

# 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](http://www.atenaeditora.com.br)  
[contato@atenaeditora.com.br](mailto: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

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
EXTRAÇÃO SÓLIDO-LÍQUIDO DE ÓLEO DE BARU ASSISTIDA POR ENERGIA SOLAR	
Caroline Santos Silva Lucas Rodrigo Custódio Kássia Graciele dos Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5152024031</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>12</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5152024032</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>26</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5152024033</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>34</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5152024034</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>44</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5152024035</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>59</b>
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**

## 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

Data de aceite: 16/03/2020

### Samuel Conceição de Oliveira

(<http://lattes.cnpq.br/2041303049625571>)

UNESP – Universidade Estadual Paulista, FCF –  
Faculdade de Ciências Farmacêuticas, PPG-EBB  
– Programa de Pós-Graduação em Engenharia de  
Biomateriais e Bioprocessos  
Araraquara – SP.

### Arnaldo Sarti

(<http://lattes.cnpq.br/2460595811406704>)

UNESP – Universidade Estadual Paulista,  
CEMPEQC–IQ – Centro de Monitoramento  
e Pesquisa da Qualidade de Combustíveis,  
Biocombustíveis e Derivados de Petróleo –  
Instituto de Química, PPG-QUI – Programa de  
Pós-Graduação em Química  
Araraquara – SP.

**RESUMO:** Neste trabalho, avanços em um modelo matemático previamente desenvolvido para o bioprocessamento de remoção de sulfato de águas residuárias industriais em biorreator anaeróbico de leito fixo operado em bateladas sequenciais são apresentados. A principal contribuição foi a proposição de uma equação empírica para descrever o perfil temporal de concentração de  $H_2S$ , uma das principais variáveis a ser controlada no bioprocessamento devido à sua toxicidade aos microrganismos.

Os resultados obtidos mostraram que o modo de recirculação do meio reacional no biorreator (contínua ou intermitente) interfere nos valores dos parâmetros cinéticos das principais reações envolvidas no bioprocessamento (acidogênese, metanogênese e sulfetogênese) e que o modelo matemático descreve satisfatoriamente as tendências de comportamento das variáveis de estado modeladas. Analogamente, a equação empírica proposta para descrever os perfis temporais de concentração de  $H_2S$  mostrou-se adequada para este fim, representando de forma satisfatória o comportamento experimental desta variável. Finalizando, perspectivas futuras para novos avanços na modelagem matemática do bioprocessamento de remoção de sulfato são delineadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** modelagem matemática, remoção de sulfato, bioprocessamento, biorreator anaeróbico, leito fixo

RECENT ADVANCES AND FUTURE  
PERSPECTIVES ON THE MATHEMATICAL  
MODELING OF THE SULFATE REMOVAL  
PROCESS FROM INDUSTRIAL  
WASTEWATER IN FIXED BED ANAEROBIC  
BIOREACTOR OPERATED UNDER  
SEQUENTIAL BATCHES

**ABSTRACT:** In this work, advances in a previously developed mathematical model for the bioprocess of sulfate removal from

industrial wastewater in fixed bed anaerobic bioreactor operated in sequential batches are presented. The main contribution was the proposition of an empirical equation to describe the temporal profile of  $H_2S$  concentration, one of the main variables to be controlled in the bioprocess due to its toxicity to microorganisms. The results showed that the recirculation mode of the reaction medium (continuous or intermittent) in the bioreactor interferes on the kinetic parameter values of the main reactions involved in the bioprocess (acidogenesis, methanogenesis and sulfetogenesis) and that the mathematical model satisfactorily describes the trends of behavior of modeled state variables. Similarly, the empirical equation proposed to describe the temporal profiles of  $H_2S$  concentration was adequate for this purpose, satisfactorily representing the experimental behavior of this variable. Finally, future prospects for new advances in mathematical modeling of the sulphate removal bioprocess are outlined.

**KEYWORDS:** mathematical modeling, sulfate removal, bioprocess, anaerobic bioreactor, fixed bed

## 1 | INTRODUÇÃO

As descargas descontroladas diretas ou indiretas de águas residuárias contendo sulfato, em corpos receptores, podem prejudicar a qualidade das águas e interferir no ciclo natural do enxofre. Nas zonas anaeróbias, o íon sulfato é reduzido a sulfeto de hidrogênio, aumentando a demanda química de oxigênio e comprometendo o processo natural de autodepuração (SARTI et al., 2008). Dessa forma, os órgãos de controle ambiental têm exigido que as fontes emissoras de sulfato reduzam as concentrações desse ânion nas águas residuárias.

Processos físicos e químicos de remoção de sulfato incluem desde alternativas de menor custo, como precipitação com sais de cálcio, a processos mais caros como osmose reversa, eletrodialise e nanofiltração. Entretanto, os problemas apresentados por esses processos, especialmente quando as concentrações de sulfato a serem removidas são elevadas, têm motivado a busca por novas tecnologias de tratamento, dentre as quais aquelas baseadas em bioprocessos. Dependendo da concentração de sulfato na água residuária e das restrições legais para emissão do ânion, pode ser necessária a integração de processos físicos e químicos aos processos biotecnológicos visando a uma maior eficiência de tratamento (SARTI et al., 2008).

Bioprocessos anaeróbios são de grande interesse para a completa redução do sulfato em águas residuárias que não contêm doador de elétrons ou fonte de carbono em quantidades suficientes. Para essas águas, é necessária a adição de um doador de elétrons apropriado, cuja seleção deve levar em conta critérios econômicos e ambientais relativos à poluição residual gerada pela formação de subprodutos (SARTI et al., 2008). Baseado neste último critério, compostos orgânicos simples (etanol, metanol) ou gás de síntese (mistura de  $H_2$ ,  $CO$  e  $CO_2$ ) têm sido preferidos em detrimento de substratos orgânicos mais complexos (OLIVEIRA; SARTI, 2015).

Em anos recentes, os reatores para remoção de sulfato têm sido projetados com objetivo de maximizar a redução anaeróbia de sulfato. Na presença de sulfato, os microrganismos redutores de sulfato proliferam nos reatores, onde competem com microrganismos metanogênicos e microrganismos homoacetogênicos por substratos comuns tais como hidrogênio, acetato, etanol e metanol (SARTI et al., 2008).

A remoção biológica de sulfato de águas residuárias em sistemas de grande porte ainda está sob investigação uma vez que restam algumas incertezas quanto à estabilidade e à eficiência do processo quando realizado em escala ampliada. Neste contexto, modelos matemáticos tornam-se ferramentas úteis para a compreensão, a operação, a otimização e o controle de tais processos.

Sarti et al. (2010) propuseram um modelo matemático para o processo de remoção de sulfato em biorreator de leito fixo operado em bateladas sequenciais (ASBBR). No modelo, os perfis temporais de concentração de sulfato, do doador de elétrons (no caso etanol) e de produto intermediário (ácido acético expresso como AVT) são modelados a partir de um esquema simples de reações de primeira ordem proposto para o processo. Entretanto, a dinâmica de variação de uma das principais variáveis do processo, a concentração de  $H_2S$ , não é modelada, constituindo-se, assim, em um dos objetivos do presente trabalho. O outro objetivo é analisar a aplicabilidade do modelo aprimorado a dados do processo obtidos sob modo de recirculação intermitente do meio reacional, diferente do modo de recirculação contínuo para o qual o modelo original foi concebido e aplicado.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Procedimento Experimental

O efluente foi tratado em reator anaeróbio de leito fixo operado em bateladas sequenciais (ASBBR). O ASBBR (escala piloto) foi confeccionado em fibra de vidro ( $1,2\text{ m}^3$ ) e preenchido com leito fixo composto de fragmentos irregulares de carvão mineral (40 a 80 mm de diâmetro). A massa de carvão mineral usada para preenchimento do leito foi de 500 kg para um volume de reator de  $1,0\text{ m}^3$ , resultando em um volume de líquido de  $0,5\text{ m}^3$  e porosidade do leito de 50%. O volume destinado ao *headspace* no ASBBR foi de  $0,2\text{ m}^3$ , sendo o nível de líquido na parte acima do leito de carvão correspondente à metade deste volume ( $0,1\text{ m}^3$ ). Desta forma, o volume de líquido tratado por ciclo (batelada) foi de  $0,6\text{ m}^3$  ( $0,5 + 0,1\text{ m}^3$ ). A tubulação de saída do biogás foi imersa em um recipiente de 100 litros de capacidade, contendo solução alcalina de NaOH. A temperatura no reator foi mantida igual à do ambiente, em  $28 \pm 8\text{ }^\circ\text{C}$ .

A agitação da massa líquida no ASBBR foi promovida por recirculação ascendente do meio reacional usando-se uma bomba centrífuga operada a uma vazão de  $3,5\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ . Esta mesma bomba foi empregada para alimentação do reator (afluente) com líquido

proveniente do reservatório de 0,6 m<sup>3</sup>. O ciclo de operação do ASBBR, com duração de 48 h, compreendeu as etapas de alimentação (1 h), reação (46 h) e descarte (1 h). Na Figura 1 apresenta-se um fluxograma esquemático da operação do ASBBR.

O ASBBR foi inoculado com lodo anaeróbio e mantido em operação durante 30 ciclos, aumentando-se a concentração de sulfato de 0,25 para 0,5 g.L<sup>-1</sup> para adaptar a biomassa a estes níveis de concentração desse ânion. Esgoto sanitário foi utilizado como diluente da água residuária visando ajustar as concentrações de sulfato aplicadas ao reator. Nessa primeira fase, apenas esgoto doméstico foi utilizado como fonte orgânica para a redução do sulfato, atingindo-se eficiências de remoção da ordem de 99%. Posteriormente, o reator foi alimentado com águas residuárias contendo 1000 (20 ciclos), 2000 (8 ciclos) e 3000 mg SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>.L<sup>-1</sup> (12 ciclos). Nestas concentrações, o etanol foi utilizado como fonte orgânica para a redução do sulfato e o esgoto, apenas como diluente da água residuária a ser tratada. Após o reator atingir a estabilidade operacional (remoção de sulfato superior a 95%), foram monitorados os perfis temporais ao longo do ciclo, com coletas de amostras de efluente nas três condições pré-determinadas de concentração de sulfato, mantendo a agitação por recirculação contínua do meio durante a fase reacional. Em seguida, foram monitorados os perfis temporais para as concentrações de 1000 e 2000 mg SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>.L<sup>-1</sup>, com recirculação intermitente de meio reacional. Esta condição de recirculação intermitente era atingida alternando-se a bomba ligada por 1 hora e desligada por 4 horas, resultando em 12 horas de agitação na etapa de reação.

As amostras coletadas durante o monitoramento dos perfis temporais relativos às diferentes condições operacionais de concentração de sulfato e agitação foram analisadas para determinação de sulfato (método turbidimétrico) e sulfeto total dissolvido (método de azul de metileno). Os ácidos voláteis totais (AVT), expressos como ácido acético, foram analisados conforme metodologia descrita por Sarti et al. (2008) e o etanol por meio de cromatografia gasosa.

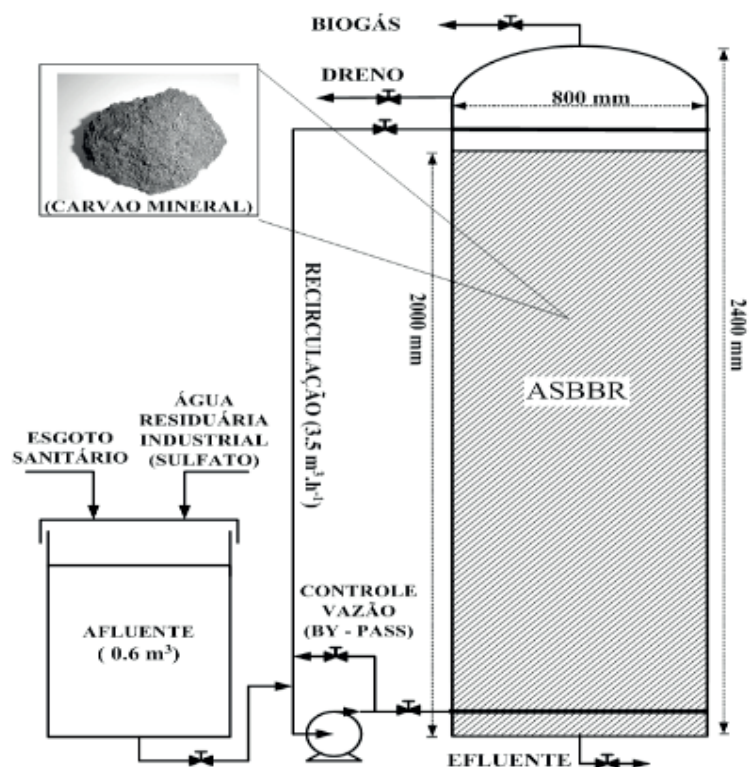
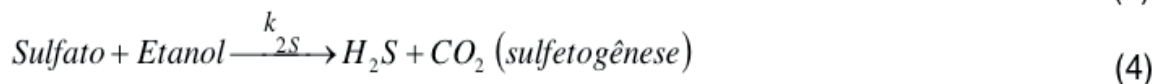
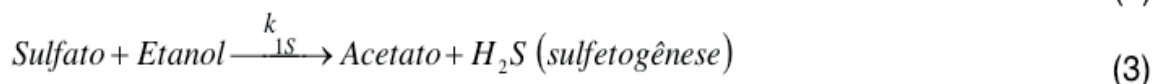
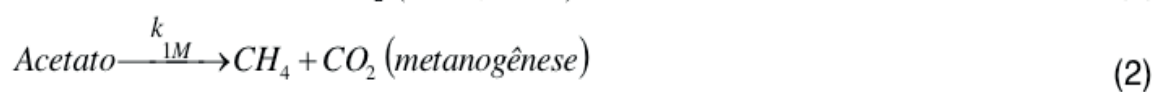
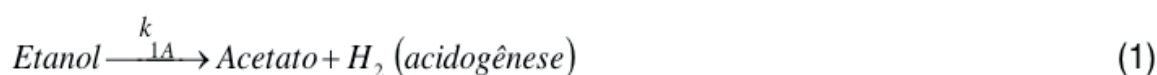


Figura 1 - Fluxograma esquemático da operação do reator ASBBR.

## 2.2 Modelo Matemático

A proposição do modelo matemático para o processo de tratamento baseou-se no esquema simplificado de rotas metabólicas específicas (reações bioquímicas) para acidogênese, metanogênese e sulfetogênese, na presença de etanol como fonte orgânica redutora do sulfato, e nos correspondentes balanços de massa das espécies reacionais mais importantes (Equações (1)-(8)).



$$\frac{d[\text{Sulfato}]}{dt} = -k_{1S}[\text{Sulfato}] - k_{2S}[\text{Sulfato}] - k_{3S}[\text{Sulfato}] \quad (6)$$

$$\frac{d[\text{Etanol}]}{dt} = -k_{1A}[\text{Etanol}] - k_{1S}[\text{Sulfato}] - k_{2S}[\text{Sulfato}] \quad (7)$$

$$\frac{d[\text{Acético}]}{dt} = +k_{1A}[\text{Etanol}] - k_{1M}[\text{Acético}] - k_{3S}[\text{Sulfato}] + k_{1S}[\text{Sulfato}] \quad (8)$$



Em concentrações específicas, o H<sub>2</sub>S produzido é tóxico para a maioria dos microrganismos envolvidos na degradação anaeróbia e sua acumulação no meio pode resultar em severa inibição da ação microbiana, levando à falha total do processo de tratamento (SÁ, 2011). A dinâmica de variação da concentração de H<sub>2</sub>S é complexa, consistindo de processos biológicos e físicos, tanto na fase aquosa, quanto na fase gasosa (LAHAV et al., 2004). A velocidade de cada um destes processos varia, dentre outros fatores, com as condições de escoamento (quando houver), intensidade de agitação, temperatura e pH (LAHAV et al., 2004). Desta forma, uma abordagem fenomenológica para modelar esta variável pode se tornar difícil devido à complexidade dos processos intervenientes em sua dinâmica de variação, sendo uma abordagem empírica bastante conveniente para este caso. Nesta linha, observa-se experimentalmente que a concentração de H<sub>2</sub>S exibe um comportamento de crescimento parabólico durante um dado período inicial de tempo seguido de um decaimento exponencial no período posterior. Assim, a concentração de H<sub>2</sub>S foi modelada empiricamente como um produto de duas funções no tempo  $f_1(t)$  e  $f_2(t)$ , as quais representam o comportamento desta variável em cada período separadamente, sendo:

$$f_1(t) = a_1 t^2 \quad (9)$$

$$f_2(t) = a_2 \exp(-\beta t) \quad (10)$$

$$[H_2S] = f_1(t)f_2(t) = (a_1 t^2)[a_2 \exp(-\beta t)] = (a_1 a_2) t^2 \exp(-\beta t) = \alpha t^2 \exp(-\beta t) ; \alpha = a_1 a_2 \quad (11)$$

Os parâmetros cinéticos das Equações (6)-(8) foram estimados separadamente daqueles da Equação (11). Em ambos os casos, os parâmetros foram estimados por regressão não linear utilizando-se o método de Marquardt (CONSTANTINIDES; MOSTOUFI, 1999). Para a integração numérica das Equações (6)-(8) utilizou-se o método de Runge-Kutta-Gill de 4ª ordem (CONSTANTINIDES; MOSTOUFI, 1999). Os parâmetros do modelo original, estimados a partir de dados relativos ao modo contínuo de recirculação de meio reacional, foram reestimados devido à forma de cálculo dos resíduos ter sido modificada neste trabalho. A função minimizada durante a etapa de ajuste de parâmetros foi a somatória dos quadrados dos resíduos entre os valores experimentais e os respectivos valores calculados pelo modelo.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Modelagem Matemática

De acordo com os dados apresentados na Tabela 1, o modo de recirculação interfere nos valores dos parâmetros uma vez que estes podem incorporar efeitos

de transferência de massa, os quais são fortemente dependentes das condições de mistura (agitação) no sistema. Além disso, os parâmetros podem variar devido à prevalência da atividade sulfetogênica sobre a metanogênica durante a operação do reator em bateladas sequenciais com o progressivo aumento da concentração inicial de sulfato, o que explica a não ocorrência de algumas reações metabólicas postuladas no modelo devido à inibição verificada em certas condições operacionais de alimentação de sulfato.

Não foi possível estimar um único conjunto de parâmetros para todos os ensaios simultaneamente devido ao ajuste do modelo não ter sido satisfatório quando isso foi feito. Embora os parâmetros pré-exponencial ( $\alpha$ ) e exponencial ( $\beta$ ) possam estar fortemente correlacionados em expressões do tipo da Equação (11), o declínio nos valores destes parâmetros no ensaio de recirculação contínua a  $[\text{SO}_4^{2-}]_0 = 3000 \text{ mg/L}$  é principalmente atribuído a fenômenos de inibição do processo que ocorrem nesta condição de operação.

Recirculação	$k_{1S}$ ( $\text{h}^{-1}$ )	$k_{2S}$ ( $\text{h}^{-1}$ )	$k_{3S}$ ( $\text{h}^{-1}$ )	$k_{1A}$ ( $\text{h}^{-1}$ )	$k_{1M}$ ( $\text{h}^{-1}$ )	$\alpha$ ( $\text{mgL}^{-1}\text{h}^{-2}$ )	$\beta$ ( $\text{h}^{-1}$ )
<b>Contínua</b>							
$\text{SO}_4^{2-}$ : 1000mg/L	0.13749	0.019424	0.034571	0.00000	0.077889	3.1626	0.12555
$\text{SO}_4^{2-}$ : 2000mg/L	0.091702	0.01765	0.002866	0.00000	0.042548	3.7229	0.12693
$\text{SO}_4^{2-}$ : 3000mg/L	0.063468	0.00000	0.013934	0.00000	0.00000	2.3583	0.080363
<b>Intermitente</b>							
$\text{SO}_4^{2-}$ : 1000mg/L	0.10409	0.00000	0.014199	0.0021556	0.0028854	1.3693	0.072978
$\text{SO}_4^{2-}$ : 2000mg/L	0.071657	0.00000	0.0076976	0.00000	0.00000	2.1005	0.093043

Tabela 1 - Valores estimados dos parâmetros do modelo matemático para o processo de remoção de sulfato em biorreator anaeróbio de leito fixo operado em bateladas sequenciais

Nas Figuras 2 e 3 estão apresentados os perfis experimentais e calculados das variáveis de estado para as diferentes condições de concentração de sulfato na alimentação e de recirculação do meio reacional. Observa-se que, para as diversas condições operacionais aplicadas ao biorreator, o modelo descreve satisfatoriamente as tendências de comportamento das variáveis de estado modeladas. Com relação à equação empírica proposta para descrever o perfil temporal da concentração de  $\text{H}_2\text{S}$ , esta se mostrou adequada para este fim, fornecendo bons ajustes aos dados experimentais desta variável.

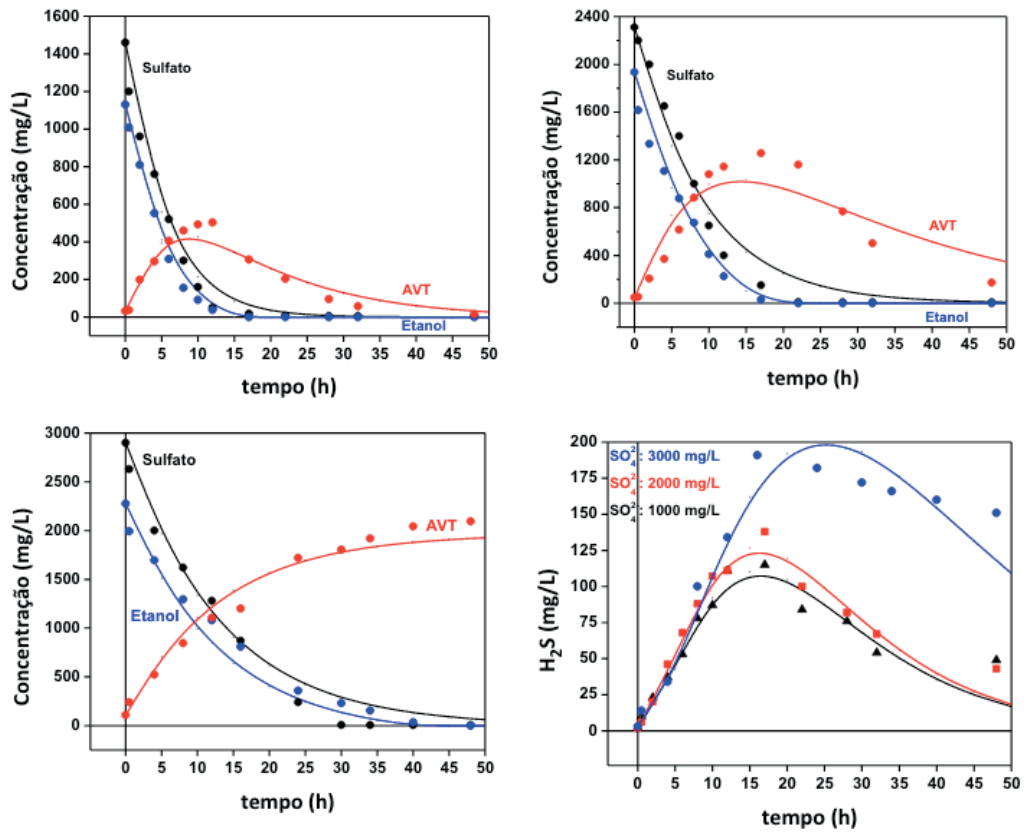


Figura 2 - Perfis experimentais e calculados das variáveis de estado para diferentes concentrações de sulfato na alimentação e recirculação contínua do meio reacional.

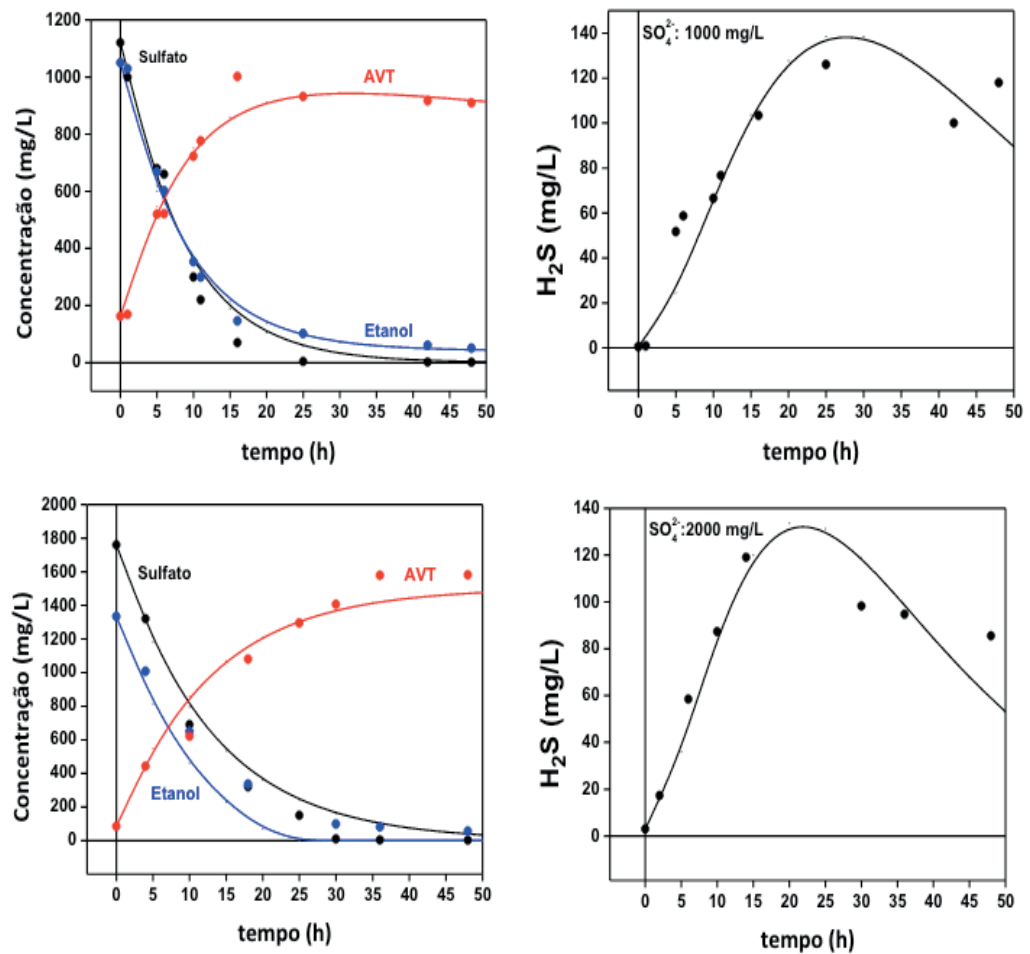


Figura 3 - Perfis experimentais e calculados das variáveis de estado para diferentes concentrações de sulfato na alimentação e recirculação intermitente do meio reacional.

### 3.2 Perspectivas Futuras

As perspectivas futuras para novos avanços na modelagem matemática do bioprocessamento de remoção de sulfato em ASBRR aqui apresentadas baseiam-se na aplicação da abordagem fenomenológica para descrever a taxa de variação temporal da concentração de  $H_2S$  no biorreator. Diferentes formulações, levando em conta os processos de produção e consumo de  $H_2S$ , podem ser propostas como aquelas dadas pelas Equações (12) a (15). Nestas formulações, o termo de produção refere-se à geração de  $H_2S$ , a partir do sulfato, por todas as reações de sulfetogênese, incluindo as reações incompleta (Equação (3)) e completa (Equações (4) e (5)) enquanto que o termo de consumo difere para cada formulação apresentada.

$$\frac{d[H_2S]}{dt} = (k_{1S} + k_{2S} + k_{3S})[Sulfate] - k_r[H_2S] \quad (12)$$

$$\frac{d[H_2S]}{dt} = (k_{1S} + k_{2S} + k_{3S})[Sulfate] - k_r[H_2S]^n \quad (13)$$

$$\frac{d[H_2S]}{dt} = (k_{1S} + k_{2S} + k_{3S})[Sulfate] - k_L a ([H_2S] - [H_2S]^*) \quad (14)$$

$$\frac{d[H_2S]}{dt} = (k_{1S} + k_{2S} + k_{3S})[Sulfate] - k_L a ([H_2S] - [H_2S]^*)^n \quad (15)$$

Na primeira formulação, Equação (12), o termo de consumo é representado por uma cinética de 1ª ordem. Na segunda formulação, Equação (13), este termo é dado por uma equação do tipo lei de potência, sendo  $n$  um parâmetro modulador do decaimento da concentração de  $H_2S$ . Na terceira formulação, Equação (14), considera-se que a remoção de  $H_2S$  da fase líquida ocorre por um processo de transferência de massa entre as fases líquida e gasosa. A quarta formulação, Equação (15), é uma variante da terceira uma vez que introduz um parâmetro  $n$  para modular a força motriz da transferência de massa entre as fases.

Nestas formulações,  $k_r$  é um parâmetro que incorpora todos os possíveis processos de remoção de  $H_2S$  da fase líquida,  $k_L a$  é o coeficiente volumétrico de transferência de  $H_2S$  da fase líquida para a fase gasosa e  $[H_2S]^*$  é a concentração de saturação de  $H_2S$  na fase líquida.

A discriminação entre qual destas formulações é a melhor para descrever a concentração de  $H_2S$  dependerá da qualidade do ajuste do modelo completo do bioprocessamento (Equações (6) a (8) e Equação (12), (13), (14) ou (15)) e dos valores dos parâmetros fornecidos por cada uma das formulações, devendo os parâmetros possuírem significado físico, isto é, não serem negativos e nem assumirem valores irreais.

## 4 | CONCLUSÕES

Baseado nos resultados obtidos neste trabalho, as seguintes conclusões podem ser realizadas:

(i) o modo de recirculação contínuo ou intermitente do meio reacional interfere nos valores dos parâmetros cinéticos do modelo proposto;

(ii) o modelo proposto descreveu satisfatoriamente a tendência de comportamento das variáveis de estado nas diversas condições operacionais praticadas no sistema de tratamento;

(iii) a equação proposta para descrever a concentração de  $H_2S$  mostrou-se adequada para esta finalidade, embora sendo de natureza empírica e, portanto, de validade restrita ao intervalo de condições experimentais nas quais foi concebida;

(iv) as perspectivas futuras de novos avanços na modelagem matemática do bioprocessamento de remoção de sulfato em ASBBR estão direcionadas para a utilização da abordagem fenomenológica para descrever os perfis temporais de concentração de  $H_2S$  no interior do biorreator.

## REFERÊNCIAS

CONSTANTINIDES, A.; MOSTOUFI, N., 1999. **Numerical methods for chemical engineers with MATLAB applications**. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall PTR.

LAHAV, O.; LU, Y.; SHAVIT, U.; LOEWENTHAL, R.E., 2004. **Modeling hydrogen sulfide emission rates in gravity sewage collection systems**. J. Environ. Eng-ASCE 130(11), 1382-1389.

OLIVEIRA, S. C.; SARTI, A. **Avanços em um modelo matemático para o processo de remoção de sulfato em biorreator anaeróbio de leito fixo operado em bateladas sequenciais**. In: Anais do XX SINAFERM (Simpósio Nacional de Bioprocessos) e XI SHEB (Simpósio de Hidrólise Enzimática de Biomassa), Fortaleza, CE, 2015.

SÁ, L. M., 2011. **Modelagem matemática da formação e emissão do gás sulfídrico no tratamento de esgotos domésticos**. Dissertação (mestrado), Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, UFES.

SARTI, A.; SILVA, A.J.; CÔRTEZ, R.S.; FORESTI, E., 2008. **Remoção de sulfato de águas residuárias industriais em reator anaeróbio de leito fixo operado em bateladas sequenciais**. Eng. sanit. ambient. 15(1), 15-22.

SARTI, A.; POZZI, E.; CHINALIA, F. A.; ONO, A.; FORESTI, E., 2010. **Microbial processes and bacterial populations associated to anaerobic treatment of sulfate-rich wastewater**. Process Biochem. 45, 164-170.

## **SOBRE A ORGANIZADORA**

Ms. Jéssica Verger Nardeli: Possui graduação em Química Bacharel com Atribuições Tecnológicas pela Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD (2012), com Mestrado em Química pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Instituto de Química de Araraquara, SP (2014). Desenvolveu estágio de pesquisa no exterior durante o Mestrado e Doutorado na Universidade de Lisboa - Instituto Superior Técnico de Lisboa - IST, Lisboa, Portugal. Atualmente desenvolve Doutorado pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Instituto de Química de Araraquara, SP. Revisora dos periódicos indexados: *Corrosion* e *Advanced Engineering Forum*. Tem experiência na área de Química, Engenharia Química, Engenharia de Materiais com ênfase em Química de Materiais e Eletroquímica. Atualmente a autora tem se dedicado nos seguintes temas: revestimentos contra corrosão, revestimento orgânico, síntese, tratamento de superfície, polímeros, poliuretano, química verde, estudo eletroquímico, caracterização de superfície, caracterização eletroquímica convencional e localizada, revestimento self-healing, smart coating. Possui experiência nas técnicas: *Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR-ATR)*, *Optical Microscope - OM*, *Scanning Electron Microscopy - SEM*, *Adhesion tests*, *Raman*, *Nuclear Magnetic Resonance - NMR*, *Atomic Force Microscopy - AFM*, *Thermogravimetric Analysis - TGA*, *Electrochemical Impedance Spectroscopy - EIS*, *Localized Electrochemical Impedance Spectroscopy - LEIS* and *Scanning Vibrating Electrode Technique - SVET coupled with the Scanning Ion-selective Electrode Technique - SIET*.

## 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**