa de partículas na posição  $0^\circ$ .

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



**Figura 4** – Superfície de resposta para análise de significância das variáveis ( $\mu_{spp}$ ) e ( $\mu_{rpp}$ ).

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

#### 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**