



# A Produção do Conhecimento na Engenharia Química 2

**Carmen Lúcia Voigt  
(Organizadora)**



# A Produção do Conhecimento na Engenharia Química 2

**Carmen Lúcia Voigt  
(Organizadora)**

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação:** Karine de Lima

**Edição de Arte:** Lorena Prestes

**Revisão:** Os Autores



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

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

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

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

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

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

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

### **Conselho Técnico Científico**

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

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

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

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

Formato: PDF  
 Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.  
 Modo de acesso: World Wide Web.  
 Inclui bibliografia  
 ISBN 978-85-7247-976-9  
 DOI 10.22533/at.ed.769203001

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

CDD 660.76

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

Atena Editora  
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

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

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

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

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

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

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

Bom estudo.

Carmen Lúcia Voigt

## SUMÁRIO

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

João Vitor Cabral Gonçalves  
Luana Tashima  
Ligia Marcondes Rodrigues dos Santos

**DOI 10.22533/at.ed.7692030017**

**CAPÍTULO 7 ..... 63**

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

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

**DOI 10.22533/at.ed.7692030018**

**CAPÍTULO 8 ..... 71**

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

Alexandre Mendes Muchon  
Karina Moraes Lima  
Alex Magalhães de Almeida

**DOI 10.22533/at.ed.7692030019**

**CAPÍTULO 9 ..... 77**

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

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

**DOI 10.22533/at.ed.76920300110**

**CAPÍTULO 10 ..... 85**

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

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

**DOI 10.22533/at.ed.76920300111**

**CAPÍTULO 11 ..... 97**

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

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

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

**DOI 10.22533/at.ed.76920300112**

**CAPÍTULO 12 ..... 108**

HIDROCARBONIZAÇÃO DE EFLUENTES DE UMA LAVANDERIA INDUSTRIAL

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

**DOI 10.22533/at.ed.76920300113**

**CAPÍTULO 13 ..... 115**

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

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

**DOI 10.22533/at.ed.76920300114**

**CAPÍTULO 14 ..... 123**

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

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

**DOI 10.22533/at.ed.76920300115**

**CAPÍTULO 15 ..... 128**

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

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

**DOI 10.22533/at.ed.76920300116**

**CAPÍTULO 16 ..... 136**

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

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

Aderjane Ferreira Lacerda  
Reimar de Oliveira Lourenço

**DOI 10.22533/at.ed.76920300117**

**CAPÍTULO 17 ..... 150**

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

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

**DOI 10.22533/at.ed.76920300118**

**CAPÍTULO 18 ..... 160**

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

Guilherme Ferreira da silva  
Kerilen Paola Teixeira de Castro

**DOI 10.22533/at.ed.76920300119**

**CAPÍTULO 19 ..... 172**

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE SABONETES LÍQUIDOS E EM BARRA

Vanessa Mendes Santos  
Amanda Dias Monteiro

**DOI 10.22533/at.ed.76920300120**

**CAPÍTULO 20 ..... 183**

MODELAGEM CINÉTICA DA CLORAÇÃO DO  $TA_2O_5$  COM  $C_2CL_4$

Rogério Navarro Correia de Siqueira  
Taiane Zocatelli  
Eduardo de Albuquerque Brocchi

**DOI 10.22533/at.ed.76920300121**

**SOBRE A ORGANIZADORA ..... 201**

**ÍNDICE REMISSIVO ..... 202**

## ESTUDO CINÉTICO DE DIFERENTES CULTIVARES DA BIOMASSA DO CAPIM ELEFANTE (*PENNISETUM PURPUREUM* SCHUM.)

Data de submissão: 04/11/2019.

Data de aceite: 21/01/2020

### Mayara de Oliveira Lessa

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química – PPGEQ, Centro de Tecnologia – CT, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 59078-970, Natal, RN, Brasil.

<http://lattes.cnpq.br/0034192248442586>

### Renata Martins Braga

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química – PPGEQ, Centro de Tecnologia – CT, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 59078-970, Natal, RN, Brasil.

<http://lattes.cnpq.br/4603529162393328>;

### Emerson Moreira de Aguiar

Escola Agrícola de Jundiá, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 59078-970, Macaíba, RN, Brasil.

<http://lattes.cnpq.br/3844922335813780>

### Marcus Antônio de Freitas Melo

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química – PPGEQ, Centro de Tecnologia – CT, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 59078-970, Natal, RN, Brasil.

<http://lattes.cnpq.br/5840621182000517>.

**RESUMO:** O Capim Elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) é uma das gramíneas mais importantes e difundidas em todas as regiões

tropicais e subtropicais do mundo. Espécies forrageiras tradicionais, tais como Capim Elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.), são úteis para a produção de calor, eletricidade, etanol e biogás (Scholl et al., 2015). Para este trabalho, avaliou-se os parâmetros cinéticos de três tipos de cultivares diferentes da biomassa, sendo: Capim Elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) cv. Mott (CEM), Capim Elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) cv. Roxo (CER) e Capim Elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) cv. Capiaçú (CEC). Foram utilizados os métodos de Flynn e Wall e Model Free Kinetics (Vyazovkin) para este estudo. Os métodos se adequaram bem as amostras de CEM e CER, apresentando valores de  $R^2$  acima de 0,9. Porém para o CEC, os modelos com ajuste linear não foram confiáveis para descrever os parâmetros cinéticos da amostra. PALAVRAS-CHAVE: Capim Elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.), Parâmetros cinéticos, Métodos não isotérmicos.

### KINETIC STUDY OF DIFFERENT CULTIVARS FROM ELEPHANT GRASS BIOMASS (*PENNISETUM PURPUREUM* SCHUM.).

**ABSTRACT:** Elephant Grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) is one of the most important and widespread grasses at tropical and subtropical regions of the world. Traditional forage species, such as Elephant Grass, are

useful for the production of heat, electricity, ethanol and biogas (Scholl et al., 2015). For this work, the kinetics parameters of three different cultivars of biomass were evaluated: Elephant Grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) Cv. Mott (MEG), Elephant Grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) Cv. Purple (REG) and Elephant Grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) Cv. Capiaçú (CEG). Flynn and Wall and Model Free Kinetics (Vyazovkin) methods were used for this study. The methods were well suited to the MEG and REG samples, presenting  $R^2$  values above 0.9, but for CEG, the two models with linear fit were not reliable to describe the kinetic parameters of the sample.

**KEYWORDS:** Elephant Grass (*Pennisetum purpureum* Schum.), Kinetic Parameters, Non-isothermal Methods.

## 1 | INTRODUÇÃO

O Capim Elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) é uma das gramíneas mais importantes e difundidas em todas as regiões tropicais e subtropicais do mundo.

Seu centro de origem é na África, entre 10° N e 20° S de Latitude, tendo sido descoberto em 1905 pelo coronel Napier, ocorrendo como espécie colonizadora natural em inúmeros países deste continente e foi introduzido no Brasil em 1920, vindo de Cuba. Hoje encontra-se difundido em quase todas as regiões brasileiras (Rodrigues et al., 2001), geralmente em áreas com precipitação pluvial superior a 1000 mm ao ano, porém o mais importante é sua distribuição ao longo do ano, por ser uma forrageira estacional, onde 70-80% de sua produção ocorre no período das águas (Vitor, 2006).

Espécies forrageiras tradicionais, tais como Capim Elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.), são úteis para a produção de calor, eletricidade, etanol e biogás (Scholl et al., 2015). Apresenta alta eficiência fotossintética, proporcionada por múltiplas colheitas anuais devido ao seu curto ciclo de produção (4 a 6 meses) e características qualitativas favoráveis, como elevado percentual de fibras e lignina e o alto poder calorífico (Quesada et al., 2005). Este capim tem uma alta produtividade em comparação com o eucalipto e cana de açúcar, produzindo cerca de 40 toneladas de matéria seca por hectare por ano (Woodard e Prine, 1993 e Somerville et al., 2010). Além disso, pode ser cultivada em diferentes tipos de solos, incluindo solos pobres não adequados para a agricultura e a produção de alimentos (Scholl et al., 2015).

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Preparação da amostra e processos experimentais

Resíduo seco das cultivares do Capim Elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) cv. Mott (CEM), Capim Elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) cv. Roxo (CER) e Capim Elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) cv. Capiaçú (CEC) foram coletadas na área experimental da Escola Agrícola de Jundiá (EAJ/UFRN), em Macaíba. Após ser recolhido, o resíduo de capim foi processado em um moinho de facas (Marconi

MA-430). Em seguida, o material foi separado por peneiramento e utilizou-se as frações de 200 Mesh para as análises de caracterizações. Um estudo termoanalítico foi conduzido pelos seguintes parâmetros: taxa de aquecimento de 10, 20 e 30 °C min<sup>-1</sup>, em um intervalo de temperatura de 25° a 900 °C, massa de biomassa de aproximadamente 10 mg e vazão de gás de arraste (nitrogênio) de 100 mL min<sup>-1</sup> em um balança termogravimétrica SDT Q600 da TA Instruments.

## 2.2 Estudos experimentais sobre cinética de biomassas encontrados na literatura

Braga et al. (2014) estudaram a cinética da pirólise do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) que foi pré-tratado por dois processos independentes, através da lavagem com água quente (W-EG) e solução de ácido (AW-EG) para melhorar suas propriedades energéticas e aplicá-lo em um processo de conversão termoquímica em combustível. As biomassas passaram por análise imediata e definitiva; e as cinéticas da pirólise, antes e após os pré-tratamentos, foram avaliadas pela energia de ativação aparente ( $E_a$ ) para decomposição na gama de temperaturas de maior matéria volátil através do “Model Free Kinetics” usando dados de análise termogravimétrica. Os pré-tratamentos foram eficientes no aumento da matéria volátil e do valor de aquecimento, diminuindo teor de cinzas e umidade, e melhorando seu poder energético para a aplicação no processo de pirólise rápida para a produção de bio-óleo.

Braga et al. (2014) avaliaram as diferenças entre biomassas com a finalidade de serem aplicadas como combustível para a produção de energia. O conhecimento dos parâmetros térmicos e cinética da biomassa no processo de conversão térmica é fundamental, bem como a sua caracterização química e física. Neste trabalho, a energia de ativação aparente necessária para quebrar os laços de hemiceluloses e celulose da casca de arroz e capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) durante a conversão térmica foi avaliada de acordo com os modelos cinéticos de Flynn e Wall e Model Free Kinetics desenvolvidos por Vyazovkin. A casca do arroz e a biomassa de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) foram caracterizados quanto à umidade, cinzas e matéria volátil por ASTM E871, ASTM E1755, ASTM E872, respectivamente, e carbono fixo por diferença. O percentual de carbono, hidrogênio, azoto, e oxigênio foram determinadas por análise final. O capim-elefante mostrou-se mais adequado para a produção de bio-óleo através de pirólise devido à maior percentagem de, menos teor de cinzas voláteis e menos energia necessária para quebrar os laços de hemicelulose e celulose de casca de arroz no processo de conversão térmica.

Fontes et al. (2014) estudou a cinética da pirólise térmica e catalítica usando o Ti-MCM-41 como catalisador, a fim de avaliar a eficiência da pirólise catalítica em comparação com a pirólise térmica do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). Os materiais sintetizados foram caracterizados por difração de raios X, espectroscopia no infravermelho, análise termogravimétrica e área específica pelo método BET,

para posterior aplicação no processo de pirólise de biomassa. Os modelos cinéticos propostos por Vyazovkin e Flynn-Wall foram utilizados para determinar a energia de ativação aparente envolvida na pirólise térmica e catalítica do capim-elefante e os resultados mostraram que o catalisador utilizado foi eficaz na redução da energia de ativação aparente envolvida na decomposição térmica de grama de elefante.

Osman et al. (2017) estudou a combustão e pirólise de *miscanthus* × giganteus (capim-elefante) usando técnicas de TG/DSC. Neste trabalho, as análises térmicas e cinéticas de *miscanthus* secos e seu carvão foram investigadas para uma melhor compreensão de suas características físico-químicas de combustão e, conseqüentemente, obtendo o maior benefício do processo de combustão. Diferentes modelagens cinéticas foram usadas para calcular a energia de ativação e os parâmetros cinéticos durante a combustão/pirólise, como os métodos ASTM-E698, Flynn-Wall e Ozawa (FWO) e métodos iso-conversacionais diferenciais. Observou-se que os valores de energia de ativação foram 22,3, 40-150 e 40-165 kJ mol<sup>-1</sup> para *miscanthus*, respectivamente. .

Silva (2017) avaliou os parâmetros cinéticos (energia de ativação, fator pré-exponencial e modelo de reação) do processo de pirólise do bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), além de observar as propriedades físico-químicas e térmicas deste resíduo. Para a avaliação dos parâmetros cinéticos da pirólise do bagaço de cana-de-açúcar foram utilizados os dados de perda de massa em cinco diferentes razões de aquecimento (2, 5, 10, 20 e 30 °C min<sup>-1</sup>) sob fluxo de nitrogênio (99,997%) aplicado, inicialmente, os métodos isoconversionais de Friedman, Flynn-Wall-Ozawa (FWO) e Kissinger-Akahira Sunose (KAS) para a obtenção dos valores de energia de ativação. Os parâmetros cinéticos avaliados a partir dos métodos isoconversionais demonstraram que dentre os três métodos utilizados o de KAS apresenta melhor aplicação devido aos parâmetros cinéticos apresentarem uma menor diferença quando comparado com os resultados experimentais.

### 2.3 Estudo cinético da decomposição das cultivares do Capim Elefante

A estimativa dos valores de energia de ativação (E<sub>a</sub>) em diferentes razões de aquecimento foi determinada pelos métodos não isotérmicos Model Free Kinetics (Vyazovkin) e Flynn e Wall (ASTM E 1641). Esses valores de energia de ativação são estimados a cada grau de conversão (α). Essa conversão pode ser definida a partir da equação:

$$\alpha = \frac{m_i - m_x}{m_i - m_f} \quad (1)$$

Onde: α – conversão; m<sub>i</sub> – massa inicial da amostra; m<sub>f</sub> – massa final da amostra; m<sub>x</sub> – massa que varia com o tempo (t) ou Temperatura (T).

### 2.3.1 Model Free Kinetics (Vyazovkin)

O método Model free Kinetics é baseado na teoria de Vyazovkin (Vyazovkin, 1996; Vyazovkin e Sbirrazzuoli, 1997 e Vyazovkin, 1999), e possibilita obter alguns parâmetros cinéticos para reações complexas. O modelo é fundamentado a partir de técnicas isoconversionais para o cálculo da energia de ativação efetiva (E) em função da conversão ( $\alpha$ ) da reação química,  $E=f(\alpha)$ . Neste método assume-se que:

$$\frac{d\alpha}{dt} = k(T)f(\alpha) \quad (2)$$

Onde: t – Tempo; T – Temperatura;  $\alpha$  – Conversão; k(T) – Coeficiente da taxa de reação de Arrhenius;  $f(\alpha)$  – Modelo de reação.

$$\frac{d\alpha}{dt} = A \exp\left(\frac{-E}{RT}\right) f(\alpha) \quad (3)$$

Onde R a constante universal dos gases. Porém a equação (2) é representativa para todo o processo. A partir da equação (4) a energia de ativação é calculada para cada conversão com base na inclinação das retas obtidas plotando-se  $\ln(\beta/T^2)$  em função de  $1/T$ . Método dos Mínimos Quadrados (Regressão Linear) é então utilizado para determinar os coeficientes  $a_0$  e  $a_1$ . A partir do coeficiente  $a_1$  é obtida a energia de ativação ( $-E\alpha/R$ ). Sendo a equação da reta  $y = a_0 + a_1.x$ .

$$\ln \frac{\beta}{T_\alpha^2} = \ln \left[ \frac{R \cdot A}{E_\alpha \cdot g(\alpha)} \right] - \frac{E_\alpha}{R_\alpha} \cdot \frac{1}{T_\alpha} \quad (4)$$

### 2.3.2 Modelo de Flynn e Wall

Estudos cinéticos, utilizando o modelo proposto por Flynn e Wall (1966), foram desenvolvidos através de dados da análise termogravimétrica com o intuito de ser avaliada a energia de ativação aparente envolvida na quebra das ligações dos biopolímeros (hemicelulose e celulose) constituintes das amostras de capim (CE, CEL e CELix). A faixa de perda de massa selecionada para os estudos cinéticos refere-se à decomposição hemicelulose + celulose (holocelulose), que corresponde ao maior teor de voláteis da amostra. O modelo é apresentado pela equação:

$$\frac{d\alpha}{dT} = \left(\frac{A}{\beta}\right) f(\alpha) \exp\left(\frac{-E}{RT}\right) \quad (5)$$

Onde:  $\alpha$  – conversão;  $T$  – temperatura absoluta;  $A$  – fator pré-exponencial da equação de Arrhenius;  $\beta$  – taxa de aquecimento constante;  $E$  – Energia de ativação;  $R$  – Constante dos gases (8,314 J/mol).

$$Ea = \frac{-R}{b} \frac{d \log \beta}{d (1/T)} \quad (6)$$

A energia de ativação do modelo Flynn-Wall é dada por:

Onde:  $b$  = constante assumindo  $n=1$ ;  $\beta$  = taxa de aquecimento ( $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ );  $T$  = temperatura de perda de massa ( $^{\circ}\text{C}$ ).

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Estudo cinético

##### 3.1.1 Conversão ( $\alpha$ )

As curvas de conversão versus temperatura para as amostras de CEM, CER e CEC com as taxas de aquecimento de 10, 20 e 30  $^{\circ}\text{C min}^{-1}$ , são apresentadas nas Figuras 3.1, 3.2 e 3.3 a seguir.

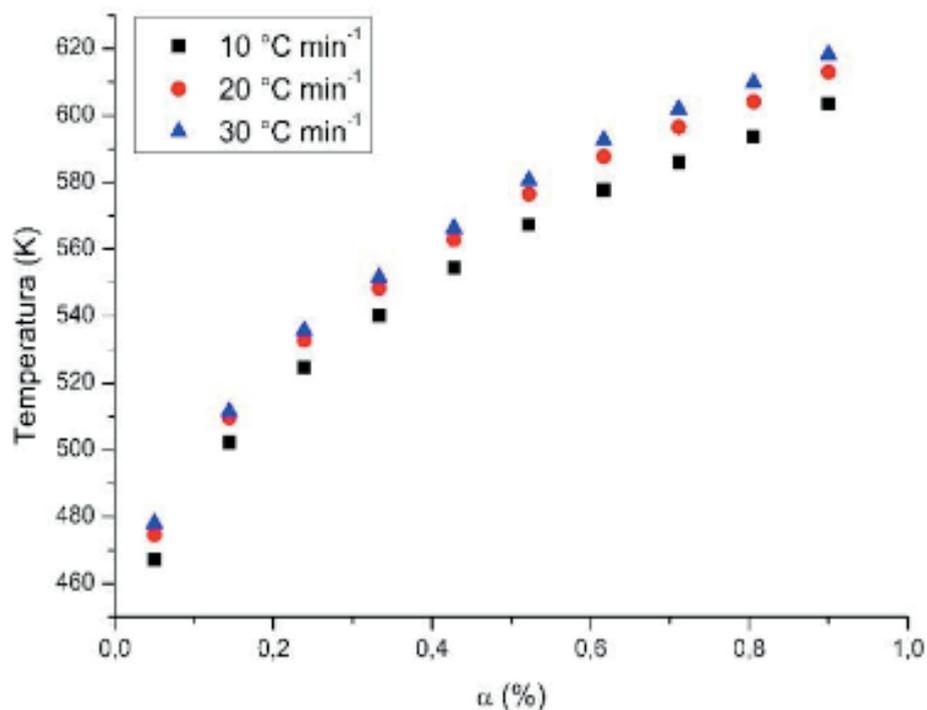


Figura 3.1. Curvas de conversão em função da temperatura para o CEM.

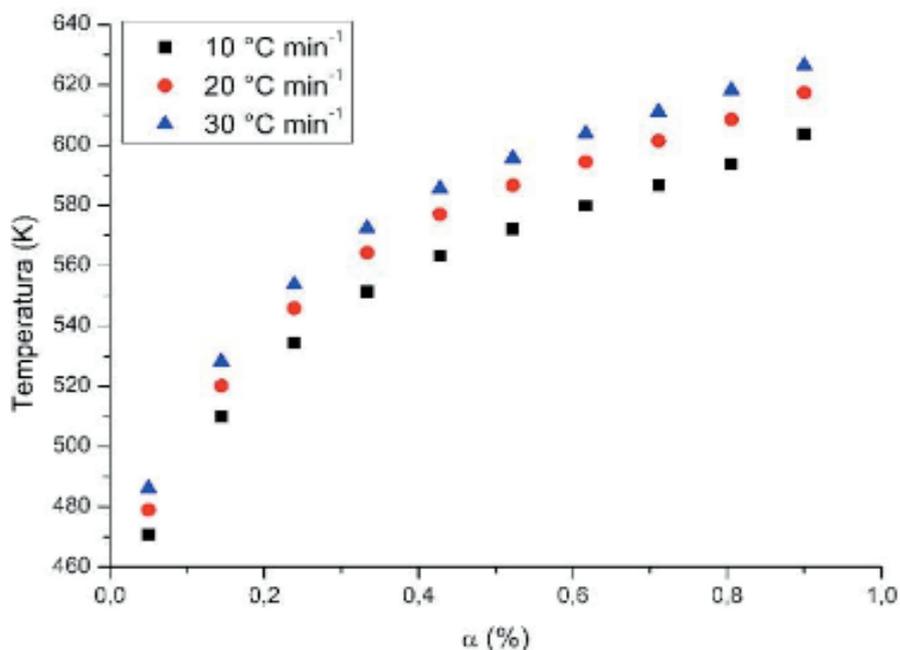


Figura 3.2. Curvas de conversão em função da temperatura para o CER.

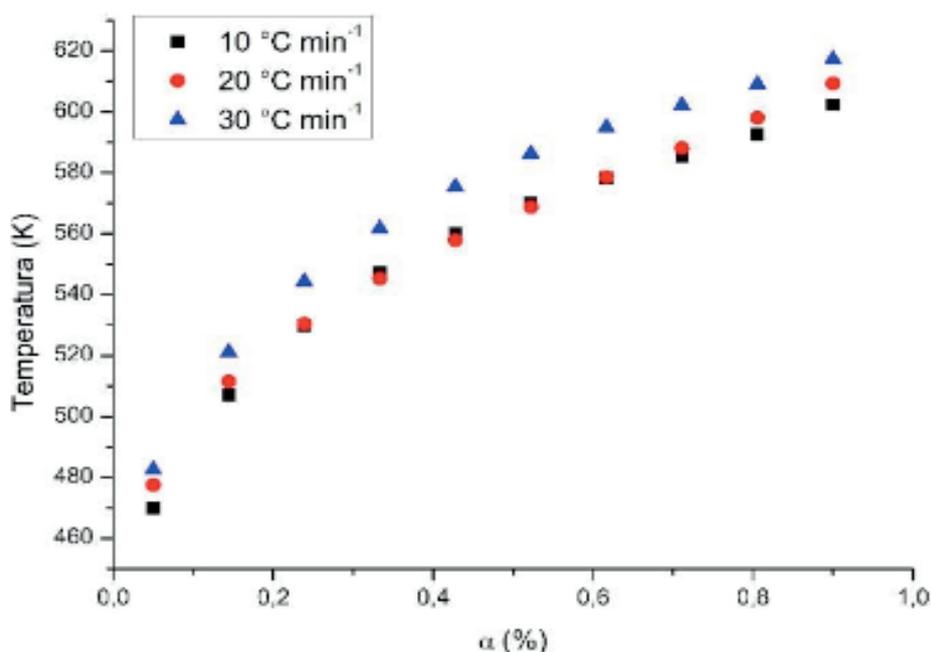
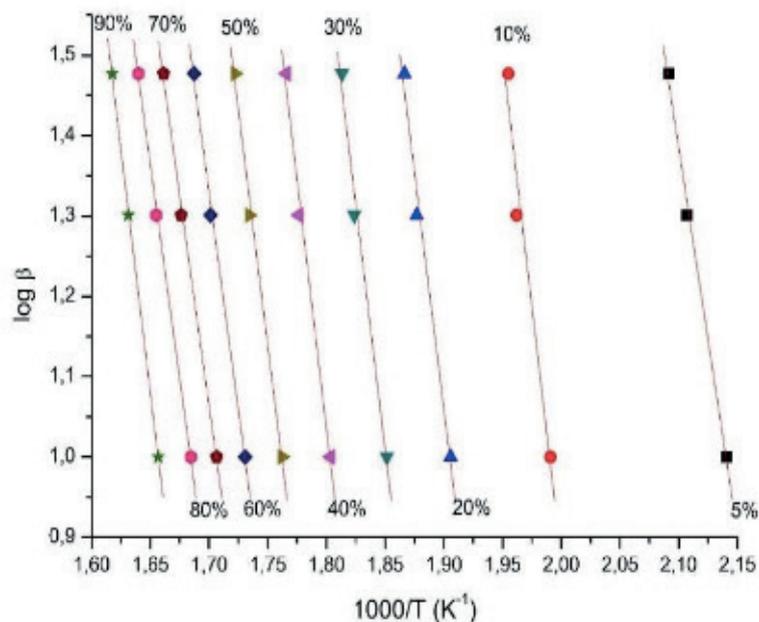


Figura 3.3. Curvas de conversão em função da temperatura para o CEC.

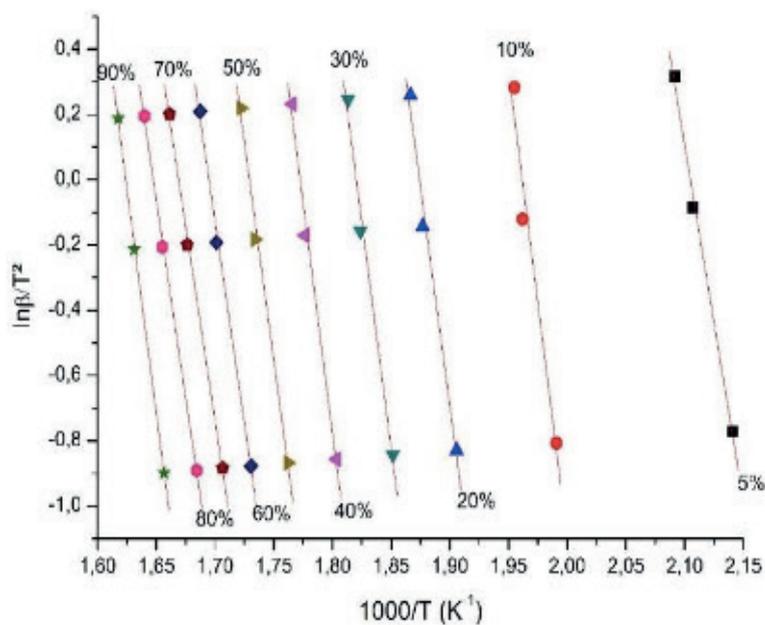
### 3.1.2 Cálculo da Energia de Ativação

Os valores de energia de ativação em função das conversões são obtidos a partir da aplicação dos métodos Flynn e Wall e Model Free Kinetics (Vyazovkin) para os intervalos de temperaturas fixados com os diferentes níveis de conversão. Esses dados são calculados através do coeficiente angular da inclinação da reta gerada pelos gráficos de  $\log\beta$  versus  $1000/T$  e  $\ln\beta/T^2$  versus  $1000/T$  respectivamente apresentados

pelas Figuras 3.4, 3.5 e 3.6. A faixa de temperatura utilizada para essa cinética engloba as temperaturas correspondentes a degradação da holocelulose (hemicelulose e celulose) que vai de 150 à 370 °C (423 à 643 K).

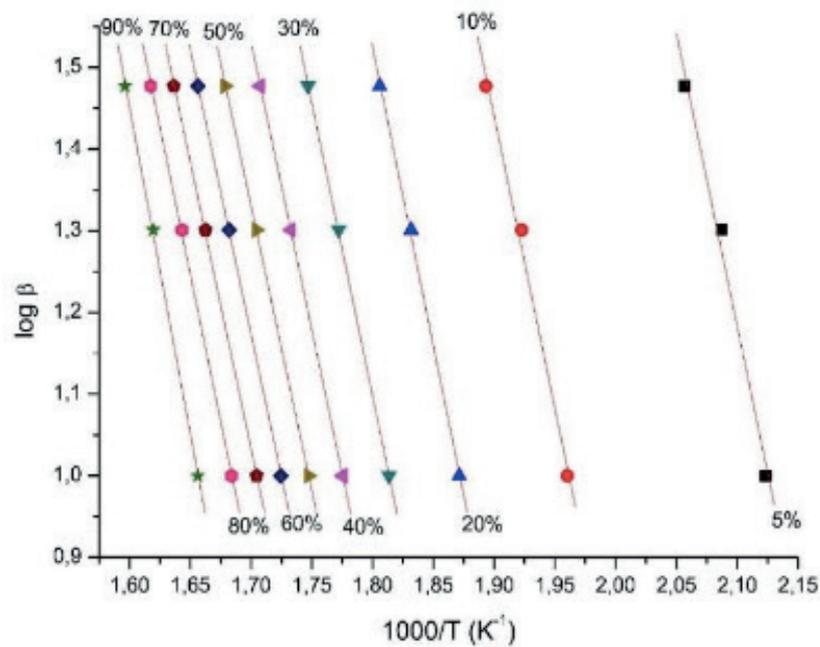


(a)

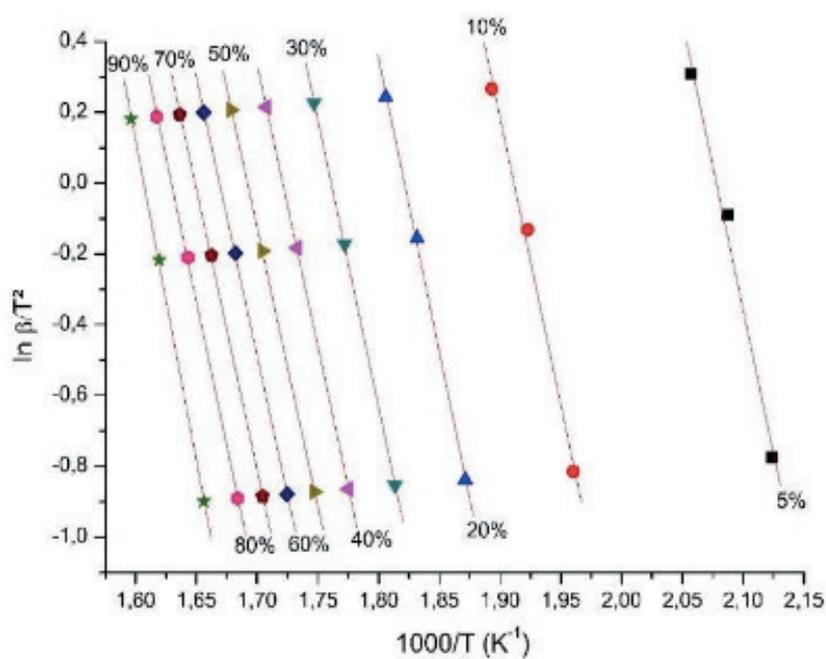


(b)

Figura 3.4. Logaritmos das razões de aquecimento em função do inverso da temperatura para vários níveis de conversão da etapa de decomposição térmica da biomassa CEM sendo (a) Flynn e Wall e (b) Model Free Kinetics (Vyazovkin).

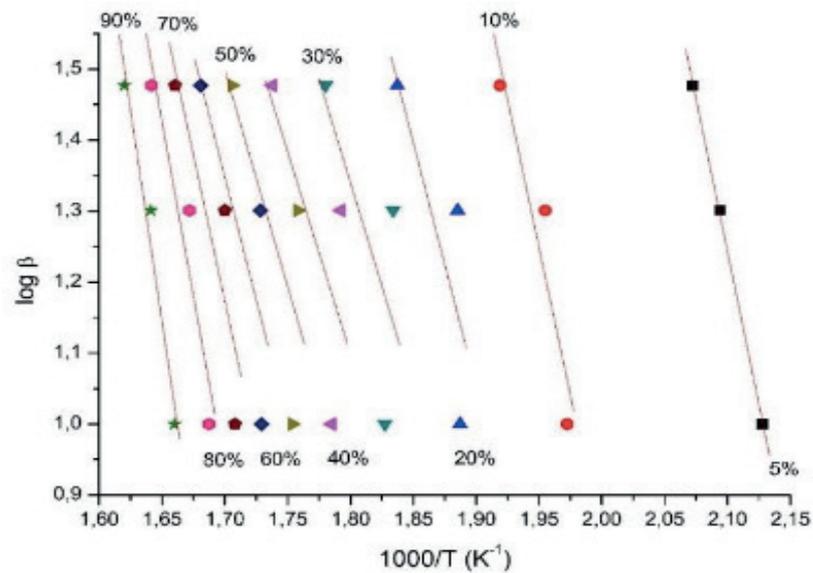


(a)

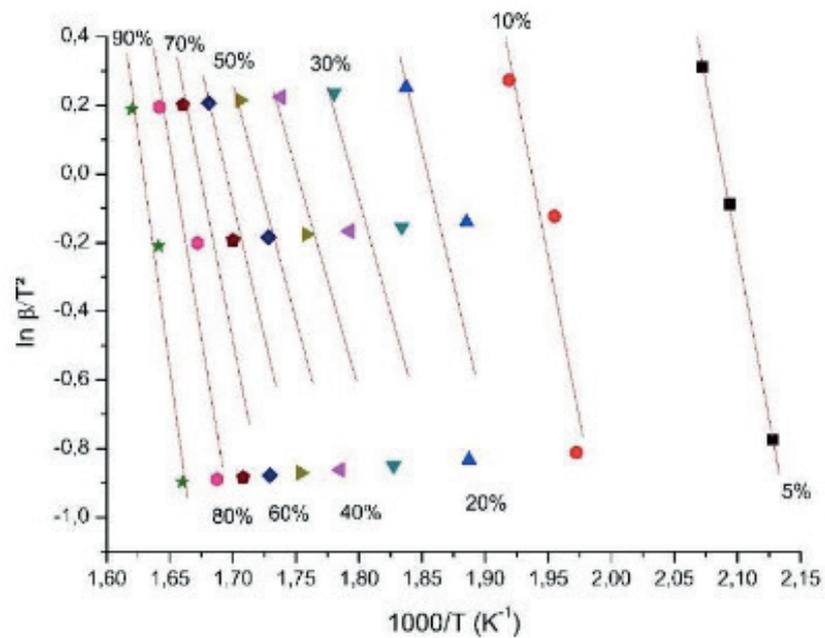


(b)

Figura 3.5. Logaritmos das razões de aquecimento em função do inverso da temperatura para vários níveis de conversão da etapa de decomposição térmica da biomassa CER sendo (a) Flynn e Wall e (b) Model Free Kinetics (Vyazovkin).



(a)



(b)

Figura 3.6. Logaritmos das razões de aquecimento em função do inverso da temperatura para vários níveis de conversão da etapa de decomposição térmica da biomassa CEC sendo (a) Flynn e Wall e (b) Model Free Kinetics (Vyazovkin).

Os resultados dos logaritmos das análises de Flynn e Wall e Vyazovkin para a faixa de temperatura determinada foram semelhantes para o CEM e o CER, o que mostra que ambos os métodos não-isotérmicos foram adequados para explicar o processo de degradação térmica dessas biomassas.

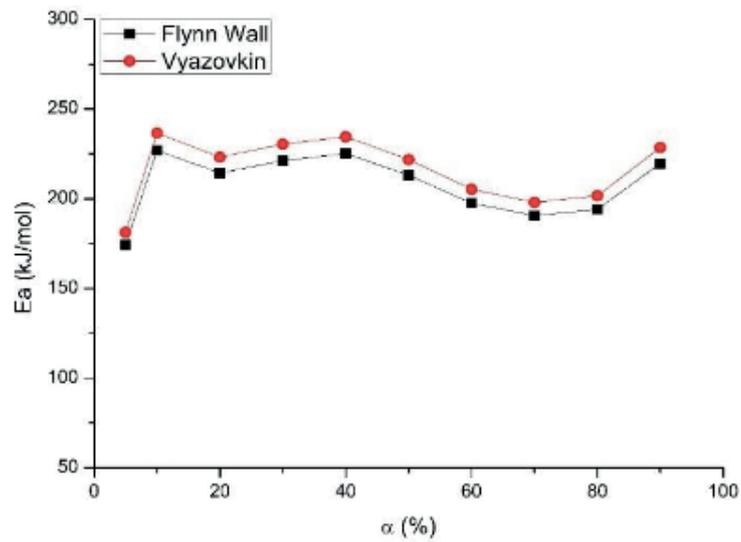


Figura 3.7. Curvas da energia de ativação ( $E_a$ ) em função do grau de conversão ( $\alpha$ ) para o CEM.

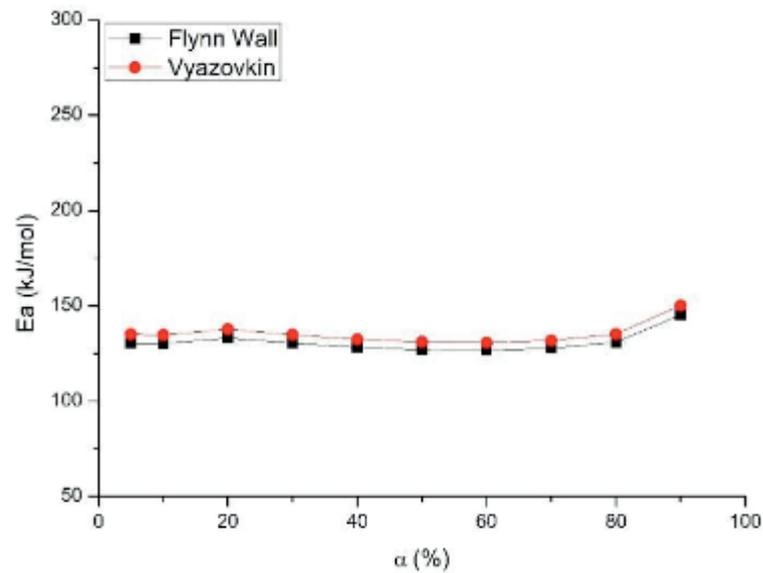


Figura 3.8. Curvas da energia de ativação ( $E_a$ ) em função do grau de conversão ( $\alpha$ ) para o CER.

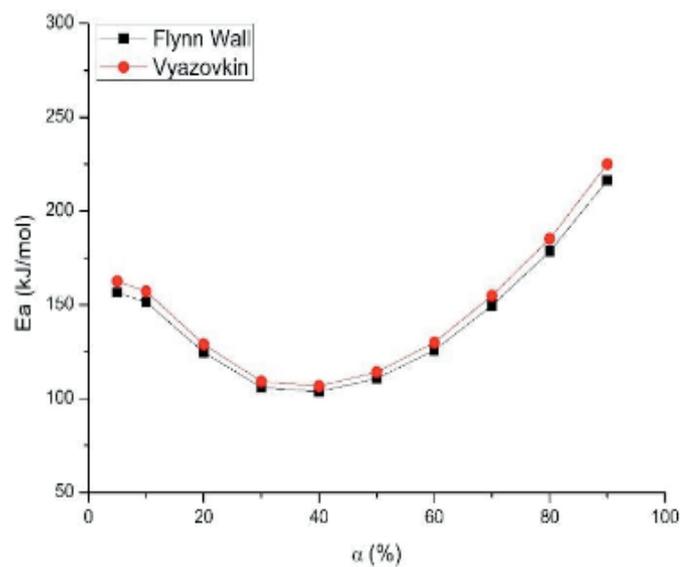


Figura 3.9. Curvas da energia de ativação ( $E_a$ ) em função do grau de conversão ( $\alpha$ ) para o CER.

Assim como no estudo de Leiva (2005) curvas de  $E_a$  em função da conversão nota-se este comportamento caracterizado por processos complexos, pois cada amostra apresentou curvas características. O CER apresentou uma curva mais estável que as demais. Observa-se que o CEM teve uma  $E_a$  média maior que os demais capins estudados CEC e CER. As energias de ativação para as amostras apresentaram uma tendência ascendente nas conversões de 80 a 90%, podendo indicar que a conversão implica em uma mudança no mecanismo de decomposição pirolítico (Wang et al., 2016; Vyazovkin et al., 2011 apud Gogoi et al., 2018). No entanto, de acordo Yao, et al., 2008 (apud Gogoi et al., 2018) a maior ênfase deve ser dada ao intervalo de conversão de 10 a 60 % em vez de todo o processo, já que esse intervalo pode fornecer maior simplificação e uma forma mais significativa de decomposição de modelagem cinética de fibras naturais. Na tabela 3.1 as relações lineares ( $R^2 > 0,9$ ) para os intervalos de 5 a 90 % das biomassas CEM e CER indicam uma boa precisão dos dados cinéticos para as faixas de conversão. As faixas de 20 a 70 % para o CEC apresentaram dados muito imprecisos, indicando que os dois métodos não isotérmicos com ajuste linear não foram confiáveis para descrever os parâmetros cinéticos da amostra.

Conversão $\alpha$ (%)	Flynn e Wall $E_a$ (kJ/mol)						Model-free kinetics $E_a$ (kJ/mol)					
	CEM	$R^2$	CER	$R^2$	CEC	$R^2$	CEM	$R^2$	CER	$R^2$	CEC	$R^2$
5	174,21	0,9920	130,36	0,9792	156,48	0,99887	181,28	0,9918	135,13	0,9786	162,62	0,99884
10	227,00	0,9284	130,16	0,9870	151,56	0,76793	236,66	0,9272	134,75	0,9866	157,28	0,76228
20	214,35	0,9734	133,14	0,9982	124,68	0,28603	223,26	0,9729	137,78	0,9981	128,91	0,27018
30	221,30	0,9783	130,45	0,9998	105,99	5,41166E-4	230,50	0,9779	134,88	0,9998	109,18	-0,02029
40	225,27	0,9829	128,20	0,9999	103,74	-0,02168	234,62	0,9825	132,46	0,9999	106,77	-0,04345
50	213,17	0,9886	126,97	0,9999	110,83	0,08044	221,83	0,9884	131,13	0,9999	114,17	0,05975
60	197,55	0,9945	126,67	0,9997	125,81	0,25881	205,36	0,9944	130,78	0,9997	129,90	0,24137
70	190,60	0,9968	127,74	0,9995	149,70	0,51432	198,02	0,9967	131,87	0,9994	155,00	0,50256
80	194,10	0,9979	131,00	0,9990	178,48	0,78336	201,66	0,9978	135,27	0,9989	185,23	0,77807
90	219,75	0,9990	145,26	0,9990	216,36	0,9353	228,60	0,9989	150,23	0,9990	225,04	0,93385
<b><math>E_a</math> média</b>	<b>207,73</b>		<b>131,00</b>		<b>142,36*</b>		<b>216,18</b>		<b>135,43</b>		<b>193,83*</b>	

Tabela 3.1. Energias de ativação obtidas pelos métodos Flynn e Wall e Model-free kinetics nas conversões de 5 a 90% para as amostras CEM, CER e CEC.

\*Considerando  $R^2$  maiores que 0,9.

#### 4 | CONCLUSÕES

Os resultados dos logaritmos das análises de Flynn e Wall e Vyazovkin para a faixa de temperatura determinada foram semelhantes para o CEM e o CER, e

apresentaram valores de  $R^2$  maiores que 0,9, o que mostra que ambos os métodos não-isotérmicos foram adequados para explicar o processo de degradação térmica dessas biomassas. Porém para o CEC, os intervalos de conversão de 20 a 70 % apresentaram dados muito imprecisos, indicando que os dois modelos com ajuste linear não foram confiáveis para descrever os parâmetros cinéticos da amostra.

## REFERÊNCIAS

BRAGA, R. M.; MELO, D. M. A.; AQUINO, F. M.; FREITAS, J. C. O.; MELO, M. A. F.; BARROS, J. M. F.; Characterization and comparative study of pyrolysis kinetics of the rice husk and the elephant grass. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2014.

BRAGA, R.M., COSTA, T.R., FREITAS, J.C.O., BARROS, J.M.F., MELO, D.M.A., MELO, M.A.F. Pyrolysis kinetics of elephant grass pretreated biomasses. *J Therm Anal Calorim* 117, 1341–1348, 2014.

GOGOI, M., KONWAR, K., BHUYAN, N., BORAH, R.C., KALITA, A.C., NATH, H.P., SAIKIA, N. Assessments of pyrolysis kinetics and mechanisms of biomass residues using thermogravimetry. *Bioresource Technology Reports* 4, 40, 2018.

LEIVA, C. R. M. O emprego da termogravimetria na determinação da energia de ativação no processo de combustão de óleos combustíveis. *Dissertação (Mestrado)*. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2005.

QUESADA, D. M. Parâmetros quantitativos e qualitativos da biomassa de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) com potencial para uso energético, na forma de carvão vegetal. 86 f. *Tese (Doutorado)* – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2005.

RODRIGUES, L.R.A.; MONTEIRO, F.A.; RODRIGUES, T.J.D. Capim-elefante. In: PEIXOTO, A.M., PEDREIRA, C.G.S., MOURA, J.V., FARIA, V.P. (Eds.) *SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM*, 17, 2ª edição. Anais... Piracicaba: FEALQ, 203-224, 2001.

SCHOLL, A.L., MENEGOL, D., PITARELO, A.P., FONTANA, R.C., FILHO, A.Z., RAMOS, L.P., DILLON, A. J.P., CAMASSOLA, M. Elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) pretreated via steam explosion as a carbon source for cellulases and xylanases in submerged cultivation. *Industrial Crops and Products (Print)* 70, 280-291, 2015.

SILVA, J.C.G. Estudo dos parâmetros cinéticos da pirólise do bagaço de cana-de-açúcar *Dissertação (Mestrado)* – Universidade Federal da Paraíba/CEAR, 2017.

SOMERVILLE, C., YOUNGS, H., TAYLOR, C., DAVIS, S.C., LONG, S.P. Feedstocks for lignocellulosic biofuels *Science*, 329 pp. 790–792, 2010.

VITOR, C.M.T. Adubação nitrogenada e lâmina de água no crescimento do capim-elefante. 77f. *Tese (Doutorado)* – Universidade Federal de Viçosa, 2006.

WOODARD, K.R., PRINE, G.M. Dry matter accumulation of elephant grass: energy cane and elephant millet in a subtropical climate. *Crop Sci.* 33, 818–824, 1993.

VYAZOVKIN S. A unified approach to kinetic processing of nonisothermal data. *Int J Chem Kinet.* 28, 95–101, 1996.

VYAZOVKIN, S.; SBIRRAZZUOLI, N. Confidence intervals for the activation energy estimated by few experiments. *Analytica Chimica Acta* 355, 175-180. 1997.

VYAZOVKIN S., WIGHT C. A. Model-free and model-fitting approaches to kinetic analysis of isothermal and nonisothermal data. *Thermochim Acta.* 340–341, 53–68, 1999.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

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

Ácido ascórbico 74, 76, 78, 79, 80

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

### B

Bioetanol 44, 45, 46, 52

### C

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

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

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

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

Chá verde 65, 67, 68, 69, 70, 71, 72

Cimentação 140

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

Cinética de adsorção 44, 48, 50, 51

Colorimetria 109

Corante natural 109

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

### D

Deposição de carbono 126, 127, 203

Destilação Solar 30, 31, 32, 43

### E

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

Energia Solar 30, 31, 32, 42, 43

Enzimas lipolíticas 89, 92, 94, 95

Espectrofotometria UV-VIS 134

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

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

### F

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

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

Fermentação em Estado Sólido 88, 89, 90, 94

Flexitubos 140

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

## H

Hidrocarbonização 119, 120, 123, 124, 125

## I

Inibidor 44, 47, 49, 51, 52

## L

Lavanderia 119, 121, 124, 125

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

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

## M

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

Métodos não isotérmicos 16, 19, 27

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

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

Modificação 42, 126

## O

Ortofenantrolina 134, 136

## P

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

## R

Resíduos agroindustriais 89, 90, 95

Resina de troca iônica 134, 136, 138

## S

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

Sustentabilidade 30

## T

Troca térmica 139, 140, 142, 144, 146

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

 **Atena**  
Editora

**2 0 2 0**