

Avanços das Pesquisas e Inovações na Engenharia Química 2

Jéssica Verger Nardeli
(Organizadora)

 **Atena**
Editora
Ano 2020

Avanços das Pesquisas e Inovações na Engenharia Química 2

Jéssica Verger Nardeli
(Organizadora)

**Atena**
Editora
Ano 2020

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
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
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. Fernando José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
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 Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

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
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
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. 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. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
 Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
 Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
 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. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
 Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
 Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
 Prof. Me. Douglas Santos Mezacas -Universidade Estadual de Goiás
 Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
 Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
 Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
 Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
 Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
 Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
 Prof. Me. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
 Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
 Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
 Profª Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
 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 Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
 Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
 Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
 Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá
 Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
 Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

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

A946 Avanços das pesquisas e inovações na engenharia química 2
[recurso eletrônico] / Organizadora Jéssica Verger Nardeli. –
Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF
 Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.
 Modo de acesso: World Wide Web.
 Inclui bibliografia
 ISBN 978-65-86002-51-5
 DOI 10.22533/at.ed.515202403

1. Engenharia química – Pesquisa – Brasil. I. Nardeli, Jéssica Verger.

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

A coleção “Avanços das Pesquisas e Inovações na Engenharia Química volume 2” é uma obra que tem como foco principal a discussão e divulgação científica por meio de trabalhos com diferentes funcionalidades que compõe seus capítulos. O volume abordará em especial trabalhos que contribuem a nível educacional e aplicado tanto na área de engenharia química, química e tecnologias.

O objetivo central foi apresentar de forma categorizada e clara estudos correlacionados a energias renováveis, aproveitamento de resíduo agroindustrial, desenvolvimento de simulador de processos, simulação de custos de produção, e em especial estudos correlacionados a nível educacional por meio de jogos didáticos, quiz educativo com foco na aprendizagem de reações químicas e tabela periódica. Em todos esses trabalhos a linha condutora foi o aspecto relacionado à aproveitamento de resíduos, disseminação de conhecimento, otimização de procedimentos e metodologias, dentre outras abordagens importantes na área de exatas e engenharia. O avanço das pesquisas e divulgação dos resultados tem sido um fator importante para o desenvolvimento da ciência e estímulo de inovação.

Temas diversos e interessantes são, deste modo, discutidos aqui com a proposta de fundamentar o conhecimento de acadêmicos, mestres e todos aqueles que de alguma forma se interessam pela área de exatas e engenharia química aplicada e educacional. Possuir um material que demonstre evolução de diferentes metodologias, abordagens, otimização de processos, caracterização com técnicas substanciais, reutilização de resíduos de regiões específicas do país é muito relevante, assim como abordar temas atuais e de interesse tanto no meio acadêmico como social.

Deste modo a obra “Avanços das Pesquisas e Inovações na Engenharia Química volume 2” apresenta estudos fundamentados nos resultados práticos obtidos pelos diversos professores e acadêmicos que arduamente desenvolveram seus trabalhos que aqui serão apresentados de maneira concisa e didática. Sabemos o quão importante é a divulgação científica, por isso evidenciamos também a estrutura da Atena Editora capaz de oferecer uma plataforma consolidada e confiável para estes pesquisadores explorarem e divulgarem seus resultados.

Jéssica Verger Nardeli

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
EXTRAÇÃO SÓLIDO-LÍQUIDO DE ÓLEO DE BARU ASSISTIDA POR ENERGIA SOLAR	
Caroline Santos Silva	
Lucas Rodrigo Custódio	
Kássia Graciele dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.5152024031	
CAPÍTULO 2	12
APROVEITAMENTO DO RESÍDUO AGROINDUSTRIAL DO CAFÉ NA PRODUÇÃO DE BIOCHAR PARA IMOBILIZAÇÃO DE LIPASE <i>RHIZOPUS ORYZAE</i> E SÍNTESE DE PALMITATO DE CETILA	
Danyelle Andrade Mota	
Jefferson Cleriston Barros dos Santos	
Lays Carvalho de Almeida	
Álvaro Silva Lima	
Laiza Canielas Krause	
Cleide Mara Faria Soares	
DOI 10.22533/at.ed.5152024032	
CAPÍTULO 3	26
ANÁLISE DA PERDA AO FOGO DE CORPOS DE PROVA CERÂMICOS FORMULADOS COM CINZA LEVE PROVENIENTE DA GASEIFICAÇÃO DO CARVÃO MINERAL PULVERIZADO	
Gabryella Cerri Mendonça	
Cristiano Corrêa Ferreira	
Flávio André Pavan	
DOI 10.22533/at.ed.5152024033	
CAPÍTULO 4	34
ESTABILIDADE E COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE POLPA DE CUPUAÇU (<i>Theobroma grandiniflorum</i>) EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES E TEMPERATURAS	
Simara Ferreira Borges	
Harvey Alexander Villa Vélez	
Romildo Martins Sampaio	
Valkerline Pinto Pires	
Audirene Amorim Santana	
DOI 10.22533/at.ed.5152024034	
CAPÍTULO 5	44
ESTIMATIVA DE VARIÁVEIS DE ESTADO EM MODELO DE HIDRÓLISE DE MATÉRIAS GRAXAS	
Camila Santana Dias	
Leandro Santos Monteiro	
Bruno Marques Viegas	
Diego Cardoso Estumano	
Nielson Fernando da Paixão Ribeiro	
DOI 10.22533/at.ed.5152024035	
CAPÍTULO 6	59
APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE MONTE CARLO VIA CADEIA DE MARKOV PARA ESTIMATIVA DE PARÂMETROS DE MODELOS DE BALANÇO POPULACIONAL PARA SISTEMAS PARTICULADOS	
Carlos Henrique Rodrigues de Moura	
Diego Cardoso Estumano	
João Nazareno Nonato Quaresma	

Emanuel Negrão Macêdo
Bruno Marques Viegas
Leandro Santos Monteiro
Diego Sousa Lopes

DOI 10.22533/at.ed.5152024036

CAPÍTULO 7 73

APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE MONTE CARLO VIA CADEIA DE MARKOV PARA ESTIMATIVA DE
PARAMETROS EM MODELO DE BALANÇO POPULACIONAL DE CRISTALIZAÇÃO DE GIBBSITA
COM CINÉTICA CONSTANTE

Carlos Henrique Rodrigues de Moura
Diego Cardoso Estumano
João Nazareno Nonato Quaresma
Emanuel Negrão Macêdo
Bruno Marques Viegas
Leandro Santos Monteiro
Diego Sousa Lopes

DOI 10.22533/at.ed.5152024037

CAPÍTULO 8 85

APLICAÇÃO DO MÉTODO DE MONTE CARLO VIA CADEIA DE MARKOV PARA ESTIMATIVA DE
PARÂMETROS EM MODELOS DE CURVAS DE RUPTURA

João Paulo de Souza Coutinho
Ianka Cristine Benicio Amador
Bruno Marques Viegas
Nielson Fernando da Paixão Ribeiro
Diego Cardoso Estumano

DOI 10.22533/at.ed.5152024038

CAPÍTULO 9 100

DESCRIÇÃO FÍSICA DE FIBRAS DE COCO (*COCO NUCIFERA L.*) SUBMETIDAS A TRATAMENTO
EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE MACERAÇÃO

Nayara Maria Monteiro da Silva
Carla Arnaud de Azevedo
Alefhe Bernard Cordovil Mascarenhas
Raíssa Cristine Santos de Araújo
Gabriela Nascimento Vasconcelos
Rafael Maia de Oliveira
Elza Brandão Santana
Lênio José Guerreiro de Faria

DOI 10.22533/at.ed.5152024039

CAPÍTULO 10 116

DESENVOLVIMENTO DE UM SIMULADOR DE PROCESSOS USANDO LINGUAGEM VISUAL BASIC
FOR APPLICATIONS (VBA) PARA A OXIDAÇÃO DO TOLUENO

Herbert Senzano Lopes
Vanja Maria de Franca Bezerra
Matheus Henrique Antonio Aboukalam da Cruz
Osvaldo Chiavone-Filho
Carlson Pereira de Souza

DOI 10.22533/at.ed.51520240310

CAPÍTULO 11 123

O USO DA EXPERIMENTAÇÃO COMO FERRAMENTA FACILITADORA PARA O ENSINO DE REAÇÃO DE DUPLA TROCA

Luciane Neves Ribeiro
Charles Garcia da Cunha
Joseane Cunha da Conceição
Layze Maria da Silva e Silva
Lindsey Bianca Araújo Fialho
Suzianne Saldanha da Silva
Vitor dos Santos de Carvalho
Miracleide de Araújo Batista Carneiro
Kelly das Graças Fernandes Dantas
Patrícia Santana Barbosa Marinho

DOI 10.22533/at.ed.51520240311

CAPÍTULO 12 130

O LÚDICO ATRAVÉS DE JOGOS DIDÁTICOS COMO AUXÍLIO EM AULAS DE TABELA PERIÓDICA PARA ALUNOS DO 9º ANO

Manoel Leão Lopes Junior
Lourivaldo Silva Santos
Marivaldo José Costa Corrêa
Raílda Neyva Moreira Araújo
Haroldo da Silva Ripardo Filho
Luely Oliveira da Silva
Catarina Estumano Bandeira
Lucio Flavio Pires Santos
Jéssica de Souza Viana
Felipe Augusto da Silva Bezerra

DOI 10.22533/at.ed.51520240312

CAPÍTULO 13 140

SIMULAÇÃO EM SUPERPRO DESIGNER DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO DO FUNGO *Metarhizium anisopliae* POR FERMENTAÇÃO EM ESTADO SOLIDO

Antonio Dheyson da Silva Oliveira
Rodrigo Silva Dutra
Sebastian Ospina Corral
Cristian Orlando Avila
Carlos Eduardo Orrego
Lina María Grajales

DOI 10.22533/at.ed.51520240313

CAPÍTULO 14 152

O PROCESSO DE FISCALIZAÇÃO DO CONSELHO REGIONAL DE QUÍMICA 6ª REGIÃO PA/AP

Denise de Mello Lima
Dionis Rogério Costa Peixoto
Cristiane Maria Leal Costa
Célio Augusto Gomes de Souza
Antonio Claudio Lima Moreira Bastos
Allysson Bruno Almeida Ramos

DOI 10.22533/at.ed.51520240314

CAPÍTULO 15 159

QUIZ EDUCATIVO: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA PARA O ENSINO DE TABELA PERIÓDICA

Layze Maria da Silva e Silva

Luciane Neves Ribeiro
Joseane Cunha Da Conceição
Vitor Dos Santos De Carvalho
Suzianne Saldanha Da Silva
Lindsey Bianca Araujo Fialho
Charles Gracia da Cunha
Miracleide De Araújo Batista Carneiro
Kelly Das Graças Fernandes Dantas
Patrícia Santana Barbosa Marinho

DOI 10.22533/at.ed.51520240315

CAPÍTULO 16 164

ATIVIDADE ALELOPÁTICA DA BIOMASSA DO FUNGO *ASPERGILLUS SP*, ISOLADO COMO ENDOFÍTICO DA ESPÉCIE *Paspalum maritimum* TRIN

Manoel Leão Lopes Junior
Lourivaldo Silva Santos
Marivaldo José Costa Corrêa
Raílida Neyva Moreira Araújo
Haroldo da Silva Ripardo Filho
Luely Oliveira da Silva
Lucio Flavio Pires Santos
Jéssica de Souza Viana
Felipe Augusto da Silva Bezerra

DOI 10.22533/at.ed.51520240316

CAPÍTULO 17 173

ATIVIDADE FITOTÓXICA DA BIOMASSA PRODUZIDA PELO FUNGO ENDOFÍTICO *Glomerella cingulata*

Manoel Leão Lopes Junior
Lourivaldo Silva Santos
Marivaldo José Costa Corrêa
Raílida Neyva Moreira Araújo
Haroldo da Silva Ripardo Filho
Luely Oliveira da Silva
Lucio Flavio Pires Santos
Jéssica de Souza Viana
Felipe Augusto da Silva Bezerra

DOI 10.22533/at.ed.51520240317

CAPÍTULO 18 181

CHEMICAL CONSTITUENTS AND LARVICIDAL ACTIVITY OF ESSENTIAL OIL FROM *Murraya koenigii* (L.) Spreng. (RUTACEAE) AGAINST *Aedes aegypti* (DIPTERA: CULICIDAE)

Camila Aline Romano
Matheus Gabriel de Oliveira
Matheus de Sousa Melo Morais
Andressa Tuane de Santana Paz
Liliane de Sousa Silva
Heloisa Helena Garcia da Silva
Ionizete Garcia da Silva
Adelair Helena dos Santos
José Realino de Paula

DOI 10.22533/at.ed.51520240318

CAPÍTULO 19 192

ESTIMATIVA DA CURVA DE RUPTURA DO PROCESSO DE ADSORÇÃO ATRAVÉS DO ALGORITMO

DE REAMOSTRAGEM POR IMPORTÂNCIA

Ianka Cristine Benicio Amador
Bruno Marques Viegas
Diego Cardoso Estumano
Emanuel Negrão Macêdo
Nielson Fernando da Paixão Ribeiro

DOI 10.22533/at.ed.51520240319

CAPÍTULO 20 205

DETERMINAÇÃO DO PERFIL ÓTIMO DE TEMPERATURA PARA UM BIOPROCESSO EM BATELADA DE PRODUÇÃO DE PENICILINA REPRESENTADO POR UM MODELO MATEMÁTICO

Samuel Conceição de Oliveira
Angel Gustavo Tolaba

DOI 10.22533/at.ed.51520240320

CAPÍTULO 21 218

AVANÇOS RECENTES E PERSPECTIVAS FUTURAS NA MODELAGEM MATEMÁTICA DO PROCESSO DE REMOÇÃO DE SULFATO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS INDUSTRIAIS EM BIORREATOR ANAERÓBIO DE LEITO FIXO OPERADO EM BATELADAS SEQUENCIAIS

Samuel Conceição de Oliveira
Arnaldo Sarti

DOI 10.22533/at.ed.51520240321

SOBRE A ORGANIZADORA..... 228

ÍNDICE REMISSIVO 229

APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE MONTE CARLO VIA CADEIA DE MARKOV PARA ESTIMATIVA DE PARAMETROS EM MODELO DE BALANÇO POPULACIONAL DE CRISTALIZAÇÃO DE GIBBSITA COM CINÉTICA CONSTANTE

Data de submissão: 03/12/2019

Data de aceite: 16/03/2020

Carlos Henrique Rodrigues de Moura

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química
Belém – Pará
<http://lattes.cnpq.br/3965235559226123>

Diego Cardoso Estumano

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos
Belém – Pará
<http://lattes.cnpq.br/5521162828533153>

João Nazareno Nonato Quaresma

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Química
Belém – Pará
<http://lattes.cnpq.br/7826389991864785>

Emanuel Negrão Macêdo

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química
Belém – Pará
<http://lattes.cnpq.br/8718370108324505>

Bruno Marques Viegas

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos
Belém – Pará
<http://lattes.cnpq.br/1196600058247902>

Leandro Santos Monteiro

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-

Graduação em Engenharia Química

Belém – Pará

<http://lattes.cnpq.br/1473089897349088>

Diego Sousa Lopes

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química
Belém – Pará
<http://lattes.cnpq.br/5921071838518219>

RESUMO: Cristalização a partir da solução representa uma operação unitária que é importante na produção de alumina via processo Bayer. Uma estrutura matemática adequada para modelagem de tais sistemas, acoplada com balanço de massa e energia, pode ser descrita pela equação de balanço populacional. Frequentemente, a equação de balanço populacional possui coeficientes que expressam os mecanismos de formação, crescimento e mortes de cristais e esses coeficientes contem parâmetros que precisam ser estimados a partir de dados experimentais. Neste trabalho, foi aplicada a técnica Bayesiana de Monte Carlo via Cadeia de Markov para estimar os parâmetros de um modelo unidimensional de cristalização de gibbsita com cinética constante. A abordagem aplicada mostrou-se capaz de estimar os parâmetros do modelo, obtendo-se boas concordâncias entre as estimativas e os valores de referência dos parâmetros. Além disso, observou-se que houve boa concordância

entre as variáveis de estado estimadas e medidas.

PALAVRAS-CHAVE: Problemas Inversos, Monte Carlo via Cadeia de Markov, Balanço Populacional, Cristalização

APPLICATION OF MARKOV CHAIN MONTE CARLO TECHNIQUE FOR PARAMETER ESTIMATION OF POPULATION BALANCE MODEL FOR GIBBSITE CRYSTALLIZATION WITH CONSTANT KINETICS

ABSTRACT: Crystallization from solution represents a unit operation that is important in the production of alumina via Bayer process. A suitable mathematical framework for modeling such systems, coupled with mass and energy balance, can be described by the population balance equation. Frequently, the population balance equation has coefficients that express the mechanisms of crystal formation, growth, and death, and these coefficients contain parameters that need to be estimated from experimental data. In this paper, the Bayesian technique of Markov Chain Monte Carlo was applied to estimate the parameters of a one-dimensional crystallization model with constant gibbsite kinetics. The applied approach was able to estimate the model parameters, obtaining good agreement between the estimates and the reference values of the parameters. In addition, it was observed that there was good agreement between the estimated and measured state variables.

KEYWORDS: Inverse Problems, Markov Chain Monte Carlo, Population Balance, Crystallization

1 | INTRODUÇÃO

A cristalização é uma das operações unitárias industriais amplamente utilizadas e ocorre a partir dos mecanismos de nucleação, crescimento e aglomeração (Georgieva, 2003). Dentro do processo de cristalização, a precipitação de cristais é um fenômeno que vem atraindo a atenção de muitos pesquisadores interessados nessa linha de pesquisa. Como o processo é rápido, com mistura em várias escalas, desempenha um importante papel na determinação da distribuição de tamanho do cristal final (CSD) e na morfologia dos cristais (Marchisio, 2002). Na maioria dos casos, a distribuição do tamanho de cristais (CSD) afeta significativamente a qualidade do produto e a produtividade do processo sendo assim foco da modelagem do processo de cristalização (Bekker e Livk, 2011).

Para modelagem dessa distribuição de cristais em tantos sistemas, as equações de balanço populacional (PBE) são amplamente aceitas para fins de predição, controle e otimização (Besenhard, 2015). Elas representam equações de transporte dinâmico que descrevem a evolução temporal da densidade populacional, como resultado de quatro mecanismos particulados: nucleação, crescimento, agregação e ruptura, bem como o transporte devido ao fluxo convectivo (Batista, 2011).

Nestes modelos há parâmetros que não podem ser determinados diretamente, e, portanto, precisam ser estimados. A utilização de métodos para estimar parâmetros em processos de cristalização modelados por equações de balanço populacional vem se manifestando com frequência nos últimos anos, permitindo uma melhor otimização dos termos para dar o melhor ajuste de dados experimentais, ressaltando a necessidade do uso de metodologias efetivas de estimação de parâmetros (PE) para a representação precisa dos processos de cristalização através de PBEs (Besenhard, 2015).

2 | MODELO DIRETO

O modelo de cristalização dinâmico unidimensional abaixo descreve a distribuição de cristais de gibbsita por tamanho em um cristizador misturado homogeneamente com batelada isotérmica. Para a cristalização da gibbsita, o crescimento do cristal é independente do tamanho do cristal e da densidade da suspensão, e as expressões cinéticas empíricas da lei da potência podem ser usadas para descrever as taxas de crescimento e nucleação secundária da gibbsita (Bekker e Livk, 2011). Segundo Bekker e Livk (2011), um modelo dinâmico que agrupa as equações de balanço da população e da supersaturação através do crescimento e da cinética de nucleação secundária pode ser declarado como

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial n(L,t)}{\partial t} + G_0 \frac{\partial n(L,t)}{\partial L} &= 0, \quad L \in (L_{\min}, L_{\max}), t \in (0, t_{\text{end}}) \\
 \frac{ds(t)}{dt} &= -aB_0 - bG_0\mu_2(t), \quad \mu_2(t) = \int_{L_{\min}}^{L_{\max}} L^2 n(L,t) dL \\
 n(L,t)|_{L=L_{\min}} &= \frac{B_0}{G_0}, \quad \frac{\partial n(L,t)}{\partial t} \Big|_{L=L_{\max}} = 0 \\
 n(L,t)|_{t=0} &= n_{in}(L) = n_0 \exp\left(-\frac{L-L_{\min}}{L_0}\right), \quad s(t)|_{t=0} = s_0
 \end{aligned} \tag{1.a,g}$$

onde n é a densidade de cristal, n_{in} é a densidade numérica inicial de semente, t é o tempo e L é o tamanho do cristal. Na equação do balanço de massa do soluto, G é a taxa de crescimento de cristal linear, Bu é a taxa de nucleação secundária, s é a supersaturação relativa e μ_2 é o segundo momento da distribuição do tamanho do cristal. As últimas duas linhas contêm equações de contorno correspondente e condições iniciais.

Bekker e Livk (2011) obtiveram uma solução analítica do problema de cristalização (Equação 1) para o caso de cinética de cristalização constante. Um caso de cinética constante é válido para um sistema de cristalização hipotético com taxas constantes de crescimento e nucleação. As soluções analíticas para as variáveis de estado analisadas são obtidas como

$$L_{medio} = L_{min} + G_0 t \quad (2)$$

$$n(L,t) = \begin{cases} L < L_{medio} : \frac{B_0}{G_0} \\ L \geq L_{medio} : n_0 \exp\left(-\frac{L - L_{min} - G_0 t}{L_0}\right) \end{cases} \quad (3)$$

$$s(t) = s_0 - aB_0 t + \frac{b}{3} B_0 L_{min}^3 t - \frac{b}{12} \frac{B_0}{G_0} L_{medio} - bn_0 L_0^4 \left\{ \frac{1}{3} \left(\frac{L_{medio}}{L_0}\right)^3 + \left(\frac{L_{medio}}{L_0}\right)^2 + 2 \frac{L_{medio}}{L_0} - \left[\left(\frac{L_{medio}}{L_0}\right)^2 + 2 \frac{L_{max}}{L_0} + 2 \right] \exp\left(-\frac{L_{max} - L_{medio}}{L_0}\right) \right\} \quad (4)$$

$$\mu_2(t) = \frac{1}{3} \frac{B_0}{G_0} (L_{medio}^3 - L_{min}^3) + n_0 L_0^3 \left\{ \left(\frac{L_{medio}}{L_0}\right)^2 + 2 \frac{L_{medio}}{L_0} + 2 - \left[\left(\frac{L_{max}}{L_0}\right)^2 + 2 \frac{L_{max}}{L_0} + 2 \right] \times \exp\left(-\frac{L_{max} - L_{medio}}{L_0}\right) \right\} \quad (5)$$

3 | MONTE CARLO VIA CADEIA DE MARKOV

Em muitos casos dentro da inferência Bayesiana, a distribuição de probabilidade a priori para os parâmetros não possibilita um tratamento analítico para a distribuição posteriori. Nesses casos, métodos de Monte Carlo com cadeias de Markov (MCMC) são usados em processos de amostragem dos possíveis parâmetros de modo que a inferência sobre a densidade posterior é obtida através de inferência sobre as amostras (Orlande, et al.,2011; Kaipio e Sommersalo, 2004; Tan et al.,2006).

O MCMC combina propriedades de Monte-Carlo e a cadeia de Markov. O primeiro é a prática de estimar as propriedades de uma distribuição examinando amostras aleatórias da distribuição. Já o segundo se baseia na ideia de que as amostras aleatórias são geradas por um processo sequencial especial. Cada amostra aleatória é usada como um degrau para gerar a próxima amostra aleatória. Uma propriedade especial da cadeia é que, embora cada nova amostra dependa da anterior, novas amostras não dependem de nenhuma amostra antes da priori (Ravenzwaaij, 2018).

Um dos algoritmos mais utilizados para a implementação do método de Monte Carlo com cadeias de Markov é o de Metropolis-Hastings. Uma etapa do algoritmo de Metropolis-Hasting de distribuição invariante $P(\theta|Y)$ e distribuição proposta envolve amostragem de um parâmetro candidato θ^* dado o seu valor atual θ de acordo com $q(\theta^*|\theta)$. A cadeia de Markov então se move para θ^* com probabilidade de aceitação

$$\alpha(\theta, \theta^*) = \min \left[1, \frac{p(\theta^*|Y)q(\theta^*|\theta)}{p(\theta|Y)q(\theta|\theta^*)} \right] \quad (9)$$

O algoritmo de Metropolis-Hastings é descrito a seguir (Kaipio e Somersalo, 2004):

1. Inicializa-se o contador de iterações $i=0$ e especifica-se um valor inicial θ_0 .
2. Gera-se um valor candidato θ^* da distribuição $q(\theta^*|\theta)$.
3. Calcula-se a probabilidade de aceitação $\alpha(\theta, \theta^*)$ e gera-se uma amostra aleatória auxiliar de uma distribuição uniforme: $u \sim U(0,1)$.
4. Se $u \leq \alpha$ então aceita-se o novo valor e faz-se $\theta_{i+1} = \theta^*$, caso contrário rejeita-se e faz-se $\theta_{i+1} = \theta_i$.
5. Incrementa-se o contador de i para $i+1$ e volta-se para o passo 2.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Aplicou-se o método MCMC com algoritmo de Metropolis-Hastings para estimação de parâmetros do sistema de cristalização de gibbsita com cinética constante. Neste trabalho foram utilizadas medidas simuladas com o objetivo de fazer as verificações dos códigos desenvolvidos. A geração de medidas simuladas foi realizada ao adicionar ruídos gaussianos, com média zero e desvio padrão constante, na variável de estado em que supostamente é possível obter medidas. As medidas simuladas foram geradas da seguinte forma:

$$Y_{med} = Y_{exato} + \sigma_{med} \xi \quad (10)$$

onde Y_{exato} é obtida na solução do problema direto com parâmetros conhecidos, σ_{med} é o desvio padrão das medidas e ξ é uma variável aleatória com distribuição $N(0,1)$.

As estimativas realizadas foram consideradas distribuições gaussianas para as distribuições de probabilidade a priori para os parâmetros. Para as estimativas de parâmetros do modelo de Bekker e Livk (2011) foram utilizadas as seguintes condições iniciais para as variáveis de estado $n(L, t), \mu_2(t), s(t)$: $n_0 = 5 \times 10^{16} \text{ m}^{-4}$, $L_0 = 10^{-6} \text{ m}$ e $s_0 = 1$. Foi considerado a análise do processo para um tempo de 50 h e os parâmetros de referência adotados são apresentados na Tabela 1

Parâmetros	Descrição	Valores (Unidades)
G_0	Taxa de crescimento constante	5×10^{-10} (m/s)
B_0	Taxa de nucleação constante	$1,25 \times 10^6$ (m ³ .s ⁻¹)
a	Coeficiente do balanço de massa	$3,20 \times 10^{-17}$ (m ³)
b	Coeficiente do balanço de massa	35,2

Tabela 1: Parâmetros de referência para os modelos propostos por Bekker e Livk (2011)

Antes da aplicação do algoritmo MCMC, foi realizada uma análise de sensibilidade para verificar quais parâmetros podem ser estimados simultaneamente. Para tanto, é necessário que os coeficientes de sensibilidade apresentem considerável magnitude em relação a variável de estado medida e sejam linearmente dependentes. O modelo proposto é composto de 4 parâmetros $\theta^T = [G_0, B_0, a, b]$ e 3 variáveis de estado $Y^T = [n(L, t), \mu_2(t) \text{ e } s(t)]$. Uma vez que para um sistema de cristalização com cinética constante consegue-se ter medida apenas da variável de estado $s(t)$, a análise de sensibilidade é realizada apenas em relação a ela. O coeficiente de sensibilidade reduzido (X_{ij}) é apresentado a seguir na Figura 1 para cada um dos parâmetros e como eles afetam a variável de estado que possui medida.

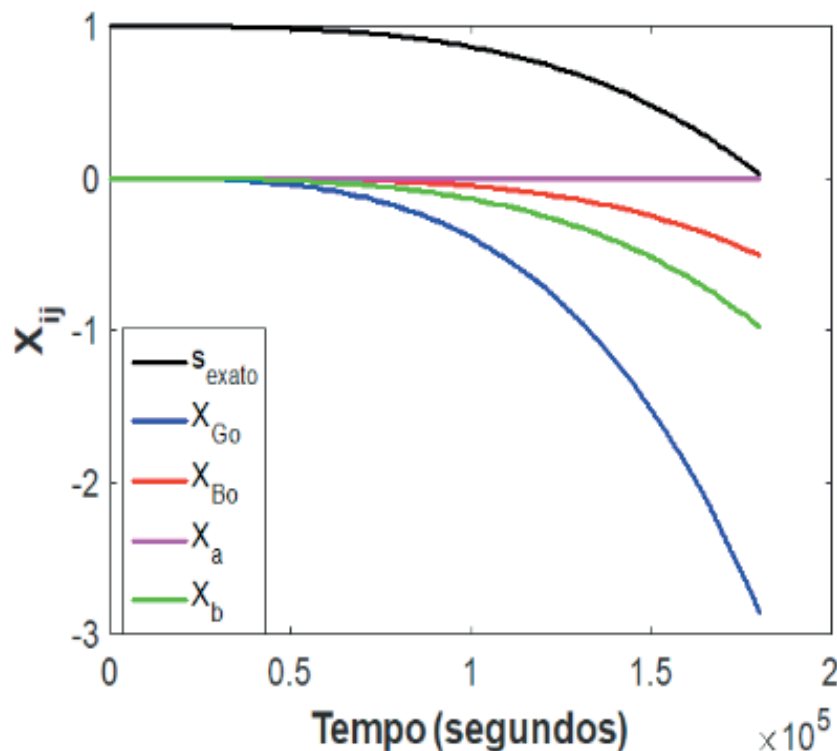


Figura 1: Análise do coeficiente de sensibilidade reduzido

Ao analisar a Figura 1 verifica-se que os coeficientes reduzidos referentes aos

parâmetros G_0 , B_0 e b apresentam independência linear e considerável magnitude em relação a S_{exato} , enquanto que o coeficiente de sensibilidade do parâmetro a , X_a , apresenta magnitude quase nula. Desta forma, espera-se estimar os parâmetros G_0 , B_0 e b simultaneamente.

As estimativas do modelo proposto por Bekker e Livk com a Técnica de Monte Carlo via Cadeia de Markov (MCMC) foram realizadas ao estimar os parâmetros G_0 , B_0 e b . A geração de parâmetros candidatos foi realizada por meio de um passeio aleatório com distribuição Gaussiana com média igual ao parâmetro do estado anterior e desvio padrão igual ao passo do procura, $w = 8 \times 10^{-3}$, vezes o parâmetro do estado anterior.

A análise da influência da incerteza nas medidas foi realizada com 3 valores: 1%, 5% e 10% da variável de estado Y . Em relação a distribuição de probabilidade a priori considerou-se uma distribuição Gaussiana com média igual ao valor do parâmetro de referência e desvio padrão igual a 10% do valor do parâmetro. A seguir são mostradas na Figura 2 as evoluções das cadeias de Markov para os parâmetros do modelo.

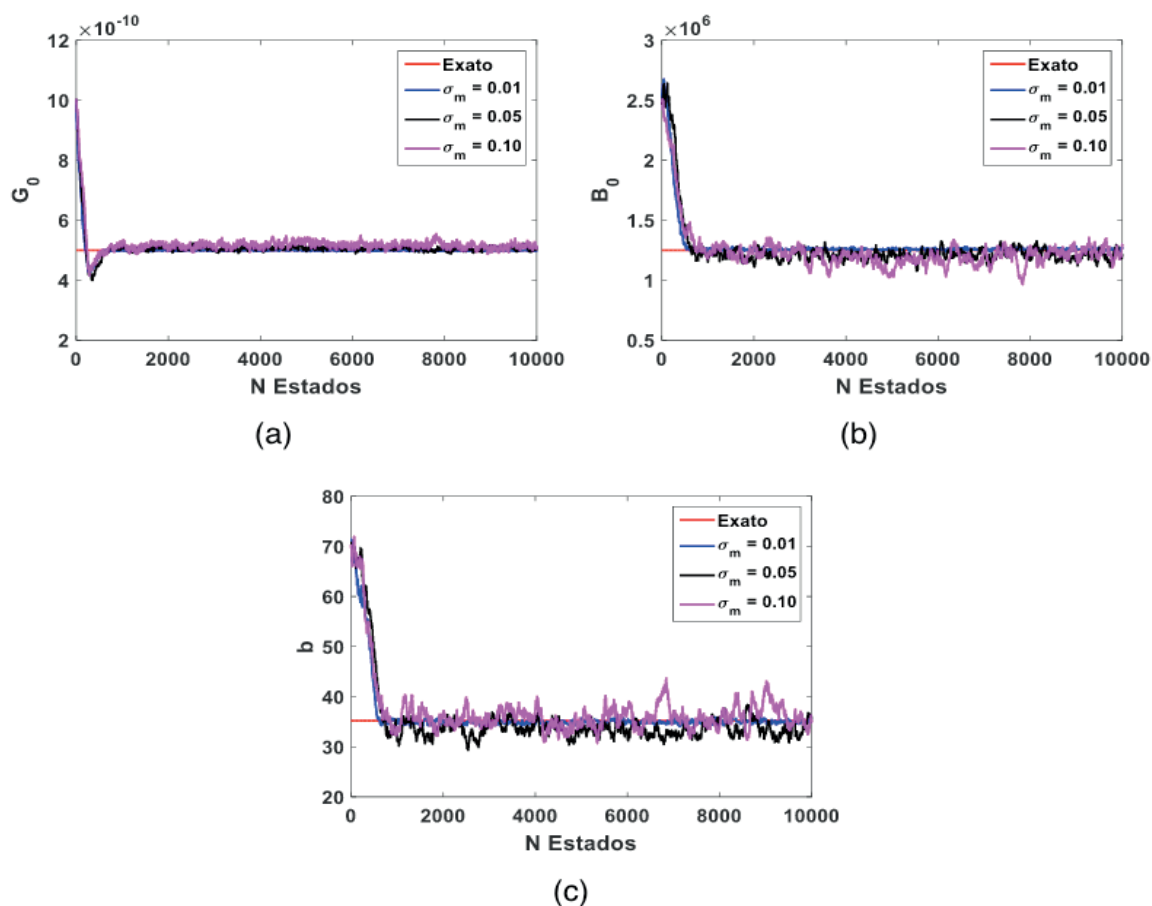


Figura 2: Evolução das cadeias de Markov para diferentes desvios de medida para os parâmetros (a) G_0 , (b) B_0 e (c) b .

Ao analisar a Figura 2 pode-se inferir que houve boas estimativas para todos os desvios de medida analisados, visto que a convergência das cadeias ocorre em valores muito próximos aos valores de referência. Verificou-se também que para os

três parâmetros estimados os estados de aquecimento da cadeia permanecem os mesmos para cada desvio, chegando-se a conclusão que as incertezas na medida não afetam os estados de aquecimento da cadeia.

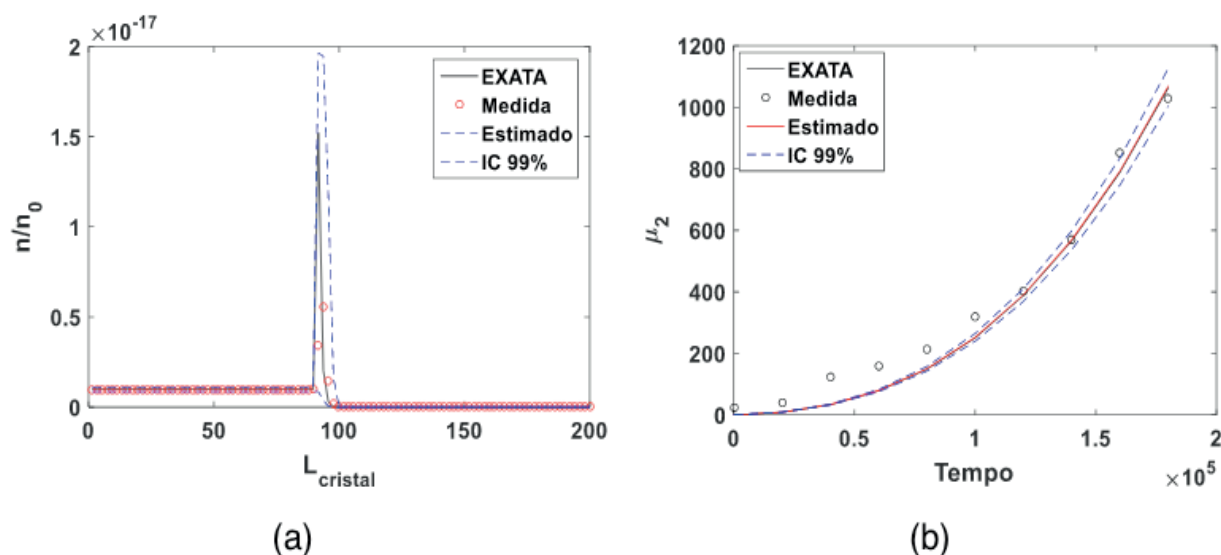
Outra análise a ser feita quanto a influência da incerteza das medidas nas estimativas é a avaliação da média e intervalo de credibilidade das distribuições a posteriori dos parâmetros estimados. Na Tabela 2, analisou-se essa influência para um desvio de medida de 1%, 5% e 10%

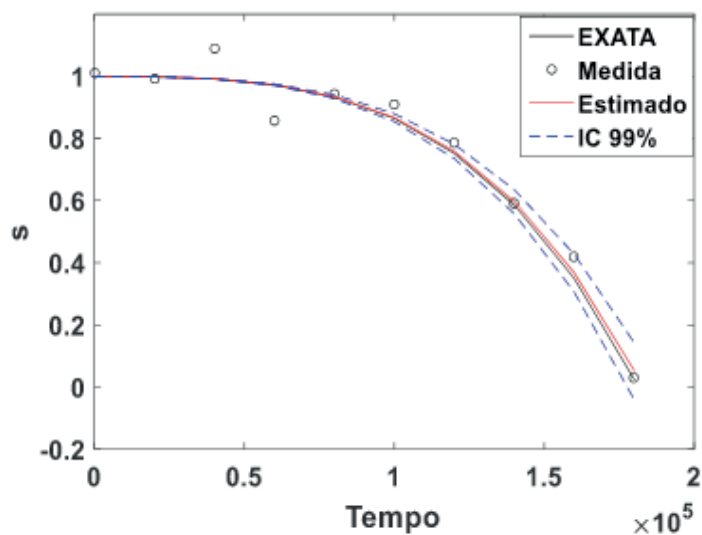
θ^T	Valor Exato (Unidade)	$\sigma_m = 1\% \times Y$	$\sigma_m = 5\% \times Y$	$\sigma_m = 10\% \times Y$
G_0 ($\times 10^{-10}$)	5 (m/s)	4,99 (4,96 , 5,02)	5,05 (4,90 , 5,21)	5,17 (4,91 , 5,46)
B_0 ($\times 10^6$)	1,25 ($m^{-3} \cdot s^{-1}$)	1,26 (1,24 , 1,28)	1,21 (1,11 , 1,31)	1,20 (1,01 , 1,34)
b	35,2	34,94 (34,11 , 35,88)	33,59 (30,30 , 37,81)	35,91 (31,41 , 42,26)

Tabela 2: Análise da influência das incertezas das medidas nas estimativas de parâmetros para, $\sigma_m = 1\% \times Y$, $\sigma_m = 5\% \times Y$ e $\sigma_m = 10\% \times Y$

A Tabela 2 mostra que para os 3 desvios de medida analisados houve excelente estimativas, uma vez que os valores estimados se apresentam muito próximos dos valores exatos. Além disso, os intervalos de credibilidade de 99% são pequenos, reforçando que as estimativas foram muito boas.

A última análise a ser feita é quanto a influência da incerteza das medidas para as estimativas das variáveis de estado do modelo, comparando as medidas com as soluções estimadas e os intervalos de credibilidade. Os gráficos com as estimativas da variável de estado $n(L, t)$, $\mu_2(t)$, e $s(t)$ para o caso de incerteza na medida de 5% são apresentado na Figura 3.





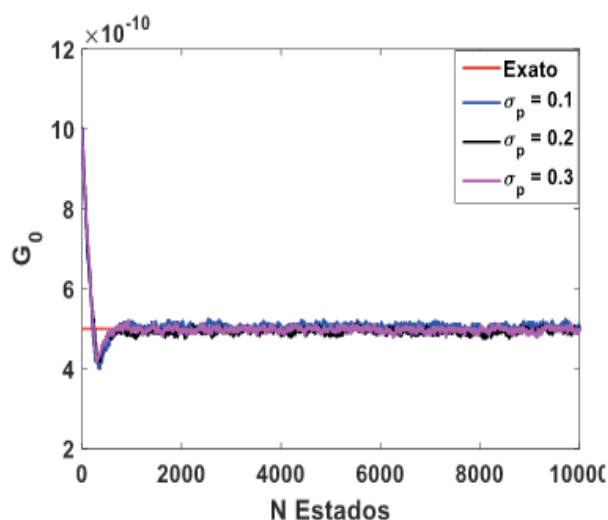
(c)

Figura 3: Gráfico da influência de s nas estimativas das variáveis de estado para (a) , (b) e (c)

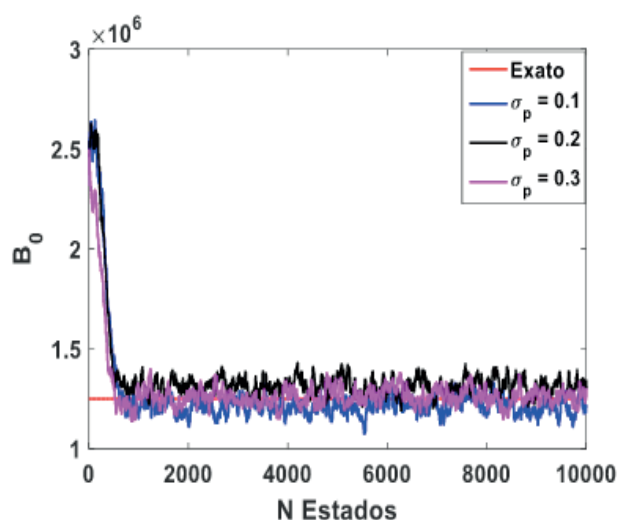
Nota-se graficamente que para os casos analisados os resultados foram bem satisfatórios, visto que os valores das variáveis de estado estimadas tiveram boa concordância com as medidas simuladas e o intervalo de credibilidade.

Outra análise realizada para verificação do mesmo modelo pela técnica MCMC foi a influência do desvio padrão nas estimativas. Essa análise foi realizada para 3 valores: 10% , 20% e 30%. Considerou-se uma distribuição Gaussiana com média igual ao valor do parâmetro e desvio da medida igual a 5% do valor da variável de estado.

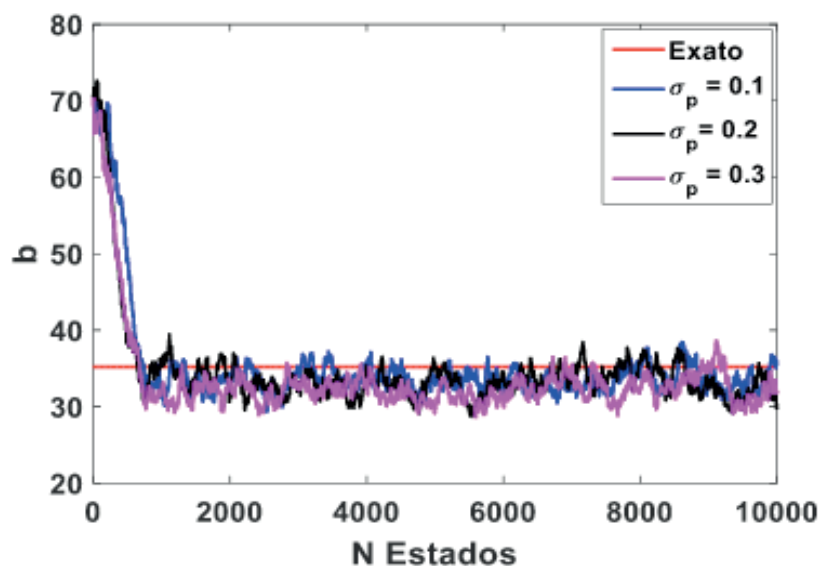
A seguir são mostradas na Figura 4 as evoluções das cadeias de Markov.



(a)



(b)



(c)

Figura 4: Evolução das cadeias de Markov para diferentes desvios-padrões para os parâmetros (a) G_0 , (b) B_0 e (c) b .

Ao analisar a Figura 6 pode-se inferir que houve boas estimativas para todos os desvios de medida analisados, visto que a convergência das cadeias ocorre em valores muito próximos aos valores de referência. Foi também analisada a influência da incerteza do desvio-padrão nas estimativas. Na Tabela 5, analisou-se essa influência para um desvio padrão de 10%, 20% e 30%

θ^T	Valor Exato (Unidade)	$\sigma_p = 10\%$	$\sigma_p = 20\%$	$\sigma_p = 30\%$
G_0 ($\times 10^{-10}$)	5 (m/s)	5,06 (4,90 , 5,21)	4,93 (4,77 , 5,10)	4,98 (4,82 , 5,12)
B_0 ($\times 10^6$)	1,25 ($m^{-3} \cdot s^{-1}$)	1,21 (1,11 , 1,32)	1,31 (1,22 , 1,41)	1,26 (1,16 , 1,37)
b	35,2	33,58 (30,30 , 37,81)	33,23 (29,16 , 37,74)	32,21 (29,11 , 37,22)

Tabela 3: Análise da influência das incertezas no desvio padrão nas estimativas de parâmetros para $\sigma_p=10\%$

A Tabela 3 mostra que para os desvios padrão analisados houve excelente estimativas, demonstrando precisão, dado que os valores estimados estiveram dentro do intervalo de credibilidade de 99% , e acuracia, uma vez que os valores estimados se apresentam muito próximos dos valores exatos.

Por fim, é realizada a análise das estimativas das variáveis de estado, comparando as medidas com as soluções estimadas e os intervalos de credibilidade. Os gráficos com as estimativas das variáveis de estado , $n(L,t)$, $\mu_2(t)$ e $s(t)$ para um desvio padrão de 10% são apresentados na Figura 5. Observa-se que para os casos analisados os

resultados foram bem satisfatórios, visto que os valores da variável de estado estimativa tiveram boa concordância com as medidas simuladas e o intervalo de credibilidade.

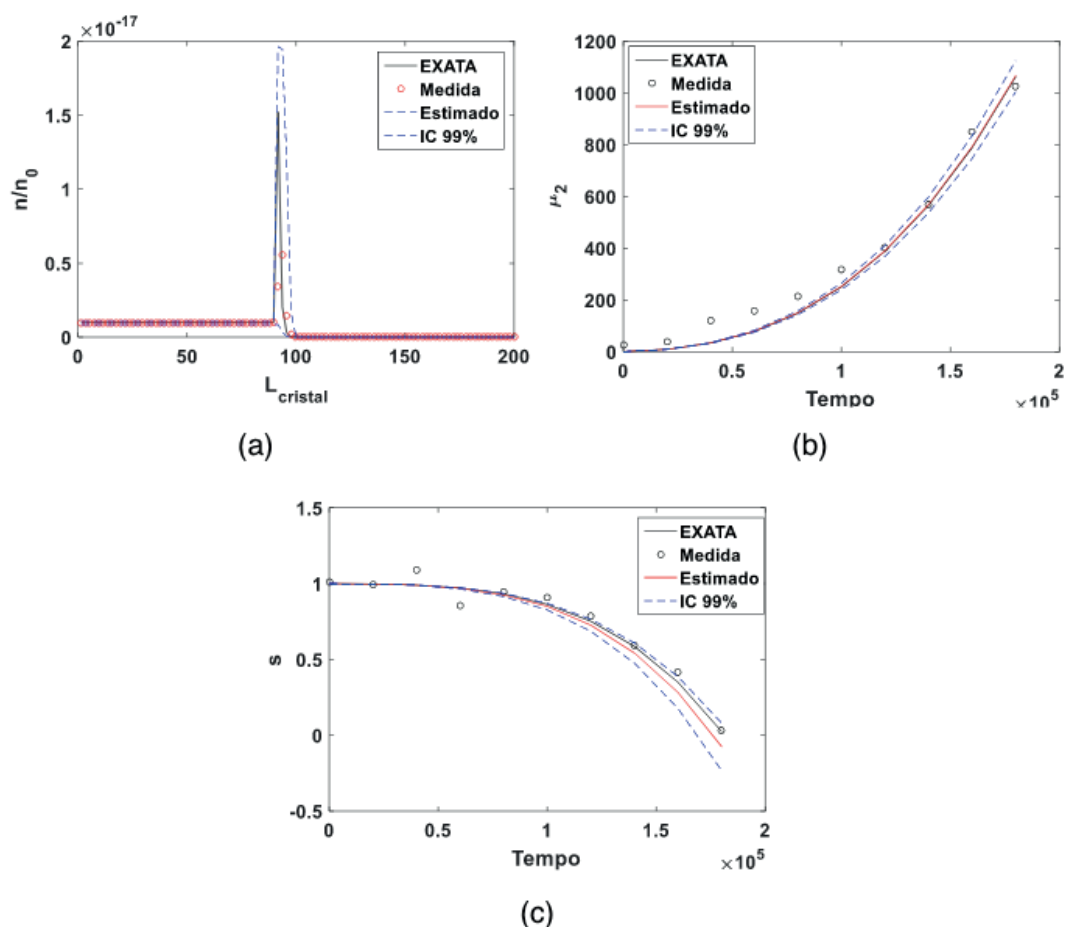


Figura 5: Gráfico da influência de $\sigma_p=10\%$ nas estimativas das variáveis de estado para (a) n/n_0 , (b) $\mu_2(t)$ e (c) $s(t)$

5 | CONCLUSÃO

O trabalho apresentou a aplicação da técnica bayesiana de Monte Carlo via Cadeia de Markov para estimar os parâmetros do modelo de balanço populacional para cristalização de gibbsita. Inicialmente foi realizada a análise do coeficiente de sensibilidade reduzido, onde constatou-se que os parâmetros G_0 , B_0 e b (modelo de Bekker e Livk) poderiam ser estimados. Os casos estudados para aplicação do MCMC foram para analisar a influência da incerteza da medida e do desvio padrão. Verificou-se que em todos os cenários houve precisão e acurácia na estimativa dos parâmetros. Além dos parâmetros, verificou-se que as variáveis de estados estimadas e medidas houve boa concordância. Desta maneira, mostrando que a técnica de Monte Carlo via Cadeia de Markov é capaz de estimar os parâmetros dos modelos de balanço populacional estudado neste trabalho.

Agradecimento às agências de fomento FAPESPA, CAPES e CNPq que financiaram esse trabalho

6 | NOMENCLATURA

a	Coeficiente do balanço de massa, m^3
b	Coeficiente do balanço de massa, adimensional
B_0	Taxa de nucleação constante, $m^{-3}.s^{-1}$
G_0	Taxa de crescimento constante, m/s
$n(L, t)$	Densidade de tamanho de cristais, m^{-4}
n_0	Densidade de tamanho de cristais inicial, m^{-4}
L_0	Comprimento inicial, m
L_{medio}	Comprimento médio, m
L_{min}	Comprimento mínimo do cristal, m
L_{max}	Comprimento máximo do cristal, m
$s(t)$	Supersaturação relativa
t_{end}	Tempo final, s

LETRAS GREGAS

$\mu_2(t)$	Segundo momento de distribuições de tamanho do cristal, $m^2. m^{-3}$
θ	Vetor de parâmetros

REFERÊNCIAS

- BATISTA, C. S. **Solução de equações de balanço populacional usando a técnica da transformada de Laplace e filtro de partículas**. PRODERNA/UFPA - Belém - PA, 220p. (tese de doutorado).2011
- BEKKER, A. V., & LIVK, I. **An implicit FEM solution of a PBE model of gibbsite crystallization with constant and nonlinear kinetics**. Industrial and Engineering Chemistry Research, 50(8), 4641–4652. 2011
- BESENHARD, M. O., CHAUDHURY, A., VETTER, T., RAMACHANDRAN, R., & KHINAST, J. G. **Evaluation of Parameter Estimation Methods for Crystallization Processes Modeled via Population Balance Equations**. Chemical Engineering Research and Design, 94, 275–289. 2015
- EHLERS, R.S **Introdução à Inferência Bayesiana, Departamento de Estatística, Universidade Federal do Paraná.**(2007)
- GEORGIEVA, P., MEIRELES, M. J., & FEYO DE AZEVEDO, S. **Knowledge-based hybrid modelling of a batch crystallisation when accounting for nucleation, growth and agglomeration phenomena**. Chemical Engineering Science, 58(16), 3699–3713.(2003)
- KAPIO, J.P., SOMERSALO, E. Computational and Statistical Methods for Inverse Problems, Springer, Berlin (2004)
- MARCHISIO, D. L., PIKTURNA, J. T., FOX, R. O., VIGIL, R. D., SCIENZA, D., TORINO, P., & DUCA, C. **Quadrature Method of Moments for PBE**. AIChE journal, 49(5), 1266-1276.(2003).
- ORLANDE, H.R.B., COLAÇO, M.J., COTTA, C.P.N., GUIMARÃES, G., BORGES, V.L.B. **Problemas Inversos em Transferência de Calor. Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional**, São Carlos, vol. 51, Sp, Brasil. 2011.
- RAVENZWAAIJ, D.V. **A simple introduction to Markov Chain Monte–Carlo sampling**. Psychonomic Bulletin & Review, 25, 143-154. (2018)
- TAN, S., FOX, C. & NICHOLLS, G. **Inverse Problems. Course Notes for Physics 707**, University of Auckland, Auckland, NZ. 2006.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aedes aegypti 181, 182, 189, 190, 191
Algoritmo 37, 49, 64, 65, 69, 76, 77, 78, 90, 92, 192, 197, 199, 201, 210
Análise do coeficiente de sensibilidade 66, 67, 78, 83, 91, 93
Atividade alelopática 164, 165, 166, 171
Atividade fitotóxica 173, 174

B

Balanço Populacional 59, 60, 61, 62, 63, 70, 73, 74, 75, 83, 84

C

Carvão mineral 26, 28, 32, 33, 220
Coeficiente de aglomeração 62, 63, 65, 66
Comportamento reológico 34, 36, 38, 40, 41, 42, 43
Concentrador solar 1, 3, 4, 5, 9, 11
Concentrador solar biangular 1, 3, 4, 11
Conselho Regional de Química 152, 153
Curva de ruptura 85, 86, 87, 89, 96, 97, 192, 194, 201, 202
Custos de produção 140, 141, 142, 143, 144, 145, 148, 150

E

Energia solar 1, 3, 5, 6, 10, 11
Energias renováveis 1, 2
Ensino 32, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 136, 137, 138, 139, 159, 160, 161, 162, 164, 173
Extração sólido-líquido 1, 2, 3, 4

F

Fibras de coco 100, 102, 103, 105, 106, 107, 109, 112, 113, 114, 115
Fiscalização do CRQ 152, 153

G

Gaseificação do carvão 26, 32

H

Hidrólise de matérias graxas 44, 45, 46, 56

I

Imobilização de lipase 12, 21, 23

J

Jogos didáticos 130, 131, 133, 134, 138

L

Larvicidal activity 181, 183, 186, 187, 190

Lixiviação 1, 2, 3, 5, 6

Lixiviação assistida por energia solar 5, 6

M

Maceração 40, 100, 101, 102, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 168

Modelo de balanço populacional 62, 63, 73, 83

Monte Carlo via Cadeia de Markov 59, 60, 64, 67, 70, 73, 74, 76, 79, 83, 85, 89, 97

O

Óleo de Baru 1, 6, 9, 10

Oxidação do tolueno 116, 121

P

Perda ao fogo 26, 27, 29, 30, 31, 32

Polpa de cupuaçu 34, 36, 37, 38, 40, 41, 42

Processo de adsorção 85, 86, 87, 89, 97, 192, 194

Q

Quiz educativo 159, 160, 161, 162

R

Reação de dupla troca 123, 125

Reamostragem por importância 192

Resíduo agroindustrial 12, 14

Resíduo agroindustrial do café 12

S

Simulador de processos 116, 117

Sistemas particulados 10, 59, 60, 65, 70, 151

Superpro Designer 140, 141, 143, 144, 148, 150

Sustentabilidade 1, 114

T

Tabela Periódica 130, 131, 133, 134, 136, 137, 138, 139, 159, 160, 161, 163

Taxa de crescimento por coagulação 66

U

Unidade experimental de extração sólido-líquido 4

V

Variáveis de estado 44, 45, 47, 51, 54, 55, 56, 57, 74, 75, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 85, 192, 194, 196, 202, 203, 206, 210, 218, 224, 225, 227

 **Atena**
Editora

2 0 2 0