



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

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

CAPÍTULO 1	1
ESTUDO E PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL DA ENCAPSULAÇÃO DE RESÍDUOS DO ABATE DE AVES	
Caroline Machado da Silva Marlei Roling Scariot Leonardo da Silva Arrieche	
DOI 10.22533/at.ed.3641903041	
CAPÍTULO 2	8
OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DE VÍSCERAS DE FRANGO PARA OBTENÇÃO DE HIDROLISADOS PROTEICOS	
Tatiane Francini Knaul Schaline Winck Alberti Ana Maria Vélez	
DOI 10.22533/at.ed.3641903042	
CAPÍTULO 3	21
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	
DOI 10.22533/at.ed.3641903043	
CAPÍTULO 4	26
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	
DOI 10.22533/at.ed.3641903044	
CAPÍTULO 5	31
CONTROLE ANALÍTICO PARA FERMENTAÇÃO ALCÓOLICA EM INDÚSTRIA CANAVIEIRA	
Douglas Ramos Alves Amanda Martins Aguiar Ana Paula Silva Capuci	
DOI 10.22533/at.ed.3641903045	

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

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 CO₂ 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 α -TOCOFEROL EM MISTURAS DE ETANOL+ÁGUA

Iago Henrique Nascimento de Morais
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

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

Heitor Otacílio Nogueira Altino

Universidade Federal de São Carlos,
Departamento de Engenharia Química
São Carlos – SP

Renata Nepomuceno da Cunha

Centro Universitário de Patos de Minas,
Departamento de Engenharia Química
Patos de Minas – MG

RESUMO: Os tomates tipo cereja e uva apresentam grande potencial para a produção de tomate seco. A projeção e otimização de equipamentos de secagem desses tomates dependem de modelos que possam descrever a cinética de secagem do processo. Assim, o objetivo principal deste trabalho foi realizar a modelagem matemática da cinética de secagem convectiva de tomates tipo cereja e uva. Para tal propósito, os principais modelos semiteóricos e empíricos descritos na literatura foram ajustados a dados experimentais reportados para as temperaturas de ar de secagem de 60°C, 70°C e 80°C. A seleção do melhor modelo foi realizada com base em parâmetros estatísticos de qualidade do ajuste. Os resultados obtidos mostraram que todos os modelos avaliados foram relativamente bem ajustados aos dados, entretanto o modelo de Midilli apresentou os melhores ajustes para ambos os tipos de tomate e em todas as temperaturas de secagem.

Através de regressão linear das constantes do modelo de Midilli com a temperatura, modificou-se tal modelo de modo a incluir a influência da temperatura na cinética de secagem. Concluiu-se que foi possível realizar a modelagem matemática da cinética de secagem de tomates tipo cereja e uva.

PALAVRAS-CHAVE: Cinética de secagem, Tomates cereja, Tomate uva, Modelos semiteóricos e empíricos.

ABSTRACT: The cherry and grape tomatoes have great potential for production of dried tomatoes. The projection and optimization of drying equipment for these tomatoes depend on models that can describe the drying kinetics of the process. Thus, the main objective of this paper was to perform the mathematical modeling of the convective drying kinetics of cherry and grape tomatoes. For this purpose, the main semitheoretical and empirical models described in the literature were fitted to experimental data reported for the drying air temperatures of 60°C, 70°C and 80°C. The selection of the best model was performed based on statistical parameters of fit quality. The results obtained showed that all models evaluated were relatively well fitted to the data, however the Midilli model presented the best fits for both types of tomato and at all drying temperatures. By linear regression of constants of the Midilli model with temperature,

such model was modified to include the influence of temperature on drying kinetics. It was concluded that it was possible to perform the mathematical modeling of drying kinetics of cherry and grape tomatoes.

KEYWORDS: Drying kinetics, Cherry tomato, Grape tomato, Semitheoretical and Empirical Models.

1 | INTRODUÇÃO

O tomate é um dos alimentos nacionais mais importantes na economia, uma vez que, o mesmo embasa a produção de diversos produtos, como polpa, extrato, pasta e o tomate seco. No cenário mundial, o Brasil se apresenta como um dos maiores produtores, ao lado de Estados Unidos, Itália, Turquia, Espanha, Egito e México (SANJINEZ-ARGANDOÑA *et al.*, 2011). Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2015), o Brasil possui uma área plantada de 55.016 ha e uma produção de 3.467.990 toneladas. Nesse cenário, Goiás, Minas Gerais e São Paulo são os três principais estados produtores, contribuindo com mais de 50% da produção total.

Apesar da elevada produção, as perdas variam entre 20 e 50% devido à safra, variedade, doenças, clima, sistema de colheita, processamento, manuseio e comercialização (PACCO, 2008). De acordo com Camargo e Correia (2012), isso se deve ao curto período de vida útil, que se situa entre 1 a 2 semanas. Assim, novos processos de industrialização vêm sendo pesquisados, de modo a reduzir as perdas pós-colheita, destacando-se a secagem para produção de tomates secos (MATA; BRANGA; KROSS, 2003).

Tal processo visa remover a água agregada ao tomate para uma fase gasosa insaturada, por meio de vaporização térmica, apresentando as vantagens de: manutenção dos constituintes minerais, inibição da ação de micro-organismos e redução de custos de transporte e embalagem. Assim, é crescente a aplicação do tomate seco na culinária brasileira, principalmente, como ingrediente de massas, pizzas e também para consumo imediato (PACHECO, 2010; PACCO, 2008). Os tomates tipo cereja e uva apresentam grande potencial para a produção de tomate seco, devido à abundância, coloração vermelho brilhante, sabor intenso e facilidades operacionais. Além disso, devido ao pequeno tamanho, tais frutos apresentam uma rápida secagem (MAY, 2004; AZOUBEL; MURR, 2000).

Para a projeção e otimização de equipamentos utilizados na secagem de tomates é essencial a realização da modelagem matemática da cinética de secagem. Diversos modelos se encontram disponíveis na literatura para previsão da cinética de secagem, os quais podem ser basicamente divididos em teóricos, semiteóricos e empíricos. Em geral, para materiais biológicos, a cinética de secagem é controlada pela resistência interna a transferência de massa. Nesse caso, uma grande parte dos modelos teóricos é derivada do modelo difusivo (DINÇER; ZAMFIRESCU, 2015; CRANK, 1975):

$$\frac{\partial X(z, t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[D_{eff} \frac{\partial X(z, t)}{\partial z} \right] \quad (1)$$

Em que X é a umidade, t o tempo, D_{eff} o coeficiente de difusividade efetiva e z a coordena axial. A solução da Equação (1) irá depender dos processos de transferência de considerados como dominantes na secagem. No caso de materiais biológicos, além dos fenômenos de transferência de calor e massa envolvidos na secagem, o próprio material sofre alterações físicas e químicas, tornando complexa a obtenção e aplicação de uma solução da equação citada que considere tais fenômenos. De modo a contornar essas dificuldades surgiram os modelos semiteóricos, derivados do modelo difusivo pela aplicação de simplificações, e os modelos empíricos, baseados em dados experimentais (DINÇER; ZAMFIRESCU, 2015).

No âmbito acadêmico, os trabalhos de Orlandin, Fontana e Sandri (2010), May (2004), Lourenço *et al.* (2013), Bennamoun *et al.* (2015) e Altino *et al.* (2018) estudaram o processo de secagem de tomates tipo cereja e uva. Contudo, uma modelagem apropriada da cinética secagem ainda se faz necessária. Deste modo, o objetivo principal deste trabalho foi realizar a modelagem matemática da cinética de secagem de tomates tipo cereja e uva. Para tal propósito, os principais modelos semiteóricos e empíricos reportados na literatura foram ajustados aos dados de cinética de secagem convectiva de ambos os tipos de tomate, em três diferentes temperaturas de ar de secagem.

2 | PROCESSO DE SECAGEM DE TOMATES

O correto entendimento e modelagem do processo de secagem de tomates necessita de uma base teórica consistente. Dessa forma, buscou-se abordar os conhecimentos necessários por meio de uma breve revisão teórica, a qual será apresentada nessa seção.

2.1 Generalidades sobre os tomates

2.1.1 Tomate

Taxonomicamente, o tomateiro é da classe Dicotiledônea, ordem Tibiflorae, família Solanaceae, gênero *Lycopersicon*, apresentando dois subgêneros: *Eriopersicon* e *Eulycopersicon* (ALVARENGA, 2004). O centro de origem do tomateiro está localizado na região andina, desde o Equador, atravessando a Colômbia, Peru, Bolívia, até ao norte do Chile. Esta área é marcada pelo crescimento espontâneo de diversas espécies do gênero *Lycopersicon*. A introdução do tomate no Brasil foi realizada no século XIX

pelos imigrantes europeus, sendo que a difusão e o consumo só se iniciaram por volta de 1930 (ALVARENGA, 2004).

O tomateiro é uma planta perene, de porte arbustivo e cultivo anual. Podendo desenvolver-se de forma rasteira, semiereta ou ereta, alcançando até 10 m em um ano. Prefere-se ambientes quentes, 21-28°C, de dia, e 15-20°C a noite, com boa iluminação e drenagem. As flores são hermafroditas e se agrupam em cachos, que geralmente, são autopolinizáveis. Os frutos são bagas carnosas, com aspectos variados. Contudo, a coloração vermelha é presente na maioria dos mesmos, sendo devida ao carotenoide licopeno. O peso varia de 25 g para o tipo “cereja” até 400 g para o tipo “salada”. O número de lóculos altera de 2 até 10, caracterizando cultivares biloculares e pluriloculares. As sementes são pilosas, diminutas e envoltas por mucilagem (FILGUEIRA, 2003).

2.1.2 Tomate tipo cereja

O tomate do tipo cereja (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*) se trata de um grupo de cultivares para mesa, principalmente como saladinha, podendo ser consumido também como fruta ou aperitivo (FILGUEIRA, 2008 *apud* ORLANDIN; FONTANA; SANDRI, 2010). Esse tipo foi introduzido no Brasil na década de 90, sendo caracterizado pelo pequeno tamanho (15-25 g), bilocularidade, coloração vermelha intensa e excelente sabor (FILGUEIRA, 2003).

O tomateiro apresenta crescimento intermediário, tanto em campos quanto em estufa. Todas as cultivares são híbridas, como por exemplo a “*Sweet Million*” pode produzir até 40 frutos por cacho. Alguns outros exemplos de cultivares são dados na Tabela 1 (FILGUEIRA, 2003).

Cultivar	Resistência	Tipo	Peso (g)
Red Sugar	F ₂ , V, ToMV, N	Vermelho-redondo	20
Sindy	F ₂ , V, ToMV, N	Vermelho-redondo	15-20
Sweet Gold	F ₁ , Sm, ToMV	Amarelo	15-25
Sweet Million	F ₁ , Sm, ToMV	Vermelho-redondo	15-25
Pori	F ₁ , ToMV	Vermelho-redondo	15-25

Tabela 1 – Cultivares e/ou híbridos do tomate tipo cereja.

F₁: *Fusarium* (raça 1); F₂: *Fusarium* (raça 2); V: *Verticillium*; ToMV: Mosaico-vírus do tomateiro; N: Nematóide.
Fonte: Alvarenga (2004).

2.1.3 Tomate tipo uva

Os tomates do tipo uva (*Lycopersicon esculentum* Mill.) são caracterizados pela facilidade de consumo, profundidade da cor vermelha e o sabor intenso. Os mesmos são coletados no estágio de vermelho completo, sendo que a variedade “Santa” é a

principal, devido ao conjunto concentrado de frutos adaptados a baixas temperaturas. Em áreas quentes, é necessário promover cuidados especiais durante o crescimento, o que acaba por aumentar o custo de produção, e desinteressar os produtores (BOE *et al.*, 1980 *apud* SIMONNE *et al.*, 2005).

Características desejáveis para esse tipo de tomate são: hábitos compactos, alto rendimento, tamanho e formato próximos ao de uma uva, uniformidade, sabor semelhante ao “Santa” e resistência a fissuras e doenças. Outras variedades comumente encontradas são “Jellybean”, “Ruby”, “Tami G” e “Red Grape”. A produção fica na faixa de 10 a 20 kg por planta (MOLINAR; YANG, 2003 *apud* SIMONNE *et al.*, 2005).

2.2 Cinética de secagem

Secagem é o processo de evaporação de um solvente, geralmente a água, de um sólido ou semi-sólido para uma fase insaturada, geralmente o ar, por meio de transferência simultânea de calor e massa (MUJUMDAR, 2014). No caso específico de alimentos, essa operação visa à redução do conteúdo de água, acarretando uma diminuição tanto da atividade biológica quanto das alterações físico-químicas decorrentes do armazenamento (RESENDE *et al.*, 2008).

Para este fim, pode-se empregar dois tipos de secagem, natural e artificial. Esse primeiro tipo é realizado por meio da ação dos raios solares ou vento, sendo aplicada em frutas, hortaliças e carnes. O segundo tipo foi desenvolvido em 1795 por Maason e Challet, utilizando um quarto de secagem provido de água quente. Desde então, vários outros métodos foram desenvolvidos, sendo categorizados conforme o princípio de funcionamento: por aquecimento, por calor de fonte radiante de micro-ondas ou elétrica, por contato de superfície quente e por congelamento seguido de sublimação e aplicação de calor sob baixa pressão (EVANGELISTA, 2001).

Tais métodos são realizados através de vários tipos de secadores, destacando-se: secadores adiabáticos, secadores de túnel, fornos secadores, secadores atômicos e secadores de cabine. Ressaltando que este último é largamente utilizado na secagem de frutas e hortaliças, operando de forma descontínua por meio de uma câmara que recebe, em bandejas, os produtos a desidratar. Seu princípio de funcionamento é baseado na transferência de massa da água contida no alimento para o ar seco, aquecido por resistências elétricas, e movimentado por ventiladores dentro da câmara (EVANGELISTA, 2001).

Como em outros processos de transferência de massa, a secagem de um material deve ser apropriada do ponto de vista da relação de equilíbrio e da velocidade de secagem. Tais parâmetros estão intimamente envolvidos nos cálculos de projeção de equipamentos, sendo influenciados pelas condições operacionais e características do próprio material, tornando complexa a previsão teórica do comportamento do processo. Faz-se necessária então, a realização de experimentos prévios de modo a se obter um

perfil de comportamento do sistema (GEANKOPLIS, 1993).

Em geral, tais experimentos fornecem dados de massa total do sólido úmido W em diferentes instantes de tempo t , durante o período de secagem, possibilitando calcular a umidade total X_t por meio da Equação (2), e a umidade livre X aplicando a Equação (3). Vale lembrar que X_t representa toda a umidade contida na amostra e X indica o conteúdo de água que pode ser removido pela secagem (GEANKOPLIS, 1993).

$$X_t = \frac{W - W_s}{W_s} \quad (2)$$

$$X = X_t - X^* \quad (3)$$

$$R = -\frac{L_s}{A} \frac{dX}{dt} \quad (4)$$

Em que:

W : massa total do sólido (g)

W_s : massa de sólido seco a 105°C (g)

X : umidade livre (g água.g⁻¹ sólido seco)

X^* : umidade de equilíbrio (g água.g⁻¹ sólido seco)

t : tempo (min)

R : taxa de secagem (g.min⁻¹.m⁻²)

L_s : massa de sólido seco no tempo t (g)

A : área superficial do material exposta a secagem (m²)

Assim, os dados de umidade livre por tempo (Figura 1 (a)) fornecem as variações infinitesimais de X com t , que ao serem utilizadas em conjunto com a Equação (4), podem gerar os dados de taxa de secagem R por umidade livre (Figura 1 (b)) (GEANKOPLIS, 1993).

Conforme Foust *et al.* (2012), o segmento AB indicado na Figura 1 descreve o período transiente no qual a amostra entra em contato com o meio secante, ajustando a temperatura do sólido até alcançar o equilíbrio térmico com o ar de secagem, dando início ao período de taxa de secagem constante. Neste período, representado pelo segmento BC , toda a superfície do sólido exposta está saturada com água, levando a uma secagem com características de evaporação de uma dada quantidade de líquido, não havendo qualquer influência do sólido. Com o decorrer do regime, a temperatura superficial atinge a temperatura de bulbo úmido, a partir da qual o líquido retirado da superfície é repostado pelo líquido do interior do sólido.

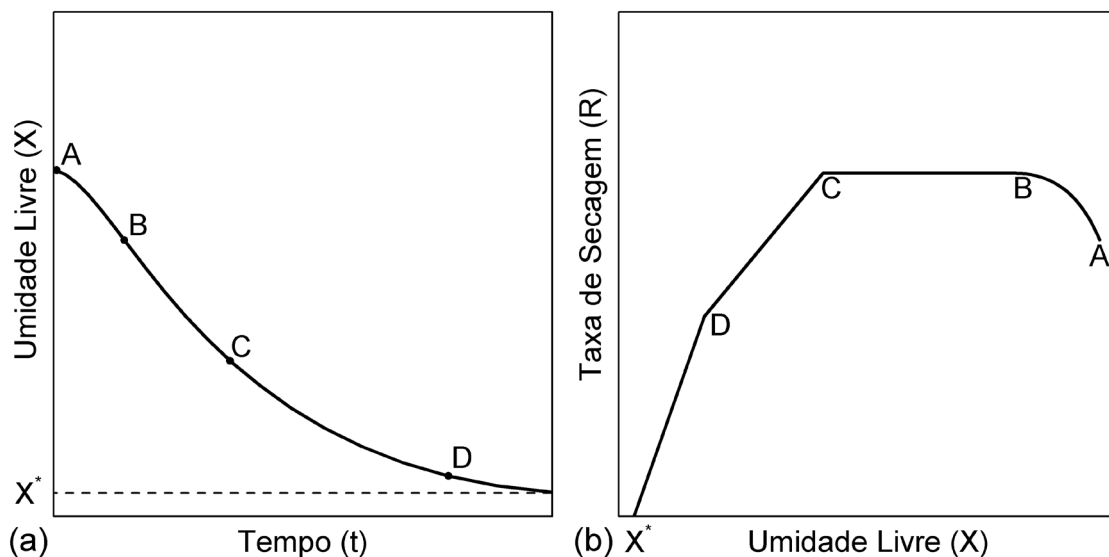


Figura 1 – Curvas de umidade em função do tempo (a) e taxa de secagem em função da umidade (b).

Fonte: Acervo Pessoal (2019).

É interessante notar que sólidos orgânicos amorfos, fibrosos ou gelatinosos, como o tomate, apresentam pequenos períodos de taxa constante. Tal fato indica que a velocidade do processo é controlada pela lenta difusão do líquido através da estrutura do sólido, o qual retém a umidade como parte integral de sua estrutura (FOUST *et al.*, 2012).

Ao final do período de taxa constante, atinge-se o ponto *C*, o qual é chamado de ponto de umidade crítica. Onde a umidade do sólido é mínima para suprir, de modo integral, a totalidade da superfície. Em seguida, ocorre um período delimitado por *CD*, denominado “primeiro período de taxa decrescente”. Nesse período, a superfície sólida fica gradativamente menos rica em líquido, uma vez que, a velocidade difusional do líquido interior é menor do que a velocidade de transferência de massa da superfície para a fase gasosa (FOUST *et al.*, 2012).

No ponto *D*, não se pode encontrar qualquer área significativamente saturada com líquido. O vapor interior retido no sólido difunde-se para a superfície e segue para as correntes gasosas. Prosseguindo-se além de *D*, observa-se que toda a evaporação ocorre a partir das partes interiores do sólido. De maneira que, com a diminuição contínua do teor de umidade, a distância a ser vencida pela difusão do calor e da massa aumenta até o teor de umidade de equilíbrio (FOUST *et al.*, 2012).

2.3 Modelos semiteóricos e empíricos de cinética de secagem

Os modelos semiteóricos e empíricos estão relacionados a dados experimentais obtidos a partir da secagem em camada fina, permitindo a adoção da hipótese de parâmetros concentrados. Os modelos denominados “semiteóricos” geralmente derivam do modelo difusivo por meio da aplicação de simplificações e introdução de constantes, possibilitando o ajuste de dados (DINÇER; ZAMFIRESCU, 2015).

Além dos modelos semiteóricos, existem os empíricos, os quais são baseados apenas em dados experimentais e análises dimensionais. Em geral, tais modelos são de fácil ajuste aos dados experimentais, porém apresentam limitações quanto ao sentido físico (DINÇER; ZAMFIRESCU, 2015). Os principais modelos semiteóricos e empíricos reportados na literatura para materiais biológicos podem ser observados na Tabela 2.

Designação do modelo	Modelo	Equação	Referência
Page		(5)	Karathanos e Belessiotis (1999)
Midilli		(6)	Midilli, Kucuk e Yapar (2002)
Henderson e Pabis		(7)	Akpinar, Bicer e Yildiz (2003)
Aproximação por difusão		(8)	Corrêa Filho <i>et al.</i> (2014)
Dois Termos		(9)	Faria <i>et al.</i> (2012)
Exponencial de dois termos		(10)	Corrêa Filho <i>et al.</i> (2014)
Logarítmico		(11)	Faria <i>et al.</i> (2012)
Newton		(12)	O'Callaghan, Menzies e Bailey (1971)
Verma		(13)	Corrêa Filho <i>et al.</i> (2014)
Wang e Sing		(14)	Wang <i>et al.</i> (2007)

Tabela 2 – Modelos matemáticos semiteóricos e empíricos de cinética de secagem.

Fonte: Acervo Pessoal (2019).

A razão de umidade (RU) pode ser calculada pela divisão entre a umidade livre no instante t e a umidade livre inicial:

$$RU = \frac{X_t - X^*}{X_i - X^*} \quad (15)$$

As constantes a , b , n , k , k_0 e k_1 da Tabela 2 são intrínsecas a cada modelo, podendo ser determinadas por regressão não-linear de dados de RU em função de t .

3 | ESTUDO DE CASO

3.1 Obtenção dos dados de cinética de secagem de tomates tipo cereja e uva

Os dados de cinética de secagem dos tomates tipo cereja e uva foram obtidos de Altino *et al.* (2018). Os autores realizaram a secagem de uma monocamada de

tomates utilizando um secador convectivo de cabine operando nas temperaturas de ar de 60°C, 70°C e 80°C. Mais informações relacionadas às condições operacionais de secagem podem ser encontradas no trabalho supracitado.

3.2 Metodologia de regressão não-linear

Os modelos descritos na Tabela 2 foram ajustados aos dados cinéticos experimentais de RU em função de t , descritos por Altino *et al.* (2018), por Regressão Não Linear (RNL) de modo a se obter as constantes intrínsecas. Para tal propósito, buscou-se minimizar a função objetivo (F_{obj}) descrita pela Equação (16) utilizando o método *Generalized Reduced Gradient* (GRG) pela função *solver* do *software* Microsoft Excel® 2010.

$$F_{obj} = \sum_{i=1}^N [y_i - f(x_i)]^2 \quad (16)$$

3.3 Análise da qualidade da regressão

De modo a avaliar as diferenças entre os dados experimentais (y_i) e estimados pelos modelos ($f(x_i)$) avaliados nesse trabalho, uma análise da qualidade da regressão se fez necessária. O coeficiente de determinação (R^2), erro quadrático médio (EQM), raiz do erro quadrático médio ($REQM$) e qui-quadrado (χ^2) foram calculados pelas Equações (17), (18), (19) e (20), respectivamente.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - f(x_i))^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad (17)$$

$$EQM = \sum_{i=1}^N \frac{(y_i - f(x_i))^2}{N} \quad (18)$$

$$REQM = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(y_i - f(x_i))^2}{N}} \quad (19)$$

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(y_i - f(x_i))^2}{f(x_i)} \quad (20)$$

3.4 Resultado do ajuste dos modelos aos dados de cinética de secagem

A Tabela 3 apresenta os resultados do ajuste dos modelos matemáticos aos dados de razão de umidade em função do tempo para os tomates tipo cereja e uva. Os valores de R^2 , EQM , $REQM$ e χ^2 variaram nas faixas de 0,9133-0,9997, -1,5536-10,8974, 0,0000-0,1446 e 0,0060-0,3803 para o tomate tipo cereja e 0,9435-0,9992, -0,1217-13,5456, 0,0001-0,1477 e 0,0095-0,3843 para o tomate tipo uva, respectivamente.

Tais resultados indicam que os modelos avaliados foram relativamente bem ajustados aos dados experimentais.

Modelos e parâmetros		Tomate cereja			Tomate uva		
		60°C	70°C	80°C	60°C	70°C	80°C
Page	k (min ⁻¹)	6,21E-04	7,50E-04	9,15E-04	6,77E-04	8,03E-04	8,24E-04
	n	1,21	1,21	1,22	1,21	1,21	1,22
	R ²	0,9984	0,9989	0,9971	0,9980	0,9978	0,9964
	X ²	0,1608	0,1495	0,2656	0,1789	0,2413	0,2622
	EQM	0,0002	0,0001	0,0003	0,0002	0,0002	0,0004
	REQM	0,0134	0,0108	0,0177	0,0150	0,0158	0,0198
Midilli	α	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
	k (min ⁻¹)	5,91E-04	6,99E-04	8,46E-04	6,21E-04	7,39E-04	7,96E-04
	n	1,21	1,21	1,22	1,21	1,22	1,22
	b	-1,60E-05	-1,20E-05	-1,30E-05	-1,50E-05	-1,64E-05	-1,10E-05
	R ²	0,9994	0,9997	0,9975	0,9992	0,9987	0,9965
	X ²	-0,0361	-0,0293	1,0207	-0,0180	-0,0237	0,0154
	EQM	0,0001	0,0000	0,0214	0,0001	0,0002	0,0004
	REQM	0,0078	0,0060	0,1462	0,0095	0,0123	0,0197
Henderson e Pabis	α	1,05	1,05	1,07	1,04	1,06	1,08
	k (min ⁻¹)	2,40E-03	2,84E-03	3,48E-03	2,52E-03	3,05E-03	3,27E-03
	R ²	0,9912	0,9934	0,9885	0,9925	0,9905	0,9880
	X ²	0,4746	0,4378	0,6161	0,4964	0,5644	0,6328
	EQM	0,0010	0,0007	0,0012	0,0008	0,0011	0,0013
	REQM	0,0311	0,0268	0,0353	0,0289	0,0329	0,0367
Aproximação por difusão	α	-0,05	-0,05	-0,41	-0,54	-0,48	-0,36
	k (min ⁻¹)	2,04E+00	1,27E-03	1,19E-03	8,75E-04	1,02E-03	1,07E-03
	b	0,00	2,04	2,04	1,95	2,02	2,16
	R ²	0,9974	0,9917	0,9926	0,9981	0,9954	0,9906
	X ²	0,4825	0,4844	-0,1206	-0,1165	-0,1128	-0,1217
	EQM	0,0009	0,0009	0,0008	0,0002	0,0005	0,0010
	REQM	0,0304	0,0302	0,0282	0,0146	0,0228	0,0324
Dois Termos	α	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05
	k ₀ (min ⁻¹)	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46
	b	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
	k ₁ (min ⁻¹)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	R ²	0,9917	0,9935	0,9870	0,9931	0,9907	0,9877
	X ²	0,4781	0,3976	0,5550	0,4737	0,5904	0,6755
	EQM	0,0009	0,0007	0,0014	0,0008	0,0010	0,0014
	REQM	0,0302	0,0267	0,0375	0,0277	0,0324	0,0371
Exponencial de dois termos	α	1,77	1,74	1,84	1,74	1,74	1,85
	k (min ⁻¹)	3,16E-03	3,65E-03	4,64E-03	3,32E-03	3,88E-03	4,38E-03
	R ²	0,9982	0,9988	0,9973	0,9979	0,9974	0,9964
	X ²	0,1822	0,1918	0,2534	0,2182	0,2921	0,2396
	EQM	0,0002	0,0001	0,0003	0,0002	0,0003	0,0004
	REQM	0,0140	0,0115	0,0170	0,0153	0,0173	0,0187

Logarítmico	α	1,10	1,08	1,10	1,08	1,10	1,10
	k (min ⁻¹)	1,98E-03	2,47E-03	3,11E-03	2,17E-03	2,63E-03	2,95E-03
	c	-0,08	-0,05	-0,04	-0,06	-0,06	-0,04
	R^2	0,9974	0,9977	0,9928	0,9978	0,9956	0,9916
	X^2	-0,1258	-0,0397	-0,0883	-0,0230	-0,0620	-0,0410
	EQM	0,0003	0,0003	0,0008	0,0002	0,0005	0,0009
	REQM	0,0170	0,0159	0,0279	0,0157	0,0223	0,0307
Newton	k (min ⁻¹)	2,28E-03	2,69E-03	3,26E-03	2,41E-03	2,86E-03	3,03E-03
	R^2	0,9881	0,9904	0,9841	0,9899	0,9864	0,9826
	X^2	0,5844	0,5444	0,7706	0,5819	0,7033	0,8242
	EQM	0,0013	0,0010	0,0017	0,0011	0,0015	0,0019
	REQM	0,0361	0,0323	0,0415	0,0336	0,0392	0,0441
Verma	α	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,09
	k (min ⁻¹)	2,39E-03	2,85E-03	3,60E-03	2,57E-03	3,01E-03	3,30E-03
	k_1 (min ⁻¹)	2,07	2,07	2,07	2,07	2,07	2,07
	R^2	0,9918	0,9939	0,9873	0,9932	0,9909	0,9891
	X^2	0,4793	0,4262	0,5531	0,4609	0,5815	0,6085
	EQM	0,0009	0,0007	0,0014	0,0008	0,0010	0,0012
	REQM	0,0301	0,0258	0,0370	0,0276	0,0321	0,0349
Wang e Singh	α	-1,62E-03	-2,05E-03	-1,68E-03	-1,64E-03	-1,67E-03	-1,67E-03
	b	1,00E-06	1,00E-06	1,00E-06	1,00E-06	1,00E-06	1,00E-06
	R^2	0,9963	0,9768	0,9133	0,9922	0,9619	0,9435
	X^2	10,5172	-1,5536	10,8974	9,0730	9,0594	13,5456
	EQM	0,1446	0,0025	0,1034	0,1060	0,0885	0,1477
	REQM	0,3803	0,0504	0,3216	0,3256	0,2974	0,3843

Tabela 3 – Parâmetros intrínsecos e de qualidade do ajuste dos modelos semiteóricos e empíricos aos dados de cinética de secagem dos tomates tipo cereja e uva.

Fonte: Acervo pessoal (2019).

Para todas as temperaturas e para ambos os tipos de tomate, o modelo de Midilli apresentou os maiores valores de R^2 enquanto que valores de EQM , $REQM$ e χ^2 foram relativamente baixos. Assim, o modelo de Midilli pode ser recomendado como representativo dos dados de cinética de secagem dos tomates tipo cereja e uva. Vale ainda destacar a boa aplicabilidade dos modelos de Page e de Dois termos exponencial, os quais também podem ser utilizados para representar os dados cinéticos.

A Figura 2 apresenta os dados experimentais de cinética de secagem dos tomates tipo cereja e uva descritos por Altino *et al.* (2018) (pontos), bem como os dados previstos pelos modelos de Midilli, Page e Dois termos exponencial (linhas), para as diferentes temperaturas de ar de secagem.

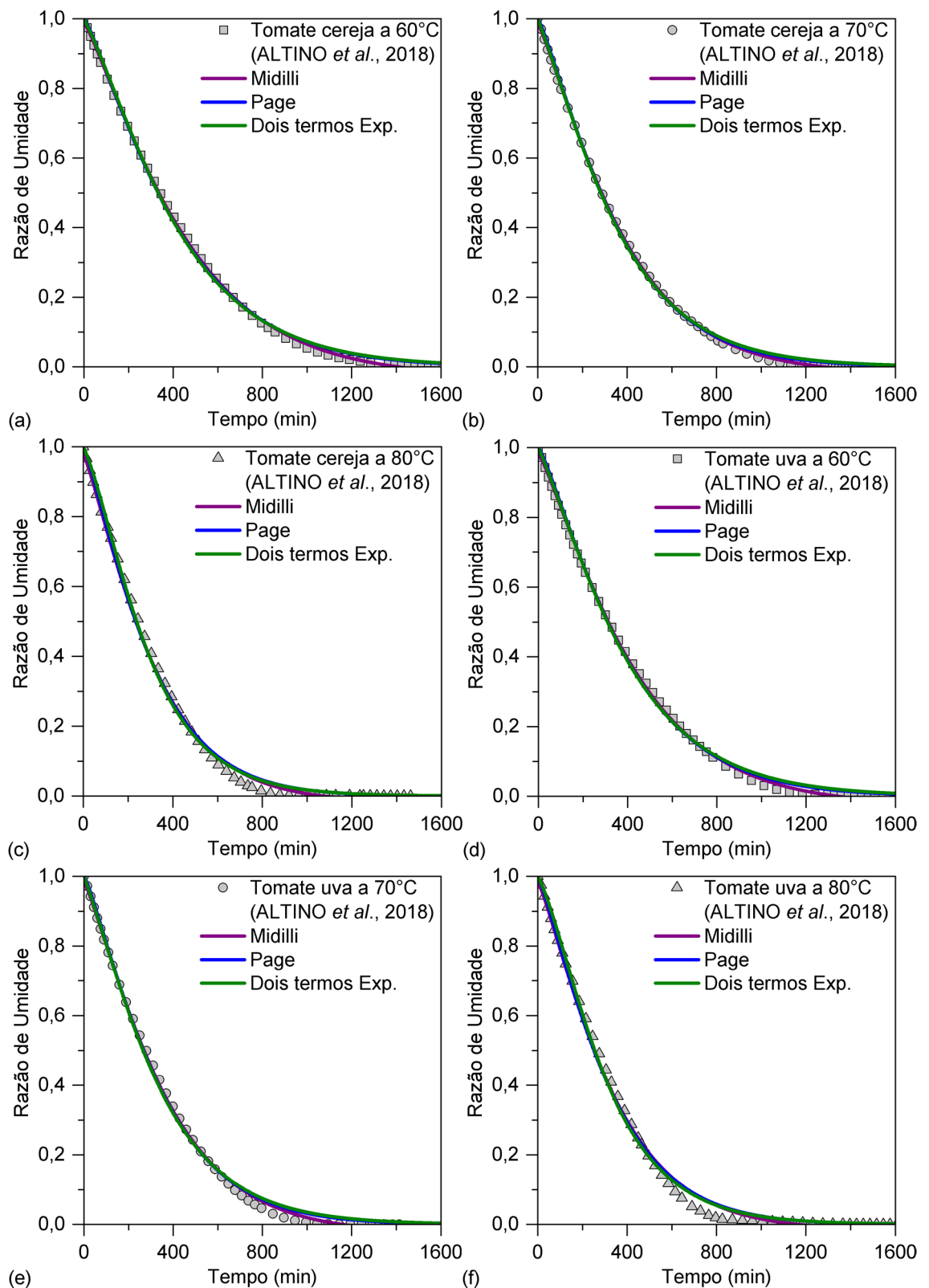


Figura 2 – Modelos semiteóricos e empíricos ajustados às curvas de razão de umidade em função do tempo de secagem dos tomates tipo cereja a 60°C (a), 70°C (a) e 80°C (a) e uva a 60°C (d), 70°C (e) e 80°C (f).

Fonte: Adaptado de Altino *et al.* (2018).

De acordo com Altino *et al.* (2018) a cinética de secagem convectiva dos tomates tipo cereja e uva é controlada pela resistência interna a transferência de massa. Assim, a boa aplicabilidade do modelo de Midilli é consistente, visto que tal modelo foi proposta por Midilli *et al.* (2002) para descrição da cinética de secagem de uma camada de

material biológico, quando a resistência externa a transferência de massa é mínima. Contudo, é possível observar que o modelo acaba por subestimar os valores de RU ao final do processo de secagem. Tal desvio se deve as diversas condições idealmente assumidas pelo modelo, p. ex. a ausência de encolhimento, não serem válidas para um processo de secagem real.

Além disso, a Figura 2 ainda mostra que o aumento da temperatura do ar promove secagens mais rápidas, o que pode ser atribuído ao maior potencial de transferência de calor entre as fases sólida e gasosa (ALTINO, *et al.*, 2018). De modo a incluir esse efeito no modelo de Midilli, as constantes intrínsecas do modelo foram regredidas contra as temperaturas do ar de secagem. Assim, a Equação (21) foi proposta para o tomate cereja e a Equação (22) para o tomate uva, com valores de R^2 , EQM , $REQM$ e χ^2 de 0,9975, 0,0069, 0,0557 e 0,3254 para o tomate cereja e 0,9975, 0,0070, 0,0578 e 0,3191 para o tomate uva, respectivamente. Tais valores indicam o bom ajuste das equações obtidas aos dados experimentais.

$$RU(a, k, b, t) = \frac{X_t - X^*}{X_i - X^*} = ae^{-kt^n} + bt \quad (21)$$

$$\begin{aligned} a &= -3,1550 \times 10^{-4}T + 1,0065 \times 10^0 \\ k &= 1,2750 \times 10^{-5}T - 1,8050 \times 10^{-4} \\ n &= 5,9705 \times 10^{-4}T + 1,1732 \times 10^0 \\ b &= 1,5000 \times 10^{-7}T - 2,4167 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

$$RU(a, k, b, t) = \frac{X_t - X^*}{X_i - X^*} = ae^{-kt^n} + bt \quad (22)$$

$$\begin{aligned} a &= 1,0035 \times 10^{-4}T + 9,7587 \times 10^{-1} \\ k &= 8,7500 \times 10^{-6}T + 1,0609 \times 10^{-4} \\ n &= 2,2300 \times 10^{-4}T + 1,2009 \times 10^0 \\ b &= 2,0000 \times 10^{-7}T - 2,8119 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

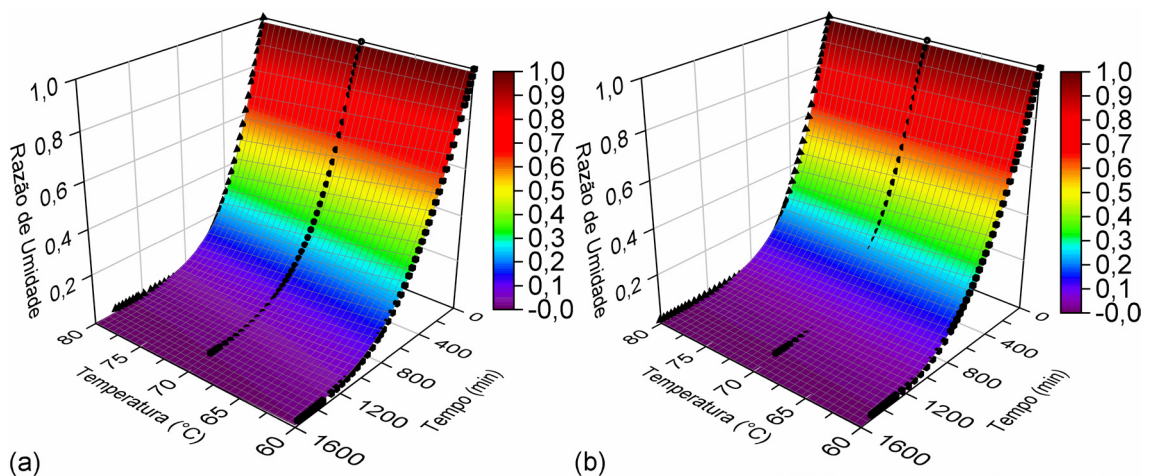


Figura 3 – Dados experimentais descritos por Altino *et al.* (2018) da cinética de secagem dos tomates tipo cereja (a) e uva (b) (pontos) e preditos pelas Equações (21) e (22) (superfícies).

Fonte: Acervo pessoal (2019).

Tais equações podem ser utilizadas para estimar a razão de umidade de tomates

tipo cereja e uva em qualquer tempo e temperatura dentro das faixas de estudo, como pode ser visualizado na Figura 3. Observa-se que, como esperado, para um mesmo intervalo de tempo, em ambos os tipos de tomate a elevação da temperatura aumenta a inclinação das superfícies, ou seja, obtêm-se secagens mais rápidas.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados obtidos, conclui-se que foi possível realizar a modelagem matemática da cinética de secagem de tomates tipo cereja e uva por modelos semiteóricos e empíricos. O modelo de Midilli apresentou o melhor ajuste aos dados experimentais, também se destacando os modelos de Page e de Dois termos exponencial. Além disso, foi possível modificar o modelo de Midilli para incluir o efeito da temperatura na cinética de secagem dos tomates.

5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM) pelo apoio na realização do presente trabalho.

REFERÊNCIAS

- AKPINAR, E. K.; BICER, Y.; YILDIZ, C. Thin layer drying of red pepper. **J. Food Eng.**, v. 59, n. 1, p. 99-104, 2003.
- ALTINO, H. O. N.; LOCATELLI, K. M. de M.; CUNHA, R. N. da. Influence of Drying Conditions on the Final Quality of Cherry and Grape Tomatoes. **Braz. arch. biol. technol.**, Curitiba, v. 61, e18180054, 2018.
- ALVARENGA, M. A. R. **Tomate**: produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia. Lavras: UFLA, 2004. 400 p.
- AZOUBEL, P. M.; MURR, F. E. X. Mathematical modelling of osmotic dehydration of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*). **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 228-232, 2000.
- BENAMOUN, L.; KHAMA, R.; LÉONARD, A. Convective drying of a single cherry tomato: Modeling and experimental study. **Food Bioprod Process.**, v. 94, p. 114-23, 2015.
- CAMARGO, L. F. de; CORREIA, Â. de F. K. Estudo do efeito da variação na temperatura do processamento de tomate desidratado por secagem em estufa. In: MOSTRA ACADÊMICA UNIMEP, 10, 2012, **20º Congresso de Iniciação Científica**. São Paulo: Unimep, 2012.
- CORRÊA FILHO, L. C.; ANDRADE, E. T. DE; MARTINAZZO, A. P.; D'ANDREA, E. M.; SOUSA, F. A. DE; FIGUEIRA, V. G. Cinética de secagem, contração volumétrica e análise da difusão líquida do figo (*Ficus carica* L.). **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.**, v. 19, n. 8, p. 797-802, 2014.
- CRANK, J. **The Mathematics of diffusion**. 2. ed. Bristol: Clarendon Press Oxford, 1975. 421 p.
- DINÇER, İ.; ZAMFIRESCU, C. **Drying Phenomena**. Chichester: John Wiley & Sons, 2015.
- EVANGELISTA, J. **Tecnologia de alimentos**. 2. ed. Atheneu, 2001. 652 p.

- FARIA, R. Q. DE; TEIXEIRA, I. R.; DEVILLA, I. A.; ASCHERI, D. P. R.; RESENDE, O. Cinética de secagem de sementes de crambe. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.**, v. 16, n. 5, p. 573-583, 2012.
- FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 2. ed. Viçosa: UFV, 2003. 412 p.
- FOUST, A. S.; WENZEL, L. A.; CLUMP, C. W.; MAUS, L.; ANDERSEN, L. B. **Princípios das operações unitárias**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 670p.
- GEANKOPLIS, C. J. **Transport Processes and Unit Operations**. 3. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1993. 921 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 110 p.
- KARATHANOS, V. T.; BELESSIOTIS, V. G. Application of a Thin-Layer Equation to Drying Data of Fresh and Semi-dried Fruits. **J. Agric. Eng. Res.**, v. 74, n. 4, p. 355-361, 1999.
- LOURENÇO, G. A.; FINZER, J. R. D. Secagem parcial de tomate-cereja em secador de bandejas vibradas com reciclo. **Brazilian J Food Technol.** v. 16, n. 4, p. 334-45, 2013.
- MATA, M. E. R. M. C.; BRAGA, M. E. D.; KROSS, R. K. Secagem osmótica de tomate: efeito da epiderme. **Rev. Bras. Prod. Agroind.**, Campina Grande, n. 1, p. 77-84, 2003.
- MAY, E. **Tomato Raisin**. US nº 6743560B2, 5 mar. 2002, 1 jun. 2004. 2004.
- MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. a New Model for Single-Layer Drying. **Drying Technol.**, v. 20, n. 7, p. 1503-1513, 2002.
- MUJUMDAR, A. S. **Handbook of Industrial Drying**. Boca Raton: CRC Press, 2014. 1288 p.
- O'CALLAGHAN, J. R.; MENZIES, D. J.; BAILEY, P. H. Digital simulation of agricultural drier performance. **J. Agric. Eng. Res.**, v. 16, n. 3, p. 223-244, 1971.
- ORLANDIN, A.; FONTANA, R.C.; SANDRI, I.G. Estudo de pré-tratamentos na desidratação de tomate-cereja (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*). **Brazilian J Food Technol.** v. 13, n. 3, p. 226-31, 2010.
- PACCO, H. C. **Desenvolvimento de um sistema de bomba de calor água/água para resfriamento e secagem de tomates**. 2008. 204 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.
- PACHECO, C. R. F. **Conceitos Básicos de Secagem**. São Paulo, Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2010.
- RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; BOTELHO, F. M.; RODRIGUES, S. Modelagem matemática do processo de secagem de duas variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Rev. Bras. Prod. Agroind.**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 17-26, 2008.
- SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J.; BRANCO, I. G.; BITTENCOURT, T. U.; MUNHOZ, C. L. Influência da geometria e da temperatura na cinética de secagem de tomate (*Lycopersicon esculentum*). **Ciênc. Technol. Aliment.**, Campinas, v. 31, n. 2, p. 308-312, 2011.
- SIMONNE, E.; SARGENT, S. A.; STUDSTILL, D.; SIMONNE, A.; HOCHMUTH, R.; KERR, S. Field performance, chemical composition and sensory evaluation of red and yellow grape tomato varieties. **Proc. Fla. State Hort. Soc.**, v. 118, p. 376-378, 2005.
- WANG, Z.; SUN, J.; CHEN, F.; LIAO, X.; HU, X. Mathematical modelling on thin layer microwave drying of apple pomace with and without hot air pre-drying. **J. Food Eng.**, v. 80, n. 2, 2007.

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

