

# As Engenharias frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente 4

Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizador)



Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizador)

As Engenharias frente a Sociedade, a  
Economia e o Meio Ambiente 4

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Executiva: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
Diagramação: Natália Sandrini  
Edição de Arte: Lorena Prestes  
Revisão: Os Autores

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**

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  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
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  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

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

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

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

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof.ª Dr.ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
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. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
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. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
E57	<p>As engenharias frente a sociedade, a economia e o meio ambiente 4 [recurso eletrônico] / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (As Engenharias Frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente; v. 4)</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-433-7 DOI 10.22533/at.ed.337192506</p> <p>1. Engenharia – Aspectos sociais. 2. Engenharia – Aspectos econômicos. 3. Desenvolvimento sustentável. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Série.</p> <p style="text-align: right;">CDD 658.5</p>
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

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

## APRESENTAÇÃO

As obras As Engenharias frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente Volume 1, 2, 3 e 4 abordam os mais diversos assuntos sobre métodos e ferramentas nas diversas áreas das engenharias a fim de melhorar a relação do homem com o meio ambiente e seus recursos.

O Volume 1 está disposto em 31 capítulos, com assuntos voltados a engenharia do meio ambiente, apresentando processos de recuperação e reaproveitamento de resíduos e uma melhor aplicação dos recursos disponíveis no ambiente, além do panorama sobre novos métodos de obtenção limpa da energia.

Já o Volume 2, está organizado em 32 capítulos e apresenta uma vertente ligada ao estudo dos solos e águas, com estudos de sua melhor utilização, visando uma menor degradação do ambiente; com aplicações voltadas a construção civil de baixo impacto.

O Volume 3 apresenta estudos de materiais para aplicação eficiente e econômica em projetos, bem como o desenvolvimento de projetos mecânico e eletroeletrônicos voltados a otimização industrial e a redução de impacto ambiental, sendo organizados na forma de 28 capítulos.

No último Volume, são apresentados capítulos com temas referentes a engenharia de alimentos, e a melhoria em processos e produtos.

Desta forma um compendio de temas e abordagens que facilitam as relações entre ensino-aprendizado são apresentados, a fim de se levantar dados e propostas para novas discussões em relação ao ensino nas engenharias, de maneira atual e com a aplicação das tecnologias hoje disponíveis.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
VARIAÇÃO ESTACIONAL DA OFERTA E DO PREÇO DE TOMATE LONGA VIDA EM MINAS GERAIS	
Luis Felipe Lima e Silva Douglas Correa de Souza Wilson Roberto Maluf	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3371925061</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>13</b>
ANÁLISE DA CINÉTICA DE SECAGEM DO NABO JAPONES ( <i>Raphanus Sativus Var. Acanthioformis</i> ) E DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DIFUSIVO DE TRANSFERÊNCIA DE MASSA	
Thayná de Lima Costa Keyvlin dos Santos Pais Marcela Felix dos Santos Monique Mendes dos Santos Raquel Manozzo Galante Leandro Osmar Werle	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3371925062</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>22</b>
CINÉTICA DE SECAGEM DE YACON ( <i>Smallanthus sonchifolius</i> ) E AVALIAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS	
Luan Gustavo dos Santos Thais de Freitas Brauna Joice Cristina Catache Menezes Rosângela Cacho Ferreira Raquel Manozzo Galante Leandro Osmar Werle	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3371925063</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>31</b>
CINÉTICA DE SECAGEM DA FRUTA DE NONI ( <i>Morinda citrifolia linn</i> ): INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA DIFUSIVIDADE EFETIVA	
Thayná de Lima Costa Fernanda de Oliveira Coaresma Bruna Martinhago Raquel Manozzo Galante Leandro Osmar Werle	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3371925064</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>40</b>
AVALIAÇÃO DE MODELOS DE SECAGEM E DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DIFUSIVO DE CARÁ ( <i>Dioscorea alata</i> )	
Luan Gustavo dos Santos Cristian Rocha da Silva Marcela Felix dos Santos Raquel Manozzo Galante Leandro Osmar Werle	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3371925065</b>	

**CAPÍTULO 6 ..... 49**

TRATAMENTO DE CASTANHA DE CAJU POR RADIAÇÃO UV-C DE LED PARA REDUÇÃO DE BOLORES

Leticia Cabrera Parra Bortoluzzi  
Iasmim Pereira de Moraes  
Ana Rita Zulim Leite  
Brenda Dall Molin  
Sidnei Macedo Pereira Filho  
Márcia Regina Ferreira Geraldo Perdoncini  
Fabio Henrique Poliseli Scopel  
Roberto Ribeiro Neli  
Roberta de Souza Leone  
Heron Oliveira dos Santos Lima

**DOI 10.22533/at.ed.3371925066**

**CAPÍTULO 7 ..... 58**

AVALIAÇÃO DA AÇÃO ANTIFÚNGICA DOS EXTRATOS BRUTOS DE MUTAMBA E CATUABA CONTRA O FUNGO *Botrytis cinerea*

Amanda Correia Gardenal  
Ana Rita Zulim Leite  
Iasmim Pereira de Moraes  
João Carlos Palazzo de Mello  
Daniela Cristina de Medeiros  
Danielly Chierrito de Oliveira Tolentino  
Mariane Roberta Ritter  
Naiara Cássia Gancedo  
Sharize Betoni Galende  
André Oliveira Fernandes da Silva  
Leila Larisa Medeiros Marques  
Márcia Regina Ferreira Geraldo Perdoncini

**DOI 10.22533/at.ed.3371925067**

**CAPÍTULO 8 ..... 67**

COMPARAÇÃO DE LEVEDURAS CERVEJEIRAS SECA E ÚMIDA

Camila A. Carazzato  
Mário L. Lopes  
Sandra H. da Cruz

**DOI 10.22533/at.ed.3371925068**

**CAPÍTULO 9 ..... 76**

INFLUÊNCIA DO USO DE TRAÇADOR COLORIDO NO CULTIVO EM ESTADO SÓLIDO

Marianny Silva Canedo  
Lucas Portilho da Cunha  
João Paulo Henrique  
João Cláudio Thoméo

**DOI 10.22533/at.ed.3371925069**

**CAPÍTULO 10 ..... 85**

AVALIAÇÃO SENSORIAL DE DIFERENTES FORMULAÇÕES DE CUPCAKES COM FARINHA DE TARO (*Colocasia esculenta*) COMO ALTERNATIVA NO DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS PARA PORTADORES DE DOENÇA CELÍACA

Pedro Garcia Pereira da Silva  
Aline Rodrigues Pontes  
Gisele Fernanda Alves da Silva  
Marcello Lima Bertuci  
Tuany Yuri Kuboyama Nogueira

**DOI 10.22533/at.ed.33719250610**

**CAPÍTULO 11 ..... 91**

OTIMIZAÇÃO DE FORMULAÇÃO DE BISCOITO TIPO COOKIE ISENTO DE GLÚTEN UTILIZANDO FARINHA DE ARROZ, TEFF E SORGO

Geovana Teixeira de Castro  
Luiza Pelinson Tridapalli  
Angélica Maria Delovo Fernandes  
Flávia Aparecida Reitz Cardoso  
Leila Larisa Medeiros Marques  
Renata Hernandez Barros Fuchs  
Adriana Aparecida Droval  
Hellen Fernanda da Silva Paulino  
Lucas de Souza Nespeca  
Beatriz Musi Sarris Gomes Lourenço  
Leonardo Vasconcelos Jacovassi  
Pamela da Silva Souza

**DOI 10.22533/at.ed.33719250611**

**CAPÍTULO 12 ..... 100**

AVALIAÇÃO SENSORIAL DE TRÊS MARCAS DE BACON COMERCIAL

Bruna Grassetti Fonseca  
Bianca Guimarães  
Maria Julia Neves Martins  
Ana Carolina Conti e Silva

**DOI 10.22533/at.ed.33719250612**

**CAPÍTULO 13 ..... 108**

DESENVOLVIMENTO DE LOMBO DEFUMADO PRODUZIDO COM CARNE DE JAVALI

Lucas de Souza Nespeca  
Camila da Silva Venancio  
Ana Claudia Montuan de Sousa  
Adriana Aparecida Droval  
Leila Larisa Medeiros Marques  
Renata Hernandez Barros Fuchs  
Flávia Aparecida Reitz Cardoso  
Natália da Silva Leitão Peres  
Angélica Maria Delovo Fernandes  
Lucas Shinti Iwamura  
Larissa Correa

**DOI 10.22533/at.ed.33719250613**

**CAPÍTULO 14 ..... 118**

**OTIMIZAÇÃO DE MORTADELA COM APLICAÇÃO DE MACA PERUANA**

Natália da Silva Leitão Peres  
Letícia Cabrera Parra Bortoluzzi  
Adriana Aparecida Droval  
Leila Larisa Medeiros Marques  
Flávia Aparecida Reitz Cardoso  
Renata Hernandez BarrosFuchs  
Camila da Silva Venancio  
Lucas de Souza Nespeca  
Luiza Pelinson Tridapalli  
Lucas Shinti Iwamura  
Larissa Correa  
Angélica Maria Delovo Fernandes

**DOI 10.22533/at.ed.33719250614**

**CAPÍTULO 15 ..... 127**

**CARACTERIZAÇÃO DA GELATINA OBTIDA DA PELE DE TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*)**

Bárbara de Sena Nunes Menezes  
Beatriz Helena Paschoalinotto  
Camila da Silva Venancio  
Flávia Aparecida Reitz Cardoso  
Adriana Aparecida Droval  
Renata Hernandez Barros Fuchs  
Pâmela da Silva Souza  
Natália da Silva Leitão Peres  
Maria Gabriella Felipe Silva  
Leila Larisa Medeiros Marques  
Larissa Correa  
Lucas Shinti Iwamura

**DOI 10.22533/at.ed.33719250615**

**CAPÍTULO 16 ..... 137**

**PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE MICROCÁPSULAS POLI (UREIA-FORMALDEÍDO) PREENCHIDAS COM ÓLEO DE SILICONE COMO INIBIDOR DE CORROSAO PARA APLICAÇÃO EM TINTAS**

Renata França Palhano  
Rogério Gomes de Araújo

**DOI 10.22533/at.ed.33719250616**

**CAPÍTULO 17 ..... 152**

**REMOÇÃO DE Cu(II) POR ADSORÇÃO EMPREGANDO CASCA DE COCO MODIFICADA COM FORMALDEÍDO POLIMERIZADO**

José Eduardo da Silva  
Francisco Idelbrando Lima Rodrigues  
Sara Nóbrega Pacífico  
Aline Sales Ferreira  
Leonardo Félix Santiago  
Luisa Celia Melo Pacheco  
Francisco André Andrade Aguiar  
Vicente Oliveira de Sousa Neto

**DOI 10.22533/at.ed.33719250617**

**CAPÍTULO 18 ..... 163**

ENTALPIA E ENTROPIA DE SORÇÃO DE ÁGUA DA FARINHA DE CAÑIHUA (*Chenopodium pallidicaule Aellen*)

Julles Mitoura dos Santos Junior  
Mona Mellissa Oliveira Cruz  
Augusto Pumacahua Ramos  
Diana Maria Cano Higuaita  
Romildo Martins Sampaio  
Harvey Alexander Villa Vélez

**DOI 10.22533/at.ed.33719250618**

**CAPÍTULO 19 ..... 178**

NANOTECNOLOGIA E MEDICINA: NOVAS PERSPECTIVAS PARA O FUTURO

Gustavo Marquezi Borges  
Douglas Daniel Dalle Corte  
Iago Bissani Pesavento  
Odirlei Antônio Magnagnagno

**DOI 10.22533/at.ed.33719250619**

**CAPÍTULO 20 ..... 186**

RISCO E DOLO EVENTUAL NA INTERFACE ENTRE ENGENHARIA E DIREITO

Antonio Maria Claret-Gouveia  
Alberto Frederico Vieira de Sousa-Gouveia  
Miguel Paganin Neto

**DOI 10.22533/at.ed.33719250620**

**CAPÍTULO 21 ..... 199**

AVALIAÇÃO ANTROPOMÉTRICA EM POSTOS DE TRABALHO DE MARCENARIAS NA CIDADE DE MOSSORÓ – RN

Bruno Ítalo Franco de Oliveira  
Fabrícia Nascimento de Oliveira  
Carolina Mendes Lemos  
João Márcio Rebouças Araújo  
Thaynon Brendon Pinto Noronha  
Wandick Nascimento Dantas  
Pedro Renato Moraes Salgado  
Anderson Nunes Silva  
Ana Victoria Carlos Almeida  
Luara Karolinny Machado de Oliveira  
Jerfson Moura Lima

**DOI 10.22533/at.ed.33719250621**

**CAPÍTULO 22 ..... 216**

COMO A DISSEMINAÇÃO EFICIENTE DAS POLÍTICAS DE TI PODE INFLUENCIAR NA MELHORIA DOS SERVIÇOS PRESTADOS À CIDADE

Luiz Fernando Rocha Pombo  
Ana Paula Guzela Bertolin

**DOI 10.22533/at.ed.33719250622**

**CAPÍTULO 23 ..... 228**

ESTUDO COMPARATIVO DE DESEMPENHO DE EXECUÇÃO DE ALGORITMOS NO CUDA E NO OPENCL

Antonio Raian de Lima Mendes

Angelo Amâncio Duarte

**DOI 10.22533/at.ed.33719250623**

**SOBRE O ORGANIZADOR..... 234**

## AVALIAÇÃO DE MODELOS DE SECAGEM E DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DIFUSIVO DE CARÁ (*Dioscorea alata*)

### Luan Gustavo dos Santos

Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Faculdade de Engenharia (FAEN)

Dourados - Mato Grosso do Sul, Brasil

### Cristian Rocha da Silva

Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Faculdade de Engenharia (FAEN)

Dourados - Mato Grosso do Sul, Brasil

### Marcela Felix dos Santos

Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Faculdade de Engenharia (FAEN)

Dourados - Mato Grosso do Sul, Brasil

### Raquel Manozzo Galante

Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Faculdade de Engenharia (FAEN)

Dourados - Mato Grosso do Sul, Brasil

### Leandro Osmar Werle

Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Faculdade de Engenharia (FAEN)

Dourados - Mato Grosso do Sul, Brasil

**RESUMO:** A preocupação com a preservação dos constituintes e o aumento da vida útil dos alimentos ocorre desde a era paleolítica. A redução de água disponível nos alimentos impede reações químicas e reduz o crescimento de microrganismos patogênicos. O processo de secagem tem como finalidade transportar a água disponível no interior dos alimentos para a superfície e, posteriormente, removê-la por

meio da evaporação, realizando fenômeno de troca de calor e massa para a obtenção de um produto alimentício seco. O cará (*Dioscorea alata*) é rico em carboidratos, fibras, proteínas, fósforo, cálcio, ferro e vitamina B1 e B2. Portanto, o presente trabalho tem o intuito de avaliar a cinética de secagem do cará e ajustar modelos matemáticos propostos por Fick, Midilli e Page, bem como, analisar o coeficiente de difusividade da secagem do tubérculo. Com esse propósito, fatias de cará foram colocadas em estufa de circulação a uma temperatura de 70 °C e velocidade constante de 2 m.s<sup>-1</sup>, realizando pesagens até a amostra adquirir peso constante. Dentre os modelos avaliados, utilizando erros estatísticos como critério de avaliação, o modelo de Midilli apresentou melhor representação da cinética de secagem. Os valores do coeficiente de difusividade encontrado foi de 5,5109x10<sup>-5</sup> cm<sup>2</sup>.min<sup>-1</sup>, o qual, se mostra condizente e dentro da faixa de valores encontrados na literatura.

**PALAVRAS-CHAVE:** Modelagem, difusividade, desidratação, cinética.

**ABSTRACT:** The concern with the preservation of the constituents and the increase of the useful life of the food occurs since the Paleolithic era. The reduction of available water in food prevents chemical reactions and combats the growth of deteriorating microorganisms. The purpose of

the drying process is to remove the water available in the food by evaporation, in which the water inside the food is transported to the surface. *Dioscorea alata* is rich in carbohydrates, fibers, proteins, phosphorus, calcium, iron and vitamin B1 and B2. Therefore, the present work intends to evaluate the drying kinetics of the character and to adjust mathematical models proposed by Fick, Midilli and Page, as well as to analyze the diffusivity coefficient of the tuber drying. For this purpose, slices were placed in a circulation oven at a temperature of 70 °C and constant speed of 2 m.s<sup>-1</sup>, weighing until acquired constant weight. Among the models evaluated, using statistical errors as an evaluation criterion, the Midilli model presented a better representation of the drying kinetics. The values of the diffusivity coefficient found were 5.5109x10<sup>-5</sup> cm<sup>2</sup>. min<sup>-1</sup>, which is consistent and within the range of values found in the literature.

**KEYWORDS:** Modeling, diffusivity, dehydration, kinetics.

## 1 | INTRODUÇÃO

A preocupação com a preservação dos constituintes e o aumento da vida útil dos alimentos influenciou o homem a criar maneiras de conservá-los. Percebeu-se que a redução de água disponível nos alimentos impede reações químicas e combate o crescimento de microrganismos deteriorantes. Assim, na década de XVIII, foi criado os primeiros secadores artificiais para alimentos, elevando a produção destes alimentos os quais destinavam-se para a alimentação dos soldados durante o período de viagens e em guerras (Silva, et al., 2016; *Food Ingredients Brasil*, 2013; Martins; Farias, 2002).

A análise da secagem é feita por métodos avaliativos, como a cinética de secagem, dita como a velocidade em função do tempo, em que uma amostra sólida consegue perder sua umidade para o meio ambiente. Tem-se como variáveis a temperatura, velocidade e umidade relativa do ar, nas quais, podem modificar as curvas, de acordo com cada alimento (Celestino, 2010).

Descreve que para uma melhor análise da cinética de secagem, deve-se utilizar modelos de difusividade pois pode-se prever como é a distribuição da água no interior da amostra a ser seca em períodos distintos. A difusividade efetiva é um método baseado na 2<sup>a</sup> Lei de Fick, a qual descreve a variação de massa por unidade de área sendo proporcional ao gradiente de concentração de água (Goneli, et al., 2014; Park; Vohnikova; Brod, 2002).

De acordo com Ferreira (2011), as espécies do gênero *Dioscorea* estão em grande expansão e seu consumo, nos últimos anos, obteve a equivalência de tubérculos comuns como batata inglesa, batata-doce e mandioca. Com isso, Silva et al. (2016) afirma que produção do cará pode aumentar a renda familiar e o seu uso, incrementa e potencializa cardápios de restaurantes e, também, agrega valores nutritivos em merendas escolares.

Ramos et al. (2014), descreve que o cará é rico em carboidratos, fibras, proteínas, fósforo, cálcio, ferro e vitamina B1 e B2. Alves (2000), ainda descreve que, ao secar, a

quantidade de carboidratos encontradas corresponde principalmente a amido, no qual, Ramos (2014), afirma ser superior ao encontrado no milho e mandioca. Com o processo de secagem, o cará pode ser transformado em farinha, tornando-se ingrediente para substituição de farinha branca em massas alimentícias e rações animais.

Feijó et al. (2016), em seu trabalho, concluiu que o uso da farinha de cará na alimentação de poedeiras, estimulou a produção de ovos, melhorou o desempenho e resultados de bioquímica sérica. Já Teixeira (2011), ao produzir pães com farinha de cará-roxo, adquiriu resultados surpreendentes, na qual, os pães ofereciam grande quantidade de atividade antioxidantes e que a aceitação dos pães aumentava simultaneamente com a adição do tubérculo no preparo da massa do pão. Sendo assim, o uso do cará seco, se torna uma alternativa nutritiva e de agregação de valor em produtos processados.

Desta forma, o presente trabalho, teve por objetivo secar fatias de cará (*Dioscorea alata*), ajustar modelos matemáticos aos dados experimentais obtidos pela secagem, verificando qual modelo seria mais representativo ao processo analisado e, assim, calcular a difusividade efetiva em uma determinada temperatura, durante a secagem do tubérculo.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Material

Foi realizado inicialmente o preparo do cará, adquirido no comércio local da cidade de Dourados-MS, descascando-o e cortando em fatias de 0,35 cm de espessura, medindo o diâmetro médio de cada fatia. Um desidratador convectivo de bandejas foi ajustado a uma temperatura de  $70 \pm 2$  °C e velocidade de circulação constante de aproximadamente  $2 \text{ m.s}^{-1}$ . As fatias foram dispostas sobre vidro relógio, pesadas em balança eletrônica analítica e inseridas na bandeja do secador.

### 2.2 Determinação da cinética de secagem

Para a determinação da cinética de secagem, inicialmente a amostra foi pesada determinando seu peso úmido ( $W_{umido}$ ), posteriormente introduzidas no desidratador e pesadas nas duas primeiras horas em um intervalo de 15 minutos, terceira e quarta a cada 30 minutos e, a partir da quinta hora, os intervalos passaram a ser de 1 hora até obter peso constante da amostra, determinando a umidade de equilíbrio ( $X_e$ ). A amostra permaneceu no secador até completar 24 horas, realizando a última pesagem, referente ao peso final da amostra seca ( $W_{ss}$ ).

A umidade inicial e ao longo do tempo ( $X_t$ ) para as amostras analisadas do cará foi determinada empregando o peso da água evaporada e do peso final da amostra seca ( $W_{ss}$ ). Foram construídas a curva típica de secagem plotando-se a umidade em função do tempo, durante o período de secagem.

A taxa de secagem ( $g_{H_2O}/\text{min.cm}^2$ ) descrita pela Equação 1, foi obtida a partir do método numérico com a derivação dos dados de umidade em relação ao tempo, além do peso final da amostra seca e da área superficial (A) da amostra, determinada pela aproximação à área transversal de um cilindro, utilizando o diâmetro médio da amostra inicial.

$$Ra = \frac{W_{ss} \cdot \Delta X}{A \cdot \Delta t} \quad (1)$$

O adimensional de umidade livre (y) foi obtido através da Equação 2.

$$Y = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} \quad (2)$$

em que  $X_t$  é o teor de umidade do produto ao longo do tempo, ( $g_{H_2O}/g$  sólido seco),  $X_0$  o teor de umidade inicial do produto ( $g_{H_2O}/g$  sólido seco) e  $X_e$  o teor de umidade de equilíbrio do produto ( $g_{H_2O}/g$  sólido seco).

### 2.3 Modelagem matemática

Os dados experimentais foram ajustados de acordo com os modelos descritos pela 2ª Lei de Fick (Equação 3), Page (Equação 4) e Midilli (Equação 5) para a cinética de secagem de alimentos.

$$Y = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{8}{\pi^2} e^{-\text{Def} \left(\frac{\pi}{2L}\right)^2 t} \quad (3)$$

$$Y = e^{-kt^n} \quad (4)$$

$$Y = ae^{-kt^n} + bt \quad (5)$$

em que t se refere ao tempo de secagem (min), k o coeficiente de secagem ( $\text{min}^{-1}$ ), a e b constantes dos modelos (adimensional), L a espessura (mm), e Def o coeficiente de difusão efetivo ( $\text{cm}^2.\text{min}^{-1}$ ).

Como critério de seleção, para o modelo que melhor descreve o processo de secagem do cará utilizou-se, além do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o erro quadrático médio (MSE) (Equação 6) e o erro percentual médio absoluto (MAPE) (Equação 7).

$$\text{MSE} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y_t - F_t)^2 \quad (6)$$

$$\text{MAPE} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{Y_t - F_t}{Y_t} \right| \quad (7)$$

em que  $y_t$  são valores preditos pelo modelo matemático,  $F_t$  os valores obtidos experimentalmente e  $n$  o número de observações ao longo do experimento.

Reis et al. (2011) expões que MSE é uma medida estatística e define o modelo de previsão mais preciso, quanto mais próximo de zero, maior é a precisão do modelo. Entretanto, MAPE é uma medida de erro relativa na qual é muito utilizada para avaliar a previsão de modelos matemáticos sendo que, para ser preditivo, os valores devem ser inferiores a 10%.

A partir da 2ª Lei de Fick (Equação 4) e com aproximação para placa plana de Crank (1975) se obteve a difusividade efetiva ( $D_{ef}$ ), utilizando valores constantes para espessura, temperatura, umidade inicial e de equilíbrio. Desconsiderando-se a contração volumétrica da amostra e considerando material homogêneo e placa plana, pois a secagem ocorreu com fluxo de ar paralelo a superfície do corte longitudinal do tubérculo.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos dados experimentais, foi determinado o diâmetro médio e espessura das fatias de cará, sendo 6,25 cm e 0,35 mm, respectivamente. A relação de umidade livre por tempo originou a curva de secagem do cará, sendo ilustrada na Figura 1.

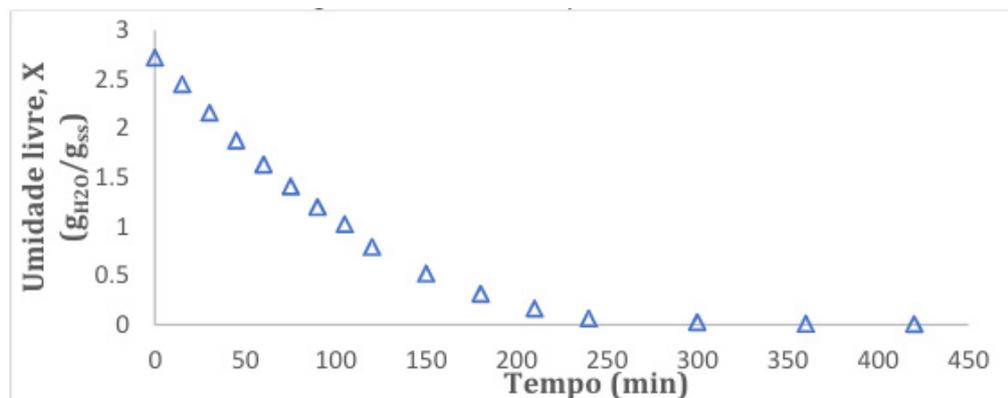


Figura 1. Curvas de secagem do cará a temperatura de 70 °C.

Percebe-se que a umidade livre das fatias de cará foi diminuindo ao longo do tempo e que, após 300 minutos, o alimento começou a se estabilizar, ou seja, a quantidade de água disponível no alimento foi reduzida, o que explica a baixa variação

do peso da amostra. A dificuldade do transporte da água até a superfície se deve pelo contato da amostra com a fonte de calor, levando a formação de uma casca seca no exterior das fatias, dificultando a saída da água.

Pacheco (2002) afirma que o momento em que a água do interior do alimento é dificilmente carregada a superfície é chamada de umidade crítica, onde, as amostras precisam de um maior intervalo de tempo para reduzir a quantidade de água do seu interior até manter pesos constantes. No experimento, o cará obteve umidade inicial de  $2,72 \text{ (g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{g}_{\text{ss}})$  e umidade de equilíbrio ( $X_e$ ) de  $1,07 \times 10^{-2} \text{ (g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{g}_{\text{ss}})$ , sendo necessárias aproximadamente 6 horas para o peso das fatias se tornassem constante.

A Figura 2 representa a curva de taxa de secagem, demonstrando que no início houve uma grande retirada no conteúdo de umidade da amostra em um curto período de tempo, na qual Vilella e Artur (2008) expõe que ao fatiar alimentos ocorre a formação de uma película de água em sua camada externa, facilitando a retirada da água. Nestes gráficos, geralmente a curva de taxa de secagem pode ser dividida em período de acomodação inicial da amostra; período de taxa constante de secagem e período de taxa decrescente de secagem (Park; Vohnikova; Brod, 2002).

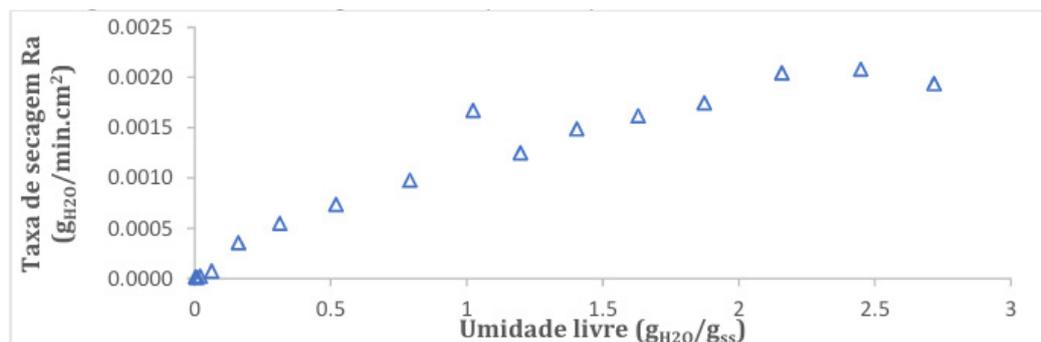


Figura 2. Taxa de secagem do cará para temperatura de 70°C.

É demonstrado na Figura 2 que a cinética de secagem do cará não apresentara o período de taxa constante, ou seja, na secagem do cará a difusão é o mecanismo físico dominante que rege o movimento da umidade na amostra. Menezes et al. (2013) ao realizar a secagem do bagaço de maracujá amarelo, obteve curva semelhantes ao presente trabalho, não apresentando um período de taxa constante durante a desidratação.

O comportamento dos dados experimentais frente aos modelos matemáticos baseados da 2ª Lei de Fick, Page e Midilli, pode ser observado na Figura 3, na qual, as curvas em relação aos dados demonstram o melhor perfil de representatividade da desidratação da fatia de cará em relação ao tempo de secagem, o qual foi desenvolvido o experimento.

Além disso, a curva obtida em cada modelo ajustado resulta em coeficientes, constantes e parâmetros estatísticos nos quais, demonstram e determinam matematicamente a melhor representatividade da modelagem frente aos dados

experimentais da desidratação do cará.

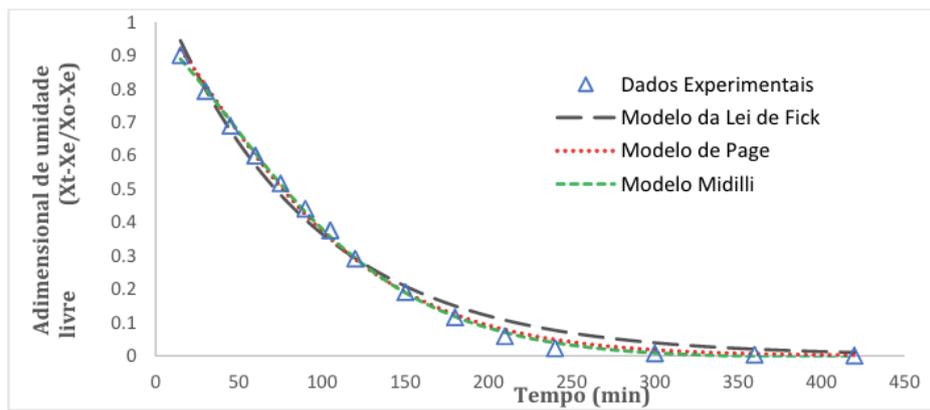


Figura 3. Curva da cinética de secagem do cará na temperatura de 70°C com ajuste nos três modelos matemáticos.

A Tabela 1, mostra os valores dos parâmetros dos modelos ajustados aos dados experimentais neste trabalho, bem como os critérios de avaliação dos modelos aplicados.

		Coeficientes	MAPE (%)	MSE (decimal)	R <sup>2</sup> (decimal)	-Def (cm <sup>2</sup> .min <sup>-1</sup> )
Fick	a	1,11651	57,6058	9,8145x10 <sup>-4</sup>	0,9887	9,12x10 <sup>-5</sup>
	k	-1,1100x10 <sup>-2</sup>				
Page	k	2,6700x10 <sup>-3</sup>	22,3464	2,1446x10 <sup>-4</sup>	0,9976	
	n	1,28319				
Midilli	a	0,9485	8,5983	9,1252x10 <sup>-5</sup>	0,9987	
	k	1,4700x10 <sup>-3</sup>				
	n	1,39490				
	b	-1,8814x10 <sup>-5</sup>				

Tabela 1. Parâmetros e critérios de avaliação obtidos a partir do ajuste dos modelos aos dados experimentais de secagem do cará na temperatura de 70 °C.

k: coeficiente de secagem (min<sup>-1</sup>); a, b, n: coeficientes utilizados nos modelos; MAPE: erro percentual médio absoluto (%); MSE: erro quadrático médio; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação.

Para a determinação do modelo matemático que melhor representasse o processo de secagem do cará, foi analisado, primeiramente, o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), onde, as curvas nos três modelos analisados, obtiveram valores superiores a 0,98 sendo que, o modelo de Midilli, apresentou o maior valor e assim, melhor ajuste. Porém, apenas o R<sup>2</sup> não determina um bom critério de avaliação e, por isso, determinou-se MSE e MAPE para cada modelo, como foi demonstrado na Tabela 1.

O modelo que melhor representa a cinética de secagem é o proposto por Midilli, pois avaliando o critério de MAPE, o percentual obtido, é inferior aos 10%, ou seja, o modelo pode ser considerado preditivo. Na avaliação do MSE, embora todos os modelos avaliados obtiveram valores reduzidos, o modelo de Midilli representa o menor valor encontrado (9,1252 x10<sup>-5</sup>) em relação aos demais, sendo considerado o

mais preciso.

Em secagem de rizomas da macambira, Costa et al. (2017) determinou que dentre os cinco modelos utilizados, o de Midilli foi o que melhor ajustou já que apresentou os maiores coeficientes de determinação e menores MSE. Leite et al. (2015) também determinou que o modelo de Midilli apresentou o melhor coeficiente de determinação e menor MSE, sendo ideal para representar a cinética de secagem de fatias de banana da terra.

Utilizando o coeficiente de secagem ( $k$ ) obtido pela 2ª Lei de Fick, foi determinado coeficiente de difusividade efetiva ( $Def$ ), apresentando valor de  $5,5109 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$  para a secagem do cará. Em secagem de duas espécies de inhame-da-costa, Montes et al. (2008), encontrou um  $Def$  que variou de  $4,63 \times 10^{-6}$  a  $4,91 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$ , ou seja, inferior ao encontrado na secagem o cará. Já, Moraes (2016) determinou um coeficiente difusivo de  $3,792 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$  em secagens de batata-doce, sendo ligeiramente próximo ao valor obtido no presente experimento.

Sabe-se que a variação do  $Def$  pode estar relacionada com a temperatura de secagem, velocidade do ar de circulação, estrutura morfológica do alimento e, também, a espessura das amostras a serem secas. Portanto, o coeficiente de difusão efetiva encontrado foi superior aos mostrados pela literatura em matérias primas semelhantes, o que resulta, em uma secagem adequada e viável para o cará.

## 4 | CONCLUSÕES

Foi constatado que as curvas do adimensional de umidade e da taxa de secagem, obtidas no experimento, estão próximas aos das matérias-primas vegetais e alimentícias descritas na literatura. A avaliação dos modelos matemáticos utilizando MAPE e MSE mostraram que o modelo descrito por Midilli melhor se ajustou aos dados do experimento por apresentar menores erros, podendo ser considerado um modelo preditivo e preciso na condição de secagem proposta. O coeficiente de difusividade efetiva encontrado apresenta ser superior aos descrito na literatura e mesmo desconsiderando a redução de volume através da contração da matéria, a forma simplificada mostra-se valores satisfatórios para o processo de secagem do cará.

## REFERÊNCIAS

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de Secagem de Alimentos**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, n. 2176–5081, p. 50, 2010.

COSTA, J. D. **Cinética de secagem da macambira em forno de micro-ondas**. Congresso nacional de pesquisa e ensino em ciências. 2017.

CRANCK, J. **The mathematics of diffusion**. 2. ed. Oxford: Clarendon Press, 1975.

FEIJÓ, J. C.; Cruz, F. G. G.; Melo, R. D.; Rufino, J. P. F.; Damasceno, J. L.; Costa, A. P. G. C.; Negreiros, T. D. J. N.). **Farinha de cará (*Dioscorea trifida* L.) sobre o desempenho, qualidade do ovo e bioquímica sérica de poedeiras comerciais leves**. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal, v. 17, n. 3, p. 413-423, 2016.

FERREIRA, A. B. **Sistemas de cultivo do cará *Dioscorea* spp. por pequenos agricultores da baixada cuiabana – MT**. 94 f. 2011. Dissertação (Mestrado) - Unesp, Botucatu-SP, 2011.

FOOD INGREDIENTS BRASIL. **Dossiê Alimentos Desidratados**. Food Ingredients Brasil, 2013.

GONELI, A. L. D.; VIEIRA, M. C.; VILHASANTI, H. D. C. B.; GONÇALVES, A. A. **Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem**. Agropecuária Tropical, v. 44, n. 1, p. 56–64, 2014.

LEITE, A. L. M. P.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G.; PIASSON, D.; Santos, P. **Contração volumétrica e cinética de secagem de fatias de banana variedade Terra**. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 45, n. 2, p. 155–162, 2015.

MARTINS, C.; FARIAS, R. **Produção de Alimentos X Desperdício: Tipos, Causas E Como Reduzir Perdas Na Produção Agrícola**. Revista da FZVA, v. 9, p. 20–32, 2002.

MENEZES, M. L.; KUNZ, C. C.; PERINE, P.; PEREIRA, N. C.; ANDREO, O. A.; BARROS, S. T. D. **Analysis of convective drying kinetics of yellow passion fruit bagasse**. Acta Scientiarum. Technology, v. 35, n. 2, p. 291-298, 2013

MONTES, E. J. M.; GALLO, R. T.; PIZARRO, R. D. A.; SIERRA, O. A. P.; HERAZO, I. I. M. **Modelado de la cinética de secado de ñame (*Dioscorea rotundata*) en capa delgada**. Revista Ingeniería e Investigación, v. 28, n. 2, p. 45–52, 2008.

MORAIS, S. G. G. **Estudo da cinética de secagem da batata-doce (*Ipomea batatas* L.) e caracterização da farinha**. 45f. 2016. Dissertação (Graduação) – UFPB, João Pessoa - PA, 2016.

PACHECO, C.R.F. **Apostila de conceitos Básicos de Secagem (cap. 1)**. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

PARK, J. K.; VOHNIKOVA, Z.; BROD, F. P. R. **Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (*Mentha crispata* L.)**. Journal of Food Engineering, v. 51, n. 3, p. 193–199, 2002.

RAMOS, A. D. S.; CASTRO, A. P. D.; MEDEIRO, C. M.; FRAXE, T. D. J. P.; MELO, S. R. D. D. **Avaliação da brotação para obtenção de mudas de diferentes partes do tubérculo de cará roxo (*Dioscorea trifida* L.)**. Revista Brasileira de Agroecologia, v. 9 n. 1, 2014.

REIS, R. C.; BARBOSA, L. B.; LIMA, M. L.; REIS, J. S.; DEVILLA, I. A.; ASCHERI, D. P. R. **Modelagem matemática da secagem da pimenta Cumari do Pará**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 15, n. 4, p. 347–353, 2011.

SILVA, E. R., BARROS, D. R., KINUPP, V. F., ALFAIA, S. S., AYRES, M. I., COIMBRA, A. B. **Isoporização em cará-de-espinho (*Dioscorea altissima* Lam.)**. Cadernos de Agroecologia, v. 10, n. 3, 2016

TEIXEIRA, A. P. **O cará-roxo (*Dioscorea trifida*) como ingrediente funcional na indústria de panificação**. 25 f. 2011. Dissertação de mestrado - UFA, Manaus-AM, 2011.

VILELA, C. A. A.; ARTUR, P. O. **Secagem do açafrão (*Curcuma longa* L.) em diferentes cortes geométricos**. Food Science and Technology, v. 28, n. 29, p. 387–394, 2008.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-433-7

