



# Impactos das Tecnologias na Engenharia Química 2

Carmen Lúcia Voigt  
(Organizadora)

**Atena**  
Editora

Ano 2019

Carmen Lúcia Voigt  
(Organizadora)

# Impactos das Tecnologias na Engenharia Química 2

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

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

**Diagramação e Edição de Arte:** Natália Sandrini e Lorena Prestes

**Revisão:** Os autores

### Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

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

134 Impactos das tecnologias na engenharia química 2 [recurso eletrônico] / Organizadora Carmen Lúcia Voigt. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Química; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web.

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-236-4

DOI 10.22533/at.ed.364190304

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

CDD 660.76

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

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

2019

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.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

Empresas do segmento de alimentos e bebidas que adotam inovação e tecnologia em seus produtos, processos e serviços são reconhecidas e valorizadas pelo consumidor, conseqüentemente competitivas no mercado. A área industrial alimentícia é apenas uma das inúmeras opções que o engenheiro químico tem como campo de trabalho. Mas dentro desta, suas atribuições são variadas, formando um profissional capaz de atuar em múltiplas tarefas.

A necessidade de novas tecnologias na indústria de alimentos requer otimização dos processos de transformação e fabricação, desenvolvimento de novos produtos, avanço da biotecnologia, garantia no controle da qualidade dos produtos, análise econômica dos processos, além da garantia do controle ambiental dos rejeitos e efluentes industriais.

A inovação é fundamental para o desenvolvimento de qualquer empresa. No setor de alimentos não é diferente, e cada vez mais os consumidores desejam consumir novos produtos que consigam aliar sabor, nutrição, qualidade e segurança. Assim como uma destinação correta de resíduos e uso de subprodutos que favorecem consumidor e meio ambiente.

Neste segundo volume, apresentamos inovações tecnológicas na Engenharia Química no setor de alimentos e resíduos de alimentos com estudos estatísticos de controle e processos, modelagem matemática, estudo cinético, sínteses, caracterizações, avaliação de propriedades, rendimento e controle analítico.

A Indústria Alimentar está em evolução constante e a tecnologia desempenha um papel cada vez mais importante neste setor. Os avanços científicos e técnicos permitem hoje produzir alimentos e bebidas que se adaptam melhor à procura dos consumidores de uma forma segura, com processos produtivos mais sustentáveis e eficientes, cobrindo a procura dos mercados globais.

Convidamos você a conhecer os trabalhos expostos neste volume relacionados com alimentos, bebidas, resíduos de alimentos com utilização tecnológica de novos recursos para o produto ou processo.

Bons estudos.

Carmen Lúcia Voigt

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
ESTUDO E PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL DA ENCAPSULAÇÃO DE RESÍDUOS DO ABATE DE AVES	
Caroline Machado da Silva Marlei Roling Scariot Leonardo da Silva Arrieche	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3641903041</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>8</b>
OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DE VÍSCERAS DE FRANGO PARA OBTENÇÃO DE HIDROLISADOS PROTEICOS	
Tatiane Francini Knaul Schaline Winck Alberti Ana Maria Vélez	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3641903042</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>21</b>
ESTUDO ESTATÍSTICO DO TEOR DE LIGNINA OXIDADA PARA O BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR APÓS O PRÉ-TRATAMENTO COM PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO ALCALINO	
Anna Alves da Silva Vieira Isabelle Cunha Valim Vinnicius Ferraço Brant Alex Queiroz de Souza Ana Rosa Fonseca de Aguiar Martins Cecília Vilani Brunno Ferreira dos Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3641903043</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>26</b>
IMPLANTAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO NO PROCESSO DE CALEAÇÃO DA FABRICAÇÃO DE AÇÚCAR	
Lorena Marcele de Faria Leite Euclides Antônio Pereira de Lima Ana Cláudia Chesca Flávia Alice Borges Soares Ribeiro	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3641903044</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>31</b>
CONTROLE ANALÍTICO PARA FERMENTAÇÃO ALCÓOLICA EM INDÚSTRIA CANAVIEIRA	
Douglas Ramos Alves Amanda Martins Aguiar Ana Paula Silva Capuci	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3641903045</b>	

<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>43</b>
UTILIZAÇÃO DE ALGORITMOS GENÉTICOS PARA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE DESLIGNIZAÇÃO DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR COM PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Isabelle Cunha Valim</li> <li>Anna Alves da Silva Vieira</li> <li>Vinnicius Ferraço Brant</li> <li>Alex Queiroz de Souza</li> <li>Ana Rosa Fonseca de Aguiar Martins</li> <li>Cecília Vilani</li> <li>Brunno Ferreira dos Santos</li> </ul>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3641903046</b>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>49</b>
SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE METILCELULOSE A PARTIR DE BAGAÇO DE CANA	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Luís Fernando Figueiredo Faria</li> <li>Cláudia dos Santos Salim</li> <li>Luís Gustavo Ferroni Pereira</li> <li>Elisângela de Jesus Cândido Moraes</li> </ul>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3641903047</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>56</b>
ESTUDO CINÉTICO DA PRODUÇÃO DE HIDROMEL PELAS CEPAS <i>Saccharomyces cerevisiae</i> Lalvin 71b 1122 e <i>Saccharomyces bayanus</i> RED STAR PREMIER BLANK	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ana Katerine de Carvalho Lima Lobato</li> <li>Lucas Gois Brandão</li> <li>Victor Hoffmann Barroso</li> </ul>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3641903048</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>73</b>
FILTRAÇÃO APLICADA AO PROCESSO DE CONCENTRAÇÃO DA VINHAÇA	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Fernando Oliveira de Queiroz</li> <li>Jéssica Oliveira Alves</li> <li>Marcelo Bacci da Silva</li> </ul>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3641903049</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>95</b>
CARACTERIZAÇÃO E TRATAMENTO, EM ESCALA INDUSTRIAL, DO LICOR NEGRO GERADO PELA ETAPA DE DESLIGNIFICAÇÃO DO ALGODÃO	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Lucrecio Fábio dos Santos</li> <li>Flávio Teixeira da Silva</li> <li>Teresa Cristina Brasil de Paiva</li> </ul>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.36419030410</b>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>111</b>
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> FED-BATCH FERMENTATION AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHOD FOR ADJUSTING MODEL PARAMETERS TO EXPERIMENTAL DATA	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Marco César Prado Soares</li> <li>Gabriel Fernandes Luz</li> <li>Aline Carvalho da Costa</li> <li>Matheus Kauê Gomes</li> <li>Beatriz Ferreira Mendes</li> <li>Lucimara Gaziola de la Torre</li> <li>Eric Fujiwara</li> </ul>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.36419030411</b>	

**CAPÍTULO 12 ..... 118**

EXPERIMENTAL DESIGN FOR OPTIMAL PRODUCTION OF ALKALINE PHOSPHATASE UNDER LIQUID FERMENTATION WITH *Aspergillus* sp

Juliane Medeiros De Marco  
Jennifer Salgado da Fonseca  
Ricardo Lima Serudo

**DOI 10.22533/at.ed.36419030412**

**CAPÍTULO 13 ..... 123**

ESTUDO DO MODELO DE NÚCLEO DE RETRAÇÃO NA EXTRAÇÃO DE CAFEÍNA COM CO<sub>2</sub> SUPERCRÍTICO

Matheus Manhães Vieira da Silva  
João Vítor Melo Amaral  
Carlos Minoru Nascimento Yoshioka  
Ana Beatriz Neves Brito

**DOI 10.22533/at.ed.36419030413**

**CAPÍTULO 14 ..... 128**

DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DA SOLUBILIDADE DE  $\alpha$ -TOCOFEROL EM MISTURAS DE ETANOL+ÁGUA

Iago Henrique Nascimento de Moraes  
Ricardo Amâncio Malagoni

**DOI 10.22533/at.ed.36419030414**

**CAPÍTULO 15 ..... 136**

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO ÓLEO ESSENCIAL DE PERPÉTUA-ROXA (*Centratherum punctatum* Cass.) OBTIDO POR HIDRODESTILAÇÃO

Rafael Henrique Holanda Pinto  
Maria Caroline Ferreira Rodrigues  
Wanessa Almeida da Costa  
Renato Macedo Cordeiro  
Eloisa Helena de Aguiar Andrade  
Raul Nunes de Carvalho Junior

**DOI 10.22533/at.ed.36419030415**

**CAPÍTULO 16 ..... 143**

MODELAGEM MATEMÁTICA DA EXTRAÇÃO DE ÓLEO DE *Bidens Pilosa* L. USANDO FLUIDO SUPERCRÍTICO

Ramon Gredilha Paschoal  
Marianne Lima Higinio  
Marisa Fernandes Mendes

**DOI 10.22533/at.ed.36419030416**

**CAPÍTULO 17 ..... 161**

RENDIMENTO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO ÓLEO ESSENCIAL DE *Piper divaricatum* EM FUNÇÃO DA GRANULOMETRIA E MÉTODO DE EXTRAÇÃO

Erick Monteiro de Sousa  
Tainá Oliveira dos Anjos  
Rafaela Oliveira Pinheiro  
Márcia Moraes Cascaes  
Lidiane Diniz do Nascimento  
Eloisa Helena de Aguiar Andrade

**DOI 10.22533/at.ed.36419030417**

**CAPÍTULO 18 ..... 167**

INFLUÊNCIA DA PRESSÃO E TEMPERATURA PARA OBTENÇÃO DO EXTRATO DE *Mentha spicata* L. UTILIZANDO EXTRAÇÃO SUPERCRÍTICA

Tháiris Karoline Silva Laurentino  
Thuany Naiara Silva Laurentino  
Ariovaldo Bolzan

**DOI 10.22533/at.ed.36419030418**

**CAPÍTULO 19 ..... 172**

ESTUDO REOLÓGICO DA POLPA DE JUÇARA (*Euterpe edulis* Mart) EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA E TEOR DE SÓLIDOS SOLÚVES

Italo Iury de Souza Guida  
Harvey Alexander Villa Vélez  
Audirene Amorim Santana  
Romildo Martins Sampaio

**DOI 10.22533/at.ed.36419030419**

**CAPÍTULO 20 ..... 179**

OBTENÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DA POLPA DE ABACAXI ATRAVÉS DE EQUAÇÕES MATEMÁTICAS

Relyson Gabriel Medeiros de Oliveira  
Williane Moraes de Souza  
João Carlos Soares de Melo  
Carlos Helaídio Chaves Costa  
Adair Divino da Silva Badaró

**DOI 10.22533/at.ed.36419030420**

**CAPÍTULO 21 ..... 186**

CINÉTICA DE SECAGEM E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA POLPA DO FRUTO DE *Eugenia patrisii* Vahl. (MYRTACEAE)

Erick Monteiro de Sousa  
Tainá Oliveira dos Anjos  
Lidiane Diniz do Nascimento  
Eloisa Helena de Aguiar Andrade  
Cristiane Maria Leal Costa  
Lênio José Guerreiro de Faria

**DOI 10.22533/at.ed.36419030421**

**CAPÍTULO 22 ..... 192**

MODELAGEM MATEMÁTICA DA CINÉTICA DE SECAGEM DE TOMATES TIPO CEREJA E UVA POR MODELOS SEMITEÓRICOS E EMPÍRICOS

Heitor Otacílio Nogueira Altino  
Renata Nepomuceno da Cunha

**DOI 10.22533/at.ed.36419030422**

**CAPÍTULO 23 ..... 207**

SECAGEM DO EXTRATO DA CASCA DE BERINJELA EM SPRAY DRYER COM ADIÇÃO DE ADJUVANTES

Raissa Henrique Silva  
Erica Cortez de Lima  
Suziani Cristina de Medeiros Dantas  
Thayse Naianne Pires Dantas  
Maria de Fátima Dantas de Medeiros

**DOI 10.22533/at.ed.36419030423**

**CAPÍTULO 24 ..... 214**

CINÉTICA DE SECAGEM DO MESOCARPO DE BACURI

Layrton José Souza Da Silva  
Dennys Correia Da Silva  
Ilmar Alves Lopes  
Harvey Alexander Villa Vélez  
Audirene Amorim Santana

**DOI 10.22533/at.ed.36419030424**

**CAPÍTULO 25 ..... 219**

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS NO ESTUDO DA SECAGEM E ORIENTAÇÃO DA MATRIZ DE FILMES BIODEGRADÁVEIS DE AMIDO E ACETATO DE AMIDO PELO MÉTODO *TAPE-CASTING*

Ana Luiza Borges Guimarães  
João Borges Laurindo  
Vivian Consuelo Reolon Schmidt

**DOI 10.22533/at.ed.36419030425**

**CAPÍTULO 26 ..... 232**

EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DE MALTODEXTRINA NO PROCESSO DE LIOFILIZAÇÃO DE MANGABA

Antonio Jackson Ribeiro Barroso  
Francisco De Assis Cardoso Almeida  
João Paulo De Lima Ferreira  
Luzia Márcia De Melo Silva  
Deise Souza De Castro  
Joselito Sousa Moraes  
Micheline Maria Da Silva Ribeiro

**DOI 10.22533/at.ed.36419030426**

**CAPÍTULO 27 ..... 237**

OXIDAÇÃO DE DIFERENTES AÇÚCARES UTILIZANDO CATALISADOR DE PdPtBi/C

Fabiana dos Santos Lima  
João Guilherme Rocha Poço

**DOI 10.22533/at.ed.36419030427**

**CAPÍTULO 28 ..... 250**

PROSPECÇÃO DE FUNGOS FILAMENTOSOS DO BIOMA CAATINGA COM POTENCIALIDADE PARA PRODUÇÃO DE QUITINASE

José Renato Guimarães  
Kaíque Souza Gonçalves Cordeiro Oliveira  
Eudocia Carla Oliveira de Araújo  
Maria Lúcia da Silva Cordeiro  
Isabella da Rocha Silva  
Ranoel José de Sousa Gonçalves

**DOI 10.22533/at.ed.36419030428**

**CAPÍTULO 29 ..... 257**

PROJETO CONCEITUAL E ANÁLISE ECONÔMICA PRELIMINAR DO PROCESSO DE PERVAPORAÇÃO PARA RECUPERAÇÃO DO AROMA DO SUCO DE ABACAXI

Bárbara Carlos Bassane

Marianna Rangel Antunes

Cecília Vilani

Roberto Bentes de Carvalho

**DOI 10.22533/at.ed.36419030429**

**CAPÍTULO 30 ..... 274**

EFEITOS DO TAMANHO DOS GRÂNULOS, DO REVESTIMENTO E DO TIPO DE FERTILIZANTE NA LIBERAÇÃO DE AMÔNIA EM FERTILIZANTES NITROGENADOS

Pedro Queiroz Takahashi

Gabriel Costa de Paiva

Marcelo Andrade de Godoy

José Mauro de Almeida

Deusanilde de Jesus Silva

**DOI 10.22533/at.ed.36419030430**

**SOBRE A ORGANIZADORA..... 279**

## ESTUDO REOLÓGICO DA POLPA DE JUÇARA (*Euterpe edulis* Mart) EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA E TEOR DE SÓLIDOS SOLÚVES

### **Italo Iury de Souza Guida**

Universidade Federal Do Maranhão,  
Departamento de Engenharia Química  
E-mail para contato: italojury15@gmail.com

### **Harvey Alexander Villa Vélez**

Universidade Federal Do Maranhão,  
Departamento de Engenharia Química

### **Audirene Amorim Santana**

Universidade Federal Do Maranhão,  
Departamento de Engenharia Química

### **Romildo Martins Sampaio**

Universidade Federal Do Maranhão,  
Departamento de Engenharia Química

**RESUMO:** A indústria de processamento de frutas exóticas tem crescido rapidamente no Brasil. A Juçara (*Euterpe edulis* Mart.) é abundante no território maranhense e apreciada para a produção de vários produtos. Este trabalho tem como objetivo estudar o comportamento reológico da polpa de juçara a diferentes temperaturas e concentrações. Para isto, análises reológicas foram realizadas para a polpa *in natura* e polpa diluída a 4°Brix através de um reômetro modelo DV-II + Pro, Brookfield, USA. Observou-se que a viscosidade aparente diminuiu com o aumento da taxa de deformação e da temperatura. Também foi observada uma relação diretamente proporcional entre a viscosidade e a concentração de sólidos

solúveis. O índice de comportamento do fluido calculado a partir do modelo da Lei da potência foi menor que 1, característica de um fluido pseudoplástico. Finalmente, observou-se a dependência do índice de consistência do fluido com a temperatura, que diminuiu com o aumento da mesma. A energia de ativação calculada pelo modelo de Arrhenius foi de 16,095 e 9,585 kJ/gmol para a polpa *in natura* e diluída, respectivamente.

## 1 | INTRODUÇÃO

A Juçara (*Euterpe edulis* Mart.) também conhecida como palmito-doce é bastante encontrada na Mata Atlântica e também no cerrado, perto dos cursos dos rios e matas úmidas, da Bahia ao Rio Grande do Sul e no Maranhão facilitando o contato direto com o fruto. Além de ter um sabor bastante apreciado, trata-se de um fruto refrescante, energético e rico em lipídios, vitamina A, ferro e água (MORTARA e VALERIANO, 2001).

A reologia é uma ciência que surgiu no início do século XX e tem como objetivo estudar a deformação e o escoamento dos materiais. O estudo reológico prediz a força necessária para causar uma deformação ou escoamento de um corpo resultado da aplicação de um dado sistema de forças que podem ser de

compressão, tração ou cisalhamento. Com isso manipular produtos derivados das frutas na indústria requer o uso da polpa da fruta, na qual é submetida aos processos industriais como bombeamento, agitação, transporte através de tubulações, evaporação entre outros. Para que essas operações unitárias sejam economicamente viáveis, é indispensável o conhecimento das propriedades físicas e químicas da polpa do fruto a ser processado. O comportamento reológico por sua vez, destaca-se por ser útil não apenas como medida de qualidade, mas também em projetos, avaliação e operação de equipamentos processadores de alimentos (SILVA et al, 2005).

Este trabalho tem como objetivo estudar o comportamento reológico da polpa de Juçara Maranhense em função da temperatura e do teor de sólidos solúveis, visando seu melhor processamento e aproveitamento a nível industrial.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODO

A polpa de Juçara foi adquirida no mercado local da cidade de São Luís, MA. O fruto foi moído no momento da compra e a polpa foi preparada e colocada dentro de sacos de polietileno de 100g. Após isso, a polpa foi armazenada em um freezer vertical a -20°C (modelo CRM33, Consul, Brasil) para posterior uso na pesquisa.

### 2.1 Caracterização reológica e modelagem matemática

O comportamento reológico da polpa de juçara foi analisado nas temperaturas de 10, 35 e 60 °C na sua forma integral e diluída com um teor de sólidos solúveis de 4 (°Brix). As medidas reológicas foram realizadas em um reômetro (modelo DV-II + Pro, Brookfield, USA), utilizando um spindle LV3(63). Um banho termostático (modelo ALB 250 C, Tecnal, Brasil) foi utilizado para manter as temperaturas durante os experimentos. A análise reológica para cada temperatura foi realizada na taxa de deformação crescente de 0,33 a 3,33 s<sup>-1</sup>. Para cada temperatura foi empregada uma amostra de Juçara adequada à temperatura de estudo.

Para obtenção dos parâmetros reológicos e para determinação do seu comportamento, utilizou-se o modelo da Lei da Potência (Equação 1) e a viscosidade para fluidos não newtonianos (Equação 2).

$$\tau = k\gamma^n \quad (1)$$

$$\mu = k\gamma^{n-1} \quad (2)$$

onde  $\tau$  é a tensão de cisalhamento (Pa),  $\mu$  é a viscosidade dinâmica (Pa.s),  $n$  é o índice de comportamento (adimensional),  $\gamma$  é a taxa de deformação (s<sup>-1</sup>) e,  $k$  é o índice de consistência (Pa.s) (GENOVESE e LOZANO, 2007). Além disso, através deste

modelo foi estudado o efeito da temperatura na concentração de sólidos através da relação de Arrhenius, como mostrado na Equação 3.

$$\eta = A_0 \exp\left(\frac{E_a}{R(T + 273.15)}\right) \quad (3)$$

onde  $A_0$  é uma constante empírica,  $\eta$  é a viscosidade aparente (mPa.s),  $E_a$  é a energia de ativação (J/mol),  $R$  é a constante universal dos gases (8.314 J/mol K) e  $T$  é a temperatura (°C).

A modelagem matemática foi realizada com o auxílio da ferramenta Solver do software Microsoft Excel (Microsoft, Redmond, EUA). O coeficiente de correlação e o erro médio relativo (*MRE*, %) descrito na Equação 4, foram usados para validar o ajuste do modelo.

$$MRE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^m \frac{|Y_i - Y_i^*|}{Y_i^*} \quad (2)$$

onde,  $Y$  e  $Y^*$  representam os valores experimentais e calculados, respectivamente,  $m$  é o número de valores experimentais.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Reogramas para a polpa de juçara *in natura* e diluída a 4(°Brix)

Na Figura 1 estão apresentados os dados da viscosidade aparente experimental e teórica calculada a partir da Equação 2 para a polpa de Juçara *in natura* e diluída a 4(°Brix). A viscosidade aparente está em função da taxa de cisalhamento para as temperaturas de 10, 35 e 60°C.

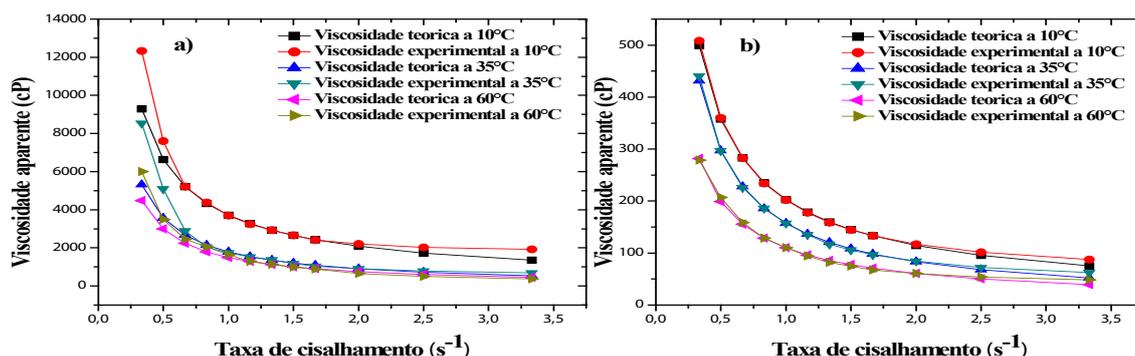


Figura 1 – Viscosidade aparente para a polpa de Juçara *in natura* a) e diluída b).

Observamos na Figuras 1 que o comportamento da viscosidade aparente não variou muito na polpa de Juçara a 4 (°Brix). Já na polpa *in natura*, pode-se observar uma maior variação da viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação. Em ambos os casos (polpa *in natura* e a 4 °Brix), percebe-se o bom ajuste do modelo da Lei da Potência aos dados experimentais apesar do reograma para a polpa *in natura* ter se comportado um pouco menos uniforme que para a polpa diluída.

O decréscimo na viscosidade aparente significa que a resistência das amostras ao escoamento e a energia requerida para mantê-los a uma alta taxa de deformação é reduzida. Reduções de viscosidade com o aquecimento também são reportadas em VIDAL et al., (2000) trabalhando com polpa de manga. A viscosidade aparente também depende da temperatura. As menores viscosidades foram observadas na temperatura mais altas (60 °C). Os coeficientes de ajuste ( $n$ ,  $k$ ), a temperatura de trabalho ( $T$ ) e os parâmetros estatísticos ( $R^2$ , MRE) estão apresentados na Tabela 1.

### 3.2 Modelagem dos parâmetros reológicos e análise matemática para a polpa de Juçara

Com o bom ajuste dos reogramas ao modelo da lei da potência no qual observamos um bom coeficiente de correlação ( $R^2$ ), onde em todas as temperaturas o mesmo foi maior que 0,928 e o MRE percentual menor que 10%, com exceção apenas das temperaturas de 35 e 60°C para a polpa *in natura*, cujo MRE = 10,10% e 10,52%, podemos então usar a modelagem matemática para calcular os parâmetros reológicos com uma boa precisão e então classificar nosso fluido quanto a sua natureza.

Ainda ao MRE, podemos associar esse erro a convecção natural que age sobre o banho termostático durante os experimentos, no qual mesmo sendo pequena a variação de temperatura devido a bom controle do banho, ela ainda interfere nas leituras do reômetro. Com isso, podemos então calcular o índice de comportamento do fluido e o índice de consistência que estão apresentados na Tabela 1.

Polpa	T (°C)	k (mPa.s <sup>n</sup> )	n	R <sup>2</sup>	MRE (%)
In natura	10	3716,54	0,170	0,966	7,47
	35	1793,06	0,010	0,964	10,10
	60	1495,86	0,001	0,993	10,56
Diluída (4°Brix)	10	202,66	0,179	0,998	2,31
	35	157,16	0,080	0,998	2,93
	60	109,99	0,143	0,996	4,07

Tabela 1 - Parâmetros reológicos do modelo da lei da potência para a polpa de Juçara *in natura* e diluída a 4 (°Brix), onde  $k$  é o índice de consistência (mPa.s<sup>n</sup>),  $n$  é o índice de comportamento do fluido (adimensional) e MRE é o erro médio relativo (%)

Analisando os parâmetros reológicos, podemos então dizer que a polpa de

Juçara Maranhense integral e diluída apresentou um comportamento de fluido pseudoplástico não-Newtoniano já que o índice de comportamento foi menor que 1. O mesmo comportamento pseudoplástico foi encontrado em um estudo anterior realizado com a polpa de cenoura pasteurizada (VANDRESEN et al., 2009). Ainda na Tabela 1, percebemos que o índice de comportamento do fluido não variou muito, contudo, o índice de consistência foi diminuindo com aumento da temperatura e com a diminuição da concentração de sólidos solúveis. Observamos então que o  $(k)$  é diretamente ligado a concentração de sólidos solúveis e a temperatura, onde, nota-se claramente sua dependência. Observamos então uma manutenção do comportamento pseudoplástico, já que o  $n$  não mudou significativamente da polpa *in natura* para a diluída.

Podemos perceber portanto que de modo geral, as polpas de frutas mostram um comportamento pseudoplástico. Esses fluidos apresentam uma diminuição da tensão de cisalhamento com o aumento da taxa de cisalhamento, que depende principalmente da orientação/alinhamento das moléculas ou partículas na direção do fluxo (VRIESMANN, 2008).

### 3.3 Efeito da temperatura no comportamento reológico e avaliação da energia de ativação pela equação de Arrhenius

Para descrever o comportamento de escoamento da polpa de Juçara em função da temperatura utilizou-se a equação de Arrhenius, Equação 3. Linearizando a Equação 3 e aplicando a função  $\ln$  em ambos os lados da equação, obtivemos os valores experimentais de  $\ln$  (viscosidade aparente) versus temperatura ( $K^{-1}$ ). Podemos assim observar as taxas de deformação constantes na Figura 2 para a polpa *in natura* e diluída. Podemos ainda observar os parâmetros obtidos nos ajustes na Tabela 2.

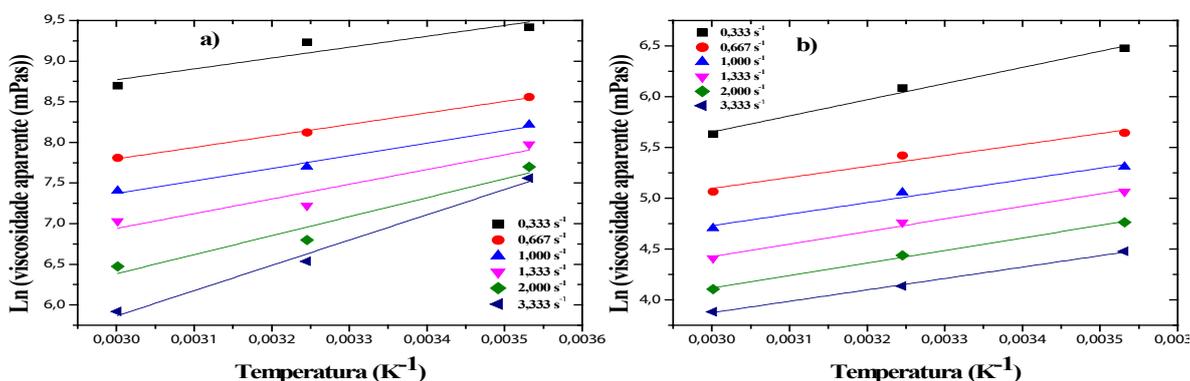


Figura 2 – Efeito da temperatura para a polpa de juçara a) *in natura* e b) diluída em diferentes taxas de deformação.

Observa-se na Tabela 2 que a energia de ativação foi em média igual a 16,095kJ/gmol ( $R^2= 0,986$ ) para a polpa *in natura* e 9,585 kJ/gmol ( $R^2= 0,970$ ) para a polpa diluída e estão de acordo com o encontrado na literatura para polpas de fruta.

Polpa	Taxa de deformação (s <sup>-1</sup> )	Ea/R	R <sup>2</sup>	Ea (kJ/gmol)
In natura	0,333	1356,7	0,99	11279,6038
	0,667	1431,9	0,98	11904,8166
	1,000	1567,4	0,98	13031,3636
	1,333	1811,3	0,99	15059,1482
	2,000	3111,5	0,99	25869,011
	3,333	2336,7	0,99	19427,3238
<b>Média</b>		<b>1935,91</b>	<b>0,986</b>	<b>16,095</b>
Diluída (4°Brix)	0,333	1114,8	0,98	9268,4472
	0,667	1081,5	0,93	8991,591
	1,000	1132,1	0,95	9412,2794
	1,333	1231,0	0,98	10234,534
	2,000	1236,3	0,99	10278,5982
	3,333	1121,8	0,99	9326,6452
<b>Média</b>		<b>1152,91</b>	<b>0,970</b>	<b>9,585</b>

Tabela 2 – Parâmetros da equação de Arrhenius há diferentes taxas de deformação para a polpa de Juçara in natura e diluída

Os resultados indicam uma diminuição da energia de ativação da polpa de Juçara quando a concentração de sólidos solúveis é menor. Esse comportamento era esperado, pois quanto maior a concentração, maior será a energia mínima necessária para fazer com que o fluido escoe. Isso acontece porque em concentrações elevadas da polpa, existem quantidades de compostos como proteínas, vitaminas entre outros nutrientes que interagem entre si com maior facilidade quando comparado a polpa diluída através de cargas elétricas, o que faz com que a viscosidade do fluido aumente devido ao empacotamento das moléculas.

#### 4 | CONCLUSÃO

Analisando os resultados obtidos a partir do estudo da polpa de Juçara, pode-se concluir que a viscosidade aparente e a energia de ativação se comportaram de forma semelhante ao encontrado na literatura para polpa de fruta.

Observa-se ainda que os dados experimentais da tensão de cisalhamento e da taxa de deformação da polpa de Juçara *in natura* e diluída se ajustaram bem ao modelo da Lei da Potência, o que indicou que tanto a polpa *in natura*, quanto a diluída, apresentaram comportamento de um fluido não-newtoniano do tipo pseudoplástico, no qual, só foi possível fazer essa classificação a partir da modelagem matemática em que o índice de comportamento do fluido foi menor que 1.

Por último, observou-se que quando mais concentrada é a polpa de juçara, maior será a energia de ativação mínima para que o fluido em questão escoe. Portanto, foi possível cumprir os objetivos desse estudo quanto ao estudo reológico e dependência

da temperatura e concentração de sólidos solúveis para a polpa de Juçara.

## REFERÊNCIAS

- COSTA, F. Q. Viabilidade de uso de um misturador para a análise de propriedades reológicas de produtos alimentícios. 115f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu-SP, 2007.
- GENOVESE, D.B.; LOZANO, J.E.; RAO, M.A. The rheology of colloidal and noncolloidal food dispersions, *Journal of Food Science*, v. 72, p. 11-20, 2007.
- MORTARA, M. O.; VALERIANO, D. M. Modelagem da distribuição potencial do palmitero (*Euterpe edulis martius*) a partir de variáveis topográficas. In: *Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto*, 10. (SBSR)., 2001, Foz do Iguaçu, São José dos Campos: INPE, 2001.
- SILVA, F.C.; GUIMARÃES, D. H. P.; GASPARETTO, C.A. Reologia do suco de acerola: efeitos da concentração e temperatura. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 25, n.1, p.121-126, jan.-mar., 2005.
- VANDRESEN, S.; MARA, G.N. Q.; JOSE, A.R.S.; DACHAMIR, H. Temperature effect on the rheological behavior of carrot juices, *Journal of Food Engineering*, v. 92, n. 3, p.269-274, Jun. 2009.
- VIDAL, J.R.M.B.; GASPARETTO, C.A.; GRANDIN, A. Efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga. *Revista Ciências Exatas e Naturais*, v.1, n.2, p.69-76, 2000.
- VRIESMANN, L. C. Extração, caracterização e aspectos reológicos de polissacarídeos da polpa dos frutos de *theobroma grandiflorum*. Dissertação (Mestrado em Bioquímica de alimentos) – Universidade Federal do Paraná. 2008.

## **SOBRE A ORGANIZADORA**

**CARMEN LÚCIA VOIGT** Doutora em Química na área de Química Analítica e Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Especialista em Química para a Educação Básica pela Universidade Estadual de Londrina. Graduada em Licenciatura em Química pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Experiência há mais de 10 anos na área de Educação com ênfase em avaliação de matérias-primas, técnicas analíticas, ensino de ciências e química e gestão ambiental. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se uma atuação por resultado, como: supervisora de laboratórios na indústria de alimentos; professora de ensino médio; professora de ensino superior atuando em várias graduações; professora de pós-graduação *lato sensu*; palestrante; pesquisadora; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Autora de artigos científicos. Atuou em laboratório multiusuário com utilização de técnicas avançadas de caracterização e identificação de amostras para pesquisa e pós-graduação em instituição estadual.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-236-4

