



**Cleberton Correia Santos
(Organizador)**

**Estudos Interdisciplinares
nas Ciências e da Terra
e Engenharias 2**

Cleberton Correia Santos
(Organizador)

Estudos Interdisciplinares nas Ciências
Exatas e da Terra e Engenharias 2

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Prof^a Dr^a 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
Prof^a Dr^a 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
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a 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
Prof^a Dr^a 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
Prof^a Dr^a 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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E82	<p>Estudos interdisciplinares nas ciências exatas e da terra e engenharias 2 [recurso eletrônico / Organizador Cleberton Correia Santos. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. – (Estudos Interdisciplinares nas Ciências Exatas e da Terra e Engenharias; v. 2)</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-641-6 DOI 10.22533/at.ed.416192309</p> <p>1. Ciências exatas e da Terra. 2. Engenharias. 3. Tecnologia. I.Santos, Cleberton Correia. II. Série.</p> <p style="text-align: right;">CDD 016.5</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

O livro “**Estudos Interdisciplinares nas Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**” de publicação da Atena Editora apresenta em seu 2º volume 35 capítulos relacionados temáticas de área multidisciplinar associadas à Educação, Agronomia, Arquitetura, Matemática, Geografia, Ciências, Física, Química, Sistemas de Informação e Engenharias.

No âmbito geral, diversas áreas de atuação no mercado necessitam ser elucidadas e articuladas de modo a ampliar sua aplicabilidade aos setores econômicos e sociais por meio de inovações tecnológicas. Neste volume encontram-se estudos com temáticas variadas, dentre elas: estratégias regionais de inovação, aprendizagem significativa, caracterização fitoquímica de plantas medicinais, gestão de riscos, acessibilidade, análises sensoriais e termodinâmicas, redes neurais e computacionais, entre outras, visando agregar informações e conhecimentos para a sociedade.

Os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora aos estimados autores que empenharam-se em desenvolver os trabalhos de qualidade e consistência, visando potencializar o progresso da ciência, tecnologia e informação a fim de estabelecer estratégias e técnicas para as dificuldades dos diversos cenários mundiais.

Espera-se com esse livro incentivar alunos de redes do ensino básico, graduação e pós-graduação, bem como outros pesquisadores de instituições de ensino, pesquisa e extensão ao desenvolvimento estudos de casos e inovações científicas, contribuindo na aprendizagem significativa e desenvolvimento socioeconômico rumo à sustentabilidade e avanços tecnológicos.

Cleberton Correia Santos

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
A MATEMÁTICA PRATICADA EM ESCOLAS PAROQUIAIS LUTERANAS DO RS E REVELADA EM CADERNOS ESCOLARES DA PRIMEIRA METADE DO SÉCULO XX	
Malcus Cassiano Kuhn	
DOI 10.22533/at.ed.64819103091	
CAPÍTULO 2	15
A QUALIDADE DO AR NAS ESCOLAS DA REDE PÚBLICA DE ENSINO FUNDAMENTAL: IMPORTÂNCIA E EXEMPLOS PARA A CIDADE DO RIO DE JANEIRO	
Maria Eduarda Palheiros Vanzan	
Raquel Mac-Cormick Franco	
Luiz Francisco Pires Guimarães Maia	
DOI 10.22533/at.ed.64819103092	
CAPÍTULO 3	24
NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE COBRE (II): AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES ESTRUTURAIS, MORFOLÓGICAS E TÉRMICAS PARA APLICAÇÃO EM CATÁLISE	
Maria Iaponeide Fernandes Macêdo	
Pedro Luiz Ferreira de Sousa	
Karine Loíse Corrêa Conceição	
Neyda de la Caridad Om Tapanes	
Roberta Gaidzinski	
DOI 10.22533/at.ed.64819103093	
CAPÍTULO 4	35
A ROBOTICA EDUCACIONAL LIVRE COMO METODOLOGIA ATIVA PARA A PROMOÇÃO DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS	
Elcio Schuhmacher	
Vera R. N. Schuhmacher	
DOI 10.22533/at.ed.64819103094	
CAPÍTULO 5	49
ANÁLISE DA PERFORMANCE DE METODOLOGIAS NUMÉRICAS DE SOLUÇÃO DA EQUAÇÃO DE TRANSPORTE DE NÉUTRONS EM GEOMETRIA UNIDIMENSIONAL SLAB NA FORMULAÇÃO DE ORDENADAS DISCRETAS	
Rafael Barbosa Libotte	
Hermes Alves Filho	
DOI 10.22533/at.ed.64819103095	
CAPÍTULO 6	59
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E SOLUBILIDADE DE ELEMENTOS A PARTIR DE RESÍDUOS DE DIFERENTES TIPOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS	
Eduardo Baudson Duarte	
Amanda Péres da Silva Nascimento	
Mirna Aparecida Neves	
Diego Lang Burak	
DOI 10.22533/at.ed.64819103096	

CAPÍTULO 7	68
ANÁLISE DE IMAGENS EM ESCALAS UTILIZANDO A TRANSFORMADA WAVELET	
Francisco Edcarlos Alves Leite	
Marcos Vinícius Cândido Henriques	
DOI 10.22533/at.ed.64819103097	
CAPÍTULO 8	78
ESTUDO DE IMPACTOS AMBIENTAIS COM ÊNFASE EM MEIO FÍSICO NA IMPLANTAÇÃO DE UMA BARRAGEM EM ATERRO PARA ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO MUNICÍPIO DE VIÇOSA/MG	
Gian Fonseca dos Santos	
Anderson Nascimento Milagres	
Yann Freire Marques Costa	
Danilo Segall César	
Klinger Senra Rezende	
Adonai Gomes Fineza	
DOI 10.22533/at.ed.64819103098	
CAPÍTULO 9	86
APLICAÇÃO DA JUNÇÃO DA PLATAFORMA LIVRE SCILAB E ARDUINO PARA CONTROLE DE pH	
Annanda Alkmim Alves	
Luiz Fernando Gonçalves Pereira	
Letícia Lopes Alves	
Saulo Fernando dos Santos Vidal	
Daniel Rodrigues Magalhães	
DOI 10.22533/at.ed.64819103099	
CAPÍTULO 10	94
APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA CERVEJA PARA A ADSORÇÃO DO CORANTE ÍNDIGO CARMIM EM EFLUENTE AQUOSO	
Ana Paula Fonseca Maia de Urzedo	
Taynara Mara Vieira	
Rodinei Augusti	
Kelly Beatriz Vieira Torres Dozinel	
Ana Cláudia Bernardes Silva	
Cristiane Medina Finzi Quintão	
DOI 10.22533/at.ed.648191030910	
CAPÍTULO 11	105
REAÇÕES DE BIOTRANSFORMAÇÃO PROMOVIDAS PELO FUNGO ENDOFÍTICO <i>Aspergillus Flavus</i>	
Lourivaldo Silva Santos	
Marivaldo José Costa Corrêa	
Williams da Siva Ribeiro	
Manoel Leão Lopes Junior	
Raílda Neyva Moreira Araújo Cabral	
Fabiane da Trindade Pinto	
Giselle Maria Skelding Pinheiro Guilhon	
Haroldo da Silva Ripardo Filho	
Carlos Vinicius Machado Miranda	
Jéssica de Souza Viana	
DOI 10.22533/at.ed.648191030911	

CAPÍTULO 12 116

AUTOMETÁTESE DO DL-KAVAIN, RELAÇÃO ENTRE ATIVIDADE CATALÍTICA E IMPEDIMENTO ESTÉRICO DO SUBSTRATO

Thais Teixeira da Silva
Vanessa Borges Vieira
Aline Aparecida Carvalho França
Talita Teixeira da Silva
Mayrla Letícia Alves de Oliveira
Roberta Yonara Nascimento Reis
Maria de Sousa Santos Bezerra
Fabiana Matos de Oliveira
José Milton Elias de Matos
Benedito dos Santos Lima Neto
José Luiz Silva Sá
Francielle Aline Martins

DOI 10.22533/at.ed.648191030912

CAPÍTULO 13 128

BIOPROSPECÇÃO DE ENZIMAS PRODUZIDAS POR FUNGOS DECOMPOSITORES ISOLADOS DE DETRITOS VEGETAIS DE RIACHOS DA REGIÃO DE FOZ DO IGUAÇU-PR

Caroline da Costa Silva Gonçalves
Maria Lair Sabóia de Oliveira Lima
Rafaella Costa Bonugli-Santos
Felipe Justiniano Pinto
Daniele da Luz Silva
Ana Letícia Fernandes
Renato Malveira Carreiro do Nascimento
Mariana Gabriely da Silva Menezes

DOI 10.22533/at.ed.648191030913

CAPÍTULO 14 138

AÇÃO E IMPACTO DE *MIDDLEBOXES* PRESENTES NA *WORLD WIDE WEB*

Adenes Sabino Schwantz
Bruno Borsatti Chagas

DOI 10.22533/at.ed.648191030914

CAPÍTULO 15 144

VALIDAÇÃO DE METODOLOGIA PARA QUANTIFICAÇÃO DE RUTINA E QUERCETINA NAS FOLHAS DE *Senna acuruensis*

Lucivania Rodrigues dos Santos
Adonias Almeida Carvalho
Luanda Ferreira Floro da Silva
Gerardo Magela Vieira Júnior
Ruth Raquel Soares de Farias
Mariana Helena Chaves

DOI 10.22533/at.ed.648191030915

CAPÍTULO 16 157

CLASSIFICAÇÃO TERMODINÂMICA DAS RADIOSSONDAGENS DE BELÉM DURANTE OS ANOS DE 2014 E 2015

Silvia Adriane Elesbão
Alfredo Quaresma da Silva Neto
Maria Aurora Santos da Mota

DOI 10.22533/at.ed.648191030916

CAPÍTULO 17 170

COMPOSIÇÃO E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DE ÓLEOS ESSENCIAIS DE *Psidium* (MYRTACEAE) DA AMAZÔNIA

Renan Campos e Silva
Joyce Kelly do Rosário da Silva
Rosa Helena Veras Mourão
José Guilherme Soares Maia
Pablo Luis Baia Figueiredo

DOI 10.22533/at.ed.648191030917

CAPÍTULO 18 182

CONSIDERAÇÃO DA INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA E DA ANÁLISE NÃO LINEAR NO PROJETO PRELIMINAR DE UMA PONTE DE CONCRETO ARMADO PARA ESTUDO DE VIABILIDADE

Wagner de Sousa Santos
Rafael Marcus Schwabe

DOI 10.22533/at.ed.648191030918

CAPÍTULO 19 195

DESENVOLVIMENTO DE UMA MEMBRANA BIODEGRADÁVEL CONTENDO ÓLEO DE COPAÍBA (*copaifera spp*) OBTIDA POR ELETROFIAÇÃO

João de Deus Pereira de Moraes Segundo
Maria Oneide Silva de Moraes
Tainah Vasconcelos Pessoa
Rosemeire dos Santos Almeida
Ivanei Ferreira Pinheiro
Karen Segala
Walter Ricardo Brito
Marcos Akira d'Ávila

DOI 10.22533/at.ed.648191030919

CAPÍTULO 20 204

EROSÃO HÍDRICA EM ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS E ESTRATÉGIAS PARA O CONTROLE DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS

Ana Beatriz Alves de Araújo
Isaac Alves da Silva Freitas
Gabriela Cemirames de Sousa Gurgel
Ricardo Alves Maurício
Clédson Lucena de Araújo
Fiana Raissa Coelho Pereira
Eduardo Maurício Gadelha
Geovanna Maria Andrade de Oliveira
Lígia Raquel Rodrigues Santos
Matheus Monteiro da Silva
Raniere Fernandes Costa
Walesca Ferreira de Sousa

DOI 10.22533/at.ed.648191030920

CAPÍTULO 21 214

ESTUDO CATALÍTICO DA POLIMERIZAÇÃO RADICALAR MEDIADA POR [Ni^{II}(N-SALICILIDENO-CICLOOCTILAMINA)₂] EM ACETATO DE VINILA E METACRILATO DE METILA

Talita Teixeira da Silva
Yan Fraga da Silva
Manoel Henrique dos Santos Galvão
Thais Teixeira da Silva
Sâmia Dantas Braga
Maria das Dores Alves de Oliveira
Juliana Pereira da Silva
Cristina Vidal da Silva Neta
João Clécio Alves Pereira
Geraldo Eduardo da Luz Júnior
Valdemiro Pereira de Carvalho Júnior
Nouga Cardoso Batista

DOI 10.22533/at.ed.648191030921

CAPÍTULO 22 228

DETERMINAÇÃO DE MERCÚRIO TOTAL E ORGÂNICO EM AMOSTRAS DE PRÓPOLIS E GEOPRÓPOLIS DO ESTADO DO PARÁ

Brenda Tayná Silva da Silva
Kelly das Graças Fernandes Dantas

DOI 10.22533/at.ed.648191030922

CAPÍTULO 23 241

AValiação da Secagem da Casca de Mangostão (*Garcinia mangostana* L.) em Diferentes Ambientes

Gabriela Nascimento Vasconcelos
Elza Brandão Santana
Rafael Alves do Nascimento
Elisangela Lima Andrade
Lorena Gomes Corumbá
Lênio José Guerreiro de Faria
Cristiane Maria Leal Costa

DOI 10.22533/at.ed.648191030923

CAPÍTULO 24 254

FAKE NEWS: UM PROBLEMA MIDIÁTICO MULTIFACETADO

Felipe de Matos Müller
Márcio Vieira de Souza

DOI 10.22533/at.ed.648191030924

CAPÍTULO 25 268

IDENTIFICAÇÃO E CONTROLE EM TANQUES DE NÍVEL DISPOSTOS DE FORMA NÃO-ITERATIVA

Luiz Fernando Gonçalves Pereira
Fernando Lopes Santana
Mario Luiz Pereira Souza
Renan Zuba Parrela
Saulo Fernando dos Santos Vidal

DOI 10.22533/at.ed.648191030925

CAPÍTULO 26	280
IMPROVING URBAN MOBILITY THROUGH A BUS COLLABORATIVE SYSTEM	
Fábio Rodrigues de la Rocha	
Ramon Tramontin	
DOI 10.22533/at.ed.648191030926	
CAPÍTULO 27	286
GRAPPHIA: UMA FERRAMENTA <i>M-LEARNING</i> PARA ENSINO DA ORTOGRAFIA	
Luciana Pereira de Assis	
Adriana Nascimento Bodolay	
Luiz Otávio Mendes Gregório	
Magno Juliano Gonçalves Santos	
Alessandro Vivas Andrade	
Pedro Henrique Cerqueira Estanislau	
Gilberto Carvalho Lopes	
Daniela Perri Bandeira	
DOI 10.22533/at.ed.648191030927	
CAPÍTULO 28	296
LEVANTAMENTO DAS PRINCIPAIS FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS DISPONÍVEIS PARA O ESTUDO DE ATERRAMENTOS ELÉTRICOS	
Marcos Vinicius Santos da Silva	
Márcio Augusto Tamashiro	
Kaisson Teodoro de Souza	
Antonio Marcelino da Silva Filho	
Humberto Rodrigues Macedo	
DOI 10.22533/at.ed.648191030928	
CAPÍTULO 29	303
METODOLOGIA DE PURIFICAÇÃO DA GLICERINA GERADA COMO COPRODUTO NA PRODUÇÃO DE BIODIESEL	
Paulo Roberto de Oliveira	
Elise Ane Maluf Rios	
Fernanda Joppert Carvalho de Souza	
Renan Vidal Viesser	
Patrick Rodrigues Batista	
DOI 10.22533/at.ed.648191030929	
CAPÍTULO 30	316
NÍVEL DE VIBRAÇÃO LOCALIZADA EM UM DERRIÇADOR MECÂNICO PORTÁTIL UTILIZADO NO CAFEEIRO	
Geraldo Gomes de Oliveira Júnior	
Irlon de Ângelo da Cunha	
Adriano Bortolotti da Silva	
Raphael Nogueira Rezende	
Luana Elís de Ramos e Paula	
Patrícia Ribeiro do Valle Coutinho	
Paulo Henrique de Siqueira Sabino	
DOI 10.22533/at.ed.648191030930	

CAPÍTULO 31	323
O ENSINO NA MODALIDADE EAD: PERSPECTIVAS SOBRE O PROCESSO EDUCATIVO NA MATEMÁTICA	
Lucilaine Goin Abitante	
Máriele Josiane Fuchs	
Elizângela Weber	
Cláudia Maria Costa Nunes	
DOI 10.22533/at.ed.648191030931	
CAPÍTULO 32	335
O USO DE DISPOSITIVOS MÓVEIS COMO APOIO AO ENSINO E APRENDIZADO: UMA ABORDAGEM BASEADA NO BYOD	
Claudiany Calaça de Sousa	
Ennio Willian Lima Silva	
DOI 10.22533/at.ed.648191030932	
CAPÍTULO 33	352
COMPUTATIONAL METHOD H_{∞} APPLIED TO DEXTEROUS HAND MASTER - DHM	
Rildenir Silva	
Ivanildo Abreu	
Cristovam Filho	
DOI 10.22533/at.ed.648191030933	
CAPÍTULO 34	363
ÓXIDO DE CÁLCIO (CaO) OBTIDO POR PRECIPITAÇÃO PARA PRODUÇÃO DE BODIESEL A PARTIR DE ÓLEO DE SOJA COMERCIAL	
Roberto Ananias Ribeiro	
Fernanda Barbosa Damaceno	
DOI 10.22533/at.ed.648191030934	
CAPÍTULO 35	374
PHOTOELECTROCATALYSIS PROPERTIES OF $CUWO_4$ POROUS FILM UNDER POLYCHROMATIC LIGHT	
Aline Estefany Brandão Lima	
Roberta Yonara Nascimento Reis	
Maria Joseíta dos Santos Costa	
João Paulo Carvalho Moura	
Luis Jefferson da Silva	
Reginaldo da Silva Santos	
Laécio Santos Cavalcante	
Elson Longo da Silva	
Geraldo Eduardo da Luz Júnior	
DOI 10.22533/at.ed.648191030935	
SOBRE O ORGANIZADOR	384
ÍNDICE REMISSIVO	385

AVALIAÇÃO DA SECAGEM DA CASCA DE MANGOSTÃO (*Garcinia mangostana* L.) EM DIFERENTES AMBIENTES

Gabriela Nascimento Vasconcelos

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Química
Belém – Pará

Elza Brandão Santana

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química
Belém – Pará

Rafael Alves do Nascimento

Universidade Federal do Pará, Programa de Doutorado em Recursos Naturais
Belém – Pará

Elisangela Lima Andrade

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química
Belém – Pará

Lorena Gomes Corumbá

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Química
Ananindeua – Pará

Lênio José Guerreiro de Faria

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Química
Belém – Pará

Cristiane Maria Leal Costa

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Química
Belém – Pará

L.) é um fruto nativo da Ásia, que se adaptou ao clima da Região Amazônica, apresenta forte coloração em sua casca, indicando presença de antocianinas. Para extração destas, o teor de umidade do material deve ser reduzido. Assim, o objetivo deste trabalho foi analisar o tipo de secagem do material sobre a quantificação de antocianinas totais, utilizando quatro tipos de processos: secagem à temperatura ambiente (31°C), em sala climatizada (20°C), leito fixo (secador de bandeja) e leito dinâmico (tipo jorro) nas temperaturas de 35, 40 e 45°C. Os dados experimentais foram analisados utilizando-se modelos matemáticos relativos à cinética à estimativa da difusão da umidade. Para os secadores de leito fixo e de jorro, o melhor modelo foi o de Midilli et al. A difusividade efetiva foi estimada com base na equação da esfera, utilizando a lei de Fick, no qual, apresentou uma elevação diretamente proporcional ao aumento de temperatura de secagem, na faixa de $7,32 \times 10^{-10}$ a $15,99 \times 10^{-10}$ m²/s e $1,281 \times 10^{-10}$ a $4,757 \times 10^{-10}$ m²/s, para secagem em leito fixo e jorro, respectivamente. A energia de ativação, E_a , que descreve a relação da difusividade em relação à temperatura foi obtida pela equação de Arrhenius, apresentou os valores de 64,80 e 99,00 (kJ/mol). Os valores de energia de ativação estimados estavam dentro da faixa observada para outros equipamentos. Em relação a extração e obtenção das antocianinas,

RESUMO: O Mangostão (*Garcinia mangostana*

a temperatura de 40°C, no leito fixo, foi a melhor condição por apresentar uma retenção de antocianina de 90,28%.

PALAVRAS-CHAVE: secagem; leito fixo; leito de jorro; mangostão

EVALUATION OF DRYING OF MANGOSTEEN BARK (*Garcinia mangostana* L.) IN DIFFERENT ENVIRONMENTS

ABSTRACT: The mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) is a native fruit of Asia, which adapted to the Amazonian climate, presents a strong coloration in its bark, indicating the presence of anthocyanins. For extraction of these, the moisture content of the material should be reduced. Drying at room temperature (31°C) in a room with air conditioning (21°C), fixed bed tray (dryer with forced air circulation) and dynamic bed (spouted bed type) at temperatures of 35, 40 and 45°C. The experimental data were analyzed in relation to kinetic models and to the estimation of moisture diffusion. Among the models, the best described was the process for the room temperature and the room with air conditioning. For the other drying systems, the best model was Midilli et al. The effective diffusivity was estimated based on the equation of the sphere, using Fick's law, in which it presented an increase directly proportional to the increase of drying temperature, in the range of 7.32×10^{-10} to 15.99×10^{-10} m²/s, and 1.281×10^{-10} at 4.757×10^{-10} m²/s, for fixed bed and spouted bed drying, respectively. The activation energy, E_a , which describes the relationship of diffusivity to temperature was obtained by the Arrhenius equation, presented values of 64.80 and 99.00 (kJ/mol). The estimated activation energy values were within the range observed for other equipment. In relation to the extraction and obtaining of anthocyanins, it was inferred that the temperature of 40°C in the fixed bed was the best condition, since it presented anthocyanin retention of 90.28%.

KEYWORDS: drying; fixed bed; spouted bed; mangosteen.

1 | INTRODUÇÃO

O Mangostão (*Garcinia mangostana* L.) é nativo do sudeste asiático, e no Brasil, os maiores produtores são as regiões Norte e Nordeste. É comumente consumido na forma fresca e possui um sabor agradável e característico. A polpa é a única parte comestível, representando apenas 24% da massa total do fruto, o restante é considerado rejeito agroindustrial (SACRAMENTO et al., 2007).

O processamento dos resíduos do mangostão representa uma alternativa tecnológica e sustentável na obtenção de bioativos como a antocianinas e tem despertado o interesse científico (SILVA et al., 2007). Nesse contexto, estudos relacionados a extensão da vida útil desse resíduo são necessários. Dentre as tecnologias que podem ser utilizadas, a secagem apresenta boas perspectivas de uso, uma vez que é eficiente para remover o excedente de água de produtos agrícolas, aumentando a sua estabilidade em condições de estocagem prolongada,

além de reduzir a formação de microrganismos, como fungos, capazes de decompor o objeto desejado.

Para representar a cinética de secagem de produtos agroindustriais, utilizam-se modelos matemáticos que servem para simulações de processo e no aperfeiçoamento de secadores. Dentre os modelos mais estudados, destaca-se o da difusão, baseado na segunda Lei de Fick, e expressa que o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração de água (ROMERO-PEÑA; KIECKBUSCH, 2003).

A partir do uso do modelo da difusão, podem-se determinar as principais propriedades termodinâmicas dos materiais bem como fundamentar o estudo dos fenômenos físicos que ocorrem na superfície dos mesmos. Diante o exposto, o objetivo deste trabalho foi realizar a secagem da casca do mangostão em diferentes sistemas de secagem e avaliar a porcentagem de retenção de antocianinas. Analisou-se também o ajuste de diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais e determinou-se o coeficiente de difusão e a energia de ativação.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Os frutos de mangostão foram produzidos por agricultores da cidade de Santo Antônio do Tauá, próxima à região metropolitana de Belém. Os frutos foram transportados ao Laboratório de Corantes (LabCor) - FEQ/UFGPA, onde foram selecionados, lavados em água corrente e expostos a separação da parte comestível (polpa e sementes) e das cascas. Após essa etapa os frutos foram acondicionados em sacos de papel e de plástico e mantidos em refrigeração à temperatura de 8°C até a realização do trabalho.

2.1 Preparação e caracterização físico-química das cascas

Parte da amostra foi separada para medições físicas específicas (três lotes contendo doze frutos cada) da massa (massa do fruto, casca, polpa e sementes), diâmetro longitudinal, transversal e espessura das cascas. As cascas de mangostão foram cominuídas em moinhos de facas (modelo LQL 15BIVMF60N5), e caracterizadas quanto ao teor de umidade, massa específica aparente e real, porosidade (WEBB; ORR, 1998) e diâmetro médio equivalente de Sauter (McCABE et al., 1993).

As análises físico-químicas da casca do mangostão cominuída realizadas em duplicata foram: Sólidos totais (método nº 920.151, AOAC 1997), resíduo mineral fixo (cinzas) (método nº 940.26, AOAC 1997), lipídeos totais (método nº 968.20, AOAC 1997), proteínas totais (método nº 920.152, AOAC 1997), valor energético (Anderson et al. 1988), pH (método nº 981.12, AOAC 1997) e sólidos solúveis (°Brix) (método nº 932.12, AOAC 1997).

2.2 Equipamentos

Para secagem em leito fixo foi utilizado um secador de bandejas atmosférico, com circulação de ar forçada da marca QUIMIS, modelo Q314M222. Para a cinética em leito dinâmico foi utilizado o leito de jorro, constituído por um corpo em acrílico composto por uma base cônica com ângulo de 60° e 12 cm de altura, acoplado a um corpo cilíndrico de 80 cm de altura e 16 cm de diâmetro, e de acessórios como, um soprador centrífugo de 7 CV e de resistências elétricas.

2.3 Ensaios da cinética de secagem

Foram realizados ensaios de cinética de secagem em quatro diferentes sistemas de secagem: Secagem natural a temperatura ambiente, natural em sala climatizada, em leito fixo com circulação de ar forçada e em leito de jorro.

2.3.1 Secagem natural a temperatura ambiente e em sala climatizada

A secagem natural foi conduzida em ambiente coberto e com circulação natural de ar. A temperatura ambiente média foi de 31°C e umidade relativa do ar de 90%. A secagem em sala climatizada ocorreu com o controle efetivo da temperatura (20°C) e da umidade relativa do ar (80%).

Para os ensaios de secagem natural e em sala climatizada, duas amostras de 150 g da casca de mangostão triturada foram expostas à secagem em bandejas e pesadas continuamente em balança analítica (marca Gehaka, modelo BG 8000 com precisão de 0,01 g) até que a variação das massas fosse menor que 1 g. A cinética de secagem foi realizada com base nos dados experimentais de decréscimo da massa de material em função do tempo de operação.

2.3.2 Secador de bandejas

Os ensaios para secagem em leito fixo (secador de bandejas) e em leito dinamicamente ativo (leito de jorro) foram realizados em três temperaturas devidamente controladas (35, 40 e 45°C). Na secagem em leito fixo, o material foi disposto em três bandejas, em três regiões distintas do secador e foram pesadas em intervalos regulares até se atingir o equilíbrio com as condições do ambiente de secagem, indicado quando não havia mais uma variação significativa nas massas das amostras.

2.3.3 Leito de jorro

Aproximadamente 400 g de cascas, cominuídas em moinho de facas, foram submetidas a secagem em leito de jorro. Amostras do material foram coletadas em

intervalos regulares de tempo, em quantidades adequadas para não ocorrer uma descacacterização do leite, e usadas para a construção das curvas de secagem. As amostras foram levadas à estufa a 105°C por 24 horas para a determinação das massas de sólido seco (m_{ss}).

2.4 Análise da cinética de secagem

Para obtenção das curvas do comportamento cinético foi determinado a razão de umidade (X_r) obtida por meio da Equação 1.

$$X_r = \frac{X_t}{X_0} \quad (1)$$

Na qual X_r representa a razão de umidade, adimensional; X_t é a umidade em função do tempo t , decimal, em base seca (b.s.); X_0 é a umidade inicial do produto, decimal (b.s.).

Alguns dos principais modelos utilizados na secagem de produtos agroindustriais, listados na Tabela 1, foram avaliados a fim de determinar o melhor ajuste aos dados experimentais.

Referência	Modelo	Equação
Newton	$X_r = e^{-kt}$	(2)
Page	$X_r = e^{-kt^n}$	(3)
Midilli et al.	$X_r = a \cdot e^{-k \cdot t^n} + b \cdot t$	(4)
Dois termos	$X_r = a \cdot e^{-k \cdot t} + b \cdot e^{-k_1 \cdot t}$	(5)
Henderson e Pabis modificado	$X_r = a \cdot e^{-k \cdot t} + b \cdot e^{-k_1 \cdot t} + c \cdot e^{-k_2 \cdot t}$	(6)

Tabela 1 – Modelos de secagem aplicados a secagem da casca do mangostão

A qualidade dos modelos foi avaliada com base nas estatísticas coeficiente de determinação (R^2), desvio médio relativo (D) (Equação 7), erro padrão da estimativa (SE) (Equação 8) e na análise do comportamento da distribuição de resíduos.

$$D = \frac{100}{N} \sum \frac{|Y - Y'|}{Y} \quad (7)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - Y')^2}{df}} \quad (8)$$

Nessas equações, N representa o número de experimentos; df os graus de liberdade e Y e Y' são os valores experimentais e preditos pelo modelo, respectivamente.

2.5 Determinação do coeficiente de difusão efetivo

Para secagem em leito fixo e jorro, a determinação do coeficiente de difusão efetivo (D_{eff}) das cascas cominuídas de mangostão foi ajustada ao modelo matemático da difusão para a forma esférica, por meio da solução da Equação 11, gerada a partir da solução analítica da segunda Lei de Fick, truncada no primeiro termo (CRANK, 1975).

Para o cálculo do raio (r) na Equação 09, considerou-se o diâmetro médio equivalente de Sauter. A avaliação da influência da temperatura sobre o coeficiente de difusão efetivo foi realizada pela relação de Arrhenius (Equação 10), que ao ser logaritmada, transforma-se na Equação 11, possibilitando a construção do gráfico do logaritmo natural da difusividade efetiva (D_{eff}) *versus* o inverso da temperatura absoluta, (1/T), em Kelvin. Determina-se em seguida a energia de ativação (E_a) da secagem das amostras pela inclinação da equação de Arrhenius, a qual corresponde ao coeficiente angular da reta.

$$Xr = \frac{6}{\pi^2} \exp\left(\frac{-\pi^2 t D_{\text{eff}}}{r^2}\right) \quad (09)$$

$$D_{\text{eff}} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (10)$$

$$\ln D_{\text{eff}} = \ln D_0 - \frac{E_a}{RT} \quad (11)$$

Nessas equações, D0 representa um fator pré-exponencial de Arrhenius (m^2/s) e R é a constante universal dos gases (8,314 J/mol).

2.6 Determinação das antocianinas totais

A solução extratora de antocianinas foi preparada a partir de álcool a 92,5° e água destilada na proporção 70/30 (v/v), acidificada com 1% de ácido clorídrico (v/v). As cascas de mangostão *in natura* e oriundas das cinéticas nos diferentes leitos foram submetidos à maceração na proporção de 1:4 por 24 horas ao abrigo da luz a temperatura ambiente ($30^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$). Após esse período, o material foi filtrado em papel de filtro Whatman nº 2 e o extrato resultante foi acondicionado para posterior

quantificação de antocianinas.

A determinação das antocianinas totais (Ant_{totais}) foi baseada na adaptação da metodologia de Fuleki e Francis (1968), por meio da Equação 12. Uma alíquota de 1 mL do extrato antociânico foi diluído em solução de álcool acidificado com HCl (85:15 v/v) em balão de 10 mL. A absorvância (Abs) foi medida no comprimento de onda (λ) de 535 nm, em espectrômetro da marca Biosystems, modelo T704 (UV/VIS Spectrometer).

$$Ant_{\text{totais}}(\text{mg}/100\text{g da amostra}) = \frac{\text{Abs. Fd. } 100}{E_{1\text{ cm}}^{1\%}} \quad (12)$$

Onde: Abs é a leitura da absorvância em 535 nm; $E_{1\text{ cm}}^{1\%}$ é o fator de diluição e é o coeficiente de absorvância (98,29).

A diluição adotada para o extrato foi escolhida de acordo com os valores de absorvância entre 0,200 e 0,800. O espectrofotômetro foi calibrado com o branco que corresponde a solução de Etanol:HCl 1,5 N (na proporção de 85:15). A porcentagem de retenção foi calculada baseando-se nos valores de antocianinas antes e após o processo de secagem, conforme a Equação 13.

$$Rt_{\text{Ant}}(\%) = \frac{Ant_{\text{totais}}(\text{apos a secagem})}{Ant_{\text{totais}}(\text{antes da secagem})} \times 100 \quad (13)$$

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização físico-química e física das cascas de mangostão

Os testes que avaliaram as características físicas e físico-químicas das cascas de mangostão estão descritos a partir dos ensaios médios (em triplicata) \pm desvio padrão. Características físico-químicas: umidade inicial (60,07 % b.u. \pm 0,58), sólidos totais (39,93 % \pm 0,58), cinzas (0,90 % \pm 0,00), lipídeos (0,62 % \pm 0,09), proteínas (0,52 g/100 mL \pm 0,12), sólidos solúveis (1,50 brix \pm 0,00), pH (4,42 \pm 0,00). Características físicas: massa específica real (1,49 g/cm³ \pm 0,0022), Massa específica aparente (0,92 g/cm³ \pm 0,05); diâmetro médio de Sauter (736,5 mm \pm 5,47) e porosidade do leito de partículas (0,38 \pm 0,03).

A análise físico-química da casca do mangostão apresentou valor médio de umidade elevada de 60,07% b.u, o que pode favorecer a proliferação de microrganismos, comprometendo a qualidade do material, o que justifica a necessidade da redução da umidade para a conservação do produto. O teor de cinzas encontrado de 0,90%

e, de pH, em torno, de 4,42 foram superiores ao encontrado por Chisté et al. (2009), que apresentou teores de 0,46 a 0,69% para cinzas e, de pH na faixa de 3,85 a 3,9. Entretanto, para os teores de proteínas e sólidos solúveis e, do Brix, que foram de 0,52%, 0,64% e 4,9°, respectivamente, estes valores mostraram-se inferiores aos encontrados aos resultados de Chisté et al. (2009).

3.2 Secagem natural a sombra e em ambiente controlado

Após 60 horas de secagem das amostras submetidas à secagem natural a sombra ($T = 31^{\circ}\text{C}$, $UR = 90\%$) e em ambiente com o controle das propriedades psicrométricas do ar, temperatura de bulbo seco 20°C e umidade relativa do ar $UR = 80\%$, as umidades finais resultantes foram de 38% (secagem natural) e 28% (secagem controlada), ambas em base úmida (b.u.). Observou-se maior remoção de umidade, em ambiente com temperatura e umidade relativa do ar controladas, em virtude das condições mais propícias a transferência de massa (umidade) do material para o ambiente.

Entretanto, em ambas as amostras, não foi alcançado equilíbrio termodinâmico com o ambiente e ainda se observou a proliferação de fungos, provavelmente devido ao alto teor de umidade final que é acima do limite aceitável para inibição de crescimento microbiano em produtos naturais ($< 6\%$ b.u.), segundo Rahman (2008). Este comportamento inviabilizou a extração posterior de antocianinas indicando que este sistema de secagem, nas temperaturas utilizadas, não é recomendável como etapa preparatória para extração de corante.

3.3 Secadores de bandejas e leito de jorro

Após 130 minutos de operação, para as três temperaturas de secagem, a casca de mangostão cominuída apresentou umidades finais médias menores que 5,5% b.u. e 7,2% b.u., para a secagem em leito fixo e de jorro, respectivamente, indicando uma eficiente remoção de umidade. Na Tabela 2 constam os valores dos parâmetros e das estatísticas obtidos com os ajustes não lineares dos modelos cinéticos aos dados experimentais de secagem.

Verifica-se na Tabela 2 que para grande maioria dos modelos o valor do coeficiente de determinação (R^2) está acima de 99%. Entretanto, para se avaliar a excelência dos ajustes, somente as estatísticas R^2 , D e SE não são suficientes, tornando-se necessária a avaliação de outros indicadores estatísticos de desempenho, com base na análise de regressão (MYERS et al., 2009).

Dessa forma, torna-se necessária uma análise de resíduos, em atendimento às premissas exigidas pela estatística paramétrica. Para Kashaninejad et al. (2007) e Mohapatra; Rao (2005), valores para o desvio médio relativo (D) e erro padrão da estimativa (SE) inferiores a 10% e 3% respectivamente, são recomendados para a seleção de modelos.

Secador de bandejas										
Modelo de Newton					Modelo de Page					
T (°C)	k	R ²	D	e	T (°C)	k	n	R ²	D	SE
35	0,028	99,21	16,78	0,028	35	0,016	1,145	99,60	14,68	0,019
40	0,041	98,90	25,56	0,033	40	0,022	1,188	99,40	29,59	0,024
45	0,053	98,92	33,83	0,031	45	0,031	1,172	99,41	37,03	0,025
Modelo de Midilli et al.										
T (°C)	k	n	a	b	c	K1	K2	R ²	D	SE
35	0,011	1,258	0,981	0,00035				99,84	6,39	0,014
40	0,017	1,283	0,992	0,00026				99,95	5,44	0,009
45	0,027	1,239	0,999	0,00036				99,94	9,01	0,012
Modelo de dois Termos										
T (°C)	k	n	a	b	c	K1	K2	R ²	D	SE
35	0,029		0,506	0,506		0,024		99,70	15,32	0,028
40	0,043		0,507	0,507		0,011		95,01	25,73	0,032
45	0,055		0,517	0,517		0,029		99,33	33,64	0,032
Modelo de Henderson e Pabis modificado										
T (°C)	k	n	a	b	c	K1	K2	R ²	D	SE
35	0,029		0,345	0,345	0,345	0,029	0,029	99,30	15,32	0,030
40	0,043		0,348	0,348	0,348	0,043	0,043	99,11	25,73	0,035
45	0,055		0,346	0,346	0,346	0,055	0,055	99,10	33,64	0,034
Leito de jorro										
Modelo de Newton					Modelo de Page					
T (°C)	k	R ²	D	e	T (°C)	k	n	R ²	D	SE
35	0,013	99,18	19,91	0,064	35	0,008	1,122	99,70	18,63	0,065
40	0,023	98,24	19,87	0,050	40	0,008	1,271	99,73	14,18	0,032
45	0,026	96,16	33,53	0,063	45	0,004	1,522	99,57	24,80	0,051
Modelo de Midilli et al.										
T (°C)	k	n	a	b	c	K1	K2	R ²	D	SE
35	0,012	0,959	1,004	-0,001				99,93	8,35	0,064
40	0,006	1,387	0,991	0,0004				99,93	7,83	0,031
45	0,003	1,649	0,985	0,0003				99,82	9,09	0,047
Modelo de dois termos										
T (°C)	k	n	a	b	c	K1	K2	R ²	D	SE
35	0,014		0,512	0,512		0,014		99,35	19,56	0,071
40	0,025		0,535	0,535		0,025		98,93	17,36	0,048
45	0,029		0,054	0,054		0,029		97,46	32,09	0,068
Modelo de Henderson e Pabis modificado										
T (°C)	k	n	a	b	c	K1	K2	R ²	D	SE
35	0,014		0,341	0,341	0,341	0,014	0,014	99,35	19,54	0,076
40	0,025		0,357	0,357	0,357	0,025	0,025	98,93	17,36	0,052
45	0,029		0,367	0,367	0,367	0,029	0,029	97,46	32,09	0,073

Tabela 2. Ajuste dos modelos cinéticos aos dados experimentais em função do tipo de secador

Dos modelos analisados, o de Midilli et al. foi o que apresentou o melhor ajuste, com base nos valores de R² acima de 99,82%, e nos menores valores de DMR e SE

(< 9,0 % e < 0,065 %, respectivamente).

Além disso, somente para o modelo de Midilli et al. observou-se uma distribuição de resíduos aleatória em relação aos valores experimentais da umidade do material (indicando independência), homogeneidade de variâncias (homocedasticidade) e distribuição de probabilidade normal (resultados não apresentados nesse artigo).

A análise dos gráficos de ajuste em 2D do modelo de Midilli et al. (Figuras 1a e 1b) indica a boa qualidade de predição, se compararmos a proximidade dos pontos experimentais da linha cheia (indicativa do modelo).

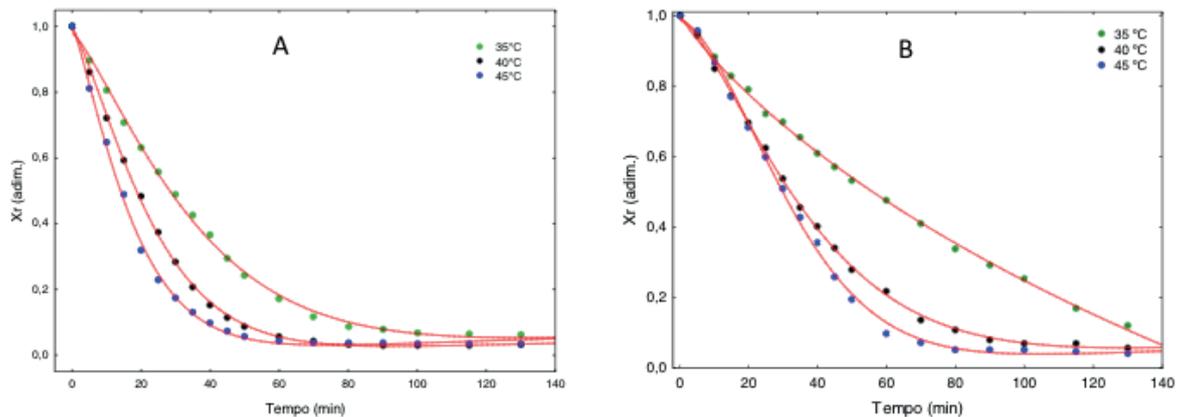


Figura 1. Ajuste do modelo de Midilli et al. aos dados experimentais da secagem de cascas de mangostão no secador de bandejas (Figura 1A) e em leito de jorro (Figura 1B).

Além disso, ficou evidente o comportamento já esperado, que com o aumento da temperatura do ar de secagem, ocorre maior taxa de remoção de água do produto. Isso se deve, conforme a teoria, a ação dos mecanismos de transferência simultânea de calor e massa que estão presentes no fenômeno da secagem (STRUMILLO; KUDRA, 1986).

3.4 Coeficiente de difusão efetiva

A determinação da ordem da difusão da água nas condições de secagem que atingiram a umidade de equilíbrio, durante a secagem das cascas de mangostão, foi de 10^{-10} , para ambos os sistemas leito fixo e jorro, conforme indicado na Tabela 3.

O intervalo obtido para a coeficiente de difusão, para o leito fixo e de jorro está entre $7,316 \times 10^{-10}$ a $15,985 \times 10^{-10}$ m^2/s e $1,281 \times 10^{-10}$ a $4,757 \times 10^{-10}$ m^2/s , respectivamente, e está dentro do esperado para produtos agrícolas, na faixa 10^{-9} a 10^{-11} , conforme Madamba et al. (1996). A difusividade efetiva para as cascas de mangostão aumentou com a elevação da temperatura do ar de secagem, sugerindo que para menores temperaturas, as cascas de mangostão oferecem maior resistência interna ao transporte de água, resultando em menores coeficientes de difusão. Desta forma, a elevação da temperatura do ar de secagem indica uma maior intensidade

do fenômeno de migração de água do interior para a periferia da casca, concordando com a literatura (STRUMILLO; KUDRA, 1986).

De acordo com a metodologia de cálculo adotada obteve-se a energia de ativação de 64,80 kJ/mol e 99,00 kJ/mol, pela equação de Arrhenius na forma logarítmica (Equação 11), para a secagem em leito fixo e de jorro, respectivamente.

T (°C)	Leito fixo		Leito de Jorro	
	Deff x10 ¹⁰ (m ² /s)	R ² (%)	Deff x10 ¹⁰ (m ² /s)	R ² (%)
35	7,316	99,41	1,281	80,84
40	13,395	99,42	2,573	85,49
45	15,985	99,83	4,757	86,03

Tabela 3. Valores experimentais do coeficiente de difusividade efetiva para as cascas de mangostão e o respectivo coeficiente de determinação, para a secagem em leito fixo e jorro

3.5 Retenção de antocianinas

Na Tabela 5 são apresentados os dados da retenção de antocianinas totais nas diferentes condições de secagem. Foram obtidos valores aceitáveis de concentração de antocianinas totais acima de 90% de retenção após secagem em sala climatizada e em leito fixo na ordem de 85 a 90%.

Condições de Secagem		Antocianinas totais (mg/100g)		Retenção de antocianinas totais (%)
		Antes da secagem	Após a secagem	
Sombra	21°C	15,44	11,57	74,93
Controle	1°C		13,99	90,60
Leito Fixo	35°C	5,97	5,13	86,02
	40°C		5,39	90,28
	45°C		5,12	85,76
Leito de jorro	35°C		4,21	70,50
	40°C		3,36	56,35
	45°C		4,03	67,60

Tabela 5. Quantificação de antocianinas totais.

Entretanto, os valores de antocianinas totais encontradas foram bem abaixo da faixa obtida por Chisté et al. (2009) que estudou as características físicas e físico-químicas da casca de mangostão em três períodos de safra. Esse fato pode ter ocorrido devido ao longo período de armazenamento da matéria-prima até o processamento, fato que pode ser corroborado pelos valores baixos das antocianinas totais antes dos processos de secagem. Os primeiros processos de secagem realizados apresentaram um teor inicial de antocianinas de 15,44 mg/100 g da amostra, bem superior ao teor inicial de antocianinas antes dos processos em leito fixo e de jorro, que foram realizados com um intervalo de quatro meses após os

primeiros processos de secagem.

De acordo, com os valores sumarizados na Tabela 5, observou-se que a secagem em sala climatizada, foi a condição experimental em que houve menor degradação de antocianinas no material extraído, fato este justificado devido à menor temperatura de exposição uma vez que a antocianina é um pigmento termosensível.

Pode-se também constatar que a secagem no leito de jorro proporcionou as menores porcentagem de retenção de antocianinas totais, isto, pode ter ocorrido, devido ao intenso contato sólido-fluido (ar de secagem) durante a secagem o que favorece as altas taxas de transferência de calor e massa neste processo, intensificando não somente a retirada de umidade (secagem mais eficiente), como acentuado a degradação das antocianinas presente na amostra em função da grande corrente de oxigênio (ar de secagem) em contato direto/intenso com o material durante o processo. Este comportamento é corroborado por Stringheta (1991), que afirma que temperatura e oxigênio são fatores determinantes na estabilidade das antocianinas, pois, à medida que as antocianinas são submetidas a temperaturas superiores à 25°C, sua degradação é intensificada.

4 | CONCLUSÕES

Com a secagem no leito fixo e no leito de jorro, foi possível alcançar umidades que inibem o crescimento de agentes microbiológicos patogênicos, como fungos, propiciando a armazenagem segura do material. Os diferentes sistemas de secagem avaliados demonstraram ser significativos quanto a retenção de antocianinas após o processo de remoção de umidade.

Desta forma, a partir desse trabalho, é possível inferir que os resíduos de mangostão (casca) apresentam condições satisfatórias de beneficiamento, podendo gerar tecnologias para o aproveitamento racional dessa matéria prima, fonte de antocianinas, a fim de serem adotadas por produtores, empreendedores e técnicos, visando agregar valor e melhorar a qualidade dos produtos para a aplicação desse corante natural em diferentes segmentos industriais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio na realização do presente trabalho (Processo: 313170/2014-2).

REFERÊNCIAS

AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**: 16a. Ed. Washinton, 1997. V.2, 850 p.

CRANK, J. **The mathematics of diffusion**. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 1975.

CHISTÉ, R. C.; FARIA, L. J. G.; LOPES, A. S.; MATTIETTO, R. A. **Características físicas e físico-químicas da casca de mangostão em três períodos de safra**. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, v.31, n.2, 2009.

FULEKI, T.; FRANCIS, F.J. **Quantitative methods for anthocyanins**. 1. Extraction and determination of total anthocyanin in Cranberries. Journal of Food Science, Chicago, v.33, n.1, p.72-77, 1968.

KASHANINEJAD, M.; MORTAZAVI, A.; SAFEKORDI, A.; TABIL, L. G. **Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts**. Journal of Food Engineering, v.78, p.98-108, 2007.

McCABE, W. L. et al. **Unit operations of chemical engineering**. 5^a ed., New York: McGraw-Hill. 1993.

MADAMBA, P. S. et al. **Thin layer drying characteristics of garlic slices**. Journal of Food Engineering. v.29, n.1, p.75-97. 1996.

MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. **A thin layer drying model of parboiled wheat**. Journal of Food Engineering, v. 66, p.513-518, 2005.

MYERS, R. H.; MONTGOMERY, D. C. ANDERSON-COOK, C. M. **Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments**. 3rd. ed., New Jersey: Wiley, 2009.

RAHMAN, M. S. **Food Properties Handbook**. Second Edition Taylor & Francis Group, LLC. ISBN-13: 978-0-8493-505-4. 2008.

ROMERO-PEÑA, L. M., KIECKBUSCH, T. G. **Influência de condições de secagem na qualidade de fatias de tomate**. Brazilian Journal of Food Technology, Campinas, v.6, n.1, p.69-76. 2003.

SACRAMENTO, C. K. *et al.* **Cultivo do mangostão no Brasil**. Revista Brasileira de Fruticultura, vol. 29, no. 1, Jaboticabal, 2007.

SILVA, A. G.; CONSTANT, P. B. L.; SABAA-SRUR, A. U. O.; MARTINS, E.; MAIA, M. C. A. **Quantificação das antocianinas no mangostão (*Garcinia mangostana L.*) em safras distintas**. Anais do XV ENAAL- Congresso Latino Americano de Analistas de Alimentos, Fortaleza. 2007.

STRINGHETA, P.C.; **Identificação da estrutura e estudo da estabilidade das antocianinas extraídas da inflorescência de capim gordura (*Melinis minutiflora*, Pal de Beauv.)**, Campinas, 1991, 138 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – UNICAMP.

STRUMILLO, C.; KUDRA, T. **Drying: principles, applications and design**. In: Topics in chemical engineering. New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1986.

WEBB, P. A., ORR. C. **Analytical Methods in Fine Particle Technology**. Micromeritics Instrument Corporation, Norcross, USA. 1997.

SOBRE O ORGANIZADOR

CLEBERTON CORREIA SANTOS- Graduado em Tecnologia em Agroecologia, mestre e doutor em Agronomia (Produção Vegetal). Tem experiência nas seguintes áreas: agricultura familiar, indicadores de sustentabilidade de agroecossistemas, uso e manejo de resíduos orgânicos, propagação de plantas, manejo e tratamentos culturais em horticultura geral, plantas medicinais exóticas e nativas, respostas morfofisiológicas de plantas ao estresse ambiental, nutrição de plantas e planejamento e análises de experimentos agropecuários.

(E-mail: cleber_frs@yahoo.com.br) – ORCID: 0000-0001-6741-2622

ÍNDICE REMISSIVO

A

Abastecimento urbano 78

Aprendizagem 35, 38, 39, 46, 47, 48, 286, 287, 288, 289, 295, 323, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 336, 339, 341, 343, 345, 348, 350

Aspergillus flavus 105, 106, 108, 109, 110, 114, 115

Aterramentos elétricos 296, 297, 301, 302

Atividade antioxidante 170, 171, 172, 175, 179, 180, 181

B

Biodiesel 303, 304, 305, 306, 314, 315, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373

Biotransformação 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 131

C

Cadernos escolares 1, 3, 4, 5, 9

Cafeeiro 317

Catálise 24, 26, 117, 126, 222, 363, 366, 368

D

Dispositivos móveis 286, 289, 293, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 345, 346, 347, 349, 350, 351

E

Ensino 1, 2, 4, 12, 13, 15, 17, 35, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 47, 48, 80, 105, 286, 287, 288, 294, 295, 297, 298, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 344, 346, 348, 349, 350, 351

Escolas paroquiais 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 13

G

Geometria 2, 12, 28, 185, 187, 299

H

História da Educação Matemática 1, 2, 14

I

Impactos ambientais 61, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 107, 210

K

Kavain 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127

L

Lama abrasiva 59, 60

M

Metátese 116, 117, 119, 120, 122, 123, 124, 125, 126

Middleboxes 138, 139, 140, 141, 142, 143

Modelagem computacional 49, 50, 69, 296

N

Nanopartículas 24, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 196, 203

O

Óxido de cálcio 363, 364, 367, 368, 369, 371, 373

Óxido de cobre 24, 25, 27, 30, 31, 33, 34

P

Polimerização Radicalar 215

R

Resíduos industriais 59

Resistividade do solo 296

Rhodamine B 374, 376, 381, 382

Robótica 35, 37, 38, 40, 41, 46, 47, 48

S

Smart Cities 280

T

Transporte de nêutrons 49, 50, 51, 57

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-641-6

