



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**



**TESE DE DOUTORADO**

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FARINHAS MISTAS  
FORMULADAS COM BANANA VERDE E GRÃO-DE-BICO**

**ANA NERY ALVES MARTINS PEREIRA LEITE**

**CAMPINA GRANDE - PB**

**Novembro – 2022**

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FARINHAS MISTAS  
FORMULADAS COM BANANA VERDE E GRÃO-DE-BICO**

**ANA NERY ALVES MARTINS PEREIRA LEITE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Doutora em Engenharia Agrícola.

**Área de Concentração:** Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas

**Orientadora:** Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Paula Trindade Rocha

**CAMPINA GRANDE - PB**

**Novembro – 2022**

L533d

Leite, Ana Nery Alves Martins Pereira.

Desenvolvimento e caracterização de farinhas mistas formuladas com banana verde e grão-de-bico / Ana Nery Alves Martins Pereira Leite – Campina Grande, 2024.

122 f. : il.

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2022.

"Orientação: Profª. Dra. Ana Paula Trindade Rocha."

Referências.

1. *Musa spp.* 2. *Cicer arietinum*. 3. Secagem Convectiva. 4. Secagem em *Air fryer*. 5. Farinhas Funcionais. 6. Compostos Bioativos. 7. Propriedades Físicas. I. Rocha, Ana Paula Trindade. II. Título.

CDU 634.773(043)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA AGRICOLA  
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

### FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

**ANA NERY ALVES MARTINS PEREIRA LEITE**

DESENVOLVIMENTO DE FARINHAS MISTAS  
FORMULADAS COM BANANA VERDE E  
GRÃO-DE-BICO

Tese apresentada ao Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Agrícola como  
pré-requisito para obtenção do título de  
Doutor em Engenharia Agrícola.

Aprovada em: 01/11/2022

Ana Paula Trindade Rocha - Orientador(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

Josivanda Palmeira Gomes - Examinador(a) Interno(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

Wilton Pereira da Silva - Examinador(a) Interno(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

Manoel Tolentino Leite Filho - Examinador(a) Externo(a) - UAEAli/CTRN/UFCG

Renata Duarte Almeida - Examinador(a) Externo(a) - UAEAli/CTRN/UFCG



Documento assinado eletronicamente por **JOSIVANDA PALMEIRA GOMES, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 03/11/2022, às 10:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **WILTON PEREIRA DA SILVA, PROFESSOR 3 GRAU**, em 03/11/2022, às 11:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Manoel Tolentino Leite Filho, Usuário Externo**, em 03/11/2022, às 14:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **ANA PAULA TRINDADE ROCHA, PROFESSOR 3 GRAU**, em 04/11/2022, às 09:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **RENATA DUARTE ALMEIDA, ENGENHEIRO-AREA**, em 04/11/2022, às 11:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **2891900** e o código CRC **C9C2253F**.

---

*A DEUS, presença constante em meu caminho. Aos meus amores, meus pais, Manoel e Neves, minhas filhas Klescyany, Ana Carolyna e meu esposo Cícero.*

*Dedico!*

## AGRADECIMENTOS

*Inicialmente meu agradecimento a Deus. Obrigado por me inspirar a cada dia, dando-me a coragem, força e resiliência que muitas vezes necessitei para continuar trilhando os caminhos do conhecimento.*

*Agradeço ao meu pai Manoel por ter sido meu contínuo apoio em todos esses anos, da sua maneira simples, mas sempre ensinando-me, principalmente, a importância da formação e a coerência de meus próprios valores. Orgulho-me de ter a oportunidade de ter-te como pai.*

*A minha mãe Neves, na terra não há tesouros comparáveis a sua sabedoria, obrigado por acreditar no meu potencial, por me apoiar quando pensei em desistir, por todas as orações, todas as vezes que a Senhora esteve de joelhos, me manteve de pé. Amo-te.*

*A minha vó Maria e ao meu Tio José que desde a minha infância ocuparam um papel tão crucial e importante na minha vida, sempre acompanhando-me na vida e em minha formação.*

*Ao meu esposo Cícero, por todo amor, companheirismo e paciência nas horas mais difíceis. Por estar ao meu lado em todos os momentos e por ter sido meu braço direito durante toda a pesquisa. Te amo!*

*As minhas filhas, Klescyany e Ana Carolyna, peço perdão pela ausência, pelos momentos que não pude inteiramente ser mãe, espero que o exemplo seja seguido por elas.*

*Aos meus irmãos Angélica, Jorge Jacó, Neury Jane, José Augusto, Lucas e Andreza por todos os momentos de descontração e a felicidade de podermos nos alegrarmos e estarmos unidos sempre.*

*Não poderia esquecer meus queridos sobrinhos Arthur, Ezequiel, Tatiana, Davi, Ana Angélica, Aurora e Alice vocês tornam meus dias mais alegres.*

*A minha orientadora, Dra. Ana Paula, pelos ensinamentos e confiança depositada. Foi um privilégio trabalhar ao seu lado contribuindo para minha formação profissional.*

*Ao Professor Dr. Gilmar Trindade por estimular a busca pelo conhecimento e ensinamentos na vida acadêmica, gratidão.*

*Aos professores da banca examinadora, por reservarem um pouco do seu tempo na dedicação a este trabalho.*

*A minha eterna professora Maria Gisélia S. Fernandes, pela amizade, por todas as vezes que me ajudou depois da graduação, sempre me incentivando a alcançar caminhos cada vez mais distantes.*

*A Alexandre da Silva Lúcio, por toda ajuda, não somente na pesquisa, mas também me aconselhando a agir de forma paciente e me motivando quando nem eu mais acreditava.*

*À Universidade Federal de Campina Grande e ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de formação e crescimento.*

*Agradeço a Capes pela (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão de bolsa durante todo o período de realização deste mestrado.*

*Aos professores, funcionários, alunos e companheiros de laboratório da Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos pela disponibilidade dos laboratórios para realização de parte dos experimentos.*

*Peço perdão por que não é possível citar a todos as pessoas, mas agradeço a todos que participaram deste projeto direta e indiretamente, certamente, não seria possível sem vocês em minha vida, minha eterna gratidão!*

*É justo que muito custe o que muito vale.*

*Santa Tereza D'Ávila*

LEITE, A. N. A. M. P. **Desenvolvimento e caracterização de farinhas mistas formuladas com banana verde e grão-de-bico**. 2022. 136 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

## RESUMO

A banana verde e o grão-de-bico apresentam-se como excelente matéria-prima para o desenvolvimento de farinhas funcionais, por apresentar atrativa composição nutricional e de fácil disponibilidade. Objetivou-se neste estudo, analisar as condições de secagem da banana verde e do grão-de-bico para obtenção de farinhas, estudar os efeitos das temperaturas de secagem por meio dos parâmetros químico, físico-químicos e compostos bioativos dos materiais obtidos e formular farinhas mistas com diferentes proporções, avaliando as características das formulações. Foi realizado o estudo de cinética de secagem da banana verde em estufa com circulação forçada de ar e em *Air fryer*, nas temperaturas de 50, 65 e 80 °C, ajustado diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais e avaliado as difusividades efetivas e as propriedades termodinâmicas do processo. Assim como a demanda energética dos métodos de desidratação. As farinhas obtidas pelos diferentes métodos de secagem e temperaturas, foram avaliadas quanto aos parâmetros físicos, químicos, físico-químicos, compostos bioativos e morfologia das partículas. Em seguida, foi realizado a cinética de secagem do grão-de-bico em estufa com circulação forçada de ar nas temperaturas de 50, 65 e 80 °C, ajustado os diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais e avaliado as difusividades efetivas, as propriedades termodinâmicas do processo e a influência da temperatura de secagem nas farinhas de grão-de-bico obtidas quanto aos parâmetros físicos, químicos, físico-químicos e compostos bioativos. Em seguida, foi selecionado as farinhas desidratadas por secagem convectiva que apresentaram as melhores características: farinha de banana verde (seca a 80 °C) e grão-de-bico (desidratada a 65 °C) e formulada as farinhas mistas em diferentes proporções (F1, F2 e F3), as farinhas mistas foram caracterizadas quanto aos parâmetros físicos, químicos, físico-químicos e compostos bioativos. Verificando-se que os dados da cinética de secagem se ajustaram bem a todos os modelos matemáticos aplicados para os dois materiais, com os melhores resultados obtidos para o modelo de Page Modificado na secagem da banana verde nos dois métodos aplicados e Midilli para o grão-de-bico. Houve um aumento da difusividade efetiva, da taxa de transporte de água e do coeficiente de transferência de massa com o acréscimo da temperatura de desidratação em todas as secagens. As temperaturas de secagem influenciaram diretamente nos parâmetros analisados. A farinha da banana verde e do grão-de-bico apresentaram potencial para serem utilizadas na formulação de diferentes alimentos, em substituição parcial ou total a farinhas comerciais, podendo ser utilizadas isoladamente ou na forma de farinha mista.

**Palavras-chave:** *Musa spp.*, *Cicer arietinum*, secagem convectiva, secagem em *Air fryer*, farinhas funcionais, compostos bioativos, propriedades físicas.

LEITE, A. N. A. M. P. **Development and characterization of mixed flours formulated with green banana and chickpeas.** 2022. 136 f. Thesis (Doctorate in Agricultural Engineering). Federal University of Campina Grande, Campina Grande.

### ABSTRACT

Green bananas and chickpeas are excellent raw materials for the development of functional flours, due to their attractive nutritional composition and easy availability. The objective of this study was to analyze the drying conditions of green bananas and chickpeas to obtain flours, study the effects of drying temperatures through chemical, physical-chemical parameters and bioactive compounds of the materials obtained and formulate mixed flours with different proportions, evaluating the characteristics of the formulations. The study of drying kinetics of green bananas was carried out in an oven with forced air circulation and in an *Air fryer*, at temperatures of 50, 65 and 80 °C, adjusted different mathematical models to the experimental data and evaluated the effective diffusivities and thermodynamic properties. of the process. As well as the energy demand of dehydration methods. The flours obtained by the different drying methods and temperatures were evaluated in terms of physical, chemical, physical-chemical parameters, bioactive compounds and particle morphology. Then, the drying kinetics of chickpeas were carried out in an oven with forced air circulation at temperatures of 50, 65 and 80 °C, adjusted the different mathematical models to the experimental data and evaluated the effective diffusivities, the thermodynamic properties of the process and the influence of the drying temperature on the chickpea flours obtained in terms of physical, chemical, physical-chemical parameters and bioactive compounds. Then, the dehydrated flours by convective drying that presented the best characteristics were selected: green banana flour (dry at 80 °C) and chickpeas (dehydrated at 65 °C) and the mixed flours were formulated in different proportions (F1, F2 and F3), the mixed flours were characterized in terms of physical, chemical, physical-chemical parameters and bioactive compounds. It was verified that the drying kinetics data adjusted well to all the mathematical models applied to the two materials, with the best results obtained for the Modified Page model in the drying of green bananas in the two methods applied and Midilli for the grain- beak. There was an increase in effective diffusivity, water transport rate and mass transfer coefficient with the increase in dehydration temperature in all dryings. Drying temperatures directly influenced the parameters analyzed. In the formulation of mixed flours, the different proportions of green banana and chickpea flour provided the development of flours enriched with important characteristics. Green banana and chickpea flour showed potential to be used in the formulation of different foods, in partial or total replacement of commercial flours, and can be used alone or in the form of mixed flour.

**Key words:** *Musa spp.*, *Cicer arietinum*, convective drying, *Air fryer* drying, functional flours, bioactive compounds, physical properties.

### LISTA DE FIGURAS

## ARTIGO I

<b>Figura 1</b> - Dados experimentais da cinética de secagem de fatias de banana verde. (A) Estufa com circulação forçada de ar e (B) <i>Air fryer</i> .....	32
<b>Figura 2</b> - Modelo de Page modificado ajustado aos dados experimentais da cinética de secagem das fatias de banana verde. (A) Estufa com circulação forçada de ar e (B) <i>Air fryer</i> .....	37
<b>Figura 3</b> - Superfície de resposta gerada pelo modelo de Fick levando em consideração o encolhimento para secagem convectiva de fatias de banana verde....	41
<b>Figura 4</b> - Superfície de resposta gerada pelo modelo de Fick levando em consideração o encolhimento para secagem de fatias de banana verde em <i>Air fryer</i> ..	42
<b>Figura 5</b> - Micrografias das farinhas de banana verde com aumentos de 1000 vezes. (A) <i>Air fryer</i> 50 °C, (B) <i>Air fryer</i> 65 °C, (C) <i>Air fryer</i> 80 °C, (D) Estufa 50 °C, (E) Estufa 65 °C e (F) Estufa 80 °C.....	54

## ARTIGO II

<b>Figura 1</b> - Variação da razão de teor de água em função de tempo para as temperaturas de 50, 65 e 80 °C.....	73
<b>Figura 2</b> - Curvas de cinética de secagem do grão-de-bico nas temperaturas de 50, 65 e 80 °C com os valores ajustados pelo modelo de Midilli.....	77
<b>Figura 3</b> - Superfície de resposta para o modelo de difusão de Fick da razão de teor de água em função do tempo de secagem e em função do raio do grão-de-bico ao decorrer da secagem para as temperaturas de 50, 65 e 80 °C.....	80

## ARTIGO III

<b>Figura 1</b> - Fluxograma do processamento para obtenção das farinhas de banana verde e grão-de-bico.....	103
--	-----

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO I

<b>Tabela 1</b> - Modelos matemáticos ajustados à cinética de secagem de fatias de banana verde.....	25
<b>Tabela 2</b> - Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ), coeficientes de determinação ajustados ( $R^2_a$ ) e raiz quadrada do erro médio (RSME) dos modelos matemáticos ajustados às curvas de cinética de secagem da banana verde em estufa com circulação forçada de ar.....	32
<b>Tabela 3</b> - Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ), coeficientes de determinação ajustados ( $R^2_a$ ) e raiz quadrada do erro médio (RMSE) dos modelos matemáticos ajustados às curvas de cinética de secagem da banana verde em <i>Air fryer</i> .....	34
<b>Tabela 4</b> - Coeficientes de difusão obtidos utilizando a segunda lei da difusão de Fick para secagem de fatias de banana em Estufa com circulação forçada de ar e <i>Air fryer</i> , com um, dois, três, quatro, cinco e seis termos, $R^2$ , $R^2_a$ e o valor de $D_{ef}$ estimado para cada situação.....	37
<b>Tabela 5</b> - Valores de Difusividade ( $D_{ef}$ ), número de Biot ( $B_i$ ) e coeficiente de transferência de massa ( $h_m$ ) obtidos para secagem em diferentes métodos utilizando a série de Fick com seis termos.....	41
<b>Tabela 6</b> - Propriedades termodinâmicas determinadas para as fatias de banana nas diferentes condições de secagem.....	42
<b>Tabela 7</b> - Consumo energético do processo de secagem.....	43
<b>Tabela 8</b> - Valores médios e desvios padrão das análises química e fisico-química nas farinhas de banana obtidas por secagem convectiva e secagem em <i>Air fryer</i> .....	45
<b>Tabela 9</b> - Valores médios e desvios padrão dos parâmetros colorimétricos nas farinhas de banana obtidas por secagem convectiva e secagem em <i>Air fryer</i> .....	50

## ARTIGO II

<b>Tabela 1</b> - Modelos matemáticos ajustados à cinética de secagem de grão-de-bico..	66
<b>Tabela 2</b> - Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ), coeficientes de determinação ajustados ( $R_a^2$ ) e raiz quadrada do erro médio (RSME) dos modelos matemáticos ajustados às curvas de cinética de secagem do grão-de-bico.....	74
<b>Tabela 3</b> - Coeficientes de determinação ( $R^2$ ), coeficientes de determinação ajustado ( $R_a^2$ ) e raiz quadrada do erro médio (RMSE) em função do número de termos do modelo de Fick para três temperaturas (50, 65 e 80 °C) da cinética de secagem do grão-de-bico.....	77
<b>Tabela 4</b> - Valores do número de Biot ( $B_i$ ) e o coeficiente de transferência de massa ( $h_m$ ) da secagem do grão-de-bico nas diferentes temperaturas de secagem.....	80
<b>Tabela 5</b> - Propriedades termodinâmicas das farinhas de grão-de-bico desidratadas nas temperaturas de 50, 65 e 80 °C.....	81
<b>Tabela 6</b> - Consumo energético da estufa de circulação de ar para realização da secagem do grão-de-bico nas temperaturas de 50, 65 e 80 °C e os tempos necessários para a finalização do processo.....	83
<b>Tabela 7</b> - Valores médios e desvios padrão dos parâmetros avaliados no grão-de-bico <i>in natura</i> triturado e nas farinhas de grão-de-bico submetido a secagem em diferentes temperaturas.....	84
<b>Tabela 8</b> - Valores médios e desvios padrão dos parâmetros colorimétricos do grão-de-bico <i>in natura</i> triturado e das farinhas obtidas em diferentes temperaturas..	87

## ARTIGO III

<b>Tabela 1</b> - Formulações das farinhas mistas de banana verde (FBV) e farinha de grão-de-bico (FGB).....	104
<b>Tabela 2</b> - Valores médios e desvios padrão dos parâmetros avaliados nas farinha mistas de banana verde e grão-de-bico.....	108
<b>Tabela 3</b> - Valores médios e desvios padrão dos parâmetros físicos avaliados nas farinhas mistas de grão-de-bico e banana verde.....	111

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivos.....	3
1.1.1 Objetivo geral.....	3
1.1.2 Objetivos específicos.....	3
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Banana (Musa ssp.).....	5
2.1.1 Biomassa de banana verde.....	6
2.2 Grão-de-bico.....	8
2.2.1 Grão-de-bico: fatores antinutricionais.....	9
2.3 Secagem.....	10
2.4 Farinhas mistas.....	12
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>15</b>
<b>ARTIGO I.....</b>	<b>21</b>
<b>Resumo.....</b>	<b>21</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>21</b>
<b>1. Introdução.....</b>	<b>22</b>
<b>2. Material e método.....</b>	<b>23</b>
2.1 Matéria-prima.....	24
2.2 Cinética de secagem.....	24
2.2.1 Parâmetros de transferência de massa e energia.....	25
2.2.2 Propriedades termodinâmicas.....	27
2.2.3 Demanda energética do equipamento.....	27
2.3 Caracterização física, química, físico-química e compostos bioativos das farinhas.....	28
2.3.1 Teor de água.....	28
2.3.2 Atividade de água.....	28
2.3.3 pH.....	28
2.3.4 Acidez total titulável.....	28

2.3.5 Cinzas.....	28
2.3.6 Proteínas.....	28
2.3.7 Lipídeos.....	29
2.3.8 Taninos e Compostos fenólicos totais.....	29
2.3.9 Flavonoides e antocianinas.....	29
2.3.10 Cor.....	29
2.4 Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	30
2.5 Análise estatística dos dados.....	30
<b>3. Resultados e discussão.....</b>	<b>30</b>
3.1 Cinética de secagem.....	30
3.1.1 Modelagem matemática.....	32
3.1.2 Parâmetros de transferência de massa.....	36
3.1.2.1 Difusividade efetiva de água.....	36
3.1.2.2 Número de Biot ( $B_i$ ) e coeficiente de transferência de massa ( $h_m$ ) .....	41
3.1.3 Propriedades termodinâmicas.....	41
3.1.4 Consumo energético do processo de secagem.....	43
3.2 Caracterização físico-química, físico e compostos bioativos das farinhas....	44
3.3 Morfologia das farinhas de banana verde Morfologia das farinhas de banana verde.....	52
<b>4. Conclusões.....</b>	<b>53</b>
<b>Referências bibliográficas.....</b>	<b>55</b>
<b>ARTIGO II.....</b>	<b>61</b>
<b>Resumo.....</b>	<b>61</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>61</b>
<b>1. Introdução.....</b>	<b>61</b>
<b>2. Material e métodos.....</b>	<b>64</b>
2.1 Matéria-prima e processamento.....	65
2.2 Cinética de secagem.....	65
2.2.1 Parâmetros de transferência de massa e energia.....	66
2.2.2 Propriedades termodinâmicas.....	67

2.2.3 Consumo energética do equipamento.....	68
2.3 Caracterização física, química, físico-química e compostos bioativos das farinhas.....	68
2.3.1 Teor de água.....	69
2.3.2 Atividade de água.....	69
2.3.3 pH.....	69
2.3.4 Acidez total titulável.....	69
2.3.5 Cinzas.....	69
2.3.6 Proteínas.....	70
2.3.7 Lipídeos.....	70
2.3.8 Taninos e Compostos fenólicos totais.....	70
2.3.9 Flavonoides e antocianinas totais.....	70
2.3.10 Cor.....	71
2.4 Análise estatística dos dados.....	71
<b>3. Resultados e discussão.....</b>	<b>71</b>
3.1 Cinética de secagem.....	71
3.2 Parâmetros de transferência de massa.....	77
3.2.1 Difusividade efetiva de água.....	77
3.2.2 Número de Biot ( $B_i$ ) e coeficiente de transferência de massa ( $h_m$ )....	79
3.2.3 Propriedades termodinâmicas.....	80
3.2.4 Consumo energético do processo de secagem.....	82
3.3 Caracterização física, química, físico-química e bioativos das farinhas de grão-de-bico.....	83
<b>4. Conclusões.....</b>	<b>89</b>
<b>Referências bibliográficas.....</b>	<b>91</b>
<b>ARTIGO III.....</b>	<b>99</b>
<b>Resumo.....</b>	<b>99</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>99</b>
<b>1. Introdução.....</b>	<b>100</b>
<b>2. Material e métodos.....</b>	<b>102</b>
2.1 Matérias-primas.....	102

2.2 Delineamento da pesquisa.....	102
2.3 Processamento das matérias-primas.....	104
2.3.1 Banana verde.....	104
2.3.2 Grão-de-bico.....	104
2.4 Formulação das farinhas mistas.....	105
2.5 Caracterização das farinhas mistas.....	105
2.5.1 Teor de água.....	105
2.5.2 Atividade de água.....	105
2.5.3 pH.....	106
2.5.4 Acidez total titulável.....	106
2.5.5 Cinzas.....	106
2.5.6 Proteínas.....	106
2.5.7 Lipídeos.....	106
2.5.8 Compostos fenólicos totais e Taninos.....	106
2.5.9 Flavonoides e antocianinas totais.....	107
2.5.10 Densidade aparente e densidade compactada.....	107
2.5.11 Índice de Carr (fluidez) e relação de Hausner (compactabilidade)	107
2.5.12 Índice de solubilidade em água e de absorção de água.....	108
2.5.13 Capacidade de retenção de óleo.....	108
2.5.14 Molhabilidade.....	108
2.6 Análise estatística dos dados.....	108
<b>3. Resultados e discussão.....</b>	<b>109</b>
<b>4. Conclusões.....</b>	<b>114</b>
<b>Referencias bibliográficas.....</b>	<b>116</b>
<b>4 CONCLUSÕES GERAIS.....</b>	<b>122</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A banana é a fruta tropical mais consumida e a segunda mais cultivada no mundo. O Brasil, é o quinto colocado no ranking mundial de produção de banana, estando atrás em volume de produção para a laranja (HORTI&FRUTI, 2021). A nova estratégia econômica para aumentar a utilização da banana, inclui a produção de farinha quando a fruta ainda não está madura, e incorporação da farinha em produtos inovadores, principalmente na área de panificação, devido ao seu alto teor de amido, fibras alimentares, vitamina A e C, potássio, cálcio, sódio e magnésio, proporcionando benefícios à saúde humana (TAKOUGNADI et al., 2020).

O grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) é a terceira cultura de leguminosa mais importante do mundo. Sua produção atinge 12 milhões de toneladas/ano, sendo a Índia o maior produtor com 7,8 milhões de toneladas/ano, detendo 65% da produção global (ULLAH et al., 2020; SEYEDIMORADI et al., 2020). É considerada uma importante fonte de proteínas, carboidratos, fibras, vitaminas e minerais essenciais. Em média, o grão de bico é composto por 21,5% de proteínas, 3,1 a 6,9% de lipídios, 59 a 65% de carboidratos e 3 a 17% de fibras (RAZA et al., 2019).

Atualmente, o grão-de-bico está em alta como alimento saudável devido à sua composição peculiar e alta digestibilidade proteica (53-89%) (CAVALCANTI-MATA et al., 2020). A farinha de grão-de-bico é uma alternativa para aplicação em massas alimentícias, visando alto valor nutricional e produtos de massas funcionais de alta qualidade, com atributos físico-químicos, de textura e sensoriais aprimorados (EL-SOHAIFY et al., 2020).

Um dos principais objetivos do processamento de frutas e grãos é reduzir as perdas na pós-colheita, otimizando o aproveitamento da produção, aumentando o valor agregado e incrementando a renda dos produtores independentemente do aumento da produção. A secagem é um método de processamento e conservação especialmente vantajosos, que reduz significativamente os custos de certas operações como embalagem, transporte, armazenamento e, conseqüentemente, eleva o valor comercial do produto (CASTRO; MAYORGA; MORENO, 2018). Este método se baseia na remoção da água livre presente no produto, impossibilitando o desenvolvimento de microrganismos e enzimas. Diversas técnicas de secagem estão disponíveis para uso em escala industrial, como a secagem por aspersão, liofilização e secagem convectiva (PARK et al., 2016).

Um dos principais métodos e mais utilizados e para a secagem de frutas e grãos é a secagem convectiva, apresenta vantagens como a baixa complexidade e a simplicidade dos equipamentos, cujas funcionalidades se direcionam principalmente no controle de temperatura. Quando bem aplicada, mediante avaliação da cinética de secagem, pode originar produtos de excelente qualidade e a um custo relativamente baixo (SANTOS et al., 2021a). Já a secagem por fritadeira elétrica *Air fryer* tem por princípio de funcionamento a rápida circulação de ar quente mantendo a temperatura uniforme, possibilitando que o produto submetido ao processo seque e asse em um menor intervalo de tempo, é um aparelho doméstico que se inseriu no mercado com o intuito de criar produtos fritos mais saudáveis e sem comprometer a aparência, textura e sabor do alimento (TERUEL et al., 2015). A redução do tempo e da temperatura de exposição do material submetido a secagem é importante para a inibir a degradação de compostos sensíveis ao calor.

Em resposta às necessidades do consumidor, têm surgido no mercado produtos de fácil preparo e rápido consumo, para a produção de massas, bolos, tortilhas, dentre outros (DAUDA et al., 2018; SADH et al., 2018). No entanto, esses produtos muitas vezes não satisfazem as deficiências nutricionais desses consumidores em termos de fibra alimentar, vitaminas e minerais, surgindo a utilização de farinhas mistas como possibilidade para combinar diferentes nutrientes e proporcionar uma nutrição mais adequada.

Considerando as potencialidades das matérias-primas e a grande importância para a comunidade científica, justifica-se estudos que visem a análise das condições de secagem da farinha de banana verde e do grão-de-bico para obtenção de farinhas e farinhas mistas, pois além da obtenção de novos produtos, rico em nutrientes, ainda proporcionará ao mercado mais uma opção de matéria-prima que poderá ser utilizada na formulação de diversos alimentos.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Produzir farinhas a partir da banana verde e do grão-de-bico, avaliar os efeitos das temperaturas de secagem por meio dos parâmetros químico, físico-químicos e compostos bioativos do material e formular farinhas mistas com diferentes proporções avaliando as características químicas, físicas e físico-químicas das formulações.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar o estudo de cinética de secagem da banana verde em estufa com circulação forçada de ar e em *Air fryer*, nas temperaturas de 50, 65 e 80 °C, ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais e avaliar as difusividades efetivas e as propriedades termodinâmicas do processo;
- Avaliar a demanda energética da estufa de circulação forçada de ar e da *Air fryer* durante o processo de secagem para a banana verde;
- Avaliar as farinhas de banana verde obtidos pelos diferentes métodos de secagem e temperaturas, quanto aos parâmetros físicos, químicos, físico-químicos, compostos bioativos e morfologia das partículas;
- Determinar a cinética de secagem do grão-de-bico em estufa com circulação forçada de ar nas temperaturas de 50, 65 e 80 °C, ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais e avaliar as difusividades efetivas e as propriedades termodinâmicas do processo;
- Estudar a influência da temperatura de secagem nas farinhas de grão-de-bico obtidos por diferentes temperaturas, quanto aos parâmetros físicos, químicos, físico-químicos e compostos bioativos;
- Determinar a demanda energética da estufa de circulação forçada de ar durante o processo de secagem para o grão-de-bico;
- Selecionar com base nos parâmetros avaliados, a melhor condição de secagem para obtenção da farinha de banana verde e grão-de-bico;
- Formular a partir das farinhas selecionadas, farinhas mistas compostas por farinhas de banana verde e grão-de-bico em diferentes formulações;

- Caracterizar as farinhas mistas obtidas quanto aos parâmetros físicos, químicos, físico-químicos e compostos bioativos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Banana (*Musa ssp.*)

A banana (*Musa spp.*), pertencente à família *Musaceae*, é a fruta tropical mais amplamente cultivada em todo o mundo, constituindo-se um alimento básico para muitas populações. É a segunda fruta mais consumida do planeta, sendo a Índia o maior produtor, com 1/3 do total da produção mundial (GHAG; GANAPATHI, 2019). Segundo Rocha et al. (2018), o Brasil é o quinto maior produtor de bananas, com uma produção em 2017 de 6,735 milhões de toneladas em uma área de 468,754 mil hectares. É uma fruta pronta para comer e mais acessível para o consumo humano, que contribui para a construção de uma boa saúde, devido ao seu imenso valor nutricional (OLIVEIRA et al., 2020). É rica em compostos bioativos importantes, como compostos fenólicos, flavonoides, carotenoides, esteróis e compostos antimicrobianos.

Segundo Oliveira et al. (2016), as técnicas inadequadas de colheita e pós-colheita acarretam grande desperdício da banana. Cerca de 60% da produção é perdida antes de alcançar o consumidor final. As principais causas são falhas oriundas nos sistemas de transporte, distribuição e armazenamento (GOMES et al., 2016).

É de grande relevância investigar a melhor maneira de utilizá-la, devido ao seu alto valor nutritivo, além de ser um ingrediente de baixo custo. Devido a isto, uma das formas de minimizar essas perdas seria a utilização das bananas ainda verdes como opção para industrialização, reduzindo perdas e incrementando a qualidade de diversos produtos alimentícios.

A banana, principalmente quando verde, está inserida no grupo de alimentos funcionais do tipo prebióticos, por possuir amido resistente (CASTELO-BRANCO et al., 2017), no qual é de grande interesse da indústria alimentícia, por apresentar nutrientes importantes para a saúde humana, tendo em vista que pode ser utilizada na elaboração de produtos com teores de lipídios e açúcares reduzidos, além de auxiliarem no controle da glicemia, colesterol e ajudar no tratamento de distúrbios intestinais (QAMAR e SHAIKH, 2018).

Alvarado-Jasso et al. (2020) acrescentam que a banana verde (*Musa paradisiaca*) é rica em fibra alimentar, minerais essenciais como potássio, magnésio e vitaminas. A banana pode apresentar vários estágios de maturação e enquanto verde, tem uma vida útil mais longa, podendo ser utilizada tanto como biomassa, como em forma de farinha.

### 2.1.1 Biomassa de banana verde

A indústria de alimentos, visando atender ao público cada vez mais preocupado com as características nutricionais e funcionais dos alimentos que consome, busca formas de enriquecimento de seus produtos com os de origem vegetal. Um dos itens que vem ganhando destaque no mercado é a biomassa de banana verde.

Biomassas são produtos orgânicos usados como fontes de energia. Esses produtos podem ser usados para aumentar os nutrientes que desempenham um papel importante na digestão, como as fibras (SANTOS et al., 2021b). Sua obtenção consiste no cozimento dos frutos verdes em água sob pressão seguido de moagem à quente, até que se obtenha uma pasta homogênea.

A biomassa de banana verde possui propriedade espessante, não apresenta sabor e por isso apenas aumenta o volume dos alimentos com a particularidade de acrescentar vitaminas e sais minerais, também aumenta a quantidade de fibras do mesmo, permitindo adaptações de receitas tradicionais como, por exemplo, pães, massas, salgados e doces (RANIERI; DELANI, 2014; GOMES et al., 2016).

De acordo com a forma de produção, existem três tipos de biomassa, a biomassa da polpa, a biomassa utilizando a casca verde e a biomassa integral na qual se utiliza casca e a polpa. A maior diferença entre esses tipos é a quantidade de fibras, que é maior na biomassa integral que nas demais (RANIERI; DELANI, 2014).

A biomassa de banana verde não é utilizada como ingrediente principal das formulações alimentícias e sim como coadjuvante funcional, em substituição aos espessantes produzidos à base de trigo, soja, fécula de mandioca e amido de milho. Na forma de biomassa, os taninos presentes na banana verde, responsáveis pela adstringência, são removidos. Isso facilita sua aplicação nos alimentos, não alterando o sabor. Sua incorporação ainda melhora a qualidade nutricional dos produtos, pelo alto conteúdo de fibras, além disso, aumenta o rendimento e atua como espessante, devido ao alto teor de amido (70 a 80%) (RANIERI; DELANI, 2014).

Além das características tecnológicas de sabor inerte e propriedade espessante, (importantes para formulações de alimentos), a biomassa de banana verde é considerada um alimento com propriedades funcionais, justamente, devido à grande quantidade de amido resistente em sua composição. Os efeitos da presença do amido resistente estão associados à prevenção de doenças crônicas como o câncer, diabetes, dislipidemias, doenças coronárias

e obesidade (MENDONÇA et al., 2017). Neste contexto, diversos trabalhos têm sido desenvolvidos nessa área de fortificação de alimentos com a biomassa da banana verde.

Fernandes et al. (2017) desenvolveram e avaliaram sensorialmente um sorvete de iogurte funcional com biomassa de banana verde e frutas vermelhas, sendo paralelamente avaliada a viabilidade de liofilização. Foi observada boa aceitação com notas médias acima de 7 (gostei regularmente) e índice de aceitabilidade acima de 80% para todos os atributos. Também é fonte de fósforo e vitamina C e contém teor muito baixo de sódio, atendendo a uma demanda da sociedade por produtos com propriedades de saudabilidade.

Rodrigues et al. (2017), desenvolveram bolos de biomassa de banana verde sem glúten e sem lactose e analisaram o perfil de textura dos produtos processados. Seus resultados constataram que a biomassa de banana verde apresentou potencial para participar como ingrediente em formulação de bolos, sendo uma alternativa para indivíduos intolerantes a glúten e/ou lactose.

Silva et al. (2017a) produziram um biscoito utilizando a biomassa da banana verde e avaliaram a sua aceitação sensorial. Os resultados da análise sensorial demonstraram satisfatória aceitação do biscoito em todos os parâmetros estudados. Os autores complementam que a biomassa da banana verde pode ser utilizada como ingrediente com característica funcional à formulação de biscoitos, aumentando valor nutricional deste tipo produto.

Castro et al. (2019) analisaram as propriedades físico-químicas e funcionais da biomassa de banana verde industrializada, para a sua utilização como coadjuvante de produção de alimentos. As biomassas apresentaram baixo teor de umidade, teor de cinzas entre 0,49 e 1,19 g/100 g, pH entre 4,57 e 4,68, acidez total entre 2,13 e 6,01 g/100 g. A menor solubilidade encontrada foi de 1,07% a 70 °C, em biomassa integral, e a maior de 14,07% a 90 °C, em biomassa polpa. O menor poder de inchamento verificado foi de 2,05 g água/g amostra seca a 90 °C e o maior foi de 3,37 g água/g amostra seca a 80 °C, na mesma amostra de biomassa integral. A maior capacidade de absorção de água foi em biomassa integral, 48,76 g de amostra/g de água e a maior capacidade de absorção de óleo foi em biomassa polpa, 35,83 g de amostra/g de óleo. Os autores concluíram que a biomassa de banana verde industrializada tem potencial para ser utilizada na formulação de diferentes alimentos.

Auriema et al. (2021) estudou o potencial da biomassa de banana verde (GBB) como ingrediente natural e seu impacto como substituto de gordura em mortadela de frango. Os

resultados concluíram que o GBB apresentou propriedades funcionais e tecnológicas desejáveis para uso em mortadela de frango, sem afetar o sabor característico desses produtos.

## 2.2 Grão-de-bico

As leguminosas são grandemente utilizadas pela população mundial. Representam um alimento básico que providencia quantidades fundamentais de diversos nutrientes como carboidratos, proteínas, fibras e antioxidantes necessários para o ser humano. Estes constituintes nutricionais são de grande importância para a manutenção da saúde humana, pois possuem índice glicêmico baixo, apresenta propriedades bioativas que comprovadamente diminuem a auto oxidação e a hiperglicemia pós-prandial (AISA et al., 2019).

O grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) deriva da família Fabaceae e é cultivada nos cinco continentes em cerca de 50 países. É uma leguminosa de alto valor nutritivo, difundida e cultivada em várias regiões ao redor do mundo (AISA et al., 2019). De acordo com os dados da FAOSTAT (2020), a Ásia é responsável por mais de 80% da produção, sendo que apenas a Índia contribui com 66% da produção global. Summo et al. (2019) citam que o grão-de-bico é a terceira leguminosa mais produzida no mundo, depois do feijão e ervilha. Em 2014, a área cultivada correspondia a cerca de 12,14 milhões de hectares, com uma produção anual de 9,51 milhões de toneladas (JUMRANI e BHATIA, 2014). Em 2019, os registros de produção foi de cerca de 14,7 milhões de toneladas (SUMMO et al., 2019).

O grão-de-bico apresenta baixo índice glicêmico, bom teor de carboidratos, minerais e vitaminas. Essa leguminosa tem um alto teor de fibras alimentares, 12,4% e um considerável teor proteico, 21,2% (EL-SOHAIFY et al., 2020). De acordo com Ramamoorthy et al. (2017), o grão-de-bico é altamente rico em proteína e, seguindo a crescente demanda internacional, o número de países importadores têm aumentado em decorrência de uma maior conscientização sobre os benefícios das leguminosas para a saúde.

Autores como Mustafa et al. (2018) e Buhl et al. (2019) citam que as proteínas presentes no grão-de-bico exibem diversas funcionalidades, o que o torna uma relevante fonte de substituição deste nutriente de origem animal em distintas aplicações alimentares, pois a sua superfície dinâmica e a adsorção nas interfaces são consideradas como tendo um papel importante na formação e estabilização de emulsões ou espumas.

### **2.2.1 Grão-de-bico: fatores antinutricionais**

Os fatores antinutricionais propriamente ditos são substâncias que, mesmo em estado vestigial, reduzem ou impedem totalmente a utilização de um elemento nutritivo, seja no nível digestivo, seja no nível metabólico (JAYASENA; JO, 2013) e estão naturalmente presentes em frutas, grãos e vegetais.

Um dos maiores problemas das farinhas vegetais é a presença de antinutrientes como fitato, oxalato e tanino que limitam sua utilização. Embora, alguns benefícios para a saúde de tanino e fitato tenham sido detectados, como reduções na glicose no sangue e na resposta da insulina a alimentos ricos em amido e/ou no colesterol e triglicerídeos plasmáticos, esses antinutrientes podem interferir adversamente na absorção de minerais, como cálcio, zinco e ferro e impedir a utilização eficiente de proteínas. Descobriu-se que o método de processamento por imersão e/ou aquecimento reduz esses fatores antinutricionais (PATTERSON et al., 2017).

Rachwat et al. (2015) acrescentam que apesar de todos os fatores nutricionais positivos do grão-de-bico, também estão presentes fatores antinutricionais que podem diminuir a biodisponibilidade de nutrientes, uma vez que são moléculas que interferem na digestão. Elas são formadas nos grãos de leguminosas como um mecanismo de proteção durante condições desfavoráveis no cultivo, como em relação ao clima e parasitas. Muitos estudos para a inativação destes inibidores têm sido realizados, sendo que foi verificado que os mesmos podem ser reduzidos, por vezes até eliminados, ao se deixar os grãos de molho ou, com muito mais eficiência, utilizando-se tratamento térmico (RACHWAT et al., 2015).

Zhong et al. (2018) relatam que, embora possam ser consumidos inteiros ou descascados, exigem processamento antes do consumo para reduzir ou eliminar fatores antinutricionais (substâncias que podem interferir na absorção de nutrientes), melhorar a aceitabilidade do consumidor como textura e sabor e melhorar a biodisponibilidade de nutrientes. Neste sentido, pré-tratamentos convencionais podem ser aplicados como: tratamento térmico, aplicação de enzima, imersão, brotação/germinação, irradiação e fermentação (NIKMARAM et al., 2018) descascamento, maceração e cozimento. Além de moagem, extrusão, micronização, tostagem, peletização, laminação, floculação, explosão, cozimento e outros (KUMAR; SHARMA, 2017).

### 2.3 Secagem

Embora o consumo de produtos frescos, como a banana, seja alto em todo o mundo, alguns frutos se deterioram após a colheita devido a sua alta perecibilidade. A produção de produtos alternativos como banana seca, farinha de banana e de grãos podem reduzir essas perdas e aumentar a disponibilidade de abastecimento de alimentos em todo o mundo (SILVA et al., 2014b).

A secagem é um dos primeiros métodos e processos unitários na indústria de alimentos, é uma das etapas mais importantes da pós-colheita e envolve simultaneamente a transferência de calor e massa através da aplicação de temperaturas elevadas que provocam a evaporação de água no produto. É o método mais bem estabelecido para manter a qualidade pós-colheita dos produtos agrícolas, prolongando o tempo de vida reduzindo assim a ação microbiológica e as taxas de reações de degradação do produto (GULCIMEN et al., 2016; TAHERI-GARAVAND et al., 2018).

Em consequência da secagem, a redução do peso e do volume tem como vantagens minimizar gastos com transporte e armazenamento e possibilitar o consumo durante todo o ano de uma maior variedade de alimentos de forma prática, reduzindo, assim, as perdas ocasionadas pelo desperdício (SAHIN e DOYMAZ, 2017; TAHERI-GARAVAND et al., 2018).

A secagem e conversão da banana verde em outros produtos e do grão-de-bico tem sido estudada por diversos autores.

Olusegun-Omolola et al. (2018) relataram que a secagem da banana deu origem a produtos com índice glicêmico baixo ou moderado, com alto teor de calorias, vitaminas e minerais. Adicionalmente, a comparação da composição nutricional de produtos frescos e amostras de bananas desidratadas investigadas por Takounadi et al. (2020) onde descobriram que proteínas e teor de cinzas estavam altamente preservados durante a secagem. No entanto, verificaram alteração para a quantidade de gordura (20,45-79,54%), açúcares redutores (44,19-53,27%) e vitamina C (62,40-68,67%).

Khoozani et al. (2019), citam que a produção da farinha de banana verde, fornece uma forma de preservar os benefícios nutricionais e aumentar a vida útil da banana. As condições de secagem utilizadas, com diferentes temperaturas e níveis de umidade, podem ter uma profunda influência nas características funcionais e tecnológicas. Além disso, a

forma como a banana verde pode ser preparada para o processo de secagem (inteira, pasta, fatias) exerce diferenças nas propriedades do produto final (WANG et al., 2017).

Tunckal e Doymaz (2020) secaram fatias de banana em diferentes temperaturas. Eles determinaram que o tempo de secagem aumentava conforme a temperatura e a espessura do corte. A mais alta proporção média de extração de umidade específica e coeficiente de desempenho na temperatura de ar de secagem mais alta calculada como  $0,212 \text{ kg kWh}^{-1}$  e 3.059, respectivamente.

Rahman et al. (2016) citam que a fritura ao ar (*Air fryer*) é uma nova técnica de cozimento que envolve uma rápida circulação de ar. Uma fritadeira de ar foi projetada para secar e assar. O ar quente é rapidamente circulado para manter uma temperatura uniforme. A câmara de cozimento de uma fritadeira de ar recebe o calor do elemento de aquecimento próximo à amostra, fazendo com que o tempo de cozimento seja reduzido. A presença de fluxo de ar modula a temperatura ao distribuir o ar quente no interior da câmara; isso melhora o processo de cozimento, reduzindo seu tempo. Essas condições de cozimento são distintas (por exemplo, alta temperatura e excesso de óleo envolvido na fritura, óleo limitado, tempo de cozimento longo e alta temperatura na fritura ao ar livre, tempo de cozimento curto e tamanho pequeno das tiras na fritura) e induzem uma série de mudanças nas características físicas, composição química e modificações enzimáticas dos alimentos (ROTHWELL et al., 2015).

Ghribi et al. (2015) avaliaram o efeito de métodos de secagem nas propriedades físico-químicas e funcionais de concentrados proteicos de grão de bico. Concentrados protéicos de grão de bico foram preparados a partir da farinha de sementes por extração alcalina seguida de precipitação isoeletrica. Os efeitos de diferentes métodos de secagem (liofilização e secagem convectiva a  $40 \text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) foram avaliados a partir das propriedades físico-químicas e funcionais dos concentrados. Verificando-se que tratamento térmico afetou as propriedades dos concentrados. O concentrado liofilizado apresentou as maiores capacidades de retenção de água e absorção de óleo. Já os desidratados com secagem convectiva apresentaram maiores valores de atividade e estabilidade de emulsão. As proteínas do grão de bico são capazes de formar gel, sendo necessárias maiores concentrações para a formação de gel para concentrados com secagem convectiva. Concluindo-se que os concentrados obtidos podem ser usados em aplicações de alimentos nutracêuticos e funcionais.

Cavalcanti-Mata et al. (2020) estudaram a cinética de secagem do grão de bico (*Cicer arietinum* L.) em camadas finas, em diferentes temperaturas (40, 50, 60, 70 e 80 °C) em um secador convectivo de ar quente. Os dados experimentais foram ajustados aos modelos matemáticos de Fick, Henderson & Pabis modificados, Page modificado e Cavalcanti-Mata, utilizando a difusividade efetiva calculada a partir de cada modelo e determinada a energia de ativação, bem como as propriedades termodinâmicas do processo. Observando-se que a difusividade efetiva variou de acordo com cada modelo com valores que variam de  $54,0 \times 10^{-11}$  a  $78,0 \times 10^{-11}$  m<sup>2</sup>/s dependendo da temperatura de secagem. Os valores de entalpia e entropia reduziram com o aumento da temperatura, revelando que quanto maior a temperatura de secagem, menos energia geral foi gasta. A energia livre de Gibb foi diretamente proporcional à temperatura, demonstrando que o processo de secagem não foi espontâneo.

Fernandes et al. (2022) estudaram as características de composição físico-química e tecnológicas do grão-de bico cru e seco naturalmente, moído e refinado (farinha). As avaliações realizadas foram de umidade, resíduo mineral fixo, lipídeos, proteína, fibras totais, carboidratos, valor energético, capacidade de absorção de água, óleo e leite, e as propriedades gelificantes. Verificando-se que a farinha de grão-de-bico apresentou composição semelhante à da farinha de outras oleaginosas, com teor proteico próximo a 16%, teor de carboidrato de 61% e fibra total de 10%. Os índices tecnológicos demonstraram afinidade maior com água e leite, e boa capacidade de gelificação. Indicando que partir desses resultados, preparações com farinha de grão-de-bico como ingrediente em produtos alimentícios são motivadoras.

## **2.4 Farinhas mistas**

A grande disponibilidade de banana verde nas regiões produtoras ao longo do ano torna a sua transformação em farinha de grande interesse, além de ser uma alternativa importante para evitar possíveis desperdícios da produção. Somente nos últimos anos a banana verde despertou interesse no mercado consumidor e, conseqüentemente, muitos estudos estão sendo desenvolvidos para avaliar suas propriedades tecnológicas como ingrediente funcional, principalmente na forma de farinha, inclusive aquela produzida a partir da casca e da polpa (SARAWONG et al., 2014).

O termo farinha mista, também chamada de ‘farinha composta’ ou ‘mix de farinhas’, vem sendo muito utilizado nos últimos anos a fim de melhorar o valor nutricional da dieta, propiciando o equilíbrio de aminoácidos essenciais e conteúdo de carboidratos. A suplementação da farinha de trigo com farinhas de leguminosas tem grande potencial nos países em desenvolvimento para melhorar o valor nutricional de diferentes produtos de panificação. A farinha obtida a partir de outros cereais, leguminosas e alguns vegetais está sendo atualmente valorizada por sua respectiva contribuição para a qualidade dos produtos de panificação (OGHBAEI e PRAKASH, 2016; GADALLAH et al., 2017).

Alguns trabalhos têm estudado o enriquecimento de alimentos consumidos extensivamente com a incorporação de ingredientes que melhoram a qualidade nutricional. Campuzano et al. (2018) afirmam que o uso de farinha de banana verde aumenta a atividade antioxidante e reduz o índice glicêmico, aumentando o amido não digerível. Relataram, ainda que, devido ao seu alto teor de amido resistente, a farinha de banana verde produziu uma redução no consumo de energia, uma sensação de saciedade e um impacto positivo na homeostase da glicose em voluntários saudáveis.

Castelo-Branco et al. (2017) desenvolveram uma massa alimentícia tipo talharim, substituindo a farinha de trigo por uma mistura de farinha de polpa e de casca de banana verde, em diferentes concentrações. As farinhas de polpa e de casca de banana verde apresentaram maiores teores de cinzas, fibras totais e compostos fenólicos totais. A formulação adicionada de 15% da farinha de banana verde apresentou o maior teor de cinzas e a melhor aceitabilidade entre as formulações. Desta forma, foi possível desenvolver uma massa alimentícia tipo talharim com aceitação sensorial satisfatória.

Oliveira et al. (2020) objetivou-se avaliar a influência das concentrações de farinha de cascas de banana D’Angola e de açúcar nas características físicas e químicas de bolos. Os SST sofreram influência significativa apenas do açúcar, que também foi a variável independente que mais afetou a relação SST/ATT. Em contrapartida, a de farinha de cascas de banana apresentou maior influência sobre os resultados de ATT e de pH.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados obtidos com o desenvolvimento deste trabalho proporcionaram a elaboração dos seguintes artigos:

**ARTIGO I** - Secagem de banana verde em secador convectivo e *Air fryer*: efeitos das diferentes temperaturas na obtenção de farinhas.

**ARTIGO II** - Modelagem matemática e propriedades termodinâmicas na secagem do grão-de-bico e caracterização das farinhas obtidas.

**ARTIGO III** - Desenvolvimento e caracterização de farinhas mistas formuladas com banana verde e grão-de-bico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AISA, H. A.; GAO, Y.; YILI, A.; MA, Q.; CHENG, Z. Beneficial role of chickpea (*Cicer arietinum* L.) functional factors in the intervention of metabolic syndrome and diabetes mellitus. In: **Bioactive Food as Dietary Interventions for Diabetes**. Academic Press, p. 615-627, 2019.
- AREFIAN M.; VESSAL, S.; BAGHERI A. Biochemical changes and SDS-PAGE analyses of chickpea (*cicer arietinum* L.) genotypes in response to salinity during the early stages of seedling growth. **Journal of Biological & Environmental Sciences**. v.8, p. 99-109, 2014.
- AURIEMA, B. E.; CORRÊA, F. J. B.; GUIMARÃES, J. T.; SOARES, P. T. S.; ROSENTHAL, A.; ZONTA, E.; ROSA, R. C. C.; LUCHESE, R. H.; ESMERINO, E. A.; MATHIAS, S. P. Green banana biomass: Physicochemical and functional properties and its potential as a fat replacer in a chicken mortadella. **LWT**, v. 140, e110686, 2021.
- BLANDINO, M.; ALFIERI, M.; GIORDANO, D.; VANARA, F.; REDAELLI, R. Distribution of bioactive compounds in maize fractions obtained in two different types of large scale milling processes. **Journal of Cereal Science**, v. 77, p. 251-258, 2017.
- BUHL, T. F.; CHRISTENSEN, C. H.; HAMMERSHØJ, M. Aquafaba as an egg white substitute in food foams and emulsions: Protein composition and functional behavior. **Food Hydrocolloids**, v. 96, p. 354-364, 2019.
- CAMPUZANO, A.; ROSELL, C. M.; CORNEJO, F. Physicochemical and nutritional characteristics of banana flour during ripening. **Food Chemistry**, v. 256, p. 11-17, 2018.
- CARVALHO, M. S. Cinética de secagem, conservação e propriedades físico-químicas de amêndoas de macaúba. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) apresentada à Universidade Federal de Viçosa. 74 f, 2018.
- CASTELO-BRANCO, V. N.; GUIMARÃES, J. N.; SOUZA, L.; GUEDES, M. R. P.; SILVA, M.; FERRÃO, L. L.; MIYAHIRA, R. F.; GUIMARÃES, R. R.; FREITAS, S. M. L.; REIS, M. C.; ZAGO, L. The use of green banana (*Musa balbisiana*) pulp and peel flour as an ingredient for tagliatelle pasta. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, e2016119, 2017.
- CASTRO, A. M.; MAYOORGA, E. Y.; MORENO, F. L. Mathematical modelling of convective drying of fruits: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 223, p.152-167, 2018.
- CASTRO, M. T.; SIQUEIRA, R. A.; JORGE, A. P. P.; SILVA, E. E. A. N.; ATAIDES, I. M. R.; SANTOS P. A. Propriedades físico-químicas e funcionais de biomassa de

- banana verde (*Musa spp.*). **Global Science and Technology**, v. 12, n. 1, p. 53-64, 2019.
- CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M.; LIRA, V. V.; OLIVEIRA, R. F. DE; COSTA, N. L.; OLIVEIRA, H. M. L. A new approach to the traditional drying models for the thin-layer drying kinetics of chickpeas. **Journal of Food Process Engineering**, v. 43, n. 12, p. e13569, 2020.
- DAUDA, A. O.; ABIODUN, O. A.; ARISE, A. K.; OYEYINKA, S. A. Nutritional and consumers acceptance of biscuit made from wheat flour fortified with partially defatted groundnut paste. **LWT - FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY**, v. 90, p. 265–269, 2018.
- DOMINGUEZ-HERNANDEZ, M. E.; ZEPEDA-BAUTISTA, R.; VALDERRAMA-BRAVO, M. D. C.; DOMINGUEZ-HERNANDEZ, E., HERNANDEZ-AGUILAR, C. Sustainability assessment of traditional maize (*Zea mays* L.) agroecosystem in Sierra Norte of Puebla, Mexico. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, v. 42, n. 4, p. 383-406, 2018.
- EL-SOHAIFY, S. A.; BRENNAN, M.; DARWISH, A. M. G.; BRENNAN, C. Physicochemical, texture and sensorial evaluation of pasta enriched with chickpea flour and protein isolate. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 65, p. 28-34, 2020.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre **ABTS**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2007. 4p. (Comunicado técnico, 128).
- FAOSTAT – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/>>. Acesso em: 17 dez 2020.
- FERNANDES, R. C. S.; PITOMBO, V. C.; MORAIS, N. A. R.; SALVADOR, A. C. A.; REZENDE, L. S.; MATIAS, A. C. G.; FURQUIM, N. R.; PEREIRA, I. R. O. Desenvolvimento e avaliação sensorial de sorvete de iogurte (frozen) funcional com biomassa de banana verde e frutas vermelhas. **Revista Uningá Review**, v. 30, n. 2, p. 17-22, 2017.
- FERNANDES, T. C. R.; CAMARGOS, L. F. DE; CAMILO, P. A.; JESUS, F. G. DE; SIQUEIRA, A. P. S. Caracterização tecnológica da farinha de grão-de-bico variedade BRS cristalino. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 25, 2022.
- GADALLAH, M. G.; RIZK, I. R.; ELSHESHETAWY, H. E.; BEDEIR, S. H.; ABOUELAZM, A. M. Impact of partial replacement of wheat flour with sorghum or chickpea flours on rheological properties of composite blends. **Journal of Agricultural and Veterinary Sciences**, v. 10, n. 1, p. 83-98, 2017.
- GHAG, S. B.; GANAPATHI, T. R. Banana and Plantains: Improvement, Nutrition, and Health. **Bioactive Molecules in Food**, p. 1755-1774, 2019.

- GHRIBI, A. M.; GAFSI, I. M.; BLECKER, C.; DANTHINE, S.; ATTIA, H.; BESBES, S. Effect of drying methods on physico-chemical and functional properties of chickpea protein concentrates. **Journal of Food Engineering**, v. 165, p. 179–188, 2015.
- GOMES, V. T. S.; GOMES, R. N. S.; GOMES, M. S.; VIANA, L. V. M.; CONCEIÇÃO, F. R.; AMORIM, L. M. M.; SOARES, L. E. Benefícios da biomassa de banana verde à saúde humana. In: XX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XVI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e VI Encontro de Iniciação à Docência, Paraíba. **Anais...** 2016.
- GONZALEZ-ORTEGA, E.; PINEYRO-NELSON, A.; GOMEZ-HERNANDEZ, E.; MONTERRUBIO-VAZQUEZ, E.; ARLEO, M.; DAVILA-VELDERRAIN, J.; MARTÍNEZ-DEBAT, C.; ALVAREZ-BUYLLA, E. R. Pervasive presence of transgenes and glyphosate in maize-derived food in Mexico. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, v. 41, p. 1146-1161, 2017.
- GULCIMEN, F.; KARAKAYA, H.; DURMUS, A. Drying of sweet basil with solar air collectors. **Renewable energy**, v. 93, p. 77-86, 2016.
- HERNÁNDEZ-LÓPEZ, I.; VALDÉS, J. R. B.; CASTELLARI, M.; AGUILÓ-AGUAYO, I.; MORILLAS-ESPAÑA, A.; SÁNCHEZ-ZURANO, A.; ACIÉN-FERNÁNDEZ, F. G.; LAFARGA, T. Utilisation of the marine microalgae *Nannochloropsis* sp. and *Tetraselmis* sp. as innovative ingredients in the formulation of wheat tortillas. **Algal Research**, v. 58, e102361, 2021.
- HORTI&FRUTI 2021. Anuário brasileiro da fruticultura. Brazilian Fruit: Yearbook 2021.
- JAYASENA, D. D.; JO, C. Essential oils as potential antimicrobial agents in meat and meat products: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 34, n. 2, p. 96-108, 2013.
- JUMRANI, K.; BHATIA, V. S. Impact of elevated temperatures on growth and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.). **Field Crops Research**, v. 164, p. 90-97, 2014.
- KROKIDA, M. K.; MAROULIS, Z. B. Effect of drying method on shrinkage and porosity. **Drying Technology**, v. 15, n. 10, p. 2441-2458, 1997.
- KUMAR, A. K.; SHARMA, S. Recent updates on different methods of pretreatment of lignocellulosic feedstocks: a review. **Bioresources and Bioprocessing**, v. 4, n. 7, p. 1-19, 2017.
- MENDONÇA, C. D.; CIABOTTI, S.; MAGALHÃES, M. L.; CARLOS, F. G.; VITAL, A. R.; Interferência da adição de biomassa e farinha de banana verde (*musca* spp.) e farinha da casca de jabuticaba (*myrciaria cauliflora*) na multiplicação de bactérias probióticas em leite cultivado *light*. **ForScience: revista científica do IFMG**, v. 5, n. 2, 2017.
- MUSTAFA, R.; HE, Y.; SHIM, Y. Y.; REANEY, M. J. Aquafaba, wastewater from chickpea canning, functions as an egg replacer in sponge cake. **International journal of food science & technology**, v. 53, n. 10, p. 2247-2255, 2018.

- NIKMARAM, N.; BUDARAJU, S.; BARBA, F. J.; LORENZO, J. M.; COX, R. B.; MALLIKARJUNAN, K.; ROOHINEJAD, S. Application of plant extracts to improve the shelf-life, nutritional and health-related properties of ready-to-eat meat products. **Meat Science**, v. 145, p. 245-255, 2018.
- OGHBAEI, M.; PRAKASH, J. Effect of primary processing of cereals and legumes on its nutritional quality: A comprehensive review. **Cogent Food & Agriculture**, v. 2, n. 1, p. 1136015, 2016.
- OLIVEIRA, C. R.; SANTOS, M. B.; SANTOS, M. F. G. O potencial funcional da biomassa de banana verde (*Musa* spp.) na simbiose intestinal. **Revista Ciência e Sociedade**, v. 1, n. 1, p. 1-12, 2016.
- OLIVEIRA, L. M. C.; PEREIRA, M. J. L.; SANTOS, D. C.; LEITE, D. D. F.; LIMA, T. L. B.; GOMES, J. P. Effect of concentrations of banana peel flour and sucrose on physical and chemical characteristics in cakes. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, e2019314, 2020.
- OLUSEGUN-OMOLOLA, A.; OBIEFUNA-JIDEANI, A. I.; FRANCIS-KAPILA, P.; ADAORA-JIDEANI, V. Optimization of oven drying conditions of banana (*Musa* spp., AAA group, cv “Luvhele” and ‘Mabonde’) using response surface methodology. **Agrociencia**, v. 52, n. 4, p. 539-551, 2018.
- PARK, K. J; PARK, F. T. L; CORNEJO, F.E.P; FABBRO, I.M.D. Secagem: Fundamentos e equações. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 16, p. 93-127, 2016.
- PATTERSON C. A.; CURRAN, J.; DER, T. Effect of processing on antinutrient compounds in pulses. **Cereal Chemistry**, v. 94, n. 1, p. 2-10, 2017.
- PEÑA-REYES, R. A.; RAMÍREZ-ROMERO, G. A.; FERNÁNDEZ-PERRINO, F. J.; CRUZ-GUERRERO, A. E. Effect of nixtamalization processing temperature on maize hydration and the textural properties of masa and tortillas. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, n. 5, e13136, 2016.
- QAMAR, S.; SHAIKH, A. **Therapeutic potentials and compositional changes of valuable compounds from banana- A review. Trends in Food Science & technology**, v. 79, p. 1-9, 2018.
- RAHMAN, N. A. A.; RAZAK, S. Z. A.; TAIP, L. A. L. F. S.; KAMAL, S. M. M. Response surface optimization for the hot air frying technique and its effects on sweet potato snack quality. **Journal of Food Processing Engineering**, v. 40, n. 4, e12507, 2016.
- RAMAMOORTHY, P.; LAKSHMANAN, K.; UPADHYAYA, H. D.; VADEZ, V.; VARSHNEY, R. K. Root traits confer grain yield advantages under terminal drought in chickpea (*Cicer arietinum* L.). **Field Crops Research**, v. 201, p. 146-161, 2017.
- RANIERI, L. M.; DELANI, T. C. O. Banana verde (*Musa* spp): obtenção da biomassa e ações fisiológicas do amido resistente. **Revista UNINGÁ**, v. 20, n. 3, p. 43-49, 2014.

- RAZA, H.; ZAABOUL, F.; SHOAI, M.; ZHANG, L. An Overview of Physicochemical Composition and Methods used for Chickpeas Processing. *International Journal of Agriculture Innovations and Research*, v. 7, n. 5, p. 495-500, 2019.
- ROCHA, L. S.; SANTANA, R. F.; SOARES, A. C. F.; HADDAD, F. Reaction of banana cultivars to the *Meloidogyne javanica* X *Fusarium oxysporum* sp. Cubense complex. *Revista Caatinga*, v. 31, n. 3, p. 572-583, 2018.
- RODRIGUES, L. M. S.; VIEIRA, A. F.; CONSTANTINO, J. S. F.; SILVA, L. P. F. R.; ALMEIDA, R. D. Elaboração e avaliação da textura instrumental de bolos sem glúten e sem lactose de biomassa de banana verde durante armazenamento. *Revista Brasileira de Agrotecnologia*, v. 7, n. 2, p. 402-406, 2017.
- ROTHWELL, J. A.; MEDINA-REMÓN, A.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; NEVEU, V.; KNAZE, V. Effects of food processing on polyphenol contents: A systematic analysis using phenol-explorer data. *Molecular Nutrition & Food Research*, v. 59, n. 1, p. 160-170, 2015.
- SADH, P. K.; CHAWLA, P.; DUHAN, J. S. Fermentation approach on phenolic, antioxidants and functional properties of peanut press cake. *Food Bioscience*, v. 22, p. 113–120, 2018.
- SAHIN, M.; DOYMAZ, İ. Estimation of cauliflower mass transfer parameters during convective drying. *Heat and Mass Transfer*, v. 53, n. 2, p. 507-517, 2017.
- SANTOS, G.; SOUZA, D. S.; CASTRO, A. A. Cinética de secagem convectiva e liofilização de ramos de coentro (*Coriandrum sativum* L.): estudo da influência dos processos em sua coloração. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v. 14, n. 4, p. 329-335, 2012.
- SANTOS, F. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; LIMA, A. R. C.; LIMA, T. L. B. The temperature effect in okra drying process: a kinetic study on powders physical properties. *Australian Journal of Crop Science*, v. 15, n. 5, p. 649-660, 2021a.
- SANTOS, K. L.; ALVES, C. A. N.; SOUSA, F. M.; GUSMÃO, T. A. S.; ALVES FILHO, E. G.; VASCONCELOS, L. B. Chemometrics applied to physical, physicochemical and sensorial attributes of chicken hamburgers blended with green banana and passion fruit epicarp biomasses. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, v. 24, e100337, 2021a.
- SARAWONG, C.; SCHOENLECHNER, R.; SEKIGUCHI, K.; BERGHOFER, E.; NG, P. K. Effect of extrusion cooking on the physicochemical properties, resistant starch, phenolic content and antioxidant capacities of green banana flour. *Food Chemistry*, v. 143, p. 33-39, 2014.
- SEYEDIMORADI, H.; TALEBI, R.; KANOUNI, H.; NAJI, A. M.; KARAMI, E. Genetic diversity and population structure analysis of chickpea (*Cicer arietinum* L.) advanced

- breeding lines using whole-genome DArTseq-generated SilicoDArT markers. *Revista brasileira de botânica*, v. 43, n. 3, p. 541–549, 2020.
- SILVA, W. P.; SILVA, C. M.; GAMA, F. J.; GOMES, J. P. Mathematical models to describe thin-layer drying and to determine drying rate of whole bananas. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 13, n. 1, p. 67-74, 2014.
- SILVA, B. A.; BEZERRA, J. J. S.; SANTOS, K. T. S.; SOUSA, M. W. S.; AMARAL, R. S.; BRASILEIRO, J. L. O.; SOARES, D. J. Elaboração de biscoitos a partir da biomassa da banana verde. **CIENTEC-Revista de Ciência, Tecnologia e Humanidades do IFPE**, v. 9, n. 1, p. 136-140, 2017.
- SUMMO, C.; ANGELIS, D.; RICCIARDI, L.; CAPONIO, F.; LOTTI, C.; PAVAN, S.; PASQUALONE, A. Nutritional, physico-chemical and functional characterization of a global chickpea collection. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 84, p. 103306, 2019.
- TAHERI-GARAVAND, A.; MEDA, V.; NADERLOO, L. Artificial neural Network- Genetic algorithm modeling for moisture content prediction of savory leaves drying process in different drying conditions. **Engineering in Agriculture, Environment and Food**, v. 11, n. 4, p. 232-238, 2018.
- TAKOUGNADI, E.; BOROZE, T. T.; AZOUMA, O. Y. Effects of drying conditions on energy consumption and the nutritional and organoleptic quality of dried bananas. **Journal of Food Engineering**, v. 268, p. 109747, 2020.
- TERUEL, M. R.; GONDON, M.; LINARES, M. B.; GARRIDO, M. D.; AHROMRIT, A.; NIRANJAN, K. A Comparative Study of the Characteristics of French Fries Produced by Deep Fat Frying and Air Frying. **Journal of Food Science**. v. 80, n. 2, p. E349-E358, 2015.
- TOPETE-BETANCOURT, A.; SANTIAGO-RAMOS, D.; FIGUEROA-CÁRDENAS, J. D. Relaxation tests and textural properties of nixtamalized corn masa and their relationships with tortilla texture. **Food Bioscience**, v. 33, e100500, 2020.
- TUNCKAL, C.; DOYMAZ, İ. Performance analysis and mathematical modelling of banana slices in a heat pump drying system. **Renew Energy**, v. 150, p. 918-923, 2020.
- ULLAH, S.; KHAN, J.; HAYAT, K.; ABDELFAHATTAH ELATEEQ, A.; SALAM, U.; YU, B.; MA, Y.; WANG, H.; TANG, Z.-H. Comparative Study of Growth, Cadmium Accumulation and Tolerance of Three Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Cultivars. *Plants (Basel, Switzerland)*, v. 9, n. 3, p. 310, 2020.
- WANG, J.; HUANG, H. H.; CHEN, P. S. Structural and physicochemical properties of banana resistant starch from four cultivars. **International Journal of Food Properties**, v. 20, n. 6, p. 1338-1347, 2017.

## ARTIGO I

### SECAGEM DE BANANA VERDE EM SECADOR CONVECTIVO E *AIR FRYER*: EFEITOS DAS DIFERENTES TEMPERATURAS NA OBTENÇÃO DE FARINHAS

#### Resumo

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a cinética de secagem da banana verde em dois equipamentos distintos, nas temperaturas de 50, 65 e 80 °C, ajustar diferentes modelos matemáticos para descrição do processo de secagem. As farinhas foram caracterizadas quanto ao teor de água, atividade de água, pH, acidez total titulável, cinzas, proteínas, lipídeos, taninos, compostos fenólicos totais, flavonoides, antocianinas, cor ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) e análise morfológica (MEV). Determina a demanda energética da estufa e *Air fryer*. Como resultado, a difusividade efetiva e a energia de ativação foram determinadas além dos parâmetros termodinâmicos: entropia, entalpia e energia livre de Gibbs. O modelo de Midilli modificado foi o que melhor se ajustou às curvas cinéticas de secagem. Houve um reforço no coeficiente de difusão efetivo com o aumento da temperatura. A entalpia e a entropia foram reduzidas e a energia livre de Gibbs aumentou com o acréscimo da temperatura de secagem. Os parâmetros de teor de água, atividade de água e pH diminuíram com o aumento da temperatura, o oposto ocorreu com a acidez, proteínas, lipídeos, taninos, composto fenólicos e antocianinas. As farinhas apresentaram alta luminosidade para as menores temperaturas. As farinhas não apresentaram nenhuma diferença significativa em relação ao MEV. Assim, a partir do presente estudo foi possível avaliar qual o melhor método de secagem, que deve ser aplicado para a secagem da banana verde, considerando os custos envolvidos, sua qualidade e a aplicação final do produto, atendendo as necessidades específicas do consumidor.

**Palavras-chave:** *Musa spp.*, modelagem matemática, difusividade efetiva, morfologia das partículas.

#### Abstract

The present work aimed to evaluate the drying kinetics of green bananas in two different pieces of equipment, at temperatures of 50, 65 and 80 °C, and adjust different mathematical models to describe the drying process. The flours were characterized regarding water content, water activity, pH, total titratable acidity, ash, proteins, lipids, tannins, total phenolic compounds, flavonoids, anthocyanins, color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) and morphological analysis (ME V). Determine the energy demand of the stove and Air fryer. As a result, the effective diffusivity and activation energy were determined in addition to the thermodynamic parameters: entropy, enthalpy and Gibbs free energy. The modified Midilli model was the one that best adjusted the drying kinetic curves. There was an increase in the effective diffusion coefficient with increasing temperature. Enthalpy and entropy were reduced and Gibbs free energy increased with increasing drying temperature. The parameters of water content, water activity and pH decreased with increasing temperature, the opposite occurred with acidity, proteins, lipids, tannins, phenolic compounds and anthocyanins. The flours showed high luminosity at the lowest temperatures. The flours did not show any significant difference in relation to the MEV. Thus, from the present study it was possible to evaluate the best drying method that should be applied to dry green bananas,

considering the costs involved, their quality and the final application of the product, meeting the specific needs of the consumer.

**Keywords:** *Musa spp.*, mathematical modeling, effective diffusivity, particle morphology.

## 1. Introdução

A banana (*Musa spp.*) é cultivada abundantemente nas regiões tropicais e subtropicais, é amplamente consumida mundialmente devido suas características nutricionais e sensoriais. A Índia é o maior produtor global com produção de mais de 30 milhões de toneladas, o que representa 26% da produção mundial; China, Indonésia, Brasil, Equador e Filipinas seguem com 32,8% (FAO, 2021). A importância nutricional da banana se deve ao produto ser rico em fibras, antioxidantes e nutrientes essenciais, especialmente potássio (GRANELLA et al., 2022). É uma fruta consumida principalmente *in natura*, no entanto, é um produto climatérico e que se decompõe facilmente após a colheita sendo também sensível às condições de refrigeração (OFFIA-OLUA et al., 2015). De acordo com a Fao (2021) cerca de um quinto de toda a produção mundial tornam-se refugos. Assim, uma vez colhidas, as bananas devem ser consumidas em poucos dias ou o produto será perdido (SILVA et al., 2013).

Por meio do uso de tecnologias de processamento e conservação, em destaque a secagem, pela simplicidade e baixo custo obtém-se novos produtos, com alto valor nutricional e valor agregado. Além disso, o processo de secagem é uma das técnicas de conservação mais antigas utilizada no mundo, proporcionando o aumento da vida de prateleira dos alimentos através da redução do teor de umidade e de atividade de água, inviabilizando assim o desenvolvimento de microrganismos (OLIVEIRA et al., 2015).

A secagem convectiva é um processo amplamente utilizado pela indústria, consistindo na desidratação por ar aquecido, que oferece vantagens como baixo custo e baixa complexidade, compreende a redução do teor de água a um nível em que o produto se torna quimicamente estável e um produto seco mais uniforme (PARK et al., 2001). Entretanto, este tipo de secagem, muitas vezes, está associado à perda de nutrientes, devido ao longo período de contato do produto com o ar a alta temperatura. Portanto, métodos modernos de secagem são necessários para produzir produtos com características ecologicamente corretas, econômicas e operacionalmente seguras com base em controles de qualidade adequados (ZHANG et al., 2017).

Um método recente é a secagem por “*Air fryer*” que tem como princípio a circulação de ar superaquecido em alta velocidade, formando um fluxo de calor circulante de alta potência no interior do equipamento permitindo reduzir o tempo de exposição do material ao processo de secagem, essa redução de tempo de secagem é importante para inibir a degradação de compostos sensíveis ao calor. De acordo com Rahman et al. (2017) a fritura com ar quente é diferente da secagem com ar quente/secagem convectiva devido à diferença a maneira como o ar flui dentro do equipamento de fritura a ar. Monteiro et al. (2020) avaliou a influência da incorporação da solução obtida com hibisco, sacarose e cloreto de sódio no processo de desidratação osmótica e estudo da cinética de secagem em *Air fryer* nas características físicas e físico-químicas da berinjela e observou que a temperatura de 90 °C é a mais indicada para a secagem dos cubos de berinjela, uma vez que apresentou o menor teor de água e boas características físicas e físico-químicas.

É importante destacar que há uma demanda crescente não só dos consumidores, mas também da indústria alimentícia, que visa ter a máxima diversidade de nutrientes em linhas não perecíveis, convenientemente preparadas para manter as principais características da matéria-prima *in natura* e pronto para uso. Na literatura especializada não apresenta estudos que tratem da comparação entre estes dois métodos de secagem aplicados a banana verde. Logo o processamento de banana verde, é de grande importância para a comunidade científica, pois além da obtenção de um novo produto rico em nutrientes, ainda disponibilizará no mercado mais uma opção de matéria-prima que poderá ser utilizada na formulação de diversos alimentos.

Portanto, o presente estudo tem como objetivo avaliar o efeito da temperatura de secagem na desidratação da banana em diferentes temperaturas e comparar as cinéticas de secagem, parâmetros térmicos e de desempenho durante a secagem de fatias de banana verde em secagem convectiva e em *Air fryer*.

## **2. Material e método**

### **2.1 Matéria-prima**

Foi utilizada neste estudo a banana Pacovan (*Musa acuminata Colla x Musa balbisiana Colla*) cultivada na Região Nordeste do Brasil, adquiridas em empresa de fornecimento de alimentos na cidade de Campina Grande. Foram utilizados frutos em estágio de maturação

verde (índice de cor; 2 = inteiramente verde) de acordo com a escala de cor comercial da casca descrita por (Aurore et al., 2009).

Primeiramente foram selecionadas individualmente, de acordo com seu estágio de maturação e integridade física. Em seguida, foram lavados e higienizados em água clorada (50 ppm), por 15 minutos, e por fim foram enxaguados. Após enxague as bananas foram imersas em solução de ácido cítrico a 0,5% (m/v) por 15 minutos e depois drenadas, a fim de reduzir o escurecimento enzimático. Em seguida, as bananas verdes foram então fatiadas transversalmente com espessura de 4 mm e mergulhadas em solução de ácido cítrico a 0,5% (p/v) por 15 min e depois bem drenadas para remoção do excesso de solução.

## 2.2 Cinética de secagem

Para a secagem convectiva e para a secagem em *Air fryer* as amostras tiveram o mesmo processo, as amostras fatiadas foram colocadas em bandejas em tela de aço inoxidável. As cinéticas foram determinadas nas temperaturas de 50, 65 e 80 °C, pesando-se as bandejas em intervalos regulares de tempo (5, 10, 15, 20, 30, 60 e 120 min), em balança semianalítica, até atingir o teor de água de equilíbrio (variação de 0,01 g) em três pesagens consecutivas. Os teores de água no início e no final do processo de secagem foram determinados gravimetricamente por secagem em estufa a 105 °C por 24 h. Depois de secas, as fatias foram moídas em moinho de disco e peneiradas em peneira de aço inoxidável com malha nº 32, para remoção de partículas de maior granulometria. A partir dos dados dos teores de água em cada tempo de secagem, foram calculadas as razões do teor de água, de acordo com a Equação 1.

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} \quad (1)$$

Em que: RX – razão do teor de água (adimensional); X – teor de água (% bs);  $X_i$  – teor de água inicial (% bs);  $X_e$  – teor de água de equilíbrio (% bs).

Os dados experimentais da cinética de secagem foram ajustados por dez modelos matemáticos (Tabela 1) através do software Statistica® versão 8.0, através de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton (StatSoft, 2010). Para avaliar a qualidade do ajuste dos modelos matemáticos aos dados de cinética de secagem, foram considerados os maiores valores

dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), coeficientes de determinação ajustado ( $R_a^2$ ) e raiz do erro quadrático médio (RMSE), segundo as Equações 2, 3 e 4, respectivamente.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (2)$$

$$R_a^2 = 1 - \left( \frac{n-1}{n-(p+1)} \right) \cdot (1-R^2) \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2} \quad (4)$$

Em que:  $y_i$  – valor observado;  $\bar{y}$  – média dos valores observados;  $\hat{y}_i$  – valor estimado pelo modelo;  $n$  – número de observações;  $p$  – número de parâmetros do modelo.

**Tabela 1** - Modelos matemáticos ajustados à cinética de secagem de fatias de banana verde

Designação	Modelo	Equação
Aproximação da difusão	$RX = a \exp(-k t) + (1-a) \exp(-k b t)$	(5)
Exponencial de dois termos	$RX = a \exp(-k_0 t) + b \exp(-k_1 t)$	(6)
Henderson e Pabis	$RX = a \exp(-k t)$	(7)
Henderson e Pabis modificado	$RX = a \exp(-k t) + b \exp(-k_0 t) + c \exp(-k_1 t)$	(8)
Lewis	$RX = \exp(-k t)$	(9)
Logarítmico	$RX = a \exp(-k t) + c$	(10)
Midilli	$RX = a \exp(-k t^n) + b t$	(11)
Page	$RX = \exp(-k t^n)$	(12)
Page modificado	$RX = \exp(-(k t)^n)$	(13)

RX - Razão do teor de água (adimensional);  $k$ ,  $k_0$  e  $k_1$  - Constantes de secagem ( $\text{min}^{-1}$ );  $a$ ,  $a_0$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $n$  - Coeficientes dos modelos, adimensionais; e  $t$  - Tempo de secagem (min).

### 2.2.1 Parâmetros de transferência de massa e energia

Para a determinação da difusividade efetiva de água ( $D_{ef}$ ) foi considerada a forma geométrica de uma placa plana infinita, porque a espessura da fatia de banana é muito inferior quando comparada com as demais dimensões. A suposição feita foi que o encolhimento é considerável e por isso foi realizada a medida da espessura ao decorrer da secagem. A teoria da

difusividade é postulada pela segunda lei de Fick que expressa a difusividade da umidade dentro de um sólido tendo um gradiente de concentração como força motriz (Cavalcanti-Mata et al., 2020). A Equação 14 representa a segunda lei de Fick:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \nabla(D\nabla X) \quad (14)$$

Crank (1979) propôs diferentes soluções para a equação de Fick usando diversas condições iniciais e limites de contorno, dependendo da forma geométrica. A solução analítica para uma placa plana é dada pela Equação 15:

$$RX = \frac{8}{\pi} \sum \frac{1}{(2n+1)^2} \cdot \exp\left(-\frac{\pi^2(2n+1)^2 D_{ef} \cdot t}{4H^2}\right) \quad (15)$$

Em que:  $D_{ef}$  – coeficiente de difusão ( $\text{mm}^2/\text{min}$ );  $t$  – tempo de secagem (min);  $H$  – meia espessura da semente (mm);  $N$  – número de termos levados em consideração ( $n = 0, 1, 2, 4, 5, 6, \dots$ ).

Para determinar energia de ativação ( $E_a$ ), a correlação entre  $D_{ef}$  e temperatura foi assumida como uma função de Arrhenius e é representada pela Equação 16.

$$D_{ef} = D_0 \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{R \cdot T}\right) \quad (16)$$

Em que:  $D_0$  – fator pré-exponencial da equação de Arrhenius ( $\text{m}^2/\text{s}$ );  $E_a$  – energia de ativação ( $\text{J/mol}$ );  $R$  – constante de gás universal ( $R = 8,31451 \text{ J/mol/K}$ );  $T$  – ar temperatura expressa (K).

O coeficiente de transferência de massa indica a resistência oferecida ao transporte de umidade do material alimentar para o meio de secagem e pode ser expresso como na Equação 17.

$$h_m = \frac{D_{ef} B_i}{L} \quad (17)$$

$$B_i = \frac{24,848}{D_i^{0,375}} \quad (18)$$

$$D_i = \frac{v}{k.L} \quad (19)$$

Em que:  $h_m$ : coeficiente de transferência de massa por convecção (m/s);  $B_i$  – número de Biot;  $D_i$  – Número de dincer;  $V$  – velocidade do ar (m/s);  $L$  – espessura média da semente (m);  $k$  – constante de secagem foram indicadores estatísticos retirados do modelo mais ajustado.

### 2.2.2 Propriedades termodinâmicas

Com a determinação da energia de ativação foi possível realizar os cálculos das propriedades termodinâmicas, tais como: entalpia, entropia e energia livre de Gibbs, utilizando-se o método descrito por Jideani e Mpotokwana (2009), descritos nas Equações 18, 19 e 20:

$$\Delta H = E_a - RT \quad (18)$$

$$\Delta S = R \left[ \ln D_0 - \ln \left( \frac{k_b}{k_p} \right) - \ln T \right] \quad (19)$$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (20)$$

Em que:  $\Delta H$  – entalpia, J mol<sup>-1</sup>;  $\Delta S$  – entropia, J mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>;  $\Delta G$  – energia livre Gibbs, J mol<sup>-1</sup>;  $k_b$  – constante de Boltzmann, 1,38 x 10<sup>-23</sup> J K<sup>-1</sup>;  $k_p$  – constante de Planck, 6,626 x 10<sup>-34</sup> J s<sup>-1</sup>.

### 2.2.3 Demanda energética do equipamento

Foi calculada a demanda energética da estufa e da *Air fryer* por volume de equipamento, a estufa possui um volume de 216 L e a *Air fryer* 10 L, foi utilizada a Equação 21:

$$DEV = \frac{CE}{V} \quad (21)$$

Em que:  $DEV$  – demanda energética por volume do equipamento (kWh/L);  $CE$  – consumo energético do equipamento para realizar toda a secagem (kWh);  $V$  – volume do equipamento (L).

## **2.3 Caracterização física, química, físico-química e compostos bioativos das farinhas**

As farinhas de banana verde obtidas em estufa e em *Air fryer* foram caracterizadas, em triplicata, quanto aos parâmetros físicos, químicos, físico-químicos e compostos bioativos.

### **2.3.1 Teor de água**

O teor de água foi determinado pelo método de secagem das amostras em estufa a 105 °C até massa constante descrito no manual do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).

### **2.3.2 Atividade de água**

A atividade de água foi determinada na temperatura de 25 °C, através de leitura direta em higrômetro Aqualab, modelo 3TE, fabricado por Decagon Devices.

### **2.3.3 pH**

O pH foi determinado pelo método potenciométrico, com o medidor de pH da marca Tecnal modelo TEC-2, previamente calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0.

### **2.3.4 Acidez total titulável**

A acidez total titulável foi determinada através do método acidimétrico do manual do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008), usando solução de hidróxido de sódio 0,1 M, com os resultados expressos em percentagem de ácido málico.

### **2.3.5 Cinzas**

As cinzas foram determinadas através do método do manual do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008), por calcinação da amostra em mufla a 550 °C.

### **2.3.6 Proteínas**

As proteínas totais foram quantificadas pela determinação do nitrogênio realizado através do método de Kjeldahl, compreendido por três etapas (digestão ácida, destilação e titulação), conforme IAL (2008).

### 2.3.7 Lipídeos

Os lipídeos foram determinados através do método de determinação de gordura de Bligh e Dyer (1959).

### 2.3.8 Compostos fenólicos totais e Taninos

Os compostos fenólicos e taninos foram determinados por espectrofotometria, de acordo com o método Folin Ciocalteu (WATERHOUSE, 2006), com leituras realizadas para compostos fenólicos na absorvância a 765 nm e para taninos 725 nm, utilizando o espectrofotômetro (Agilent Technologies Cary 60 UV-Vis). Os resultados de fenólicos foram expressos em mg EAG (equivalente de ácido gálico) /100 g (bs) e de taninos expressos em mg EAT (equivalente de ácido tânico) /100 g (bs).

### 2.3.9 Flavonoides e antocianinas

Os flavonoides totais e antocianinas foram determinados por espectroscopia segundo método descrito por Francis (1982), com leituras realizadas para flavonoides na absorvância 374 nm e 535 nm para as antocianinas, através do espectrofotômetro (Agilent Technologies Cary 60 UV-Vis). Os resultados foram expressos em mg/100 g b.u.

### 2.3.10 Cor

Os parâmetros de cor foram determinados por leitura direta utilizando-se o espectrofotômetro portátil Hunter Lab Mini Scan XE Plus, modelo 4500 L, no sistema de cor Cielab, com padrão de iluminação D65/10° e calibrado com placa branca padrão (X = 80,5; Y = 85,3; Z = 90,0), conforme instrução do fabricante. Foram determinados os seguintes parâmetros: L\* - luminosidade; a\* - transição da cor verde (-a\*) para o vermelho (+a\*); e b\* - transição da cor azul (-b\*) para a cor amarela (+b\*). A partir dos valores de a\* e b\* foram calculados os valores de croma (C\*) (Equação 22) e ângulo de tonalidade (h) (Equação 23):

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (22)$$

$$h = \tan^{-1} b^* / a^* \quad (23)$$

## 2.4 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

O estudo da morfologia das partículas das amostras das farinhas foi realizado no Laboratório de Engenharia de Alimentos, a análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi feita no equipamento Tabletop Microscope (Hitachi, modelo TM3000, Japão), com voltagem de aceleração de 15 kV, onde as amostras dos pós foram fixadas em um suporte (“stubs”) com uma fita adesiva dupla face de carbono condutora, empregando ampliação de 1000.

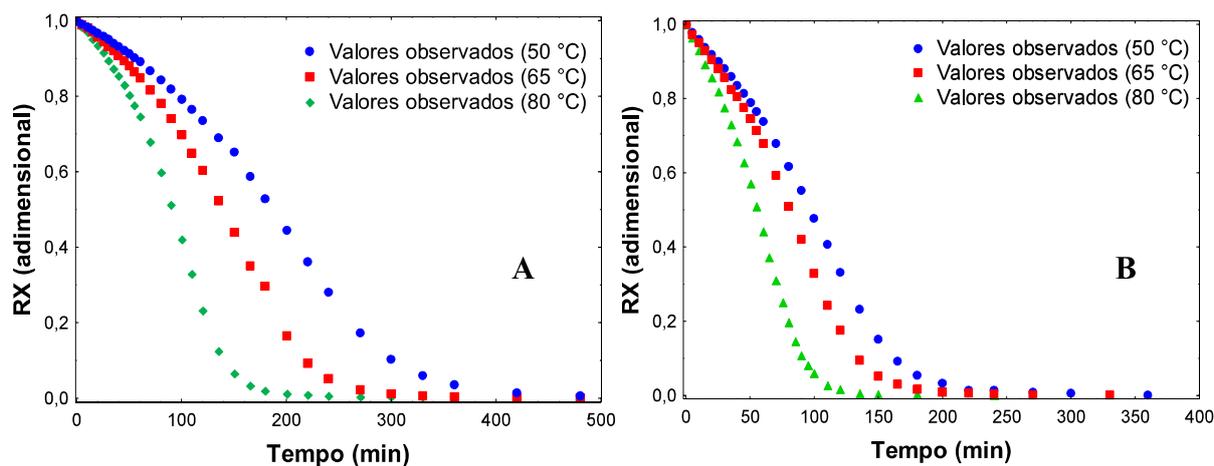
## 2.5 Análise estatística dos dados

Os dados experimentais obtidos da caracterização das farinhas de banana verde foram analisados quanto a possíveis diferenças estatísticas por meio da análise de variância (ANOVA) pelo teste F e a comparação entre médias, pelo teste de Tukey ao nível de 1% de significância, utilizando o software Assistat versão 7.7 beta (SILVA, 2009).

## 3. Resultados e discussão

### 3.1 Cinética de secagem

As secagens de fatias de banana foram realizadas nas temperaturas de 50, 65 e 60 °C utilizando estufa de circulação de ar e *Air fryer*. Para compreender os aspectos de mudança da secagem das fatias, observou-se o efeito de diferentes temperaturas sobre a razão de teor de água (RX) e tempo de secagem. Nas Figuras 1A e 1B podemos verificar as mudanças no comportamento da secagem das fatias de banana, nota-se que o RX diminui durante todo o período de secagem, comportamento associado a remoção de água do produto durante o processo até ocorrer a estabilização da massa. Também é possível observar que o RX diminui continuamente com a elevação da temperatura.



**Figura 1** - Dados experimentais da cinética de secagem de fatias de banana verde. (A) Estufa com circulação forçada de ar e (B) *Air fryer*

Segundo Dhurve et al. (2022), esse comportamento ocorre porque o aumento da temperatura ajuda a elevação da taxa de transporte de água do interior da fatia para a superfície do produto, devido ao mecanismo de difusão, além de que o aumento de temperaturas leva ao aumento da pressão de vapor, resultando em uma evaporação mais rápida da água. Ataides et al. (2021) observaram um comportamento semelhante ao ajustarem diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais observados nas cinéticas de secagem do epicarpo de araticum. Tendências semelhantes foram observadas em diferentes produtos agrícolas, como na secagem do inhame (SILVA et al., 2021), maçã (DEFRAEYE et al., 2017) e cascas de mulungu (MARTINS et al., 2014b).

A forma geométrica das fatias é de uma placa plana, o que leva a uma maior relação superfície por volume, dessa forma, a evaporação da água das fatias ocorre principalmente a partir da superfície superior, pois a inferior foi bloqueada pela bandeja, assim, pode-se dizer que a migração de água é influenciada principalmente por atributos externos (temperatura e velocidade do ar) para transferir a água do interior do produto para a superfície (DHURVE et al., 2022).

A análise do comportamento da secagem mostra que o processo de secagem por *Air fryer* apresenta uma diminuição maior do RX para um mesmo tempo de secagem quando comparado com a secagem em estufa com circulação de ar, isso pode estar relacionado a uma maior velocidade do ar na *Air fryer*, e resultou em redução do tempo menor de secagem.

### 3.1.1 Modelagem matemática

A transferência de calor e massa realizada simultaneamente durante o processo de secagem é conhecida por sua complexidade, por isso, é necessário compreender as variáveis governantes do processo de secagem a partir de uma melhor avaliação da engenharia do processo (DHURVE et al., 2022). Foram ajustados modelos não lineares de camada fina para avaliar o comportamento dos valores da razão de teor de água experimental ( $RX_{exp}$ ). A razão de teor de água predita ( $RX_{pre}$ ) foi calculada a partir da resolução dos modelos. Parâmetros estatísticos e constante de taxa de secagem de nove modelos empíricos foram ajustados aos dados experimentais para o processo de secagem em estufa com circulação de ar e *Air fryer*, respectivamente. Esses parâmetros são apresentados nas Tabelas 2 e 3.

**Tabela 2** - Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ), coeficientes de determinação ajustados ( $R^2_a$ ) e raiz quadrada do erro médio (RSME) dos modelos matemáticos ajustados às curvas de cinética de secagem da banana verde em estufa com circulação forçada de ar

Modelos	T (°C)	Parâmetros						$R^2$	$R^2_a$	RMSE
		a	k	b	$k_0$	c	$k_1$			
<b>Henderson e Pabis modificado</b>	50	-35,861	0,0112	12,649	0,0107	1,9094	0,0108	0,9875	0,9858	0,0416
	65	-43,463	0,0154	10,102	0,0149	3,3948	0,0149	0,9857	0,9837	0,046
	80	-80,385	0,0242	28,778	0,0237	1,8255	0,0149	0,9860	0,9839	0,0473
<b>Midilli</b>		a	k	n	b			$R^2$	$R^2_a$	RMSE
	50	0,9643	0,0001	2,2015	-0,0001			0,9980	0,9978	0,0166
	65	0,9613	0,0002	2,3158	-0,0002			0,9979	0,9977	0,0178
	80	0,9579	0,0002	2,4667	-0,0001			0,9983	0,9981	0,0163
<b>Exponencial de dois termos</b>		a	$k_0$	b	$k_1$			$R^2$	$R^2_a$	RMSE
	50	0,5615	0,0048	0,5615	0,0048			0,9428	0,9373	0,0892
	65	0,5722	0,0068	0,5721	0,0068			0,9387	0,9324	0,0953
	80	0,5852	0,5852	0,5852	0,0108			0,9396	0,9331	0,0982
<b>Aproximação da difusão</b>		a	k	b				$R^2$	$R^2_a$	RMSE
	50	-471,62	0,0105	0,9976				0,9853	0,9844	0,0451
	65	-483,55	0,1458	0,9975				0,9836	0,9825	0,0493
	80	-522,41	0,2317	0,9976				0,9841	0,983	0,0504
<b>Logarítmico</b>		a	k	c				$R^2$	$R^2_a$	RMSE
	50	1,3714	0,0032	-0,2801				0,9636	0,9613	0,0712
	65	1,3397	0,0047	-0,2801				0,9581	0,9553	0,0789
	80	1,2610	0,0088	-0,1123				0,9510	0,9476	0,0884
<b>Henderson e Pabis</b>		a	k					$R^2$	$R^2_a$	RMSE
	50	1,1230	0,0048					0,9428	0,9411	0,0892
	65	1,1443	0,0068					0,9387	0,9367	0,0953
	80	1,1704	0,0108					0,9356	0,9335	0,0982
<b>Page</b>		k	n					$R^2$	$R^2_a$	RMSE
	50	0,0002	1,5621					0,9871	0,9867	0,0424

	65	0,0002	1,6007		0,9767	0,9759	0,0588
	80	0,0002	1,7632		0,9906	0,9903	0,0388
		<b>k</b>	<b>n</b>		<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup><sub>a</sub></b>	<b>RMSE</b>
<b>Page</b>	50	0,0046	1,9819		0,9956	0,9955	0,0247
<b>modificado</b>	65	0,0063	2,0678		0,9956	0,9955	0,0256
	80	0,0097	2,1897		0,9965	0,9964	0,0236
		<b>k</b>			<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup><sub>a</sub></b>	<b>RMSE</b>
<b>Lewis</b>	50	0,0041			0,9159	0,9159	0,1081
	65	0,0057			0,9087	0,9087	0,1163
	80	0,0089			0,9101	0,9101	0,1197

Verificou-se na Tabela 2, o ajuste dos modelos matemáticos por regressão não linear aos dados de cinética de secagem da banana verde em camada fina, considerando-se as diferentes temperaturas do ar de secagem, com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), coeficientes de determinação ajustados ( $R^2_a$ ) e raiz quadrada do erro médio (RSME). De acordo com os resultados, os modelos Midilli e Page Modificado apresentaram valores de  $R^2$  superiores a 0,99, para todas as temperaturas estudadas, indicando uma representação satisfatória do fenômeno em estudo, corroborando assim com os resultados obtidos por Martins et al., (2014b). Entretanto, levando-se em consideração que os valores de  $R^2$ , sozinhos, não constituem bom critério para a seleção de modelos não lineares, os dados de RMSE e  $R^2_a$  foram considerados. Em análise ao RMSE, nota-se que apenas o modelo matemático de Page Modificado apresentou  $RSME \leq 0,0178$ . Com relação ao  $R^2_a$ , o modelo de Page Modificado apresentou valores superiores a 0,9977, sendo que nenhum outro modelo apresentou valor semelhante. De maneira geral, dentre os nove modelos testados, Page Modificado pode ser considerado como tendo os melhores parâmetros de ajuste, pois apresentou maiores  $R^2$  e  $R^2_a$  e menores RSME.

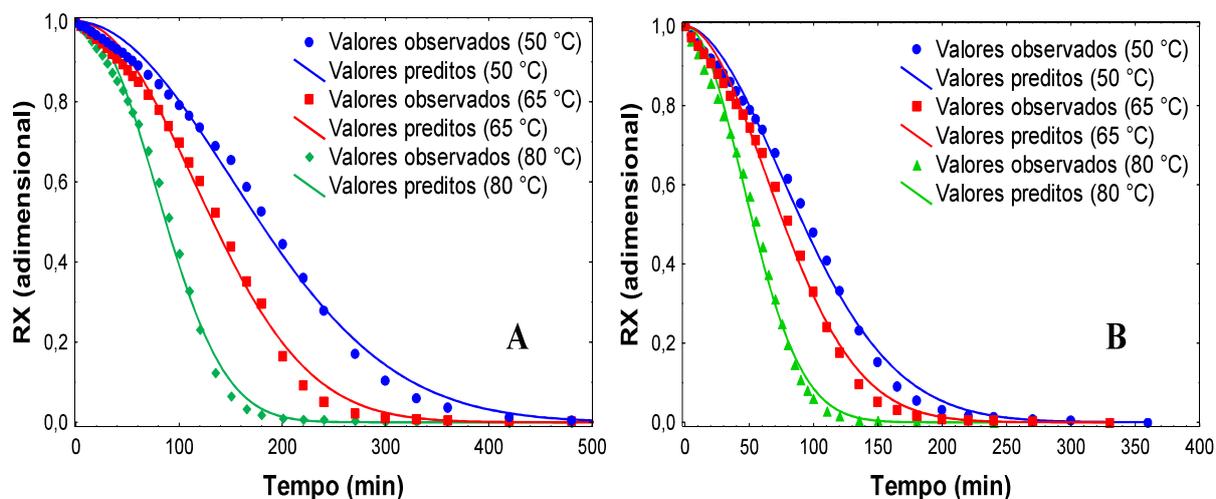
**Tabela 310** - Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ), coeficientes de determinação ajustados ( $R^2_a$ ) e raiz quadrada do erro médio (RMSE) dos modelos matemáticos ajustados às curvas de cinética de secagem da banana verde em *Air fryer*

Modelos	T (°C)	Parâmetros						$R^2$	$R^2_a$	RMSE
		a	k	b	$k_0$	c	$k_1$			
<b>Henderson e Pabis modificado</b>	50	0,3788	0,0097	0,3788	0,0097	0,3788	0,0097	0,9454	0,9381	0,0864
	65	0,3821	0,0118	0,3821	0,0118	0,3821	0,0118	0,9429	0,9347	0,0899
	80	0,3864	0,0182	0,3864	0,0182	0,3864	0,0182	0,9320	0,9219	0,0919
<b>Midilli</b>		a	k	n	b			$R^2$	$R^2_a$	RMSE
	50	0,9882	0,0003	1,7554	-0,0001			0,9947	0,9942	0,0167
	65	0,9871	0,0004	1,8252	-0,0002			0,9939	0,9933	0,0275
	80	0,9536	0,0005	2,0992	-0,0003			0,9980	0,9978	0,0274
<b>Exponencial de dois termos</b>		a	$k_0$	b	$k_1$			$R^2$	$R^2_a$	RMSE
	50	0,5682	0,0098	0,5682	0,0098			0,9454	0,9401	0,0865
	65	0,5732	0,0118	0,5732	0,0118			0,9429	0,9370	0,0899
	80	0,5795	0,0182	0,5795	0,0182			0,9320	0,9247	0,0919
<b>Aproximação da difusão</b>		a	k	b			$R^2$	$R^2_a$	RMSE	
	50	1,0000	0,0083	1,0000			0,9201	0,9151	0,1045	
	65	1,0000	0,0101	1,0000			0,9174	0,9119	0,1082	
	80	1,0000	0,0157	1,0000			0,9055	0,8990	0,1083	
<b>Logarítmico</b>		a	k	c			$R^2$	$R^2_a$	RMSE	
	50	1,3472	0,0065	-0,2494			0,9669	0,9648	0,0673	
	65	1,3082	0,0084	-0,1997			0,9625	0,9600	0,0729	
	80	1,3169	0,0133	-0,1900			0,9534	0,9502	0,0761	
<b>Henderson e Pabis</b>		a	k				$R^2$	$R^2_a$	RMSE	
	50	1,1363	0,0097				0,9454	0,9437	0,0864	
	65	1,1465	0,0118				0,9429	0,9411	0,0899	
	80	1,1594	0,0182				0,9320	0,9297	0,0919	
<b>Page</b>		k	n				$R^2$	$R^2_a$	RMSE	
	50	0,0001	1,8573				0,9953	0,9952	0,0252	
	65	0,0002	1,8403				0,9953	0,9951	0,0259	
	80	0,0004	1,8291				0,9932	0,9930	0,0287	
<b>Page modificado</b>		k	n				$R^2$	$R^2_a$	RMSE	
	50	0,0089	1,8579				0,9953	0,9952	0,0252	
	65	0,0107	1,9235				0,9956	0,9955	0,0250	
	80	0,0156	1,9986				0,9947	0,9945	0,0257	
<b>Lewis</b>		k					$R^2$	$R^2_a$	RMSE	
	50	0,0083					0,9201	0,9201	0,1045	
	65	0,0101					0,9174	0,9174	0,1082	
	80	0,0157					0,9055	0,9055	0,1083	

Observou-se que dentre os nove modelos, o modelo Page modificado fornece os maiores valores maior  $R^2$ ,  $R^2_a$  e o menor valor de RMSE para todas as temperaturas tanto na estufa com circulação forçada de ar (Tabela 2) quanto na *Air fryer* (Tabela 3). Assim, as características de secagem das fatias de banana verde podem se expressar melhor usando o modelo Page modificado. Este modelo foi mais adequado para prever o comportamento de secagem de frutas e vegetais (ONWUDE et al., 2016) e fatias de inhame (SAHOO et al., 2022).

Ainda nas Tabelas 2 e 3 podemos verificar que a constante de taxa de secagem ( $k$ ) dos modelos escolhidos, aumentou com a elevação da temperatura de secagem. O aumento de temperatura garantiu uma maior taxa de difusão de água devido à maior energia molecular. Percebeu-se também, que a constante de taxa de secagem foi maior na secagem por *Air fryer*, comportamento associado a elevada velocidade de ar.

Para a validação do modelo ajustado aos dados experimentais, foram plotados os gráficos de razão do teor de água experimentais ( $RX_{exp}$ ) e razão do teor de água preditos ( $RX_{pre}$ ) pelo o modelo de Page modificado e estão apresentados nas Figuras 2A e 2B.



**Figura 2** - Modelo de Page modificado ajustado aos dados experimentais da cinética de secagem das fatias de banana verde. (A) Estufa com circulação forçada de ar e (B) *Air fryer*.

### 3.1.2 Parâmetros de transferência de massa

#### 3.1.2.1 Difusividade efetiva de água

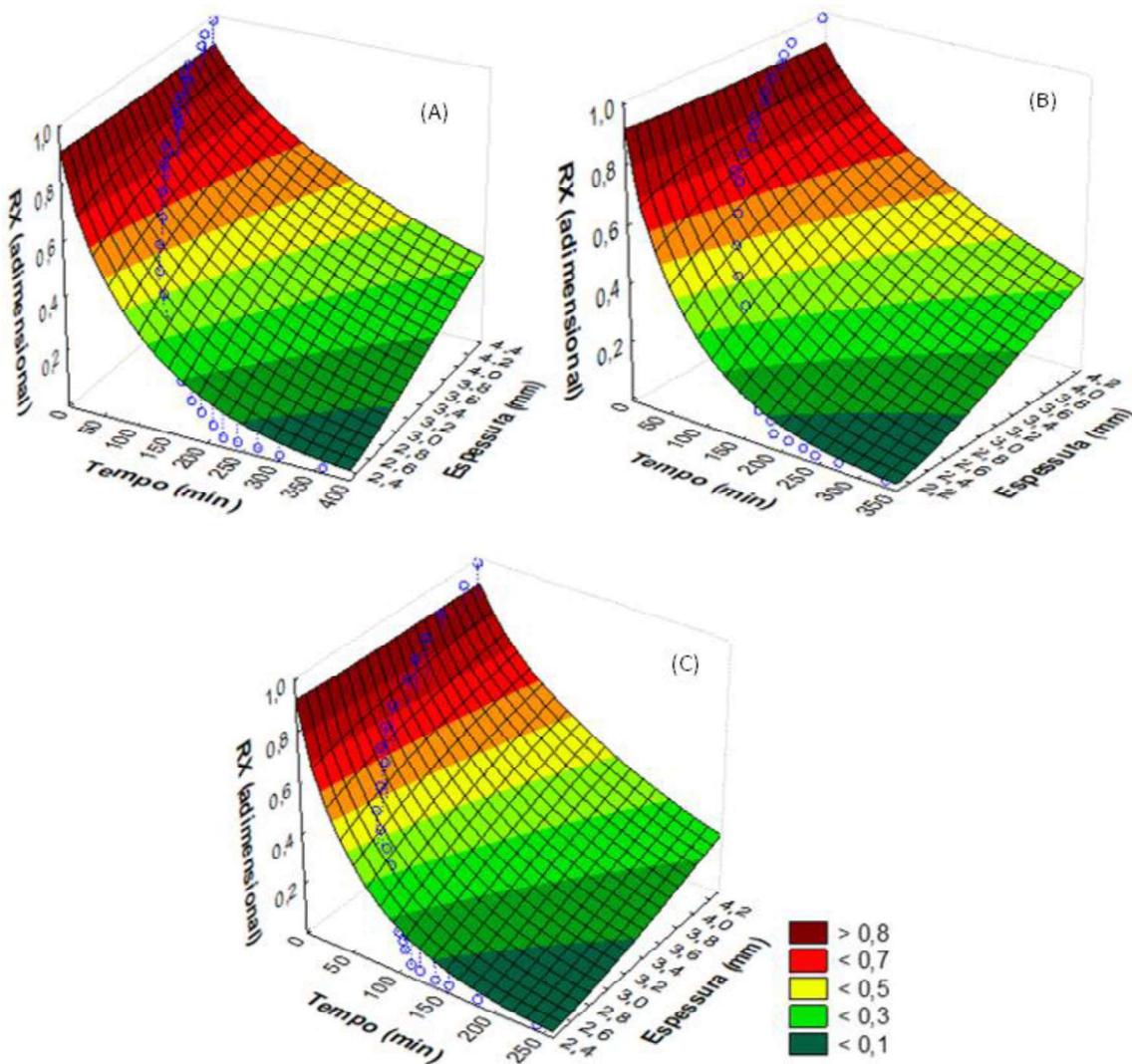
Os valores estimados de difusividade efetiva ( $D_{ef}$ ) foram determinados utilizando a segunda lei da difusão de Fick com um, dois, três, quatro, cinco e seis termos. Para avaliar a qualidade do ajuste foram utilizados:  $R^2$ ,  $R^2_a$ . Os valores encontrados podem ser observados na Tabela 4, para estufa com circulação de ar e *Air fryer*, respectivamente.

**Tabela 411** - Coeficientes de difusão obtidos utilizando a segunda lei da difusão de Fick para secagem de fatias de banana em estufa com circulação forçada de ar e *Air fryer*, com um, dois, três, quatro, cinco e seis termos,  $R^2$ ,  $R^2_a$  e o valor de  $D_{ef}$  estimado para cada situação

Método de secagem	Termo	50 °C				65 °C				80 °C			
		$D_{ef}$	$R^2$	$R^2_a$	RMSE	$D_{ef}$	$R^2$	$R^2_a$	RMSE	$D_{ef}$	$R^2$	$R^2_a$	RMSE
		$\times 10^{-11}$ (m <sup>2</sup> /s)				$\times 10^{-11}$ (m <sup>2</sup> /s)				$\times 10^{-11}$ (m <sup>2</sup> /s)			
Estufa convectiva	1	3,49	0,8191	0,8124	0,1546	5,22	0,8382	0,8320	0,1549	6,99	0,8800	0,8752	0,1383
	2	3,44	0,8191	0,8124	0,1546	5,15	0,8805	0,8759	0,1331	6,91	0,9097	0,9061	0,1200
	3	3,43	0,8835	0,8792	0,1240	5,13	0,8859	0,8815	0,1301	6,89	0,9135	0,9100	0,1174
	4	3,42	0,8854	0,8812	0,1230	5,13	0,8873	0,8830	0,1293	6,89	0,9145	0,9111	0,1168
	5	3,42	0,8860	0,8818	0,1227	5,13	0,8877	0,8834	0,1290	6,89	0,9148	0,9114	0,1165
	6	3,42	0,8863	0,8821	0,1225	5,13	0,8879	0,8836	0,1289	6,89	0,9150	0,9116	0,1164
<i>Air fryer</i>	1	7,74	0,8877	0,8835	0,1240	8,23	0,8961	0,8921	0,1213	15,08	0,8731	0,8680	0,1255
	2	7,68	0,9239	0,9211	0,1021	8,16	0,9274	0,9246	0,1014	15,98	0,8987	0,8946	0,1121
	3	7,66	0,9284	0,9257	0,0990	8,14	0,9312	0,9286	0,0987	14,97	0,9020	0,8981	0,1103
	4	7,66	0,9295	0,9269	0,0982	8,14	0,9322	0,9296	0,0980	14,96	0,9028	0,8989	0,1099
	5	7,65	0,9299	0,9273	0,0979	8,13	0,9326	0,9300	0,0977	14,96	0,9032	0,8993	0,1096
	6	7,65	0,9301	0,9275	0,0978	8,13	0,9327	0,9301	0,0976	14,96	0,9034	0,8995	0,1095

O aumento do número de termos para determinar o coeficiente de difusividade não alterou de forma relevante a partir segundo termo, assim, podemos dizer que não houve necessidade de mais que dois termos na determinação da difusividade, mesmo com o aumento do ajuste a cada termo acrescentado. Os valores encontrados para difusividade variaram na faixa de  $10^{-11}$  a  $10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s, que é o valor indicado para produtos agrícolas por Li et al. (2019).

De acordo com Xie et al. (2017) a medida que a temperatura de secagem aumenta também ocorre aumento do valor de difusividade, em temperaturas mais altas, a atividade das moléculas de água aumentam levando a uma maior difusividade de água. Li et al. (2019) afirmaram que o valor de difusividade por ser influenciado principalmente pelas variedades, estado de maturação, propriedades físico-químicas, tipos de corte e condição de secagem do produto. Para a secagem em *Air fryer* a difusividade foi maior do que para estufa com circulação forçada de ar, esse fenômeno pode estar atrelado a maior velocidade do ar de secagem que acelera a extração de água do produto. A superfície de resposta gerada pelo modelo de Fick levando em consideração o encolhimento pode ser observado nas Figuras 3 e 4.

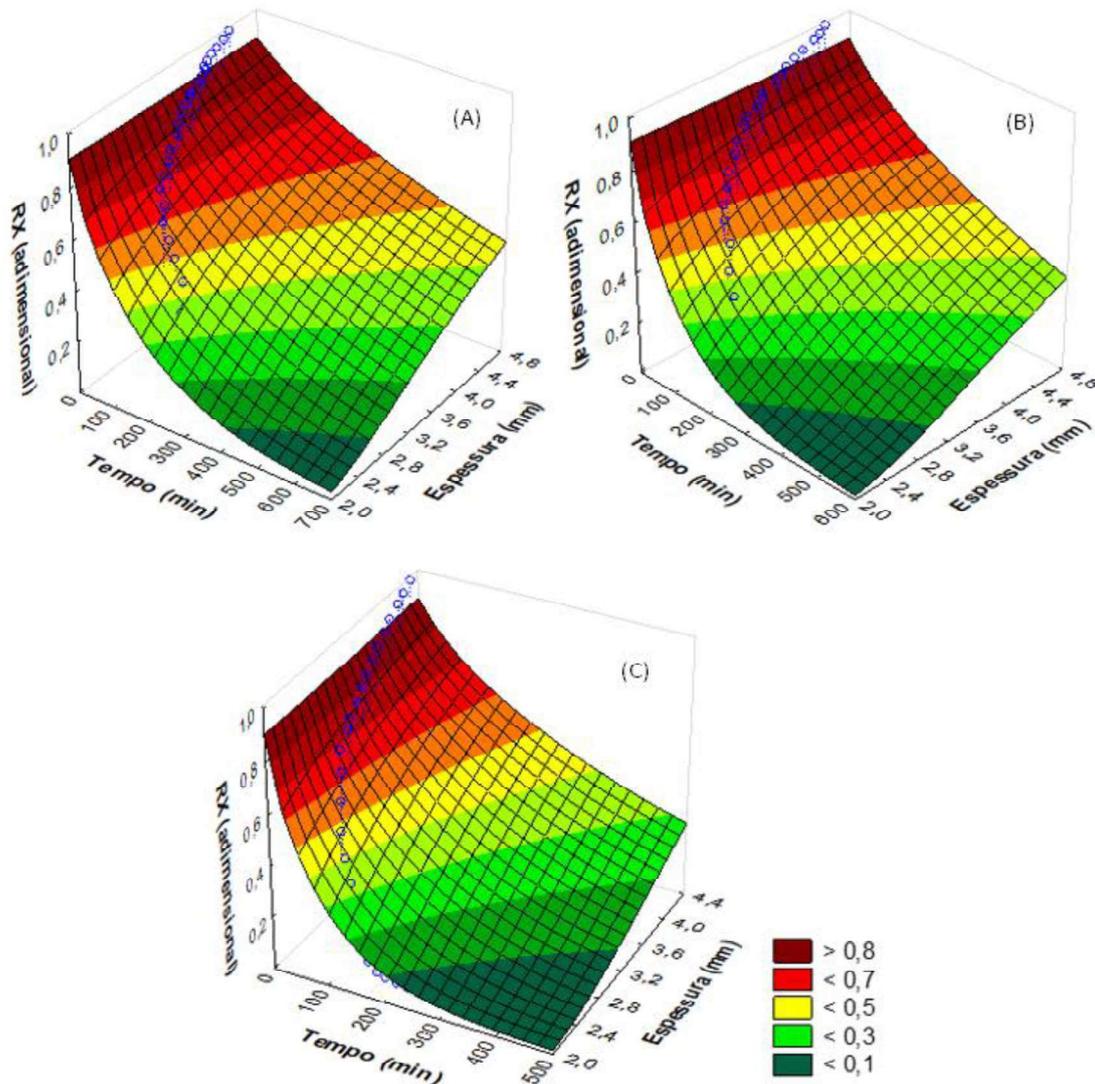


**Figura 3** - Superfície de resposta gerada pelo modelo de Fick levando em consideração o encolhimento para secagem convectiva de fatias de banana verde

A fim de investigar a retração das fatias de banana verde durante a secagem, vários experimentos de secagem foram realizados sob diferentes condições operacionais (temperaturas e métodos de secagem) e as mudanças na espessura da amostra foram determinadas em vários teores de água, o efeito disso é visto nas Figuras 3 e 4. Souraki et al. (2008) analisando a difusividade axial e radial em grãos verdes frescos cilíndricos em secador de leito fluidizado, observaram que os valores calculados de difusividade considerando o encolhimento foram menores que os valores de difusividade sem considerar a retração. Isso justifica a importância de acompanhar o encolhimento dos produto durante a secagem.

Segundo Souraki et al. (2008) o fenômeno de retração afeta principalmente o coeficiente de difusão do material, que é um dos principais parâmetros que regem o processo de secagem e também influencia a taxa de secagem. Isso corrobora com a redução do tempo de secagem na *Air fryer* quando comparado com a mesma temperatura de secagem na estufa convectiva.

Na Figura 3 podemos verificar que as as fatias de banana sofrem grande redução de sua espessura. Essa redução ocorre com maior intensidade quando secar em *Air fryer* (Figura 4).



**Figura 4** - Superfície de resposta gerada pelo modelo de Fick levando em consideração o encolhimento para secagem de fatias de banana verde em *Air fryer*

### 3.1.2.2 Número de Biot ( $B_i$ ) e coeficiente de transferência de massa ( $h_m$ )

Na Tabela 5 estão apresentados os valores de difusividade efetiva ( $D_{ef}$ ), número de Biot ( $B_i$ ) e coeficiente de transferência de massa ( $h_m$ ) obtidos para secagem em diferentes métodos utilizando a série de Fick com seis termos.

**Tabela 5** - Valores de Difusividade ( $D_{ef}$ ), número de Biot ( $B_i$ ) e coeficiente de transferência de massa ( $h_m$ ) obtidos para secagem em diferentes métodos utilizando a série de Fick com seis termos

Temperatura (°C)	Estufa			<i>Air fryer</i>		
	$D_{ef} \times 10^{-11}$ (m <sup>2</sup> /s)	$B_i$	$h \times 10^{-09}$ (m/s)	$D_{ef} \times 10^{-11}$ (m <sup>2</sup> /s)	$B_i$	$h_m \times 10^{-09}$ (m/s)
50	3,42	0,433	3,39	7,65	0,552	9,66
65	5,13	0,489	5,60	8,13	0,596	1,08
80	6,89	0,565	9,11	14,96	0,676	23,70

O número de Biot significa a taxa de transporte de água durante a secagem e é afetado pelas condições de secagem e tipo de produto, valores inferiores 30 indicam que o processo de secagem ocorreu restritamente por difusão e superfície (DHURVE et al., 2022). Os valores encontrados para secagem em estufa e *Air fryer* estão abaixo de 30, o que caracteriza o processo ocorreu por difusão e superfície. O coeficiente de transferência de massa ( $h_m$ ) foi maior para as temperaturas mais elevadas, assim como a secagem em *Air fryer* apresentou maiores valores que para estufa, indicando que em temperaturas mais elevadas há uma maior taxa de transferência de massa, assim como o método da *Air fryer* apresenta maior taxa de transferência de massa que a estufa.

### 3.1.3 Propriedades termodinâmicas

Na Tabela 6 tem-se as propriedades termodinâmicas para as fatias de banana verde nas diferentes condições de secagem.

A energia de ativação ( $E_a$ ) é a energia limiar, ou a barreira de energia que deve ser superada para iniciar a difusão de massa do material úmido, um material com menor valor de energia de ativação, indica que o coeficiente de difusão de água é mais suscetível ao efeito da temperatura durante a secagem e que para uma energia de ativação menor, há maior a

difusividade da água no produto (XIE et al., 2017; Li et al., 2019; ATAIDES et al., 2021). A  $E_a$  em produtos agrícolas está associada à sua composição, variedade, estrutura celular, área da superfície exposta e qualquer pré-tratamento aplicado ao produto (WANG et al., 2021). Os valores de energia de ativação encontrados foram de 20,915 KJ/mol para secagem em estufa e 22,136 KJ/mol para secagem em *Air fryer*, que quando associados com a  $D_{ef}$  observa-se que maiores valores de  $D_{ef}$  estão interligados com maiores valores  $E_a$  como citado anteriormente.

**Tabela 612** - Propriedades termodinâmicas determinadas para as fatias de banana nas diferentes condições de secagem

		Temperatura (°C)		
		50	65	80
<b>Estufa</b>	$\Delta H$ (KJ/mol)	19,451	19,327	19,202
	$\Delta S$ (J/(mol.K))	-377,29	-377,66	-378,02
	$\Delta G$ (KJ/mol)	141,315	146,977	152,644
<b>Ea (KJ/mol)</b>	22,136			
<b><i>Air fryer</i></b>	$\Delta H$ (KJ/mol)	18,23	18,105	17,981
	$\Delta S$ (J/(mol.K))	-375,25	-375,62	-375,98
	$\Delta G$ (KJ/mol)	139,434	145,066	150,703
<b>Ea (KJ/mol)</b>	20,915			

Os valores de entalpia, entropia e energia livre de Gibbs são indicativos do comportamento do processo, segundo Nadi e Tzempelikos (2018) a entalpia é a energia necessária para retirar a água do produto, neste caso por secagem, a entalpia diminui com o aumento da temperatura de secagem e valores positivos indicam a ocorrência de reações endotérmicas (é necessário fornecer energia na forma de calor para que as transformações físico-químicas ocorram). A entropia é uma propriedade termodinâmica frequentemente descrita como o grau de desordem, neste caso entre a água e o produto, a entropia torna-se mais fraca quando a temperatura de secagem é aumentada, indicando um aumento na ordem do sistema, o que é entropicamente desfavorável.

A energia livre de Gibbs pode ser definida como a medida da atividade do sistema no processo de adsorção ou dessorção e fornece uma melhor visão sobre quais forças motrizes termodinâmicas influenciam as reações, no caso de reações endógenas quando a energia do ambiente é necessária, a energia livre de Gibbs é positiva, entretanto, é negativo quando o fenômeno ocorre espontaneamente, e a energia externa não é adicionada. Partindo desse

pressuposto, é possível inferir sobre o processo de secagem das fatias de banana que a entalpia indica reações endotérmicas e também foi observado o comportamento da diminuição da entalpia com o aumento da temperatura, a entropia diminuiu com o aumento da temperatura e apresentou valor negativo, de acordo com Dannenberg e Kessler (1988) a entropia negativa é caracterizada pela perda dos graus de liberdade do movimento de translação ou rotação da água.

A energia livre de Gibbs encontrada foi positiva, o que caracteriza a secagem como um processo não espontâneo, ou seja, é necessário fornecer energia ao sistema para que o processo ocorra. Além disso, a entalpia para o processo de secagem na estufa é maior quando comparado a *Air fryer*, comportamento similar para a energia livre de Gibbs, porém, para a entropia o comportamento é inverso.

### 3.1.4 Consumo energético do processo de secagem

Na tabela 7 estão apresentados os resultados do consumo energético para os dois métodos de secagem estufa convectiva e *Air fryer*.

**Tabela 7** - Consumo energético do processo de secagem

Temperatura (°C)	Estufa		<i>Air fryer</i>	
	CE (kWh)	DEV (kWh/L)	CE (kWh)	DEV (kWh/L)
50	5,88	0,027	0,74	0,074
65	6,51	0,030	0,81	0,081
80	7,29	0,034	0,89	0,089

Foi avaliado o consumo energético de cada equipamento (estufa e *Air fryer*) para realizar o processo de secagem e esse valor foi calculado em função de volume útil da câmara de secagem, assim, podemos determinar qual processo apresenta melhor viabilidade do ponto de vista da energia elétrica na demanda para o processo. Com o aumento da temperatura de secagem, observou-se uma demanda maior de energia elétrica verificando-se que o valor de demanda energética por volume de câmara de secagem, é possível avaliar que o consumo da *Air fryer* é superior ao da estufa. Dessa forma, com esse valor associado e outras características do processo de secagem e caracterização dos produtos secos, é possível avaliar qual melhor método de secagem a ser empregado.

### **3.2 Caracterização físico-química, físico e compostos bioativos das farinhas**

Na Tabela 8 tem-se os valores médios e desvios padrão dos parâmetros físico-químicos, físicos e compostos bioativos das farinhas de banana verde obtidas por secagem em estufa de circulação de ar e em *Air fryer*.

**Tabela 813** - Valores médios e desvios padrão das análises química e físico-química nas farinhas de banana obtidas por secagem convectiva e secagem em *Air fryer*

Parâmetro	Secagem convectiva			<i>Air fryer</i>		
	50 °C	65 °C	80 °C	50 °C	65 °C	80 °C
Teor de água (% b.u.)	7,56 ± 0,04 a	3,8 ± 0,14 d	2,17 ± 0,01 e	5,43 ± 0,47 b	4,60 ± 0,11 c	2,45 ± 0,05 e
Atividade de água	0,23 ± 0,00	0,06 ± 0,00	*	0,13 ± 0,00	0,09 ± 0,00	*
pH	5,57 ± 0,06 a	5,36 ± 0,03 b	5,33 ± 0,03 b	5,35 ± 0,05 b	5,37 ± 0,02 b	5,03 ± 0,06 c
Acidez (% ácido málico b.u.)	0,76 ± 0,03 bc	0,76 ± 0,04 bc	0,86 ± 0,00 ab	0,70 ± 0,04 c	0,79 ± 0,07 bc	0,90 ± 0,04 a
Cinzas (% b.u.)	3,59 ± 0,07 a	3,32 ± 0,05 ab	1,98 ± 0,04 d	2,81 ± 0,21 bc	2,45 ± 0,06 cd	3,15 ± 0,22 ab
Proteína bruta (% b.u.)	2,78 ± 0,18 d	3,74 ± 0,33 bc	4,19 ± 0,18 ab	3,68 ± 0,03 c	4,51 ± 0,02 a	4,62 ± 0,12 a
Lipídios (% b.u.)	1,94 ± 0,10 c	2,69 ± 0,25 a	2,71 ± 0,08 a	2,19 ± 0,22 bc	2,45 ± 0,02 ab	2,48 ± 0,04 ab
Taninos (mg/100g b.u.)	341,44 ± 0,74 e	505,75 ± 0,65 a	434,26 ± 0,21 b	373,28 ± 0, 0,12 c	355,06 ± 0,11 d	334,41 ± 0,25 f
Flavonoides (mg/100g b.u.)	9,43 ± 0,00 d	9,96 ± 0,00 b	9,70 ± 0,00 c	8,51 ± 0,00 f	8,85 ± 0,00 e	11,19 ± 0,00 a
Compostos fenólicos totais (mg/100 g b.u.)	207,32 ± 0,39 e	300,88 ± 0,15 c	317,68 ± 0,30 b	297,86 ± 0, 12 d	317,75 ± 0,26 b	369,65 ± 0,21 a
Antocianinas (mg/100g b.u.)	0,99 ± 0,00 e	1,23 ± 0,00 c	1,56 ± 0,00 b	0,98 ± 0,0 f	1,06 ± 0,00 d	1,95 ± 0,00 a

Médias seguidas pela mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 1 % de probabilidade.

\*Valor inferior a faixa de leitura do equipamento ( $a_w < 0,054$ ).

De maneira geral, verificou-se que os métodos de secagem influenciaram os parâmetros analisados. O teor de água das farinhas variou de 2,17 a 7,56 % bu, observando-se que não houve diferença significativa entre o teor de água da farinha obtida na estufa de circulação de ar a 80 °C e a farinha obtida na *Air fryer* na mesma temperatura, mas houve redução significativa nas farinhas das temperaturas de 65 °C e 80 °C quando comparadas as farinhas obtidas na mesma temperatura na secagem por *Air fryer*. Entre as farinhas obtidas pelos dois métodos comprovou-se tendência de decréscimo do teor de água com o aumento da temperatura de secagem. Valor próximo foi obtido por Kumar et al. (2019) ao obter e caracterizar farinhas de cinco variedades de banana e Chang et al. (2022) também obteve valores próximos ao analisar farinhas de banana preparadas a partir de cinco variedades de banana da Tanzânia. O teor de água encontrados nas farinhas de banana verde nos dois métodos de secagem, estão dentro do padrão da legislação brasileira que estabelece para produtos secos e processados na forma de farinha um teor de água de até 15% (BRASIL, 2005).

A atividade de água apresentou comportamento análogo ao teor de água, com a menor atividade para as farinhas obtidas na temperatura de 80 °C para os dois processos. Quanto as farinhas obtidas na secagem convectiva e na secagem na *Air fryer* foi observado tendência de redução deste parâmetro com o aumento da temperatura de secagem, todavia não há estatística para este parâmetro entre as farinhas produzidas nos dois processos, pois a farinha obtida na temperatura de 80 °C apresentou atividade de água inferior a faixa de leitura do equipamento (0,054). A baixa atividade de água encontrada nas farinhas de banana verde é importante, por conferir ao produto desidratado uma maior estabilidade durante o armazenamento, aumentando dessa forma a sua vida útil, assegurando estabilidade microbiológica ( $a_w < 0,6$ ) (FELLOWS, 2006). La Fuente et al. (2017), ao avaliar a aplicação de ultrassom e vácuo como pré-tratamento a fatias de banana verde para obtenção de farinha obtiveram atividades de água de 0,32-0,42, valores superiores as farinhas de banana verde em estufa de circulação de ar e na *Air fryer*. Guadalupe-Moyano et al. (2022) ao secarem banana verde para o desenvolvimento de pão sem glúten em liofilizador e em estufa com circulação de ar na temperatura de 70 °C obtiveram 0,140 e 0,430 de atividade de água, respectivamente, sendo próximos as farinhas de banana verde da secagem convectiva e secagem *Air fryer* nesse trabalho.

Quanto ao pH, a farinha obtida na estufa de circulação de ar a 50 °C apresentou o maior pH, enquanto que a farinha obtida em *Air fryer* a 80 °C apresentou o menor valor, indicando menor degradação. Percebeu-se que com o aumento da temperatura de secagem houve tendência de diminuição nos valores de pH, estando relacionado a redução da ATT, visto que

são parâmetros inversamente proporcionais. Isso se deve a redução de íons  $H^+$  em solução devido a degradação de ácidos orgânicos. Guimarães et al. (2020) ao avaliarem a qualidade tecnológica de farinhas de quiabo obtidas por secagem em estufa de circulação de ar e liofilizador obteve valores próximos obtendo pH de 5,45 e 5,82, respectivamente.

A acidez dos alimentos é consequência dos ácidos orgânicos presentes no alimento, das adições ocorridas durante o processamento e de alterações químicas do produto, por isso sua determinação oferece dados importantes no estudo de processamento e conservação de alimentos. A acidez total titulável não apresentou diferença significativa entre as farinhas obtidas por estufa de circulação de ar e a farinha obtida a 65 °C em *Air fryer*. A farinha obtida a 50 °C em *Air fryer* obteve a menor acidez, enquanto que o maior valor para este parâmetro foi apresentado na farinha 80 °C obtida em *Air fryer*, podemos constatar que maiores temperaturas ocorreu a concentração de ácidos orgânicos. Kumar et al. (2019) ao investigar as diferenças funcionais e estruturais entre os diferentes grupos genômicos da banana observou na variedade Monthan acidez de 0,81% g de ácido málico/100 g de amostra em b.u., valor próximo aos obtidos para as farinhas obtidas nos dois processos de secagem.

Quanto ao teor de cinzas observou-se que as farinhas obtidas na estufa a 65 °C (3,32%), secagem na *Air fryer* nas temperaturas de 50 °C (2,81%) e 80 °C (3,51%) obtiveram valores próximos, não havendo diferença estatística. Verificou-se que o teor de cinzas variou entre as farinhas avaliadas apresentando valores variando entre 1,98 e 3,59%, com apenas algumas diferenças significativas que podem estar relacionadas aos teores de água, onde a farinha que apresentou menor teor de água, conseqüentemente menos água livre, concentrando o teor de minerais nas amostras. Valores próximos foram determinados por Martins et al. (2019a) ao desenvolver misturas para bolos a partir da biomassa de banana verde com casca e polpa através de liofilização, quantificou os valores das cinzas de 2,80 a 2,85%.

O teor de proteínas variou de 2,78 a 4,62%, o aumento nas temperaturas da secagem em estufa e da secagem em *Air fryer* afetaram de forma estatisticamente significativa os valores das proteínas. Maiores teores de proteínas foram verificados por Gonçalves et al. (2016) na secagem de cascas de banana verde (*Musa acuminata*) nas temperaturas de 55, 65 e 75 °C obtendo-se teor de proteínas de 7,42, 7,37 e 6,99%, respectivamente, quando comparados aos teores obtidos neste estudo, justifica-se pela presença de polpa de banana nas farinhas estudadas, reduzindo os teores de proteínas.

Os lipídeos presentes nas farinhas obtidas através da secagem em estufa de circulação de ar apresentaram os maiores valores variando entre 1,94 e 2,71%. As farinhas obtidas por

secagem na *Air fryer* nas temperaturas de 50 (2,19%), 65 (2,45%) e 80 °C (2,48%) não diferiram estatisticamente ( $p < 0,0,1$ ) entre si. Valores inferiores foram reportados por Segundo et al. (2017) ao caracterizarem farinhas de diferentes granulometrias de banana verde sobre os atributos nutricionais, físicos e sensoriais de dois tipos de bolos, que houve variações estatísticas significativas no teor de lipídeos, com valores entre 0,18 (fina), 0,19 (média) e 0,25 (grossa).

Em relação ao teor de taninos presente nas farinhas de banana verde, observou-se os maiores valores nas farinhas obtidas na estufa nas temperaturas de 65 e 80 °C, todos os teores obtidos diferiram significativamente. Oliveira et al. (2021) elaboraram farinha da casca da banana (*Musa spp.*) branqueada por secagem convectiva, na farinha da casca de banana foi observado 112,9 mg/100g, valor inferior ao obtido para a amostra de casca de banana *in natura* que foi de 394,90 mg/100g demonstrando que o processo de secagem contribuiu para a concentração dos taninos.

Os teores de flavonoides variaram de 8,51 a 11,19 mg/100 g bu e diferiram estatisticamente entre si, sendo observado maior valor na farinha obtida na *Air fryer* a 80 °C. Malhotra et al. (2022) obteve teores de flavonoides entre 19,37–24,48 mg/100g ao desenvolverem uma massa especial a partir da adição parcial de farinha de batata doce. Dantas et al. (2022) avaliaram durante o armazenamento refrigerado as propriedades tecnológicas, nutricionais e bioativas de iogurtes de leite de cabra ao adicionar diferentes concentrações de farinha de xique-xique com o melhor teor de flavonoides de 0,64 mg/100g.

Os maiores teores dos compostos fenólicos totais foram verificados nas farinhas obtidas na temperatura de 80 °C na estufa com circulação de ar e na *Air fryer*. Os menores valores foram observados nas farinhas obtidas a 50 °C possivelmente pela influência da degradação desse bioativo devido ao maior tempo de exposição ao oxigênio e calor, induzindo a oxidação e/ou degradação. Morais et al. (2020) quantificaram o teor de fenólicos totais em sete cascas de espécies de frutas exóticas brasileiras utilizando como soluções extratoras água, etanol 80% e metanol 80%, os teores de compostos fenólicos variaram de 195,27 a 6,59 mg/100 g, dentre as soluções extratoras analisadas verificou-se que a melhor solução extratora para os compostos fenólicos totais foi a água.

De um modo geral, observou-se uma baixa quantidade de antocianinas nas farinhas de banana verde, sendo que temperatura de 80 °C na secagem em estufa e na secagem em *Air fryer* apresentaram os maiores valores: 1,56 e 1,95 mg/100 g, respectivamente. De acordo com

Vizzotto (2012), o pigmento predominante dos pós amarelos pode ser causado pela presença de antocianinas, precursores das cores vermelha, azul e violeta.

Apresenta-se na tabela 9 os valores médios e os desvios padrão dos parâmetros colorimétricos nas farinhas de banana obtidas por secagem convectiva e secagem em *Air fryer*.

**Tabela 9** - Valores médios e desvios padrão dos parâmetros colorimétricos nas farinhas de banana obtidas por secagem convectiva e secagem em *Air fryer*

<b>Parâmetro</b>	<b>50C</b>	<b>65C</b>	<b>80C</b>	<b>50A</b>	<b>65A</b>	<b>80A</b>
Luminosidade (L*)	27,63 ± 0,02 b	23,23 ± 0,02 c	22,20 ± 0,07 e	31,24 ± 0,03 a	22,71 ± 0,01 d	21,38 ± 0,03 f
Intensidade de vermelho (+a*)	2,33 ± 0,01 a	1,75 ± 0,01 c	1,83 ± 0,01 b	2,32 ± 0,01 a	1,58 ± 0,01 d	1,77 ± 0,01 c
Intensidade de amarelo (+b*)	5,91 ± 0,10 c	5,73 ± 0,04 d	6,47 ± 0,05 a	6,53 ± 0,03 a	6,25 ± 0,04 b	6,16 ± 0,02 b
Croma (C*)	6,35 ± 0,09 c	5,99 ± 0,04 d	6,73 ± 0,05 b	6,93 ± 0,02 a	6,45 ± 0,03 c	6,41 ± 0,02 c
Ângulo de tonalidade (h)	68,48 ± 0,33 e	73,03 ± 0,03 c	74,19 ± 0,08 b	70,42 ± 0,16 d	75,82 ± 0,16 a	73,98 ± 0,00 b

Médias seguidas pela mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 1 % de probabilidade.

Quanto aos parâmetros colorimétricos, para as farinhas obtidas na secagem convectiva e na secagem em *Air fryer*, observou-se que a luminosidade diminuiu com o acréscimo da temperatura de secagem ocorrendo provavelmente a formação de pigmentos escuros, gerando reações de escurecimento não enzimático. Verificou-se para a luminosidade ( $L^*$ ) que os maiores valores foram os das farinhas secas as 50 °C em ambos os processos de secagem, o que era previsto em razão do processo ocorrer em menor temperatura o que previne o escurecimento. Alkarkhi et al. (2011) não verificaram diferença significativa da luminosidade para as farinhas preparadas a partir da polpa de banana verde Cavendish (67,12 a 74,86) e para a farinha de polpa de banana madura (67,12 a 70,85), porém para as farinhas provenientes das cascas maduras e verdes, observou-se menor luminosidade (34,83 a 48,73 e 32,43 a 41,08), respectivamente. Esses dados corroboram com os observados neste trabalho, pela observação visual essa diferença era óbvia, pela grande mudança na cor da casca que ocorre durante o processo de secagem. Como a casca da banana contém glicose, frutose e proteína, pode ter ocorrido uma extensão da reação de Maillard contribuindo com um certo grau de escurecimento enzimático (EMAGA et al., 2007).

Observou-se como para a luminosidade que a componente vermelha ( $+a^*$ ) foi predominante nas farinhas obtidas em menores temperaturas. O aumento da temperatura de secagem intensificou para as secagens na estufa de circulação de ar, efeito oposto aconteceu na secagem na *Air fryer*. Sahoo et al., (2022b) ao estudarem a cinética de cor de fatias de inhame (*Dioscorea hispida*) durante a secagem convectiva em estufa com circulação (70, 60 e 50 °C) observaram a redução da luminosidade (34,5-37,6 e 38,05), da intensidade do vermelho ( $a^*$ ) e do amarelo ( $b^*$ ) com o aumento das temperaturas.

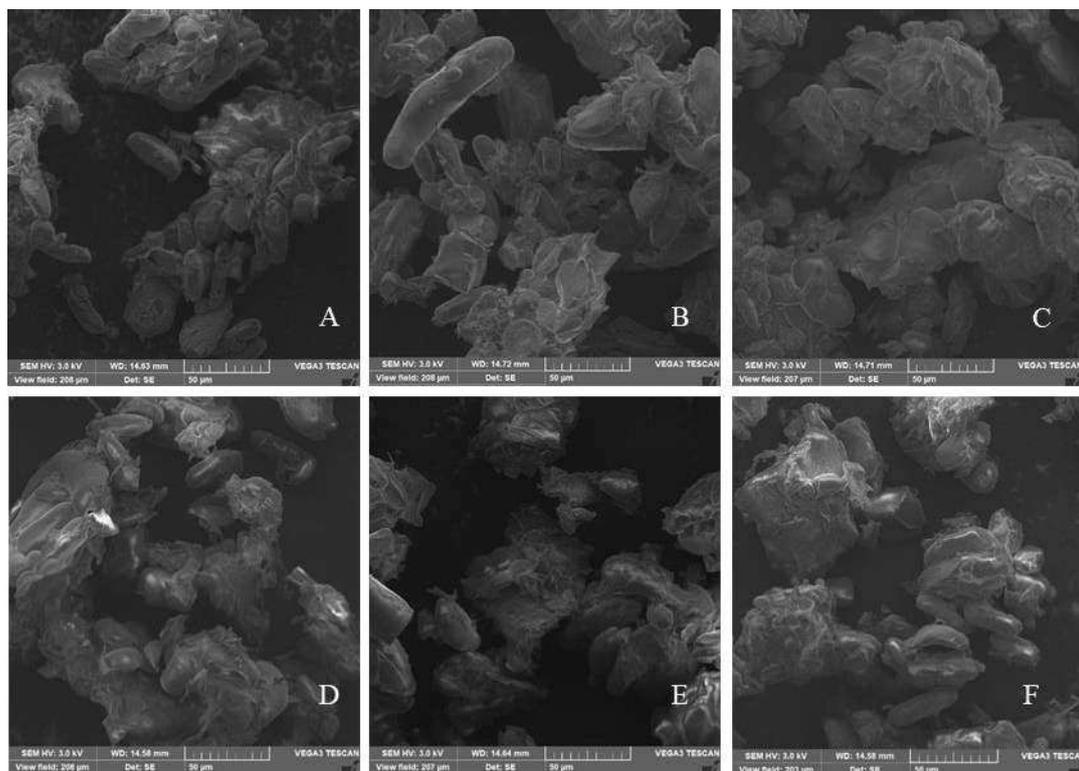
O parâmetro croma ( $C^*$ ) revela a intensidade da cor, ou seja, quanto maior seu valor, maior é a intensidade da cor percebida (PATHARE et al., 2013). Em relação ao croma ( $C^*$ ) a farinha obtida da secagem posa *Air fryer* na temperatura de 50 °C (6,93) apresentou o maior valor seguida da farinha obtida na estufa a 80 °C (6,73). Percebeu-se que houve diminuição da cromaticidade com o acréscimo da temperatura de secagem na *Air fryer*, variando entre 6,93 e 6,41. Valores próximos foram verificados por Oliveira et al. (2016) para o baru (*Dipteryx alata* Vogel) secado nas temperaturas de 80 e 100 °C em estufa de circulação a ar, verificando valores de croma de 22,24 e 24,26.

Quanto ao ângulo de tonalidade, observou-se que o maior valor foi da farinha desidratada na temperatura de 65 °C em *Air fryer*, 68,48. O menor valor foi da farinha seca

a 50 °C em estufa de circulação de ar (68,48). As farinhas obtidas em ambos os processos a 80 °C não apresentaram diferença significativa entre si. A percepção da cor das farinhas aproximou-se da região amarela ( $h^\circ = 90^\circ$ ) e se distanciou da região vermelha ( $h = 0^\circ$ ). Mahmoud et al. (2022) produziram três tipos de farinha de abobrinha orgânica (*Curcubita moschata*, L) casca, polpa com casca, e polpa descascada, observando os valores de 74,19-63,32 e 76,84, respectivamente.

### 3.3 Morfologia das farinhas de banana verde

A Figura 5 tem-se as micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) das partículas das farinhas de banana verde. Através das micrografias é possível analisar a forma, uniformidade e características das superfícies. As imagens mostram partículas irregulares. A não uniformidade no tamanho das partículas ocorre devido à moagem ou aglomeração do material após a secagem, portanto não há controle do tamanho das partículas (OZKAN et al., 2019).



**Figura 5** - Micrografias das farinhas de banana verde com aumentos de 1000 vezes. (A) *Air fryer* 50 °C, (B) *Air fryer* 65 °C, (C) *Air fryer* 80 °C, (D) Estufa 50 °C, (E) Estufa 65 °C e (F) Estufa 80 °C

Observou-se que as farinhas apresentaram estruturas semelhantes, com diferentes formas e tamanhos, caracterizadas pela presença de estruturas granulares esféricas a alongadas/elípticas, juntamente com partículas menores e fragmentos celulares de formato irregular. As estruturas granulares possivelmente são grânulos de amido, enquanto esferas menores provavelmente representavam corpos proteico (SHEVKANI et al., 2022) . De acordo com Akhila et al. (2022) ao caracterizarem propriedades morfológicas da farinha de Batata Hauçá (*Plectranthus rotundifolius*) revelaram que os grânulos de amido foram incorporados nas matrizes de fibra, gordura e proteína, resultando na formação de feixes granulares maciços, em seguida, ele analisou as féculas obtidas a partir da farinha e as imagens revelaram que após o procedimento de isolamento do amido, as partículas foram desagregadas, resultando em grãos de amido esféricos com morfologias irregulares.

O tamanho e a forma dos grânulos de amido afetam significativamente as qualidades funcionais, como digestibilidade, capacidade de absorção de água e poder de intumescimento. Os grânulos menores proporcionam maior área de contato e melhor digestão, proporcionando um ambiente excelente para a atividade enzimática (NAVAF et al., 2020).

#### **4. Conclusões**

Pode-se concluir que todos os modelos ajustados aos dados experimentais de ambos os métodos de secagem apresentam excelentes resultados, com destaque para o modelo de Page Modificado obtendo-se os melhores resultados de acordo com os parâmetros avaliados.

A análise dos dados experimentais revela que a redução da espessura das fatias de banana verde é maior para a secagem em *Air fryer* do que para estufa. Os valores das difusividades efetivas considerando a retração, são menores para estufa convectiva e maiores para o *Air fryer*, o que implica em menor capacidade de secagem da estufa quando comparada com a *Air fryer*. Com o aumento da temperatura de secagem observa-se uma maior demanda de energia elétrica necessária para o processo, sendo o consumo da *Air fryer* superior ao da estufa.

O aumento das temperaturas contribui significativamente para a redução do teor de água e do pH e para o aumento da acidez, proteínas, lipídeos e antocianinas. O

processamento das farinhas de banana verde apresenta farinhas mais claras para as temperaturas de 50 °C.

As farinhas apresentam estruturas semelhantes, com diferentes formas e tamanhos, caracterizadas pela presença de estruturas granulares esféricas a alongadas/elípticas, juntamente com partículas menores e fragmentos celulares de formato irregular.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKHILA, P. P.; SUNOOJ, K. V.; AALIYA, B.; NAVAF, M.; SUDHEESH, C.; YADAV, D. N.; KHAN, M. A.; MIR, S. A.; GEORGE, J. Morphological, physicochemical, functional, pasting, thermal properties and digestibility of hausa potato (*Plectranthus rotundifolius*) flour and starch. **Applied Food Research**, v. 2, n. 2, p. 100193, 2022.
- ALKARKHI, A. F. M.; RAMLI, S. BIN; YONG, Y. S.; EASA, A. M. Comparing physicochemical properties of banana pulp and peel flours prepared from green and ripe fruits. **Food Chemistry**, v. 129, n. 2, p. 312–318, 2011.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. Resolução RDC nº 263. Diário Oficial da União; Poder Executivo, 2005. 6 p.
- ATAIDES, I. M. R.; OLIVEIRA, D. E. C. DE; FERREIRA JUNIOR, W. N.; RESENDE, O.; QUEQUETO, W. D. Drying kinetics of araticum (*Annona crassiflora*) epicarp. **Food Science and Technology**, v. 42, 2021.
- AUORE, G.; PARFAIT, B.; FAHRASMANE, L. Bananas, raw materials for making processed food products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 20, p. 78–91, 2009.
- BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal Biochemistry Physiology*, v. 37, n. 8, p. 911-917, 1959.
- CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M.; LIRA, V. V.; OLIVEIRA, R. F. DE; COSTA, N. L.; OLIVEIRA, H. M. L. A new approach to the traditional drying models for the thin-layer drying kinetics of chickpeas. **Journal of Food Process Engineering**, v. 43, n. 12, p. e13569, 2020.
- CHANG, L.; YANG, M.; ZHAO, N.; XIE, F.; ZHENG, P.; SIMBO, J.; YU, X.; DU, S. Structural, physicochemical, antioxidant and in vitro digestibility properties of banana flours from different banana varieties (*Musa* spp.). **Food Bioscience**, v. 47, p. 101624, 2022.
- CRANK, J. The mathematics of diffusion. 2.ed. Oxford: Clarendon, 1979.
- DANNENBERG, F.; KESSLER, H.-G. Reaction Kinetics of the Denaturation of Whey Proteins in Milk. **Journal of Food Science**, v. 53, n. 1, p. 258–263, 1988.

- DANTAS, D. L. DA S. *et al.* Pilonocereus gounellei (xique-xique) flour: Improving the nutritional, bioactive, and technological properties of probiotic goat-milk yogurt. **LWT**, v. 158, p. 113165, 2022.
- DEFRAEYE, T.; VERBOVEN, P. Convective drying of fruit: Role and impact of moisture transport properties in modelling. **Journal of Food Engineering**, v. 193, p. 95–107, 2017.
- DHURVE, P.; KUMAR ARORA, V.; KUMAR YADAV, D.; MALAKAR, S. Drying kinetics, mass transfer parameters, and specific energy consumption analysis of watermelon seeds dried using the convective dryer. **Materials Today: Proceedings**, Third International Conference on Recent Advances in Materials and Manufacturing 2021. v. 59, p. 926–932, 2022.
- FAO - Food And Agriculture Organization Of The United Nations (2021). Markets and trade: Bananas. <http://www.fao.org/economic/est/est-commodities/bananas/en/>
- FELLOWS, P. J. Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602 p.
- FRANCIS, F. J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. Anthocyanins as food colors. New York: Academic Press, 1982. p.181207.
- GRANELLA, S. J.; BECHLIN, T. R.; CHRIST, D. Moisture diffusion by the fractional-time model in convective drying with ultrasound-ethanol pretreatment of banana slices. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 76, p. 102933, 2022.
- GUADALUPE-MOYANO, V.; PALACIOS-PONCE, A. S.; ROSELL, C. M.; CORNEJO, F. Impact of drying methods on banana flour in the gluten-free bread quality. **LWT**, v. 168, p. 113904, 2022.
- GUIMARÃES, R. M.; IDA, E. I.; FALCÃO, H. G.; REZENDE, T. A. M. DE; SILVA, J. DE S.; ALVES, C. C. F.;EGEA, M. B. Evaluating technological quality of okara flours obtained by different drying processes. **LWT**, v. 123, p. 109062, 2020.
- GONÇALVES, J. Q.; SILVA, M. A. P.; PLÁCIDO, G. R.; CALIARI, M.; SILVA, R. M.; MOURA, L. C.; SOUZA, D. G. SECAGEM DA CASCA E POLPA DA BANANA VERDE (*Musa acuminata*): PROPRIEDADES FÍSICAS E FUNCIONAIS DA FARINHA. **Global Science Technology**, v.09, n. 03, p. 62-72. 2016
- EMAGA, T. H.; ANDRIANAIVO, R. H.; WATHELET, B.; TCHANGO, J. T.; PAQUOT, M. Effects of the stage of maturation and varieties on the chemical composition of banana and plantain peels. **Food Chemistry**, v. 103, n. 2, p. 590–600, 2007.

- IAL. Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. São Paulo: IAL, 2008. 1020 p.
- JIDEANI, V. A.; MPOTOKWANA, S. M. Modeling of water absorption of Botswana bambara varieties using Peleg's equation. **Journal of Food Engineering**, v. 92, n. 2, p. 182–188, 2009.
- KUMAR, P. S.; SARAVANAN, A.; SHEEBA, N.; UMA, S. Structural, functional characterization and physicochemical properties of green banana flour from dessert and plantain bananas (*Musa spp.*). **LWT**, v. 116, p. 108524, 2019.
- LA FUENTE, C. I. A.; ZABALAGA, R. F.; TADINI, C. C. Combined effects of ultrasound and pulsed-vacuum on air-drying to obtain unripe banana flour. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, Emerging Technologies with reference to IUFoST. v. 44, p. 123–130, 2017.
- LI, H.; XIE, L.; MA, Y.; ZHANG, M.; ZHAO, Y.; ZHAO, X. Effects of drying methods on drying characteristics, physicochemical properties and antioxidant capacity of okra. **LWT**, v. 101, p. 630–638, 2019.
- MAHMOUD, E. A.; OMUR A. MEHDER, A. The manufacture of three types of organic butternut squash flour and their impact on the development of some oat gluten-free products. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 15, n. 9, p. 104051, 2022.
- MALHOTRA, N.; SHARMA, S.; SAHNI, P.; SINGH, B.; SHARMA, S. P. Nutritional composition, techno-functionality, in-vitro starch digestibility, structural characteristics and storage stability of sweet potato flour and mash supplemented specialty pasta. **LWT**, v. 168, p. 113886, 2022.
- MARTINS, A. N. A.; PASQUALI, M. A. DE B.; SCHNORR, C. E.; MARTINS, J. J. A.; ARAÚJO, G. T. DE; ROCHA, A. P. T. Development and characterization of blends formulated with banana peel and banana pulp for the production of blends powders rich in antioxidant properties. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, n. 12, p. 5289–5297, 2019.
- MARTINS, J. J. A.; MARQUES, J. I.; SANTOS, D. DA C.; ROCHA, A. P. T. Modelagem matemática da secagem de cascas de mulungu. *Bioscience Journal*, v. 30, n. 6, p. 1652–1660, 2014.
- MONTEIRO, SHÊNIA SANTOS; MONTEIRO, SHIRLEY SANTOS; SANTOS, N. C.; BARROS, S. L.; CRUZ, O. N. DA; MARTINS, L. P.; GOMES, J. P. Aplicação de

- processos combinados osmótico e secagem em air fryer em berinjelas condimentadas com hibisco. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 3, p. 14, 2020.
- MORAIS, R. A.; SANTOS, A. L. DOS; SOUSA, H. M. S.; SOARES, C. M. DA S.; SILVA, D. L. DA; MARTINS, G. A. DE S. DETERMINAÇÃO DOS COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS EM CASCAS DE FRUTAS ENCONTRADAS NO CERRADO BRASILEIRO. **DESAFIOS - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 7, n. Especial, p. 26–33, 2020.
- NADI, F.; TZEMPELIKOS, D. Vacuum drying of apples (cv. Golden Delicious): drying characteristics, thermodynamic properties, and mass transfer parameters. **Heat and Mass Transfer**, v. 54, n. 7, p. 1853–1866, 2018.
- NAVAF, M.; SUNOOJ, K. V.; AALIYA, B.; SUDHEESH, C.; GEORGE, J. Physico-chemical, functional, morphological, thermal properties and digestibility of Talipot palm (*Corypha umbraculifera* L.) flour and starch grown in Malabar region of South India. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 14, n. 3, p. 1601–1613, 2020.
- OFFIA-OLUA, B. I.; EKWUNIFE, O. A. Production and evaluation of the physico-chemical and sensory qualities of mixed fruit leather and cakes produced from apple (*Musa Pumila*), banana (*Musa Sapientum*), pineapple (*Ananas Comosus*). **Nigerian Food Journal**, v. 33, n. 1, p. 22–28, 2015.
- OLIVEIRA, F. B. DE; SANTIAGO, Â. M.; MARSIGLIA, W. I. M. DE L.; BARBOSA, A. G. A.; SILVA, M. C. DOS S.; GOUVEIA, A. G. M.; NASCIMENTO, M. G. DA S.; SILVESTRE, M. DE L.; GALDINO, P. O.; MOTA, M. M. DE A. Produção e caracterização da farinha da casca da banana. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, p. e0910817017–e0910817017, 2021.
- OLIVEIRA, D. E. C.; RESENDE, O.; COSTA, L. M. Efeitos da secagem na coloração dos frutos de baru (*Dipteryx alata* Vogel). *Revista Agroambiente On-line*, v. 10, n. 4, p. 364–370, 2016.
- OLIVEIRA, G. H. H. DE; ARAGÃO, D. M. S.; OLIVEIRA, A. P. L. R. DE; SILVA, M. G.; GUSMÃO, A. C. A. Modelagem e propriedades termodinâmicas na secagem de morangos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, p. 314–321, 2015.
- ONWUDE, D. I.; HASHIM, N.; JANIUS, R. B.; NAWI, N. M.; ABDAN, K. Modeling the Thin-Layer Drying of Fruits and Vegetables: A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 15, n. 3, p. 599–618, 2016.

- OZKAN, G.; FRANCO, P.; DE MARCO, I.; XIAO, J.; CAPANOGLU, E. A review of microencapsulation methods for food antioxidants: Principles, advantages, drawbacks and applications. **Food Chemistry**, v. 272, p. 494–506, 2019.
- PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. P. R. ESTUDO DE SECAGEM DE PÊRA BARTLETT (*Pyrus sp.*) EM FATIAS. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 3, 2001.
- PATHARE, P. B.; OPARA, U. L.; AL-SAID, F. A. J. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods. A review. *Food and Bioprocess Technology*, n. 1, v. 6, p. 36- 60, 2013.
- RAHMAN, N. A.; ABDUL R., S. Z.; LOKMANALHAKIM, L. A.; TAIP, F. S.; MUSTAPA K., S. M. Response surface optimization for hot air-frying technique and its effects on the quality of sweet potato snack. **Journal of Food Process Engineering**, v. 40, n. 4, p. e12507, 2017.
- SAHOO, M.; TITIKSHYA, S.; ARADWAD, P.; KUMAR, V.; NAIK, S. N. Study of the drying behaviour and color kinetics of convective drying of yam (*Dioscorea hispida*) slices. **Industrial Crops and Products**, v. 176, p. 114258, 2022.
- SEGUNDO, C.; ROMÁN, L.; GÓMEZ, M.; MARTÍNEZ, M. M. Mechanically fractionated flour isolated from green bananas (*M. cavendishii* var. *nanica*) as a tool to increase the dietary fiber and phytochemical bioactivity of layer and sponge cakes. **Food Chemistry**, v. 219, p. 240–248, 2017.
- SHEVKANI, K.; KAUR, R.; SINGH, N.; HLANZE, D. P. Colour, composition, digestibility, functionality and pasting properties of diverse kidney beans (*Phaseolus vulgaris*) flours. **Current Research in Food Science**, v. 5, p. 619–628, 2022.
- SILVA, P. C.; RESENDE, O.; FERREIRA JUNIOR, W. N.; SILVA, L. C. DE M.; QUEQUETO, W. D.; SILVA, F. A. S. E. Drying kinetics of Brazil nuts. **Food Science and Technology**, v. 42, 2021.
- SILVA, W. P. DA; SILVA, C. M. D. P. S. E; GOMES, J. P. Drying description of cylindrical pieces of bananas in different temperatures using diffusion models. **Journal of Food Engineering**, v. 117, n. 3, p. 417–424, 2013.
- SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v. 4, n. 1, p. 71-78, 2009.

- SOURAKI, B. A.; MOWLA, D. Axial and radial moisture diffusivity in cylindrical fresh green beans in a fluidized bed dryer with energy carrier: Modeling with and without shrinkage. **Journal of Food Engineering**, v. 88, n. 1, p. 9–19, 2008.
- VIZZOTTO, M. Propriedades funcionais de pequenas frutas. Informe Agropecuário, v.33, n. 268, p. 84-88, 2012.
- WANG, H.; LIU, Z.-L.; VIDYARTHI, S. K.; WANG, Q.-H.; GAO, L.; LI, B.-R.; WEI, Q.; LIU, Y.-H.; XIAO, H.-W. Effects of different drying methods on drying kinetics, physicochemical properties, microstructure, and energy consumption of potato (*Solanum tuberosum* L.) cubes. **Drying Technology**, v. 39, n. 3, p. 418–431, 2021.
- WATERHOUSE, A. Folin-ciocalteau micro method for total phenol in wine. *American Journal of Enology and Viticulture*, p. 3-5, 2006.
- XIE, L.; MUJUMDAR, A. S.; FANG, X.-M.; WANG, J.; DAI, J.-W.; DU, Z.-L.; XIAO, H.-W.; LIU, Y.; GAO, Z.-J. Far-infrared radiation heating assisted pulsed vacuum drying (FIR-PVD) of wolfberry (*Lycium barbarum* L.): Effects on drying kinetics and quality attributes. **Food and Bioproducts Processing**, v. 102, p. 320–331, 2017.
- ZHANG, M.; CHEN, H.; MUJUMDAR, ARUN. S.; TANG, J.; MIAO, S.; WANG, Y. Recent developments in high-quality drying of vegetables, fruits, and aquatic products. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 6, p. 1239–1255, 2017.

## ARTIGO II

# MODELAGEM MATEMÁTICA E PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS NA SECAGEM DO GRÃO-DE-BICO E CARACTERIZAÇÃO DAS FARINHAS OBTIDAS

### Resumo

O grão-de-bico é uma oleaginosa de elevada importância comercial, o seu processamento surge como a perspectiva de inserção de uma nova matéria-prima na indústria com grande potencial para a produção de produtos alimentícios. Portanto, esse trabalho teve como objetivo determinar a cinética de secagem do grão-de-bico em diferentes temperaturas, ajustar modelos matemáticos aos dados experimentais, avaliar as difusividades efetivas, propriedades termodinâmicas, demanda energética do processo e as características físicas, químicas, físico-químicas e compostos bioativos do grão *in natura* triturado e das farinhas obtidas nas diferentes temperaturas de desidratação. Para a realização da secagem o grão-de-bico foi imerso em água destilada na proporção 1:5 (m/v) por um período de por 12 horas, em seguida, a água foi drenada, os grãos foram dispersos em bandejas de tela de aço inoxidável e levados para uma estufa com circulação forçada de ar nas temperaturas de 50, 65 e 80 °C, com velocidade do ar constante de 1,5 m/s, para a realização da cinética de secagem, em triplicata. Os dados experimentais foram ajustados aos modelos matemáticos e avaliados quanto aos maiores valores dos coeficientes de determinação, coeficientes de determinação ajustado e raiz do erro quadrático médio, em seguida, foi calculado os parâmetros de transferência de massa e energia (difusividade efetiva, número de Biot e coeficiente de transferência de massa) e as propriedades termodinâmicas (entalpia, entropia e energia livre de Gibbs), e realizado as caracterizações no grão *in natura* triturado e nas farinhas de teor de água, atividade de água, pH, acidez, cinzas, proteína, lipídios, taninos, flavonoides, compostos fenólicos, antocianinas e cor. Verificando-se que os dados da cinética de secagem se ajustaram bem aos nove modelos matemáticos aplicados, com os melhores resultados obtidos para o de Midilli. Houve um aumento da difusividade efetiva, da taxa de transporte de água e do coeficiente de transferência de massa com o acréscimo da temperatura de desidratação. Quanto as propriedades termodinâmicas, o aumento da temperatura do ar de secagem promoveu a diminuição da entalpia e da entropia e o aumento da energia livre de Gibbs. As temperaturas de secagem influenciaram diretamente nos parâmetros analisados, havendo a redução do teor de água, atividade de água, pH, taninos, flavonoides, compostos fenólicos e antocianinas e aumento da acidez total titulável e das proteínas. Portanto a farinha do grão-de-bico apresenta potencial para ser utilizada na formulação de diferentes alimentos, em substituição parcial ou total a farinhas comerciais.

**Palavras-chave:** *Cicer arietinum* L., cinética de secagem, difusividade efetiva, compostos bioativos, farinhas alternativas.

## Abstract

Chickpea is an oilseed of high commercial importance, its processing appears as the prospect of insertion of a new raw material in the industry with great potential for the production of food products. Therefore, this work aimed to determine the drying kinetics of chickpeas at different temperatures, adjust mathematical models to the experimental data, evaluate the effective diffusivities, thermodynamic properties, energy demand of the process and the physical, chemical, physical and chemical characteristics. Chemical and bioactive compounds from the crushed *in natura* grain and from the flours obtained at different dehydration temperatures. To perform the drying, the chickpeas were immersed in distilled water at a ratio of 1:5 (m/v) for a period of 12 hours, then the water was drained, the grains were dispersed in screen trays. of stainless steel and taken to an oven with forced air circulation at temperatures of 50, 65 and 80 °C, with a constant air speed of 1.5 m/s, to carry out the drying kinetics, in triplicate. The experimental data were adjusted to the mathematical models and evaluated for the highest values of the coefficients of determination, adjusted coefficients of determination and root mean square error, then the mass and energy transfer parameters were calculated (effective diffusivity, Biot number and mass transfer coefficient) and thermodynamic properties (enthalpy, entropy and Gibbs free energy), and characterizations were carried out in the crushed *in natura* grain and in the flours of water content, water activity, pH, acidity, ash, protein, lipids, tannins, flavonoids, phenolic compounds, anthocyanins and color. It was verified that the drying kinetics data adjusted well to the nine mathematical models applied, with the best results obtained for the Midilli one. There was an increase in effective diffusivity, water transport rate and mass transfer coefficient with the increase in dehydration temperature. As for the thermodynamic properties, the increase in drying air temperature promoted a decrease in enthalpy and entropy and an increase in Gibbs free energy. Drying temperatures directly influenced the analyzed parameters, with a reduction in water content, water activity, pH, tannins, flavonoids, phenolic compounds and anthocyanins and an increase in total titratable acidity and proteins. Therefore, chickpea flour has the potential to be used in the formulation of different foods, in partial or total replacement of commercial flours.

**Keywords:** *Cicer arietinum* L., drying kinetics, effective diffusivity, bioactive compounds, alternative flours.

## 1. Introdução

O grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.), é considerado a segunda cultura de leguminosa mais cultivada em todo o mundo, rico em proteínas, lipídios (ácidos graxos insaturados), fibras, vitaminas (ácido fólico, tocoferol e niacina), minerais (potássio, fósforo, magnésio e cálcio) e compostos bioativos (ácidos fenólicos), isoflavonas e saponinas, com teores semelhantes ou superiores a outras leguminosas como o feijão, lentilha e ervilha (NICKHIL et al., 2021). Os compostos fenólicos presentes nestas leguminosas são conhecidos por

apresentarem fortes atividades antioxidantes, antimutagênicas e antígenotóxicas (FERNANDES et al., 2022).

O consumo do grão-de-bico pode ocorrer através de farinhas, grãos cozidos, substituição parcial em produtos de panificação, massas alimentícias, dentre outros (VALDELVIRA et al., 2022). Por outro lado, as propriedades antinutricionais devido a compostos como fitatos, nitratos, oxalatos e taninos, presentes no grão, têm sido uma preocupação para os nutricionistas, alguns destes compostos, podem dificultar a absorção de minerais e determinados aminoácidos, causando problemas ao metabolismo (PATTERSON et al., 2017). A imersão dos grãos em água em temperatura ambiente, é um recurso que pode ser aplicado para a redução dos antinutrientes, devido a solubilidade dos mesmos em água (FEIZOLLAHI, MIRMAHDI, et al., 2021). Após a finalização desse processo, os grãos ganham umidade causado pela a imersão em água, ficando susceptível a deterioração microbiana, através de reações químicas e bioquímicas, o que afeta a vida de prateleira e a capacidade de armazenamento dos mesmos, assim, a aplicação de um método de secagem proporcionará a redução do teor de água e a ampliação do seu processamento após a imersão.

A secagem é a operação unitária que envolve o processo de transferência de calor e massa para reduzir o teor de umidade abaixo do nível crítico e alterações físico-químicas nos produtos finais secos (PHAM: et al., 2020). Entre os métodos de secagem utilizados em escala industrial está a secagem convectiva, tem como grandes vantagens a baixa complexidade e a simplicidade dos equipamentos, cujas funcionalidades se direcionam principalmente no controle de temperatura. Quando bem aplicada, mediante avaliação da cinética de secagem, pode originar produtos de excelente qualidade e a um custo relativamente baixo.

As propriedades do produto seco dependem das condições externas do processo, tais como temperatura do ar, teor de água, velocidade e direção do fluxo de ar; além das condições internas, como a geometria, espessura, forma e estrutura do produto (CASTRO et al., 2018). O controle das condições de secagem (tempo e temperatura) deve ser administrado para diminuir ou inibir a degradação de componentes termo sensíveis que levam à perda de qualidade nutricional e sensorial (WOJDYŁO et al., 2016). A compreensão da cinética de secagem dos grãos é fundamental para otimizar os processos de secagem, a

fim de obter a qualidade primária das farinhas secas, melhorando a vida útil e contribuindo para a segurança alimentar (GUIMARÃES et al., 2020).

Pesquisas experimentais apresentaram dados sobre a remoção dos fatores antinutricionais do grão-de-bico através da imersão. Porém, em particular, o efeito da imersão do grão-de-bico na cinética de secagem e a caracterização das farinhas não foram abordados. Diante do exposto, objetivou-se estudar a secagem em diferentes temperaturas do grão-de-bico após imersão, possibilitando compreender o fenômeno da hidratação e o impacto da temperatura no processo de secagem do grão hidratado em estufa de circulação de ar e avaliar as características físicas, químicas, físico-químicas e compostos bioativos do grão *in natura* triturado e das farinhas obtidas nas diferentes temperaturas de desidratação.

## **2. Material e métodos**

Os experimentos foram conduzidos no LAPPA – Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas, da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola e no LEA – Laboratório de Engenharia de Alimentos, da Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos, ambos pertencentes à Universidade Federal de Campina Grande.

### **2.1 Matéria-prima e processamento**

O grão-de-bico foi adquirido no comércio local da cidade de Campina Grande-PB e encaminhados ao laboratório, foram selecionadas manualmente, de forma a eliminar os que apresentassem danos físicos e para remoção das impurezas, incluindo sementes quebradas e doentes; em seguida, foram colocados sob imersão em água destilada por 12 horas na proporção 1:5 (m/v), a água foi drenada e o excesso removido.

### **2.2 Cinética de secagem**

Para a realização da cinética de secagem os grãos, após o processo de imersão, os mesmos foram organizados em bandejas de tela de aço inoxidável de maneira que não houvesse sobreposição dos grãos. E levados a estufa de circulação forçada de ar nas

temperaturas de 50, 65 e 80 °C, com velocidade do ar de 1,5 m/s, pesando-se as bandejas em intervalos regulares de tempo (5, 10, 15, 20, 30, 60 e 120 min), em balança semianalítica, até atingir o teor de água de equilíbrio (variação de 0,01 g) em três pesagens consecutivas. Os teores de água no início e no final do processo de secagem foram determinados gravimetricamente por secagem em estufa a 105 °C por 24 h.

Depois de secos, os grãos foram moídos em moinho de disco e as farinhas peneiradas em peneira de aço inoxidável com malha nº 32, para remoção de partículas de maior granulometria. A partir dos dados dos teores de água em cada tempo de secagem, foram calculadas as razões do teor de água, de acordo com a Equação 1.

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} \quad (1)$$

Em que: RX – razão do teor de água (adimensional); X – teor de água (% bs); Xi – teor de água inicial (% bs); Xe – teor de água de equilíbrio (% bs).

Os dados experimentais da cinética de secagem foram ajustados por dez modelos matemáticos (Tabela 1), através do software Statistica® versão 8.0, por meio de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton (StatSoft, 2010). Para avaliar a qualidade do ajuste dos modelos matemáticos aos dados de cinética de secagem, foram considerados os maiores valores dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), coeficientes de determinação ajustado ( $R_a^2$ ) e raiz do erro quadrático médio (RMSE), segundo as equações 2, 3 e 4, respectivamente.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (2)$$

$$R_a^2 = 1 - \left( \frac{n-1}{n-(p+1)} \right) \cdot (1-R^2) \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2} \quad (4)$$

Em que:  $y_i$  – valor observado;  $\bar{y}$  – média dos valores observados;  $\hat{y}_i$  – valor estimado pelo modelo;  $n$  – número de observações;  $p$  – número de parâmetros do modelo.

**Tabela 1** - Modelos matemáticos ajustados à cinética de secagem de grão-de-bico

Designação	Modelo	Equação
Aproximação da difusão	$RX = a \exp(-k t) + (1-a) \exp(-k b t)$	(5)
Exponencial de dois termos	$RX = a \exp(-k_0 t) + b \exp(-k_1 t)$	(6)
Henderson e Pabis	$RX = a \exp(-k t)$	(7)
Henderson e Pabis modificado	$RX = a \exp(-k t) + b \exp(-k_0 t) + c \exp(-k_1 t)$	(8)
Lewis	$RX = \exp(-k t)$	(9)
Logarítmico	$RX = a \exp(-k t) + c$	(10)
Midilli	$RX = a \exp(-k t^n) + b t$	(11)
Page	$RX = \exp(-k t^n)$	(12)
Page modificado	$RX = \exp(-(k t)^n)$	(13)

RX - Razão do teor de água (adimensional);  $k$ ,  $k_0$  e  $k_1$  - Constantes de secagem ( $\text{min}^{-1}$ );  $a$ ,  $a_0$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $n$  - Coeficientes dos modelos, adimensionais; e  $t$  - Tempo de secagem (min).

### 2.2.1 Parâmetros de transferência de massa e energia

Para a determinação da difusividade efetiva de água ( $D_{ef}$ ) foi considerada a forma geométrica de uma placa plana infinita. A teoria da difusividade foi postulada pela segunda lei de Fick que expressa a difusividade da umidade dentro de um sólido tendo um gradiente de concentração como força motriz (CAVALCANTI-MATA, DUARTE et al., 2020). A equação 14 representa a segunda lei de Fick:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \nabla(D \nabla X) \quad (14)$$

Crank (1979) propôs diferentes soluções para a equação de Fick usando diversas condições iniciais e limites de contorno, dependendo da forma geométrica. A solução analítica para uma esfera é dada pela equação 15:

$$RX = X_{eq} + (X_0 - X_{eq}) \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(-\frac{D_{ef} n^2 \pi^2 t}{r^2}\right) \quad (15)$$

Em que:  $r$  é o raio do grão (m);  $n$  o número de termos;  $X_0$  a condição inicial onde a umidade do grão é uniforme e  $X_{eq}$  a condição de contorno, a qual considera que a superfície do grão mantém a umidade de equilíbrio.

Para determinar energia de ativação ( $E_a$ ), a correlação entre  $D_{ef}$  e temperatura foi assumida como uma função de Arrhenius e é representada pela equação 16.

$$D_{ef} = D_0 \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{R \cdot T}\right) \quad (16)$$

Em que:  $D_0$  – fator pré-exponencial da equação de Arrhenius ( $m^2/s$ );  $E_a$  – energia de ativação (J/mol);  $R$  – constante de gás universal ( $R = 8,31451$  J/mol/K);  $T$  – temperatura expressa (K).

O coeficiente de transferência de massa indica a resistência oferecida ao transporte de umidade do material alimentar para o meio de secagem e pode ser expresso como na equação 17.

$$h_m = \frac{D_i B_i}{L} \quad (17)$$

Em que:  $h_m$ : coeficiente de transferência de massa por convecção (m/s);  $B_i$  – número de Biot =  $B_i = \frac{24,848}{D_i^{0,375}}$ ;  $D_i$  – Número de dincer =  $D_i = \frac{v}{k \cdot L}$ ;  $v$  – velocidade do ar (m/s);  $L$  – espessura média da semente (m);  $k$  – constante de secagem foram indicadores estatísticos retirados do modelo mais ajustado.

### 2.2.2 Propriedades termodinâmicas

Com a determinação da energia de ativação (Equação 16), foi possível realizar os cálculos das propriedades termodinâmicas, tais como: entalpia, entropia e energia livre de

Gibbs, utilizando-se o método descrito por Jideani e Mpotokwana (2009), descritos nas Equações 18, 19 e 20:

$$\Delta H = E_a - RT \quad (18)$$

$$\Delta S = R \left[ \ln D_0 - \ln \left( \frac{k_b}{k_p} \right) - \ln T \right] \quad (19)$$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (20)$$

Em que:  $\Delta H$  – entalpia,  $\text{J mol}^{-1}$ ;  $\Delta S$  – entropia,  $\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ ;  $\Delta G$  – energia livre Gibbs,  $\text{J mol}^{-1}$ ;  $k_b$  – constante de Boltzmann,  $1,38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$ ;  $k_p$  – constante de Planck,  $6,626 \times 10^{-34} \text{ J s}^{-1}$ .

### 2.2.3 Consumo energética do equipamento

A demanda energética da estufa de circulação utilizada no processo de secagem foi calculada por volume do equipamento, onde a mesma apresenta um volume de 216 L de acordo com a Equação 21:

$$\text{DEV} = \frac{\text{CE}}{V} \quad (21)$$

Em que: DEV – demanda energética por volume do equipamento ( $\text{kWh/L}$ ); CE – consumo energético do equipamento para realizar toda a secagem ( $\text{kWh}$ ); V – volume do equipamento (L).

## 2.3 Caracterização física, química, físico-química e compostos bioativos das farinhas

O grão-de-bico *in natura* triturado e as farinhas obtidas em estufa de circulação forçada de ar em diferentes temperaturas (50, 65 e 80 °C) foram caracterizadas, em triplicata,

quanto aos parâmetros físicos, químicos, físico-químicos e compostos bioativos descritos a seguir:

### **2.3.1 Teor de água**

O teor de água foi determinado pelo método de secagem das amostras em estufa a 105 °C até massa constante descrito no manual do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).

### **2.3.2 Atividade de água**

A atividade de água foi determinada na temperatura de 25 °C, através de leitura direta em higrômetro Aqualab, modelo 3TE, fabricado por Decagon Devices.

### **2.3.3 pH**

O pH foi determinado pelo método potenciométrico, com o medidor de pH da marca Tecnal modelo TEC-2, previamente calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0.

### **2.3.4 Acidez total titulável**

A acidez total titulável foi determinada através do método acidimétrico do manual do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008), usando solução de hidróxido de sódio 0,1 M, com os resultados expressos em percentagem de acidez total.

### **2.3.5 Cinzas**

As cinzas foram determinadas através do método do manual do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008), por calcinação da amostra em mufla a 550 °C.

### **2.3.6 Proteínas**

As proteínas totais foram quantificadas pela determinação do nitrogênio realizado através do método de Kjeldahl, compreendido por três etapas (digestão ácida, destilação e titulação), conforme IAL (2008).

### **2.3.7 Lipídeos**

Os lipídeos foram determinados através do método de determinação de gordura de Bligh e Dyer (1959).

### **2.3.8 Taninos e Compostos fenólicos totais**

Os compostos fenólicos e taninos foram determinados por espectrofotometria, de acordo com o método Folin Ciocalteau (WATERHOUSE, 2006), com leituras realizadas para compostos fenólicos na absorvância a 765 nm e para taninos 725 nm em espectrofotômetro (Agilent Technologies Cary 60 UV-Vis). As curvas padrões foram preparadas utilizando-se ácido gálico como padrão na concentração de 100 µg/mL e ácido tânico como padrão na concentração de 100 µg/mL. Os resultados de fenólicos foram expressos em mg EAG (equivalente de ácido gálico) /100 g (bs) e de taninos foram expressos em mg EAT (equivalente de ácido tânico) /100 g (bs).

### **2.3.9 Flavonoides e antocianinas totais**

Os flavonoides e antocianinas totais foram determinados por espectroscopia segundo método descrito por Francis (1982), com leituras realizadas em espectrofotômetro (Agilent Technologies Cary 60 UV-Vis) para flavonoides na absorvância 374 nm 535 nm para antocianinas. Os resultados foram expressos em mg/100 g bu.

### 2.3.10 Cor

Os parâmetros de cor foram determinados por leitura direta utilizando-se o espectrofotômetro portátil Hunter Lab Mini Scan XE Plus, modelo 4500 L, no sistema de cor Cielab, com padrão de iluminação D65/10° e calibrado com placa branca padrão ( $X = 80,5$ ;  $Y = 85,3$ ;  $Z = 90,0$ ), conforme instrução do fabricante. Foram determinados os seguintes parâmetros:  $L^*$  - luminosidade;  $a^*$  - transição da cor verde ( $-a^*$ ) para o vermelho ( $+a^*$ ); e  $b^*$  - transição da cor azul ( $-b^*$ ) para a cor amarela ( $+b^*$ ). A partir dos valores de  $a^*$  e  $b^*$  foram calculados os valores de croma ( $C^*$ ) (Equação 22) e ângulo de tonalidade ( $h$ ) (Equação 23):

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (22)$$

$$h = \tan^{-1} a^*/b^* \quad (23)$$

## 2.4 Análise estatística dos dados

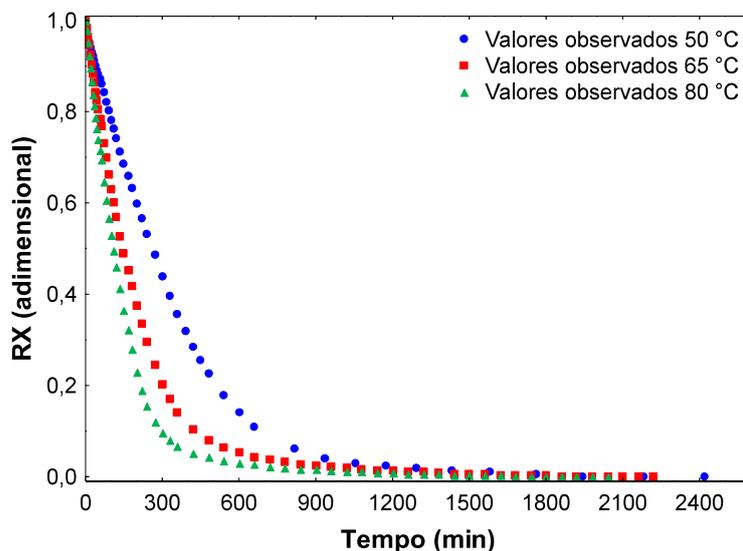
Os dados experimentais obtidos da caracterização das farinhas foram analisados quanto a possíveis diferenças estatísticas por meio da análise de variância (ANOVA) pelo teste F e a comparação entre médias, pelo teste de Tukey ao nível de 1% de significância, utilizando o software Assistat versão 7.7 beta (SILVA; AZEVEDO, 2016).

## 3. Resultados e discussão

### 3.1 Cinética de secagem

O processo de secagem do grão-de-bico foi avaliado nas temperaturas de 50, 65 e 80 °C e velocidade do ar constante de 1,5 m/s, verificando-se que para um mesmo tempo de secagem o valor da razão do teor de água diminui com o aumento da temperatura de desidratação de acordo com a Figura 1, que expressa a variação da razão do teor de água em função de tempo para as temperaturas estudadas. O acréscimo da temperatura auxiliou no

aumento da taxa de transporte de água do interior do grão para a superfície, a partir do mecanismo de difusão, esse aumento também modificou as pressões de vapor, que acelerou o processo de evaporação da água superficial reduzindo o tempo de secagem.



**Figura 1** - Variação da razão de teor de água em função de tempo para as temperaturas de 50, 65 e 80 °C

Dhurve et al. (2022) afirma, que a migração de água do interior do grão para a superfície é influenciada principalmente pela temperatura e velocidade do ar nele aplicado durante o processo. Após um certo período de tempo do início do processo, ocorre a estabilização do teor de água, de acordo com Lisboa et al. (2019) o teor de água de equilíbrio é o teor de água no qual o material não ganha e nem perde água, porque o equilíbrio é alcançado quando a taxa de evaporação é igual à taxa de condensação, um estado de extrema importância para os processos de secagem, pois quando o teor de água de equilíbrio é atingido, é retirado toda a água livre do material, mantendo-se estável, não sendo possível mais a secagem do mesmo, um menor teor de água de equilíbrio é obtido quando a temperatura de secagem é maior.

Na Tabela 2 apresenta-se os coeficientes de determinação ( $R^2$ ), os coeficientes de determinação ajustados ( $R_a^2$ ) e a raiz do erro quadrático médio (RMSE) dos modelos

matemáticos ajustados aos dados das secagens do grão-de-bico desidratadas nas temperaturas de 50, 65 e 80 °C. Verificou-se que todos os modelos aplicados resultaram em bons ajustes para o material em estudo, com  $R^2$  e  $R_a^2$  superiores a 0,996 e a RMSE inferiores a 0,03. Destacando-se o modelo de Midilli para a maioria das temperaturas em estudo, com os maiores  $R^2$  ( $> 0,9993$ ),  $R_a^2$  ( $> 0,9993$ ) e menores RMSE ( $<0,0076$ ), seguido do modelo de Henderson e Pabis modificado que destacou-se com os melhores resultados na temperatura de 65 °C com  $R^2$  ( $> 0,9999$ ),  $R_a^2$  ( $> 0,9998$ ) e menores RMSE ( $<0,0037$ ).

**Tabela 2** - Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ), coeficientes de determinação ajustados ( $R_a^2$ ) e raiz quadrada do erro médio (RSME) dos modelos matemáticos ajustados às curvas de cinética de secagem do grão-de-bico

Modelos	T (°C)	Parâmetros						$R^2$	$R_a^2$	RMSE
		a	k	b	$k_0$	c	$k_1$			
Henderson e Pabis modificado	50	-0,7259	0,0017	-0,3102	0,0016	2,0463	0,0022	0,9979	0,9974	0,0163
	65	0,0929	0,0017	-0,8073	0,0115	1,7147	0,0075	0,9999	0,9998	0,0037
	80	1,3666	0,0085	-0,2037	0,0171	0,1637	0,0183	0,9992	0,9990	0,0098
Midilli	T (°C)	a	k	n	b			$R^2$	$R_a^2$	RMSE
	50	0,9795	0,0011	1,1728	0,00001			0,9996	0,9996	0,0074
	65	1,0047	0,0032	1,0833	0,00004			0,9996	0,9996	0,0075
	80	0,9953	0,0035	1,0373	0,00005			0,9993	0,9993	0,0094
Exponencial de dois termos	T (°C)	a	$k_0$	b	$k_1$					
	50	0,1700	0,0029	0,8472	0,0029			0,9967	0,9963	0,0205
	65	1,1038	0,0054	-0,1019	0,0222			0,9995	0,9994	0,0079
	80	1,3475	0,0084	-0,3486	0,0181			0,9992	0,9991	0,0098
Aproximação da difusão	T (°C)	a	k	b						
	50	-5,7565	0,0048	0,9190				0,9994	0,9994	0,0089
	65	-0,1010	0,0133	0,2335				0,9995	0,9995	0,0079
	80	-0,3476	0,0180	0,4695				0,9992	0,9991	0,0098
Logarítmico	T (°C)	a	k	c						
	50	1,0323	0,0027	-0,0182				0,9972	0,9971	0,0191
	65	1,0234	0,0052	0,0048				0,9992	0,9992	0,0102
	80	1,0305	0,0071	0,0041				0,9983	0,9982	0,0144
Henderson e Pabis	T (°C)	a	k							
	50	1,0173	0,0029					0,9968	0,9967	0,0205
	65	1,0268	0,0051					0,9991	0,9991	0,0107
	80	1,0334	0,0070					0,9982	0,9982	0,0147
Page	T (°C)	k	n							
	50	0,0029	1,1276					0,9990	0,9990	0,0116
	65	0,0049	1,0900					0,9994	0,9994	0,0086
	80	0,0068	1,0234					0,9991	0,9991	0,0103
Page modificado	T (°C)	k	n							
	50	0,0014	1,1219					0,9990	0,9990	0,0115
	65	0,0031	1,0886					0,9994	0,9994	0,0086
	80	0,0037	1,0229					0,9991	0,9991	0,0103
Lewis	T (°C)	k								
	50	0,0028						0,9962	0,9962	0,0221
	65	0,0048						0,9984	0,9984	0,0143
	80	0,0067						0,9972	0,9972	0,0182

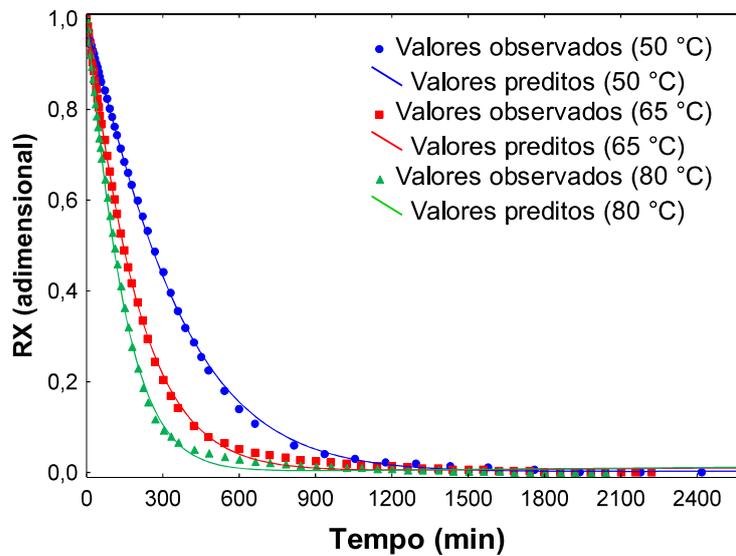
São diversos os estudos com produtos agrícolas que apresentaram excelentes ajustes aos modelos aplicados ao material estudado, Moscon et al. (2017) ao secarem grãos de quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) em estufa com circulação forçada de ar nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C e ajustaram modelos matemáticos aos dados experimentais, obtiveram os melhores resultados para o modelo de Midilli com valores de  $R^2 > 0,999$ ; Silva et al. (2018) ao estudarem a modelagem matemática das sementes de melão em diferentes temperaturas (35, 40, 45, e 50 °C) verificaram excelentes resultados para o modelo de Midilli; e Resende et al. (2010) relataram que os modelos de Midilli e Henderson e Pabis modificado, apresentaram os melhores ajustes para descrição da cinética de secagem do feijão Adzuki (*Vigna angularis*), com  $R^2 > 0,99$ , erro médio relativo estimado (SE)  $\leq 0,019$  e erro médio relativo (P) inferior a 10%.

Entre os parâmetros dos modelos avaliados, o parâmetro  $k$ , que representa a constante da taxa de secagem e reflete a relação entre a difusividade efetiva e o processo de difusão em função da temperatura de secagem (GONELI et al., 2014). Aumentou com o acréscimo de temperatura de desidratação, esse parâmetro está relacionado com a difusividade efetiva da água no interior do material, consequência de maiores taxas de secagem promovidas pelo aumento de temperatura, conduzindo ao teor de água de equilíbrio em menor tempo de secagem (ARAÚJO et al., 2017). Aumentos da constante  $k$  com o incremento da temperatura de secagem, foram reportados por Nascimento et al. (2018) estudando a cinética de secagem das sementes de girassol nas temperaturas de 40 a 80 °C.

O parâmetro  $n$  dos modelos de Midilli, Page e Page Modificado possui um efeito de moderação do tempo e corrige os prováveis erros resultantes da negligência da resistência interna para a transferência de água (PEREZ et al., 2013), em função da velocidade do ar de secagem e teor de água inicial do produto. Constatou-se a redução do parâmetro com o aumento da temperatura de desidratação, indicando menor resistência interna à transferência de água do produto. Segundo Cavalcante et al. (2020), normalmente quanto maior for a elevação da temperatura do ar de secagem, menor é o valor de  $n$ , uma vez que há maior diferença entre a pressão de vapor do ar e do grão, promovendo maior remoção de água. Reis et al. (2015) ao secarem pimenta biquinho (*Capsicum chinense*) em diferentes temperaturas

(40, 50 e 60 °C) e velocidades do ar (1,0; 1,5 e 2,0 m/s) verificaram a redução do parâmetro com acréscimo da temperatura de desidratação.

Na Figura 2 estão apresentados os pontos experimentais determinados nas cinéticas de secagem do grão-de-bico nas temperaturas de 50, 65 e 80 °C, onde de acordo com avaliações dos parâmetros devido ao melhor conjunto de valores de  $R^2$ ,  $R_a^2$  e RMSE foi representada pelo o modelo de Midilli.



**Figura 2** - Curvas de cinética de secagem do grão-de-bico nas temperaturas de 50, 65 e 80 °C com os valores ajustados pelo modelo de Midilli

Os tempos de secagem foram influenciados pelo acréscimo da temperatura, apresentando valores de 2420, 2220 e 2040 min nas temperaturas de 50, 65 e 80 °C, respectivamente, com teores de água finais de 4,44% b.u na temperatura de 50 °C, 2,84% b.u a 65 °C e 1,69% b.u a 80 °C. Verificou-se a influência da temperatura sobre o comportamento da razão do teor de água com o tempo de secagem, em que a diferença de temperatura entre 50 e 65 °C resultou em pouca distinção entre as duas curvas, enquanto, que a elevação para 80 °C demonstra um efeito pronunciado, como predito pela constante de secagem  $k$ , comportamento mais perceptível de acordo com o acréscimo do tempo de secagem, onde a elevação da temperatura de 50 °C para 80 °C reduziu em 15,70% o tempo

total do processo. Os tempos de secagem menores com a elevação da temperatura traduzem uma maior força motriz para a transferência de massa, aumento da pressão de vapor na amostra, acelerando a remoção de água do interior para a superfície, culminando em tempos de secagem encurtados (ARAL; BESE, 2016).

### 3.2 Parâmetros de transferência de massa

#### 3.2.1 Difusividade efetiva de água

Tem-se na Tabela 3 os parâmetros do modelo de Fick para os seis termos da série, ajustados ao modelo variando o número de termos de 1 a 6, para secagem do grão-de-bico nas temperaturas de 50, 65 e 80 °C, observou-se que os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) variaram de 0,6721 para o 1º termo da série, a 0,9518 para o 6º termo, entretanto, a partir do 2º termo o valor do coeficiente de difusividade efetiva variou de  $2,67 \times 10^{-11}$  para  $2,65 \times 10^{-11}$  no 6º termo, dessa forma, conclui-se que apenas 2 termos é suficiente para estimar o valor de difusividade.

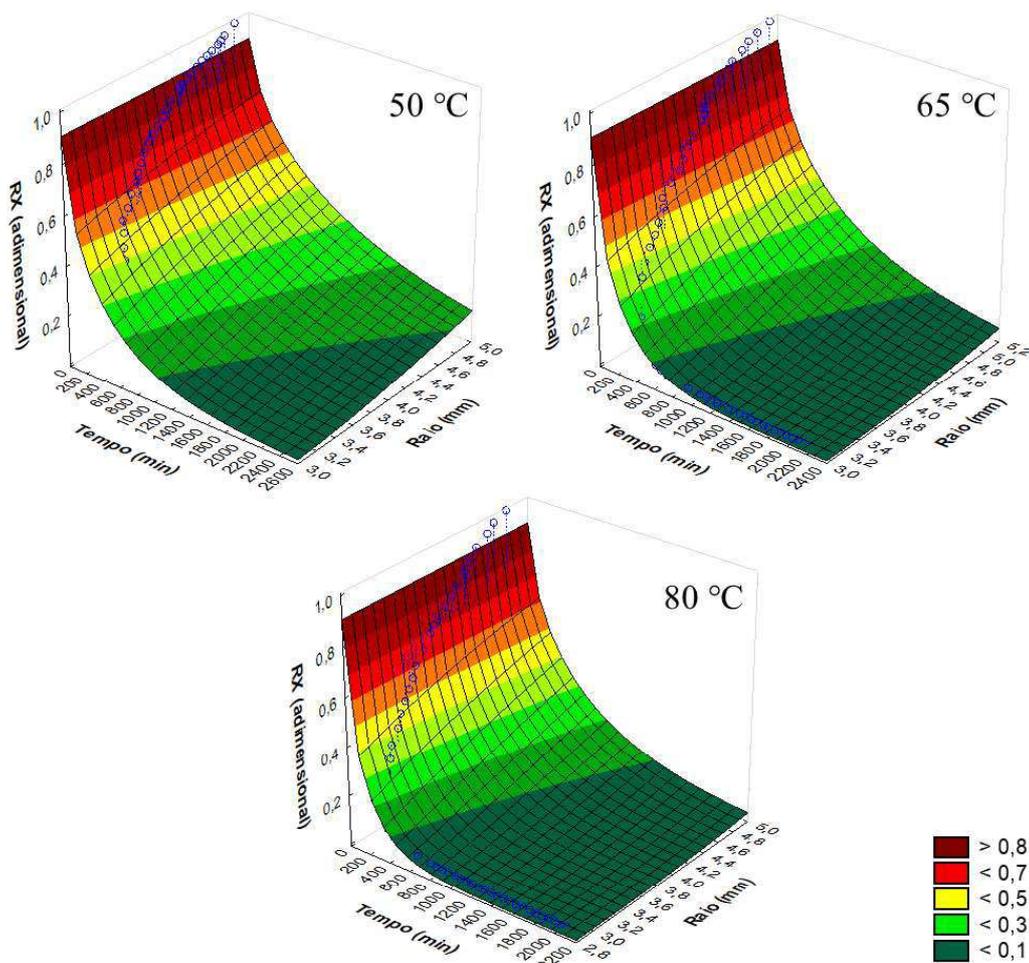
**Tabela 3** - Coeficientes de determinação ( $R^2$ ), coeficientes de determinação ajustado ( $R_a^2$ ) e raiz quadrada do erro médio (RMSE) em função do número de termos do modelo de Fick para três temperaturas (50, 65 e 80 °C) da cinética de secagem do grão-de-bico

T E R M O	50 °C				65 °C				80 °C			
	$D_{ef}$ $\times 10^{-11}$ ( $m^2/s^{-1}$ )	$R^2$	$R_a^2$	RMS E	$D_{ef}$ $\times 10^{-11}$ ( $m^2/s^{-1}$ )	$R^2$	$R_a^2$	RMSE	$D_{ef}$ $\times 10^{-11}$ ( $m^2/s^{-1}$ )	$R^2$	$R_a^2$	RMS E
1	2,54	0,672	0,665	0,205	4,53	0,821	0,818	0,152	2,54	0,835	0,832	0,140
2	2,67	0,879	0,876	0,125	4,80	0,937	0,936	0,090	5,94	0,941	0,940	0,084
3	2,67	0,926	0,924	0,098	4,83	0,964	0,963	0,069	5,96	0,965	0,964	0,065
4	2,66	0,942	0,941	0,087	4,82	0,973	0,972	0,059	5,96	0,973	0,972	0,057
5	2,66	0,949	0,947	0,081	4,82	0,976	0,976	0,055	5,95	0,976	0,976	0,053
6	2,65	0,952	0,951	0,079	4,81	0,978	0,978	0,053	5,94	0,978	0,978	0,051

A determinação da difusão efetiva é a solução analítica para a segunda lei de Fick, considerando a contração volumétrica do grão e conhecendo a condição de contorno do teor de água na superfície do grão, avaliando o segundo termo do modelo de Fick, a difusividade efetiva variou em função da temperatura de  $2,67 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  para  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ , a  $5,94 \times 10^{-11}$  para  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ , os valores de difusividade aumentaram conforme o aumento da temperatura, podendo ser atribuído ao fato de que as moléculas de água são mais fracamente ligadas à matriz alimentar em temperaturas mais altas, exigindo menos energia para que ocorra o processo de difusão (LISBOA et al., 2019). Li et al. (2019) afirma que o valor de difusividade por ser influenciado principalmente pela variedade, estado de maturação, propriedades físico-químicas, tipos de corte e condição de secagem do produto. Os valores encontrados para difusividade variam na faixa de  $10^{-11}$  a  $10^{-9}$ , valores referenciados para produtos agrícolas segundo Hongyan et al. (2019).

Para investigar a retração do grão-de-bico durante a secagem plotou-se os gráficos com as superfícies de resposta para o modelo de difusão de Fick, a difusividade efetiva foi determinada levando em consideração o encolhimento do grão-de-bico, o que permite gerar um gráfico dos valores observados e uma superfície de resposta com a predição dos valores estimados pelo modelo de Fick que pode ser observado na Figura 3.

Observou-se a redução dos valores da difusividade quando foram calculados considerando o encolhimento sem considerar a retração dos mesmos. Isso justifica a importância de acompanhar o encolhimento dos produto durante a secagem. Souraki et al. (2008) analisando a difusividade axial e radial em grãos verdes frescos cilíndricos em secador de leito fluidizado, observou que os valores calculados de difusividade foram menores que os valores de difusividade sem considerar a retração. O fenômeno de retração afeta principalmente o coeficiente de difusão do material, que é um dos principais parâmetros que regem o processo de secagem e também influencia a taxa de secagem. Justificando-se a importância de acompanhar o encolhimento dos produto durante o processo de desidratação.



**Figura 3** - Superfície de resposta para o modelo de difusão de Fick da razão de teor de água em função do tempo de secagem e em função do raio do grão-de-bico ao decorrer da secagem para as temperaturas de 50, 65 e 80 °C

### 3.2.2 Número de Biot ( $B_i$ ) e coeficiente de transferência de massa ( $h_m$ )

Tem-se na Tabela 4 os valores do número de Biot e do coeficiente de transferência de massa do grão-de-bico durante o processo de secagem em diferentes temperaturas. O número de Biot refere-se a taxa de transporte de água durante a secagem, podendo ser entendido como a relação entre a resistência interna e a resistência externa à transferência de massa por difusão, e é afetado pelas condições de secagem e tipo de produto, valores inferiores a 30 indicam que o processo de secagem ocorreu restritamente por difusão e superfície (DHURVE et al. 2022).

**Tabela 4** - Valores do número de Biot ( $B_i$ ) e o coeficiente de transferência de massa ( $h_m$ ) da secagem do grão-de-bico nas diferentes temperaturas de secagem

Temperatura (°C)	$D_{ef} \times 10^{-11}$ ( $m^2 s^{-1}$ )	$B_i$	$h_m \times 10^{-9}$ ( $m s^{-1}$ )
50	2,65	0,230	1,65
65	4,81	0,346	4,73
80	5,94	0,346	6,31

Os valores do número de Biot variaram de 0,230 a 0,346 os mesmo apresentaram relação direta com o aumento da temperatura de secagem, aumentando com o acréscimo da temperatura, no entanto, os valores obtidos foram bastante inferior a 30. De acordo com Kaya et al. (2010) e Ferreira et al. (2020) o número de Biot é indicativo da existência de fatores internos e resistências externas à transferência de água, concluindo-se que as resistências foram mínimas durante o processo.

O coeficiente de transferência de massa variou entre  $1,65 \times 10^{-9}$  a  $6,31 \times 10^{-9} m s^{-1}$ , apresentando o mesmo comportamento dos demais parâmetros, aumentando com o acréscimo de temperatura, indicando que em temperaturas mais elevadas há uma maior taxa de transferência de massa. Segundo Santos et al. (2019) os experimentos que apresentam maior coeficiente de transferência de massa tendem a apresentar um menor tempo para atingir a umidade de equilíbrio durante o processo de secagem. Almeida et al. (2020) ao estudarem a secagem de sementes de melão em diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C), com velocidade do ar constante de  $1,5 m s^{-1}$  observaram que o número de Biot e o coeficiente de transferência de massa foram proporcionais ao acréscimo de temperatura aumentando proporcionalmente com a elevação da mesma.

### 3.2.3 Propriedades termodinâmicas

Apresenta-se na Tabela 5 o valor da energia de ativação e das propriedades termodinâmicas, entalpia, entropia e energia livre de Gibbs determinadas nas secagens do grão-de-bico de acordo com as temperaturas de secagem aplicadas.

**Tabela 5** - Propriedades termodinâmicas das farinhas de grão-de-bico desidratadas nas temperaturas de 50, 65 e 80 °C

Temperatura (°C)	Ea (KJ/mol)	$\Delta H$ (KJ/mol)	$\Delta S$ (J/mol.K)	$\Delta G$ (KJ/mol)
50		22,991	-368,1	141,886
65	25,676	22,866	-368,47	147,41
80		22,741	-368,83	152,94

O valor da energia de ativação para o processo de secagem do grão-de-bico foi de 25,676 KJ/mol, ou seja, é o valor da barreira a ser superada para se iniciar o processo de secagem. A energia de ativação de produtos agrícolas está intrinsicamente associada a sua composição, variedade, estrutura celular, área da superfície exposta e qualquer pré-tratamento aplicado ao produto (WANG et al. 2021). Valores próximos ao estudo foram verificados por Quequeto et al. (2017) na secagem em camada delgada de feijões da cultivar IPR Tangará em diferentes temperaturas (40, 45, 50, 55 e 60 °C) observaram energia de ativação de 25,8964 kJ/mol; e por Silva et al. (2020) na secagem de grãos de soja nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50 °C obtiveram valor de 26,80 kJ/mol.

Os valores de entalpia variaram de 22,741 a 22,991 KJ/mol, o aumento da temperatura do ar de secagem promoveu a diminuição do parâmetro, o valor positivo para entalpia indica que foi necessário fornecer energia na forma de calor para ocorrer o processo de secagem, evidenciando o caráter endotérmico do processo, isto é, houve absorção de calor (SHAFAEI; MASOUMI; ROSHAN, 2016). Segundo Resende et al. (2018), a entalpia está relacionada com a energia necessária para remover a água ligada à matéria seca durante o processo de secagem. Indicando que, em condições de maior temperatura, há menor demanda de energia térmica para promover a secagem do grão-de-bico. Corrêa et al. (2010) ao secarem grãos de café nas temperaturas 35, 45 e 55 °C, observaram valores de entalpia de 35,83; 35,74; e 35,66 kJ/mol respectivamente; e Corrêa et al. (2017) na secagem de arroz, relataram redução da entalpia de 48,47 para 48,13 kJ/mol entre as temperaturas de 35 e 75 °C, corroborando com os dados em estudo.

A entropia ( $\Delta S$ ), que é uma propriedade relacionada ao grau de excitação e arranjo espacial das moléculas de água em relação ao produto (SILVA et al., 2016), apresentou comportamento semelhante a entalpia, com redução com o aumento da temperatura de secagem, variando de -368,83 a -368,10 J mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>. De acordo com Cagnin et al. (2017) o aumento da temperatura provoca uma diminuição na  $\Delta S$  da amostra devido à diminuição do teor de água durante a desidratação, causando também dificuldade no movimento das moléculas de água no produto. Os valores de entropia negativos são atribuídos à existência de adsorção química e/ou modificações estruturais do adsorvente (MOREIRA et al., 2008). Valores negativos de entropia foram reportados por Resende et al. (2014) em secagem de sorgo da cultivar AS4620, nas temperaturas de 40 a 60 °C e velocidades do ar de 0,5 m/s e 1,0 m/s, em que variaram de -0,2564 para -0,2519 kJ/mol K e -0,2526 para -0,2478 kJ/mol K, nas respectivas temperaturas e velocidades.

Os valores de energia livre de Gibbs ( $\Delta G$ ) variaram de 141,886 a 152,940 KJ/mol, o acréscimo da temperatura de desidratação provocou o um aumento da energia livre. Os valores positivos da  $\Delta G$  indicam que a secagem do grão-de-bico não foi espontânea, sendo necessária a adição de energia proveniente do ar em que a amostra esteve envolvida, para que ocorresse a redução do teor de água (ALVES; RODOVALHO, 2016), o que caracteriza a existência de reação endergônica (CORRÊA et al., 2010). A energia livre de Gibbs é responsável pela quantificação da energia máxima liberada em processos no qual a pressão e a temperatura permanecem constantes e é um parâmetro usado para quantificar o trabalho realizado pelo sistema durante a dessorção (ARAÚJO et al., 2017).

### **3.2.4 Consumo energético do processo de secagem**

Na Tabela 6 estão os resultados do consumo energético da estufa para a realização do processo de secagem, essa informação auxilia na escolha da melhor temperatura para se realizar a secagem do grão-de-bico. O menor consumo energético foi para a temperatura 50 °C e o maior foi para a temperatura 80 °C havendo um acréscimo de 49,44% da demanda energética em relação da menor para a maior temperatura. Levando em consideração o consumo de energia elétrica, a temperatura 50 °C pode ser considerada a melhor para a

execução do processo, mas quando o consumo é associado ao tempo de secagem e a qualidade do produto final obtido, deve-se avaliar o processo como o todo, onde outra temperatura pode se adequar melhor para o que é pretendido, de acordo com a necessidade do produto final.

**Tabela 6** - Consumo energético da estufa de circulação de ar para realização da secagem do grão-de-bico nas temperaturas de 50, 65 e 80 °C e os tempos necessários para a finalização do processo

Temperatura (°C)	Consumo (KWh)	Tempo (min)
50	21,42	2420
65	27,10	2220
80	32,01	2040

### 3.3 Caracterização física, química, físico-química e bioativos das farinhas de grão-de-bico

Na Tabela 7 tem-se os valores médios e desvios padrão dos parâmetros químicos, físico-químicos, físicos e compostos bioativos do grão-de-bico *in natura* triturado e das farinhas obtidas em diferentes temperaturas de secagem.

De maneira geral, observou-se que os métodos de secagem influenciaram diretamente nos parâmetros analisados. O teor de água variou de 1,85 a 5,65% b.u, havendo diferença significativa ( $p < 0,01$ ) entre os teores de água das farinhas. Entre as farinhas obtidas comprovou-se a tendência da diminuição do teor de água com a elevação da temperatura de secagem. valores superiores foram reportados por Kotsiou et al. (2022) ao analisar farinhas funcionais compostas por grão-de-bico e trigo, observando-se teor de água 7,00% b.u; e Thanuja et al. (2022) ao analisarem o arroz preto modificado por tratamento enzimático, obtiveram teores de água variando de 8,41 a 13,50%. Verificando-se que os teores de água encontrados nas farinhas de grão-de-bico estão dentro do padrão da legislação brasileira que estabelece para produtos secos e processados na forma de farinha um teor de água de até 15% (m/m) (BRASIL, 2005).

**Tabela 7** - Valores médios e desvios padrão dos parâmetros avaliados no grão-de-bico *in natura* triturado e nas farinhas de grão-de-bico submetido a secagem em diferentes temperaturas

Parâmetros	<i>In natura</i>	50 °C	65 °C	80 °C
Teor de água (% b.u.)	2,15 ± 0,01 c	5,65 ± 0,01 a	3,61 ± 0,04 b	1,85 ± 0,05 d
Atividade de água	0,310 ± 0,00 a	0,210 ± 0,00 b	0,110 ± 0,00 c	0,060 ± 0,00 d
pH	5,21 ± 0,02 c	6,32 ± 0,06 a	5,37 ± 0,02 b	4,99 ± 0,00 d
Acidez (% b.u.)	11,98 ± 0,08 a	11,97 ± 0,11 ab	11,27 ± 0,34 b	12,15 ± 0,39 a
Cinzas (% b.u.)	2,61 ± 0,03 b	2,99 ± 0,03 a	2,91 ± 0,11 a	2,25 ± 0,15 c
Proteína bruta (% b.u.)	15,11 ± 0,05 b	14,58 ± 0,14 b	16,12 ± 0,29 a	16,38 ± 0,66 a
Lipídios (% b.u.)	7,76 ± 0,40 a	7,57 ± 0,20 a	7,72 ± 0,33 a	7,88 ± 0,11 a
Taninos (mg/100g b.u.)	834,90 ± 0,62 b	844,23 ± 0,68 a	799,22 ± 0,44 c	784,65 ± 0,25 d
Flavonoides (mg/100g b.u.)	13,25 ± 0,00 a	10,60 ± 0,00 b	9,72 ± 0,00 c	8,84 ± 0,00 d
Compostos fenólicos totais (mg/100 g b.u.)	721,65 ± 0,36 a	650,86 ± 0,46 b	635,88 ± 0,66 c	596,26 ± 0,36 d
Antocianinas (mg/100g b.u.)	7,22 ± 0,00 a	4,01 ± 0,00 b	3,19 ± 0,00 c	2,34 ± 0,00 d

Médias seguidas pela mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

Assim como no teor de água a atividade de água apresentou reduções estatisticamente significativas ( $p < 0,01$ ) nas farinhas com o aumento da temperatura de secagem, provavelmente devido ao menor teor de água das amostras em temperaturas mais altas. Verificando-se maior valor para o grão *in natura* triturado. Korese et al. (2021) ao avaliarem os efeitos da temperatura na cinética de secagem de brotos de palmeira (*Borassus aethiopum* Mart.) e atributos de qualidade de sua farinha, observaram valores de atividade de água obtidos para amostras secas pré-cozidas e não cozidas na faixa de 0,348 a 0,448 e 0,132 a 0,334, respectivamente. Os valores obtidos para atividade de água são considerados positivos para a estabilidade dos produtos secos, devido à baixa presença de água livre disponível para o desenvolvimento de microrganismos e reações bioquímicas durante o armazenamento (RAHMAN et al., 1999).

Os valores do pH variaram entre 4,99 e 6,32 e com os menores teores observados nas farinhas secas a 80 °C, evidenciando amostras mais ácidas que as demais e, portanto, menos susceptíveis a crescimento microbiano. Valores próximos foram reportados para a farinha da semente de abóbora *in natura*, germinada e farinha de semente de abóbora germinada obtida por secagem convectiva na temperatura de 70 °C com pH de 6,1 para a farinha (AMADEU et al. 2021).

A acidez total titulável variou entre 11,27 a 12,15%, ocorrendo diferença significativa ( $p < 0,01$ ) entre as farinhas. O maior resultado foi observado na farinha a 80 °C. Abbasi e Azizpour (2016), observaram que a acidez apresentou comportamento crescente com o aumento da temperatura. determinação dos valores de pH e acidez titulável fornecem informações quanto à qualidade das farinhas, pois quanto menor o valor de pH e maior o valor de acidez, maior é a conversão dos ácidos graxos de cadeia longa em ácidos orgânicos de cadeia curta (AMADEU et al. 2021).

O teor de cinzas apresentou diferença significativa ( $p < 0,01$ ) entre as amostras, sendo observado um decréscimo nas cinzas da farinha de grão-de-bico de 24,74% da menor para a maior temperatura. Nagai et al. (2022) analisando as propriedades das farinhas de diferentes cultivares de feijão verificaram uma variação de 4,5 a 5,67%; e Becker et al. (2013) ao estudarem as mudanças químicas em farinhas de diferentes genótipos de arroz submetidas à extrusão, verificaram que o processo de extrusão não exerceu influência sobre o teor de cinzas das farinhas de arroz, apresentando média de 0,39%.

As proteínas presentes no grão-de-bico *in natura* triturado (15,11%) e nas farinhas obtidas em estufa diferiram estatisticamente ( $p < 0,01$ ) entre si, verificando-se a maior concentração de proteínas obtida na temperatura de 80 °C (16,38%), podendo ser justificado pela diferença no teor de água visto que os parâmetros foram calculados para b.u., com a redução do teor de água houve a concentração dos sólidos, favorecendo a maior concentração de proteínas. O grão-de-bico é conhecido por seu alto teor de proteínas e acessibilidade econômica, por apresentar maior biodisponibilidade desse componente quando comparado as demais fontes vegetais (KAUR et al., 2021). Valores próximos ao do presente estudo foi verificado por Fernandes et al. (2022) para a farinha de grão-de-bico da variedade BRS cristalino com teor de 15,74 g/100 g.

Os lipídeos presentes nas farinhas de grão-de-bico apresentaram valores variando entre 7,57% e 7,88%. O grão *in natura* triturado (7,76%) não diferiu estatisticamente entre as farinhas obtidos na secagem convectiva, nas temperaturas de 50 °C (7,57%), 65 °C (7,72%) e 80 °C (7,88%), verificando-se que as concentrações dos lipídeos nas farinhas de grão-de-bico não foram influenciadas com a imersão dos grãos em água e com o aumento da temperatura de secagem. Comparando-se os valores encontrados no presente estudo com outros materiais, Contreras-Jiménez et al. (2019) observaram para a farinha de quinoa valor de 9,60%; já Ogungbenle (2003) verificaram os teores de lipídios para cereais como o milho amarelo, com valores de 4,70%, para o trigo duro de 1,70% e para o arroz branco 0,70%.

Em relação aos teores de taninos o maior valor foi observado na farinha obtida pelo processo de secagem convectiva a 50 °C (844,23 mg/100 g) havendo diferença estatística ( $p < 0,01$ ) em relação aos demais pós obtidos na secagem convectiva, como também em relação ao grão-de-bico *in natura* triturado. Observando-se o decréscimo dos taninos com o aumento da temperatura de secagem 50 °C (844,23 mg/100 g), 65 °C (799,22 mg/100 g) e 80 °C (784,65 mg/100 g). Alves et al. (2019) avaliando-se a extração de taninos totais da farinha de semente de graviola, utilizando banho ultrassônico com diferentes solventes, observou-se uma extração de 572,93, 589,76, 689,46 mg equivalente de ácido tânico/100g de amostra, utilizando água destilada, etanol 70% e metanol 50%.

Os teores de flavonoides variaram de 8,84 a 13,25 mg/100 g e diferiram significativamente ( $p < 0,01$ ), observando-se maior valor para o grão-de-bico *in natura* triturado. Quando analisados por temperatura de secagem, observa-se que quanto maior a temperatura menores foram os teores de flavonoides, pelo fato dos flavonoides serem compostos termossensíveis, e estarem sujeitos a uma maior degradação quando submetidos a altas temperaturas por tempo prolongado; assim, o menor teor de flavonoides foi observado na farinha obtida sob a temperatura de 80 °C podendo estar associado ao binômio tempo/temperatura (CASTRO et al., 2017).

O maior teor de compostos fenólicos foi verificado para o grão *in natura* triturado (721,65 mg/100 g), já o menor valor foi constatado na farinha obtida a 80 °C, que provavelmente ocorreu maior degradação. A variação da temperatura influenciou diretamente na quantidade dos compostos fenólicos, para menores temperaturas obteve-se

maiores teores. Hussein et al. (2020) avaliaram o impacto da farinha de grão-de-bico seca a 80 °C como agente prebiótico, antioxidante e espessante de iogurte, observando compostos fenólicos com valor de 344,0 mg/100g, os resultados obtidos concluíram que a farinha de grão-de-bico pode substituir o leite em pó desnatado nas concentrações e melhorar a qualidade iogurte reduzindo o custo de produção.

Quanto ao teor de antocianinas verificou-se a diferença estatística ( $p < 0,01$ ) entre os materiais, destacando-se o grão-de-bico *in natura* triturado (7,22 mg/100g) das demais farinhas com valores de 4,01 mg/100 g, 3,19 mg/100 g e 2,34 mg/100 g, para as temperaturas de 50, 65 e 80 °C respectivamente. Observando-se uma tendência na redução das antocianinas à medida que a temperatura do ar de secagem foi ampliada. Valores semelhantes aos observados neste trabalho, foram verificados por Summo et al. (2019) para o grão-de-bico de três cores diferentes, preto (7,78 mg/100 g) , marrom (4,03 mg/100g) e bege (2,96 mg/100 g).

Apresenta-se na tabela 8 os valores médios e os desvios padrão dos parâmetros colorimétricos do grão-de-bico *in natura* triturados e das farinhas obtidas em estufa de circulação de ar nas temperaturas de 50, 65 e 80 °C.

**Tabela 8** - Valores médios e desvios padrão dos parâmetros colorimétricos do grão-de-bico *in natura* triturado e das farinhas obtidas em diferentes temperaturas

Parâmetros	<i>In natura</i>	50 °C	65 °C	80 °C
Luminosidade (L*)	23,33 ± 0,01 d	29,43 ± 0,06 b	34,54 ± 0,01 a	28,66 ± 0,03 c
Intensidade de vermelho (+a*)	2,95 ± 0,01 a	2,21 ± 0,01 c	2,23 ± 0,02 b	3,00 ± 0,02 a
Intensidade de amarelo (+b*)	12,21 ± 0,03 a	8,94 ± 0,04 d	10,32 ± 0,02 c	11,42 ± 0,07 b
Croma (C*)	12,56 ± 0,03 a	9,19 ± 0,04 d	10,56 ± 0,02 c	11,80 ± 0,07 b
Ângulo de tonalidade (°)	76,43 ± 0,02 b	76,66 ± 0,01 b	77,79 ± 0,03 a	75,49 ± 0,02 c

Médias seguidas pela mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 1 % de probabilidade.

Observou-se que a luminosidade foi menor para o material *in natura*, e que nas farinhas desidratadas não houve comportamento definido, havendo o acréscimo do parâmetro nas farinhas de 50 para 65 °C e redução de 65 para 80 °C. O material em estudo

apresentou-se com característica escura, uma vez que a luminosidade ( $L^*$ ) foi inferior a 50 dentro da escala de 0 a 100. Pang et al. (2018) observaram em diferentes farelos de arroz que os valores de  $L^*$ , variaram de 77,29 a 82,45 em arroz integral branco, de 52,80 a 61,82 em arroz vermelho e de 39,41 a 51,90 em arroz preto.

Os valores de  $a^*$  podem variar do verde ao vermelho, logo, por terem apresentado valores positivos tendem a coloração mais avermelhada. A componente vermelha ( $+a^*$ ) ao contrário da luminosidade foi superior nas farinhas obtidas em maior temperatura, o valor do grão *in natura* triturado foi estatisticamente igual a farinha obtida a 80 °C. Em relação a coordenada  $b^*$ , está também resultou em valores positivos referentes a cor mais próxima do amarelo, para o material *in natura* foi observado o maior valor, com o aumento das temperaturas 50 °C (8,94), 65 °C (10,32) e 80 °C (11,42) observou-se crescimento da intensidade do amarelo ( $b^*$ ) análogo ao comportamento do vermelho ( $a^*$ ). Olamiti et al. (2020) ao analisar os efeitos da maltagem e da fermentação na cor em cultivares de milho observaram resultados de  $a^*$  variaram de 5,14 a 5,70; 1,04 a 2,00 e 2,50 a 3,30 para as farinhas Agrigreen, Babala e sorgo, respectivamente.

A saturação Cromo ( $C^*$ ) apresentou diferença significativa entre todas as farinhas, com maior valor para o grão *in natura* triturado (12,56), para as farinhas secas os valores foram de 9,19; 10,56 e 11,80, para as temperaturas de 50, 65 e 80 °C respectivamente. Valores de croma próximos de zero correspondem a cores neutras (tons cinzas), enquanto, valores próximos de 60 indicam cores vivas, sendo considerado um atributo quantitativo da cor e usado para determinar o grau de diferença de uma tonalidade em comparação com uma cor cinza com a mesma luminosidade. Quanto mais altos os valores de croma, maior é a intensidade da cor das amostras percebidas pelos seres humanos (MENDONÇA et al., 2019). Considerando os valores encontrados, pode-se atribuir as farinhas e ao grão *in natura* triturado tendendo a cores neutras, apresentando tonalidade mais acinzentada. Ramashia et al. (2018) determinaram as propriedades físicas de três variedades dos grãos de milho (*Eluesine coracana*) e as propriedades funcionais das farinhas, os valores de  $C^*$  para as cultivares de grãos variaram de 10,1 a 29,1 enquanto para as farinhas variou de 13,4 a 77,97, observando-se que a saturação do croma aumentaram com o processamento dos grãos.

Quanto ao ângulo de tonalidade também houve diferença estatística ( $p < 0,01$ ) entre os materiais, com maior valor para a farinha obtida a 65 °C, seguido do grão *in natura* triturado e da farinha obtida a 50 °C que estatisticamente foram iguais. O ângulo de cor ou ângulo hue assume valor zero para a cor vermelha, 90° para amarela, 180° para verde e 270° para azul (MENDONÇA et al., 2019). Logo, a coloração do grão-de-bico *in natura* triturado e das farinhas obtidas em diferentes temperaturas, encontra-se posicionados no primeiro quadrante do sólido de cor de 0 a 90°, com tonalidade correspondente ao laranja/amarelo. Menezes Filho et al. (2019) encontraram na farinha da semente dos frutos do jatobá-do-cerrado (*Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex Hayne), valores de  $h^*$  de 77,16, corroborando com os dados em estudo.

#### 4. Conclusões

O acréscimo da temperatura de secagem auxilia no aumento da taxa de transporte de água do interior do grão para a superfície que acelera o processo de evaporação da água superficial, reduzindo assim o tempo de secagem.

Os dados da cinética de secagem do grão-de-bico se ajustam bem aos nove modelos matemáticos aplicados, com os melhores resultados obtidos com o modelo de Midilli, seguido por Henderson e Pabis Modificado. A difusividade efetiva do processo está na ordem de  $10^{-11}$ , ocorrendo o acréscimo do parâmetro com o aumento da temperatura de desidratação, assim como, na taxa de transporte de água durante a secagem, de acordo com o número de Biot e no coeficiente de transferência de massa. Quanto as propriedades termodinâmicas, o aumento da temperatura do ar de secagem promove a diminuição da entalpia e da entropia e o aumento da energia livre de Gibbs.

As temperaturas de secagem influenciam diretamente nos parâmetros analisados, havendo a redução do teor de água, atividade de água, pH, taninos, flavonoides, compostos fenólicos e antocianinas e aumento da acidez total titulável e das proteínas. Quanto aos parâmetros de cor, a luminosidade é menor para o material *in natura* com característica escura, nas farinhas com o acréscimo da temperatura de secagem intensificou os tons de vermelho ( $a^*$ ) e amarelo ( $b^*$ ), com tonalidade correspondente a tons opacos, situando-se no

primeiro quadrante de cor com tons laranja/amarelo, de acordo com o Croma e o ângulo de tonalidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBASI, E.; AZIZPOUR, M. Evaluation of physicochemical properties of foam mat dried sour cherry powder. **LWT - Food Science and Technology**, v. 68, p. 105–110, 1 maio 2016.
- ALMEIDA, R. L. J.; SANTOS, N. C.; PEREIRA, T. DOS S.; SILVA, V. M. DE A.; RIBEIRO, V. H. DE A.; SILVA, L. R. I. DA; GOMES, F. D. C.; MOREIRA, F. I. N.; LIMA, S. E. R.; EDUARDO, R. DA S. Cinética de secagem de sementes de melão descrita por um modelo de difusão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 5, p. e32953146–e32953146, 2020.
- ALVES, J. J. L.; RODOVALHO, R. S. Cinética de secagem em camada de espuma da polpa de abacate CV ‘Quintal’ (Persea Americana Mill). **Revista Agrotecnologia**, v. 7, n. 1, p. 86-98, 2016.
- ALVES, V.; AMORIM, K.; ABREU, D.; SILVA, J.; ASQUIERI, E.; DAMIANI, C. EXTRAÇÃO DE TANINOS DE FARINHA DE SEMENTE DE GRAVIOLA POR ULTRASSOM. **DESAFIOS - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 6, p. 54–59, 16 jun. 2019.
- AMADEU, L. T. S.; QUEIROZ, A. J. DE M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. DE; PAIVA, Y. F.; FERREIRA, J. P. DE L.; REIS, C. G. DOS; SILVA, R. C. DA; ARAÚJO, K. T. A.; COELHO, N. O.; CARNEIRO, E. F. DE S. Farinha de sementes germinadas de abóbora: Aspectos físicos, físico-químicos e colorimétricos. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, p. e18810313005–e18810313005, 11 mar. 2021.
- ARAL, S.; BEŞE, A. V. Convective drying of hawthorn fruit (*Crataegus* spp.): Effect of experimental parameters on drying kinetics, color, shrinkage, and rehydration capacity. **Food Chemistry**, v. 210, n. 1, p. 577-584, 2016.
- ARAUJO, W. D.; GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; HARTMANN FILHO, C. P.; MARTINS, E. A. S. Modelagem matemática da secagem dos frutos de amendoim em camada delgada. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 3, p. 448-457, 2017.
- BECKER, F. S.; EIFERT, E. DA C.; SOARES JUNIOR, M. S.; TAVARES, J. A. S.; CARVALHO, A. V. Mudanças químicas e viscoamilográficas em farinhas de diferentes genótipos de arroz submetidas à extrusão. **Ciência Rural**, v. 43, p. 1911–1917, out. 2013.

- BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal Biochemistry Physiology*, v. 37, n. 8, p. 911-917, 1959.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. Resolução RDC nº 263. Diário Oficial da União; Poder Executivo, 2005. 6 p.
- CAGNIN, C.; LIMA, M. S.; SILVA, R. M.; SILVA, M. A. P.; PLÁCIDO, G. R.; FREITAS, B. S. M.; OLIVEIRA, D. E. C. Garlic: kinetic drying and thermodynamic properties. **Bioscience Journal**, v. 33, n. 4, p. 905-913, 2017.
- CASTRO, A. M.; MAYORGA, E. Y.; MORENO, F. L. Mathematical modelling of convective drying of fruits: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 223, p. 152–167, 1 abr. 2018.
- CASTRO, D. S. DE; OLIVEIRA, T. K. B. DE; LEMOS, D. M.; ROCHA, A. P. T.; ALMEIDA, R. D. Efeito da temperatura sobre a composição físico-química e compostos bioativos de farinha de taro obtida em leite de jorro. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, 18 maio 2017.
- CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M.; LIRA, V. V.; OLIVEIRA, R. F. DE; COSTA, N. L.; OLIVEIRA, H. M. L. A new approach to the traditional drying models for the thin-layer drying kinetics of chickpeas. **Journal of Food Process Engineering**, v. 43, n. 12, p. e13569, 2020.
- CAVALCANTE, A. M. M.; ALMEIDA, R. D.; MELO, A. M.; MORAIS, B. A.; SILVA, I, R.; RIBEIRO, N. L.; ALEXANDRE, H. V.; SILVA, O. S. Modelos de predição da cinética de secagem dos grãos da algaroba. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 11192-11209, 2020.
- CONTRERAS-JIMÉNEZ, B.; TORRES-VARGAS, O. L.; RODRÍGUEZ-GARCÍA, M. E. Physicochemical characterization of quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour and isolated starch. **Food Chemistry**, v. 298, p. 124982, 15 nov. 2019.
- CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; BOTELHO, F. M.; GONELI, A. L. D.; CARVALHO, F. M. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arábica* L.) durante o processo de secagem. **Revista Ceres**, v. 57, n. 5, p. 595-601, 2010.

- CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; OLIVEIRA, A. P. L. R.; BOTELHO, F. M.; GONELI, A. L. D. Thermodynamic properties of drying process and water absorption of rice grains. **CYTA – Journal of food**, v. 15, n. 2, p. 204–210, 2017.
- Crank, J. The mathematics of diffusion. Oxford: Clarendon Press, (2), 1979, 414.
- DHURVE, P.; KUMAR ARORA, V.; KUMAR YADAV, D.; MALAKAR, S. Drying kinetics, mass transfer parameters, and specific energy consumption analysis of watermelon seeds dried using the convective dryer. **Materials Today: Proceedings**, Third International Conference on Recent Advances in Materials and Manufacturing 2021. v. 59, p. 926–932, 1 jan. 2022.
- FEIZOLLAHI, E.; MIRMAHDI, R. S.; ZOGHI, A.; ZIJLSTRA, R. T.; ROOPESH, M. S.; VASANTHAN, T. Review of the beneficial and anti-nutritional qualities of phytic acid, and procedures for removing it from food products. **Food Research International**, v. 143, p. 110284, 1 maio 2021.
- FERNANDES, T. C. R.; CAMARGOS, L. F. DE; CAMILO, P. A.; JESUS, F. G. DE; SIQUEIRA, A. P. S. Caracterização tecnológica da farinha de grão-de-bico variedade BRS cristalino. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 25, 25 fev. 2022.
- FERREIRA, J. P. D. L.; CASTRO, D. S. D.; MOREIRA, I. D. S.; SILVA, W. P. D.; FIGUEIRÊDO, R. M.; QUEIROZ, A. J. M. Cinética de secagem convectiva de cubos de mamão pré-tratados osmoticamente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 3, p. 200-208, 2020
- FRANCIS, F. J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. Anthocyanins as food colors. New York: Academic Press, 1982. p.181207.
- GONELI, A. L. D.; VIEIRA, M. C.; VILHASANTI, H. C. B.; GONÇALVES, A. A. Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, p. 56-64, 2014.
- GUIMARÃES, R. M.; IDA, E. I.; FALCÃO, H. G.; REZENDE, T. A. M. DE; SILVA, J. DE S.; ALVES, C. C. F.; SILVA, M. A. P. DA; EGEEA, M. B. Evaluating technological quality of okara flours obtained by different drying processes. **LWT**, v. 123, p. 109062, 1 abr. 2020.

- HUSSEIN, H.; AWAD, S.; EL-SAYED, I.; IBRAHIM, A. Impact of chickpea as prebiotic, antioxidant and thickener agent of stirred bio-yoghurt. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 65, n. 1, p. 49–58, 1 jun. 2020.
- IAL. Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. São Paulo: IAL, 2008. 1020 p.
- JIDEANI, V. A.; MPOTOKWANA, S. M. Modeling of water absorption of Botswana bambara varieties using Peleg's equation. **Journal of Food Engineering**, v. 92, n. 2, p. 182–188, 1 maio 2009.
- KAUR, R.; PRASAD, K. Technological, processing and nutritional aspects of chickpea (*Cicer arietinum*) - A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 109, p. 448–463, 1 mar. 2021.
- KAYA, A.; AYDIN, O.; DINCER, I. Comparison of experimental data with results of some drying models for regularly shaped products. **Heat and Mass Transfer**, v. 46, n. 5, p. 555–562, 2010.
- KHATTAK, A. B.; ZEB, A.; BIBI, N.; KHALIL, S. A.; KHATTAK, M. S. Influence of germination techniques on phytic acid and polyphenols content of chickpea (*Cicer arietinum* L.) sprouts. **Food Chemistry**, v. 104, n. 3, p. 1074–1079, 1 jan. 2007.
- KORESE, J. K.; ACHAGLINKAME, M. A.; CHIKPAH, S. K. Effect of hot air temperature on drying kinetics of palmyra (*Borassus aethiopum* Mart.) seed-sprout fleshy scale slices and quality attributes of its flour. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 6, p. 100249, 1 dez. 2021.
- KOTSIYOU, K.; SACHARIDIS, D.-D.; MATSAKIDOU, A.; BILIADERIS, C. G.; LAZARIDOU, A. Physicochemical and functional aspects of composite wheat-roasted chickpea flours in relation to dough rheology, bread quality and staling phenomena. **Food Hydrocolloids**, v. 124, p. 107322, 1 mar. 2022.
- KRUMREICH, F.; D'AVILA, R. F.; FREDI, S. A.; CHIM, J. F.; CHAVES, F. C. Análises físico-químicas e estabilidade de compostos bioativos presentes em polpa de uvaia em pó obtidos por métodos de secagem e adição de maltodextrina e goma arábica. **Revista Thema**, v. 13, n. 2, p. 4–17, 24 set. 2016.

- LI, H.; XIE, L.; MA, Y.; ZHANG, M.; ZHAO, Y.; ZHAO, X. Effects of drying methods on drying characteristics, physicochemical properties and antioxidant capacity of okra. **LWT**, v. 101, p. 630–638, 1 mar. 2019.
- LISBOA, H. M.; ARAUJO, H.; PAIVA, G.; ORIENTE, S.; PASQUALI, M.; DUARTE, M. E.; MATA, M. E. R. M. C. Determination of characteristic properties of mulatto beans (*Phaseolus vulgaris* L.) during convective drying. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 1, p. 100003, 1 dez. 2019.
- MENDONÇA, A. P.; SILVA, L. M. M.; SOUSA, F. C.; SILVA, J. R.; ROSA, J. C. Modelagem matemática das curvas de secagem de sementes de duas espécies de andiroba. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 27, n. 4, p. 293-303, 2019.
- MENEZES FILHO, A. C. P.; SILVA, M. A.; PEREIRA, A. V.; OLIVEIRA FILHO, J. G.; CASTRO, C. F. S. Parâmetros físico-químicos, tecnológicos, atividade antioxidante, conteúdo de fenólicos totais e carotenóides das farinhas dos frutos do jatobá-do-cerrado (*Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex Hayne). **Multi-Science Journal**, v.2, n. 1, p. 93-100, 2019.
- MOREIRA, R.; CHENLO, F.; TORRES, M. D.; VALLEJO, N. Thermodynamic analysis of experimental sorption isotherms of loquat and quince fruits. **Journal of Food Engineering**, v. 88, n. 4, p. 514-521, 2008.
- MOSCON, E. S.; MARTIN, S.; SPEHAR, C. R.; DEVILLA, I. A.; JUNIOR, F. R. CINÉTICA DE SECAGEM DE GRÃOS DE QUINOA (*Chenopodium quinoa* W.). *Revista Engenharia na Agricultura - REVENG*, v. 25, n. 4, p. 318–325, 2017.
- NAGAI, N. F.; ARGEL, N. S.; ANDRÉS, S. C. Physicochemical characterization and functional properties of flours from North-western Argentina bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. **Cereal Chemistry**, v. 99, n. 4, p. 850–859, 2022.
- NASCIMENTO, A. P. S.; BARROS, S. L.; SANTOS, N. C.; ARAÚJO, A. J. B.; CAVALCANTI, A. S. R. R. M.; DUARTE, M. E. M. Secagem convectiva e influência da temperatura nas propriedades físico-químicas das amêndoas de girassol comercial. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 20, n. 3, p. 227-238, 2018.

- NICKHIL, C.; MOHAPATRA, D.; KAR, A.; GIRI, S. K.; TRIPATHI, M. K.; SHARMA, Y. Gaseous ozone treatment of chickpea grains, part I: Effect on protein, amino acid, fatty acid, mineral content, and microstructure. **Food Chemistry**, v. 345, p. 128850, 30 maio 2021.
- OGUNGBENLE, H. N. Nutritional evaluation and functional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 54, n. 2, p. 153–158, 1 jan. 2003.
- OLAMITI, G.; TAKALANI, T. K.; BESWA, D.; JIDEANI, A. I. O. Effect of malting and fermentation on colour, thermal properties, functional groups and crystallinity level of flours from pearl millet (*Pennisetum glaucum*) and sorghum (*Sorghum bicolor*). **Heliyon**, v. 6, n. 12, p. e05467, 1 dez. 2020.
- PANG, Y.; AHMED, S.; XU, Y.; BETA, T.; ZHU, Z.; SHAO, Y.; BAO, J. Compostos fenólicos ligados e propriedades antioxidantes de grãos inteiros e farelo de arroz branco, vermelho e preto. **Food Chemistry**, v. 240, p. 212–221, 2018.
- PEREZ, L. G.; OLIVEIRA, F. M. N.; ANDRADE, J. S.; MOREIRA FILHO, M. Cinética de secagem da polpa cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) pré desidratada por imersão-impregnação. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 102-106, 2013.
- PHAM, N. D.; KHAN, M. I. H.; KARIM, M. A. A mathematical model for predicting the transport process and quality changes during intermittent microwave convective drying. **Food Chemistry**, v. 325, p. 126932, 30 set. 2020.
- QUEQUETO, W. D.; SIQUEIRA, V. C.; FERRANTI, L. F.; SCHOENINGER, V.; LEITE, R. A. Cinética de secagem dos grãos de feijão cultivar IPR Tangará. **Revista Energia na Agricultura**, v. 32, n. 4, p. 408-415, 2017.
- RAHMAN, M.S.; LABUZA, T.P. Water activity and food preservation. Handbook of Food Preservation. New York, Marcel Dekker, New York, pp. 339-382 (1999).
- RAMASHIA, S. E.; GWATA, E. T.; MEDDOWS-TAYLOR, S.; ANYASI, T. A.; JIDEANI, A. I. O. Some physical and functional properties of finger millet (*Eleusine coracana*) obtained in sub-Saharan Africa. **Food Research International**, Balanced diets in food systems: emerging trends and challenges for human health and wellbeing. v. 104, p. 110–118, 1 fev. 2018.

- REIS, D. R.; SANTOS, P.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G. Influence of air characteristics on drying kinetics of beak pepper. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, n. 2, p. 146-154, 2015.
- RESENDE, O.; FERREIRA, L. U.; ALMEIDA, D. P. Modelagem matemática para descrição da cinética de secagem do feijão adzuki (*Vigna angularis*). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 12, n. 2, p. 171-178, 2010.
- RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C.; CHAVES, T. H.; FERREIRA, J.; BESSA, V. Kinetics and thermodynamic properties of the drying process of sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) grains. **African Journal of Agricultural Research**. v. 9, n. 32, p. 2453-2462, 2014.
- RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C.; COSTA, L. M.; FERREIRA JÚNIOR, W. N. Drying kinetics of baru fruits (*Dipteryx alata* Vogel). **Engenharia Agrícola**, v. 38, n. 1, p. 103-109, 2018.
- Santos, N. C, Silva, W. P., Barros, S. L., Araújo, A. J. B., Gomes, J. P., Almeida, R. L. J., Nascimento, A. P. S., Almeida, R. D., Silva, C. M. P. D. S., Queiroz, A. J. M., & Figueirêdo, R. M. F. (2019). Study on Drying of Black Rice (*Oryza sativa* L.) Grains: Physical-Chemical and Bioactive Quality. *Journal of Agricultural Science*, v.11, n. 9, 203-212, 2019.
- SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v. 4, n. 1, p. 71-78, 2009.
- SILVA, H. W.; RODOVALHO, R. S.; VELASCO, M. F.; SILVA, C. F.; VALE, L. S. R. Kinetics and thermodynamic properties related to the drying of ‘Cabacinha’ pepper fruits. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 2, p. 174-180, 2016.
- SILVA, I. L.; SILVA, H. W. DA; CAMARGO, F. R. T. DE; FARIAS, H. F. L. DE; FREITAS, E. DE F. M. Secagem e difusividade de sementes de melão. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 2, p. 309–315, 2018.
- SILVA, L. P. SANTOS, S. G. F.; QUEIROZ, J. S.; RODOVALHO, R. S.; BUSO, W. H. D. Drying kinetics of soybean grains. **Científica**, v. 48, n. 2, p. 99-106, 2020.

- SHAFAEI, S. M.; MASOUMI, A. A.; ROSHAN, H. Analysis of water absorption of bean and chickpea during soaking using Peleg model. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 15, n. 2, p. 135–144, 2016.
- SUCHOWILSKA, E.; BIENKOWSKA, T.; STUPER-SZABLEWSKA, K.; WIWART, M. Concentrations of Phenolic Acids, Flavonoids and Carotenoids and the Antioxidant Activity of the Grain, Flour and Bran of *Triticum polonicum* as Compared with Three Cultivated Wheat Species. **Agriculture**, v. 10, n. 12, p. 591, dez. 2020.
- SUMMO, C.; DE ANGELIS, D.; RICCIARDI, L.; CAPONIO, F.; LOTTI, C.; PAVAN, S.; PASQUALONE, A. Nutritional, physico-chemical and functional characterization of a global chickpea collection. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 84, p. 103306, 1 dez. 2019.
- THANUJA, B.; PARIMALAVALLI, R. Characterization of black rice flour modified by enzymatic and heat moisture treatment. **Materials Today: Proceedings**, International Conference on Emerging Trends in Material Science and Technology-2022. v. 62, p. 5209–5212, 1 jan. 2022.
- VALDELVIRA, R.; GARCIA-MEDINA, G.; CRESPO, J. F.; CABANILLAS, B. Novel alimentary pasta made of chickpeas has an important allergenic content that is altered by boiling in a different manner than chickpea seeds. **Food Chemistry**, v. 395, p. 133586, 30 nov. 2022.
- WANG, H.; LIU, Z.-L.; VIDYARTHI, S. K.; WANG, Q.-H.; GAO, L.; LI, B.-R.; WEI, Q.; LIU, Y.-H.; XIAO, H.-W. Effects of different drying methods on drying kinetics, physicochemical properties, microstructure, and energy consumption of potato (*Solanum tuberosum* L.) cubes. **Drying Technology**, v. 39, n. 3, p. 418–431, 1 fev. 2021.
- WATERHOUSE, A. Folin-ciocalteau micro method for total phenol in wine. *American Journal of Enology and Viticulture*, p. 3-5, 2006.
- WOJDYŁO, A.; FIGIEL, A.; LEGUA, P.; LECH, K.; CARBONELL-BARRACHINA, Á. A.; HERNÁNDEZ, F. Chemical composition, antioxidant capacity, and sensory quality of dried jujube fruits as affected by cultivar and drying method. **Food Chemistry**, v. 207, p. 170–179, 15 set. 2016

## ARTIGO III

### DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FARINHAS MISTAS FORMULADAS COM BANANA VERDE E GRÃO-DE-BICO

#### Resumo

Farinhas provenientes de frutas e grãos, têm sido amplamente utilizadas na indústria alimentícia em virtude dos seus benefícios à saúde. Como exemplo, a banana verde e o grão-de-bico apresenta-se como uma excelente matéria-prima para esse tipo de processamento, por apresenta-se em grande disponibilidade com excelentes propriedades nutricionais. Logo, objetivou-se neste trabalho, desenvolver farinhas mistas compostos por farinha de banana verde e grão-de-bico em diferentes formulações e caracteriza-las quanto aos parâmetros físicos, químicos, físico-químicos e compostos bioativos. Para a obtenção das farinhas, a banana verde foi seca na temperatura de 80 °C e o grão-de-bico a 65 °C até atingir o teor de água de equilíbrio, em estufa de circulação forçada de ar. Depois de secos, os materiais foram moídos em moinho de disco e as farinhas peneiradas em peneira de aço inoxidável com malha nº 32. As farinhas mistas foram preparadas em três formulações com proporções diferentes das farinhas (F1, F2 e F3). Em seguida, as farinhas foram caracterizadas quanto aos parâmetros de teor de água, atividade de água, pH, acidez, cinzas, proteínas, lipídios, taninos, compostos fenólicos, antocianinas, flavonoides, densidade aparente e compactada, índice de Carr, fator de Hausner, solubilidade, índice de absorção de água e óleo e molhabilidade. As diferentes proporções de farinha de banana verde e de grão-de-bico nas formulações das farinhas mistas, influenciaram diretamente nos parâmetros analisados. A farinha que apresentou em sua formulação a maior quantidade da farinha de grão-de-bico (F1), destacou-se em relação aos teores de proteínas, lipídeos, taninos, compostos fenólicos, antocianinas e solubilidade. Já a com maior quantidade de farinha de banana verde (F3) apresentou-se com os menores teores de água e maior acidez e molhabilidade. Verificando-se que as propriedades determinadas conferiram as farinhas mistas um grande potencial como matéria-prima na indústria de alimentos.

**Palavras-chave:** *Musa spp.*, *Cicer arietinum* L., farinhas funcionais, compostos bioativos, propriedades físicas.

#### Abstract

Flours from fruits and grains have been widely used in the food industry because of their health benefits. As an example, green bananas and chickpeas are excellent raw materials for this type of processing, as they are widely available with excellent nutritional properties. Therefore, the objective of this work was to develop mixed flours composed of green banana and chickpea flour in different formulations and characterize them in terms of physical,

chemical, physical-chemical parameters and bioactive compounds. To obtain the flours, the green banana was dried at a temperature of 80 °C and the chickpeas at 65 °C until reaching equilibrium water content, in an oven with forced air circulation. After drying, the materials were ground in a disk mill and the flours sieved in a stainless steel sieve with mesh n° 32. The mixed flours were prepared in three formulations with different proportions of the flours (F1, F2 and F3). Then, the flours were characterized regarding the parameters of water content, water activity, pH, acidity, ash, proteins, lipids, tannins, phenolic compounds, anthocyanins, flavonoids, apparent and compacted density, Carr index, Hausner factor, solubility, water and oil absorption rate and wettability. The different proportions of green banana and chickpea flour in the mixed flour formulations directly influenced the analyzed parameters. The flour that presented the largest amount of chickpea flour (F1) in its formulation, stood out in relation to the contents of proteins, lipids, tannins, phenolic compounds, anthocyanins and solubility. The one with the highest amount of green banana flour (F3) presented the lowest water contents and the highest acidity and wettability. It was verified that the determined properties gave the mixed flours a great potential as a raw material in the food industry.

**Keywords:** *Musa spp.*, *Cicer arietinum* L., functional flours, bioactive compounds, physical properties.

## 1. Introdução

De acordo com a legislação brasileira, farinha é um produto obtido a partir de vegetais através de processos tecnológicos considerados seguros para a produção de alimentos (Brasil, 2003). A farinha mais especificadamente a de trigo, é amplamente utilizado para nutrição humana, uma vez que são uma importante fonte de macronutrientes (carboidratos e proteínas), micronutrientes (vitaminas e minerais), fibras alimentares e antioxidantes (CAPPELLI et al., 2018). No entanto, recentemente, tem sido observado um aumento significativo no interesse do consumidor por produtos de panificação que são capazes de oferecer benefícios à saúde por meio de compostos bioativos e outros nutrientes (KLEEF et al., 2018).

A mistura de farinhas de matrizes vegetais são produtos orgânicos desenvolvidos como fontes de nutrientes e energia, podem contribuir para o enriquecimento nutricional e desempenhar uma função importante na digestão, como as fibras. As fibras são carboidratos que podem apresentar propriedades funcionais, como atuar como substratos para a microbiota intestinal (FERRONATTO; ROSSI; CAPPELLARI, 2020). Além disso, são

alimentos ricos em proteínas, amido e bioativos que beneficiam a saúde e possibilitam a disponibilização de novos produtos no mercado (MELO et al., 2021). Assim, ingredientes como as farinhas de banana verde e de grão-de-bico podem ser utilizadas como fontes de nutrientes e energia e, conseqüentemente como base para a produção de farinhas mistas, além de reduzir a geração de resíduos, uma vez que as bananas e o grão-de-bico processados são integralmente utilizados.

A banana é uma fruta típica do climatério, com pico respiratório durante o amadurecimento pós-colheita, o que leva ao amolecimento e apodrecimento dos frutos limitando sua vida de prateleira. Novas estratégias econômicas são agora consideradas para o uso da banana, como a produção de farinha quando o fruto ainda não está maduro. Estudos têm sugerido que o consumo de bananas verdes confere efeito benéfico à saúde humana, Bezerra et al. (2013) concluiu que a farinha de banana verde é uma excelente fonte de amido, principalmente amido resistente, podendo ser utilizada como alimento funcional, contribuindo para o desenvolvimento de produtos para aumentar a fração não digerível. Sendo aplicadas como matéria-prima para diferentes formulações, como na forma de farinha rica em antioxidantes para o enriquecimento de alimentos (MARTINS et al., 2019); na formulação de hambúrgueres de frango enriquecido com biomassa (SANTOS et al. 2021); utilização na formulação de bolos (SOUZA et al., 2018); e na forma de estabilizantes para iogurte (HUSSEIN et al., 2020).

Dentre as leguminosas o grão-de-bico destaca-se por desempenhar um importante papel nutricional devido aos altos níveis de proteínas, lipídeos, fibras e compostos bioativos com teores semelhantes ou superior a outras leguminosas (SANTOS et al., 2021). A incorporação de farinhas de leguminosas em produtos alimentícios atende às demandas dos consumidores por alimentos funcionais, pois as leguminosas possuem propriedades nutracêuticas para prevenção da resistência à insulina e glicemia (TUFAN et al., 2020). Estudos realizados verificaram que a farinha do grão-de-bico são capazes de formar gel, que podem ser utilizados em aplicações de alimentos nutracêuticos e funcionais (GHRIBI et al., 2015). Segundo Fernandes et al. (2022) a farinha de grão-de-bico apresenta composição semelhante à da farinha de outras oleaginosas, com teor proteico próximo a 16%, teor de

carboidrato de 61% e fibra total de 10% e que os índices tecnológicos avaliados demonstraram ótima afinidade com água e leite, e boa capacidade de gelificação.

A Inclusão de novas opções de farinhas com características e propriedades funcionais tem crescido, talvez devido a tomada de consciência por parte da população como também a expansão de veículos que esclarecem os benefícios desses alimentos. Nestas condições, a produção de farinhas mistas formulados a partir da farinha de banana verde e de grão-de-bico, oferecem alto teor nutricional, reduzem a geração de resíduos e possibilitando a aplicação em produtos alimentícios como massas, biscoitos e pães proporcionando novas matérias-primas para a indústria alimentícia. Logo, o presente estudo tem por objetivo desenvolver farinhas mistas compostos por farinhas de banana verde e grão-de-bico em diferentes formulações e caracteriza-las quanto aos parâmetros físicos, químicos, físico-químicos e compostos bioativos.

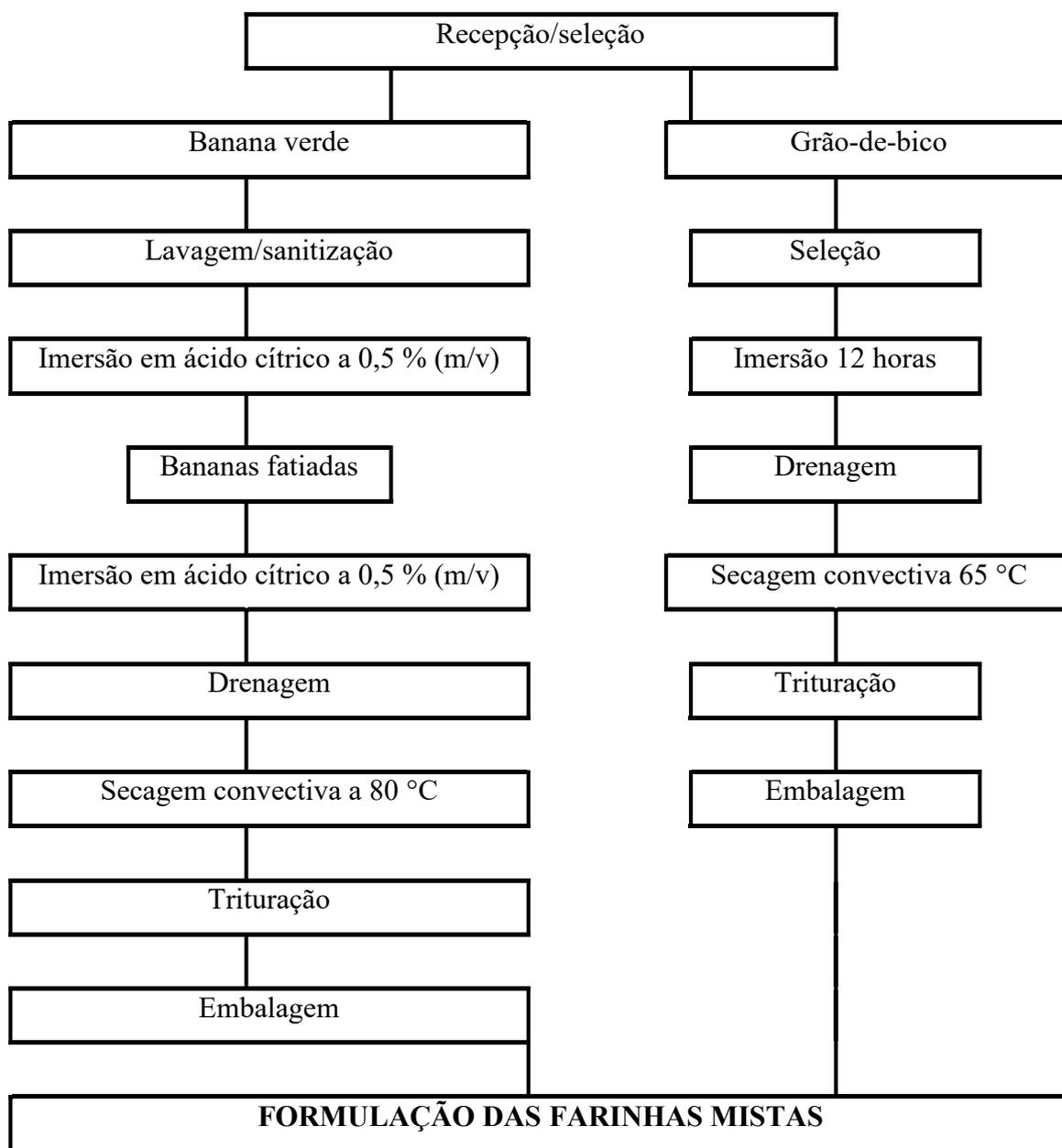
## **2. Material e métodos**

### **3.1 Matérias-primas**

Utilizou-se neste estudo a banana Pacovan (*Musa acuminata* Colla x *Musa balbisiana* Colla) cultivada na Região Nordeste do Brasil, adquiridas em empresa de fornecimento de alimentos na cidade de Campina Grande. Foram utilizados frutos em estágio de maturação verde (índice de cor; 2 = inteiramente verde) de acordo com a escala de cor comercial da casca descrita por (AURORE et al. 2009). E grão-de-bico adquirido no comércio local da cidade de Campina Grande-PB.

### **3.2 Delineamento da pesquisa**

Na Figura 1 apresenta-se o fluxograma para a obtenção das farinhas de banana verde e farinha de grão-de-bico e as farinhas mistas.



**Figura 1** - Fluxograma do processamento para obtenção das farinhas de banana verde e grão-de-bico

### **3.3 Processamento das matérias-primas**

#### **3.3.1 Banana verde**

Inicialmente as bananas foram selecionadas individualmente, de acordo com seu estágio de maturação e integridade física. Em seguida, foram lavados e higienizados em água clorada (50 ppm), por 15 minutos, e por fim foram enxaguados. Após enxague as bananas foram imersas em solução de ácido cítrico a 0,5% (m/v) por 15 minutos e depois drenadas, a fim de reduzir o escurecimento enzimático.

Em seguida, as bananas verdes foram então fatiadas transversalmente com espessura de 4 mm e mergulhadas em solução de ácido cítrico a 0,5% (p/v) por 15 min e depois bem drenadas para remoção do excesso de solução. Em seguida, as amostras fatiadas foram colocadas em bandejas em tela de aço inoxidável e secas na temperatura de 80 °C, até atingir o teor de água de equilíbrio. Depois de secas, as fatias foram moídas em moinho de disco e peneiradas em peneira de aço inoxidável com malha nº 32, para remoção de partículas de maior granulometria e a farinha acondicionada em embalagem laminada até o momento de preparação das formulações.

#### **3.3.2 Grão-de-bico**

Os grãos-de-bico foram selecionadas manualmente, de forma a eliminar os que apresentassem danos físicos e para remoção das impurezas, incluindo sementes quebradas e doentes; em seguida, foram colocados sob imersão em água destilada por 12 horas na proporção 1:5 (m/v), a água foi drenada e o excesso removido. Em seguida, os grãos foram organizados em bandejas de tela de aço inoxidável de maneira que não houvesse sobreposição dos grãos. A secagem ocorreu na temperatura de 65 °C até atingir o teor de água de equilíbrio. Depois de secos, os grãos foram moídos em moinho de disco e as farinhas peneiradas em peneira de aço inoxidável com malha nº 32, para remoção de partículas de maior granulometria e a farinha acondicionada em embalagem laminada até o momento de preparação das formulações.

### 3.4 Formulação das farinhas mistas

Para a formulação das farinhas mistas foram pesadas nas proporções apresentadas na tabela 1 as farinhas da banana verde e do grão-de-bico e homogeneizadas no moinho de disco, em seguida acondicionadas em embalagens laminadas até o momento das análises.

**Tabela 1** - Formulações das farinhas mistas de banana verde (FBV) e farinha de grão-de-bico (FGB)

Material	Proporção
	FBV:FGB
F1	1:3
F2	1:1
F2	3:1

Farinha de banana verde (FBV); farinha de grão-de-bico (FGB).

### 3.5 Caracterização das farinhas mistas

As farinhas mistas obtidas foram caracterizadas, em triplicata, quanto aos parâmetros químicos, físicos, físico-químicos e compostos bioativos.

#### 3.5.1 Teor de água

O teor de água foi determinado pelo método de secagem das amostras em estufa a 105 °C até massa constante descrito no manual do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).

#### 3.5.2 Atividade de água

A atividade de água foi determinada na temperatura de 25 °C, através de leitura direta em higrômetro Aqualab, modelo 3TE, fabricado por Decagon Devices.

### **3.5.3 pH**

O pH foi determinado pelo método potenciométrico, com o medidor de pH da marca Tecnal modelo TEC-2, previamente calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0.

### **3.5.4 Acidez total titulável**

A acidez total titulável foi determinada através do método acidimétrico do manual do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008), usando solução de hidróxido de sódio 0,1 M, com os resultados expressos em percentagem de acidez total.

### **3.5.5 Cinzas**

As cinzas foram determinadas através do método do manual do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008), por calcinação da amostra em mufla a 550 °C.

### **3.5.6 Proteínas**

As proteínas totais foram quantificadas pela determinação do nitrogênio realizado através do método de Kjeldahl, compreendido por três etapas (digestão ácida, destilação e titulação), conforme IAL (2008).

### **3.5.7 Lipídeos**

Os lipídeos foram determinados através do método de determinação de gordura de Bligh e Dyer (1959).

### **3.5.8 Compostos fenólicos totais e Taninos**

Os compostos fenólicos e taninos foram determinados por espectrofotometria, de acordo com o método Folin Ciocalteu (WATERHOUSE, 2006), com leituras realizadas em espectrofotômetro (Agilent Technologies Cary 60 UV-Vis), para os compostos fenólicos foi

realizada na absorvância de 765 nm e para taninos a 725 nm. Os resultados dos compostos fenólicos foram expressos em mg EAG (equivalente de ácido gálico) /100 g (bs) e dos taninos em mg EAT (equivalente de ácido tânico) /100 g (bs).

### 3.5.9 Flavonoides e antocianinas

Os flavonoides e antocianinas totais foram determinados por espectroscopia segundo método descrito por Francis (1982), com leituras realizadas para os flavonoides na absorvância 374 nm e 535 nm para as antocianinas, usando o espectrofotômetro (Agilent Technologies Cary 60 UV-Vis). Os resultados foram expressos em mg/100 g bu.

### 3.5.10 Densidade aparente e densidade compactada

A densidade aparente ( $\rho_{\text{aparente}}$ ) foi determinada utilizando a massa da amostra e o volume correspondente. Aproximadamente 1 g de amostra foi transferido para proveta de 10 mL. A densidade aparente foi calculada como a razão entre a massa e o volume da amostra.

Para a densidade compactada ( $\rho_{\text{compactada}}$ ), a amostra na proveta foi compactada através do batimento da proveta e calculada como a razão entre a massa e o volume das amostras compactadas (JINAPONG et al., 2008).

### 3.5.11 Índice de Carr (fluidez) e relação de Hausner (compactabilidade)

A fluidez e compactabilidade das amostra foi expressa em termos de índice de Carr (IC) (Carr, 1965) e fator de Hausner (FH) (Hausner, 1967), respectivamente. Os parâmetros IC e FH foram determinados a partir da densidade aparente e densidade compactada amostras conforme as equações 1 e 2, respectivamente:

$$IC = \frac{\rho_{\text{compactada}} - \rho_{\text{aparente}}}{\rho_{\text{compactada}}} \times 100 \quad (1)$$

$$FH = \frac{\rho_{\text{aparente}}}{\rho_{\text{compactada}}} \quad (2)$$

### **3.5.12 Índice de solubilidade em água e de absorção de água**

O índice de solubilidade em água (ISA) e o índice de absorção de água (IAA) foram determinados de acordo com a metodologia descrita por Rodríguez-Ambriz et al. (2008) com modificações. Com os parâmetros calculados de acordo com a relação massa de resíduo (massa de farinha solúvel, g) e à quantidade de amostra seca (massa de farinha total, g) utilizada no teste, para o ISA. E a massa do precipitado centrifugado pela massa da amostra da mistura para o IAA.

### **3.5.13 Capacidade de retenção de óleo**

Para determinar a capacidade de retenção de óleo (CRO) foi utilizado o método descrito por Rodríguez-Ambriz et al. (2008). Com os resultados expressos massa de óleo por g de amostra seca.

### **3.5.14 Molhabilidade**

A taxa de molhabilidade foi determinada pela aplicação de Schubert (1993), onde cerca de 1 g da amostra depositada em béquer de 150 mL com 100 mL de água a temperatura ambiente (25 °C). O tempo necessário para o completo desaparecimento do pó da superfície do líquido em repouso foi cronometrado e a taxa de molhabilidade determinada através da Equação 3:

$$\text{Taxa de molhabilidade} = \frac{M}{t} \quad (3)$$

Onde: M – massa da amostra (g); t – tempo (min.).

## **3.6 Análise estatística dos dados**

Os dados experimentais obtidos da caracterização das farinhas mistas foram analisados quanto as possíveis diferenças estatísticas por meio da análise de variância (ANOVA) pelo teste F e a comparação entre médias, pelo teste de Tukey ao nível de 1% de significância, utilizando o software Assistat versão 7.7 beta (SILVA; AZEVEDO, 2016).

### 3. Resultados e discussão

Na Tabela 2 tem-se os valores médios e desvios padrão dos parâmetros químicos, físico-químicos e compostos bioativos das farinhas mistas de banana verde e grão-de-bico. Verificou-se que as diferentes proporções de farinha de banana verde e de grão-de-bico influenciaram nos parâmetros analisados.

**Tabela 2** - Valores médios e desvios padrão dos parâmetros avaliados nas farinhas mistas de banana verde e grão-de-bico

Parâmetro	F1	F2	F3
Teor de água (% b.u.)	3,25 ± 0,03 a	2,89 ± 0,02 b	2,53 ± 0,01 c
Atividade de água	0,08 ± 0,00 a	0,05 ± 0,00 a	0,05 ± 0,00 a
pH	5,36 ± 0,01 a	5,35 ± 0,00 a	5,34 ± 0,02 a
Acidez total titulável (% b.u.)	11,59 ± 0,15 b	11,91 ± 0,05 ab	12,23 ± 0,24 a
Cinzas (% b.u.)	2,68 ± 0,11 a	2,45 ± 0,20 a	2,21 ± 0,30 a
Proteína bruta (% b.u.)	13,14 ± 0,26 a	10,15 ± 0,23 b	7,17 ± 0,20 c
Lipídios (% b.u.)	6,47 ± 0,04 a	5,21 ± 0,02 b	3,96 ± 0,03 c
Taninos (mg/100g b.u.)	707,98 ± 0,32 a	616,74 ± 0,22 b	525,50 ± 0,17 c
Compostos fenólicos totais (mg/100 g b.u.)	556,33 ± 0,35 a	476,78 ± 0,33 b	397,23 ± 0,32 c
Antocianinas (mg/100g b.u.)	2,78 ± 0,00 a	2,38 ± 0,00 b	1,97 ± 0,00 c
Flavonoides (mg/100g b.u.)	9,71 ± 0,00 a	9,70 ± 0,00 a	9,70 ± 0,00 a

Médias seguidas pela mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

Observou-se diferença significativa ( $p < 0,01$ ) entre os teores de água das três formulações das farinhas mistas, com o menor valor ocorrendo no em F3, observou-se que o aumento da concentração da farinha de banana verde promoveu a diminuição do teor de água dos mesmos. Esses baixos teores são considerados um ponto positivo para a estabilidade das farinhas pois, em produtos farináceos teores de umidade inferior a 13% contribuem para inibir o desenvolvimento de microrganismos e reações físico-químicas

e enzimáticas, colaborando dessa forma para a preservação do produto (SHARIF et al. 2017). Valores semelhantes ao do teor de água das farinhas mistas, foram relatados por Bolaji et al. (2021) ao avaliarem a qualidade de farinha mistas de mandioca fermentada (lafun) e farinha de feijão guandu (*Cajanus cajan*) com teores variando de 3,30 a 5,53%.

A atividade de água das farinhas mistas apresentou baixos valores, não diferindo estatisticamente entre si ( $p < 0,01$ ), sendo inferiores a 0,100, correspondente a um indicativo de produtos de baixa perecibilidade. Valores próximos de atividade de água foram encontrados por Castro et al. (2017) nas farinhas de taro obtidas em leite de jorro na temperaturas de 70 °C ( $0,16 \pm 0,01$ ), 80 °C ( $0,15 \pm 0,01$ ) e 90 °C ( $0,100 \pm 0,000$ ). Verificando-se que aumento da concentração da farinha de banana verde reduziu proporcionalmente o parâmetro.

Os valores de pH não apresentaram variação significativa entre si ( $p < 0,01$ ), estando na faixa próxima a neutralidade. De acordo com Vasconcelos et al. (2010) classificando-os como alimentos de baixa acidez ( $pH > 4,5$ ). Kumar et al. (2019) estudaram farinhas de banana verde de diferentes variedades, observaram valores de pH semelhantes variando de 5,00 a 5,78. Já a acidez total titulável apresentou-se em menor valor para a farinha que tem em sua composição apresenta maior quantidade da farinha de grão-de-bico (F1), havendo uma elevação significativa ( $p < 0,01$ ) em F3 que apresenta uma maior proporção da farinha de banana verde. Gomes et al. (2022) afirmam que alta acidez de farinhas é favorável para o aumento da acidez da massa, durante o processamento, impactando diretamente na hidratação e no intumescimento do glúten. Portanto quanto maior a acidez da farinha maior a intensidade da fermentação (FERREIRA; LIMA; FEIJÓ, 2018).

No teor de cinzas não houve diferença significativa ( $p < 0,01$ ) entre as formulações, logo a união das farinhas não influenciaram no teor de minerais presentes nas mesmas. Valores inferiores foram verificado por Ferreira et al. (2020) na composição de farinhas mistas obtidas a 80 °C em secagem convectivas, para a formulação de pães, observando valores de 1,93; 1,70 e 1,89% para as farinhas de semente de abóbora, talos de brócolis e casca de batata doce respectivamente.

A formulação F1 destacou-se estatisticamente ( $p < 0,01$ ) em relação as demais farinhas quanto ao teor de proteínas, verificando-se menor teor para a F3, formulada em

maior quantidade com a farinha de banana verde. Segundo Silva, Neves e Lourenço (2004) a concentração de proteínas do grão-de-bico é variável podendo chegar a 24% em diferentes cultivares, pois em sua composição estão presentes as globulinas, albuminas, gluteínas e prolaminas, cujas porcentagens são respectivamente 41,79, 16,18, 9,99 e 0,48%. Fernandes et al. (2022) verificaram para a farinha do grão-de-bico secos naturalmente, teores de proteínas de 15,74 g/ 100 g b.s. Já Moreira et al., (2020) obtiveram para a farinha de polpa de banana verde 2,28% b.s de proteínas. Corroborando com os dados em estudo.

Assim como as proteínas F1 destacou-se estatisticamente ( $p < 0,01$ ) em relação aos teores de lipídeos das demais farinhas mistas, o acréscimo do teor de farinha de banana verde reduziu o teor proporcionalmente. Ferreira, Lima e Feijó (2018) verificaram para a farinha da banana verde integral obtido por secagem convectiva a 40 °C valores de 1,50 g/ 100 g de lipídeos. E Summo et al. (2019) ao avaliar 57 acessos de grão-de-bico, descreveram teor lipídico variando de 2,56 a 5,10 g/100 g.

O teor de taninos foi superior em F1, observando-se que com o maior acréscimo da farinha de banana verde houve a redução estatística ( $p < 0,01$ ) dos teores. O grão-de-bico apresenta em sua composição compostos antinutricionais como os taninos, que são solúveis em água (PATTERSON et al., 2017). Nesse caso, verificou-se que mesmo após o processo de imersão dos grãos antes da secagem, o mesmo ainda permaneceu com uma quantidade considerável do composto. Oliveira et al. (2021) ao estudarem a farinha da casca da banana (*Musa spp.*) branqueada por secagem convectiva, observaram valores inferiores de 112,9 mg/100g.

Os teores de compostos fenólicos totais foram superiores ( $p < 0,01$ ) em F1, seguido de F2, apresentando menor valor na formulação que apresenta maior proporção da farinha de banana verde (F3). Valores superiores ao do presente estudo foi relatado por Ferreira, Lima e Feijó (2018) para a farinha da banana verde integral de 778,81 mg de EAG/100 g. E inferior por Hussein et al. (2020) para a farinha de grão-de-bico seca a 80 °C verificando-se um teor de 344,0 mg/100g.

As antocianinas reduziram com o acréscimo da farinha de banana verde, destacando-se estatisticamente ( $p < 0,01$ ) em F1 com maiores medias, seguido de F2. Valores superiores ao do presente estudo foi verificado por Summo et al. (2019) para o grão-de-bico de três

cores, preto (7,78 mg/100 g), marrom (4,03 mg/100g) e bege (2,96 mg/100 g). Já os teores de flavonoides foram estatisticamente iguais ( $p < 0,01$ ) em todas as formulações. Verificando-se que não houve a influência da junção das farinhas em relação ao parâmetro. Ferreira et al. (2020) ao estudarem a composição de farinhas mistas obtidas a 80 °C verificou individualmente para as farinhas de semente de abóbora, talos de brócolis e casca de batata doce valores de antocianinas de 13,57; 12,04 e 9,94 mg/100 g e flavonoides de 18,59; 128,19 e 41,08 mg/100 g respectivamente.

Apresenta-se na Tabela 3 os valores médios e desvios padrão dos parâmetros físicos avaliados nas farinhas mistas de grão-de-bico e banana verde em diferentes formulações.

**Tabela 3** - Valores médios e desvios padrão dos parâmetros físicos avaliados nas farinhas mistas de grão-de-bico e banana verde

Parâmetros	F1	F2	F3
Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0,45 ± 0,01 a	0,44 ± 0,02 a	0,44 ± 0,01 a
Densidade compactada (g/cm <sup>3</sup> )	0,74 ± 0,01 a	0,72 ± 0,02 a	0,71 ± 0,02 a
Índice de Carr (%)	63,96 ± 2,69 a	60,46 ± 3,00 a	60,44 ± 1,48 a
Fator de Hausner	1,64 ± 0,03 a	1,60 ± 0,03 b	1,60 ± 0,01 b
Solubilidade (%)	17,55 ± 0,01 a	13,51 ± 0,00 b	10,95 ± 0,00 c
Índice de absorção de água (g de água/g de amostra)	2,89 ± 0,18 a	2,96 ± 0,03 a	3,12 ± 0,18 a
Índice de absorção de óleo (g de óleo/g de amostra)	1,28 ± 0,07 a	1,33 ± 0,05 a	1,29 ± 0,18 a
Molhabilidade (g/min)	0,18 ± 0,01 c	0,25 ± 0,07 b	0,49 ± 0,04 a

Médias seguidas pela mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

Observou-se que não houve diferença estatística ( $p < 0,01$ ) entre as formulações em relação a densidade aparente, isso posso ser atribuído ao processamento das farinhas antes da formulação da farinha mista, onde as mesmas tiveram o tamanho das partículas padronizadas na passagem dos grãos em peneira. A densidade aparente se relaciona diretamente com a porosidade do material, afetando o design da embalagem e auxiliando na

determinação do tipo de material a ser utilizado (IWE; ONYEUKWU; AGIRIGA, 2016). A densidade compactada apresentou comportamento semelhante a aparente, não havendo diferença ( $p < 0,01$ ) nos valores médios das farinhas formuladas. Abioye et al. (2020) trabalhando com farinhas compostas de trigo e farinha de milho germinadas, observaram valores de densidade compactada variando de 0,61 a 0,62 g/cm<sup>3</sup> e densidade aparente 0,005 a 0,013 g/cm<sup>3</sup>.

O índice de compressibilidade ou Índice de Carr (IC), apresentaram comportamento semelhante, sem demonstrar diferenças consistentes ( $p < 0,01$ ) entre as formulações. De acordo com Santhalakshmy et al. (2015), farinhas com valores de IC entre 15-20% têm boa fluidez, entre 20-35% pobre fluidez, entre 35-45% fluidez ruim e IC > 45%, fluidez muito ruim, de forma que, as farinhas mistas estudadas apresentam, por esse critério, fluidez muito ruim. Já o Fator de Hausner (FH) variou entre 1,64 e 1,60, com maior valor estatístico para F1. Para o fator de coesividade, conforme Santhalakshmy et al. (2015), farinhas que apresentam fatores inferiores a 1,2 são classificadas como de baixa coesividade, FH entre 1,2 a 1,4 são de coesividade intermediária e FH > 1,4 são considerados de alta coesividade. Assim as farinhas mistas estudadas podem ser classificadas com alta coesividade. Olowoye e Gbadamos (2020) obtiveram em farinhas de sementes de *Amaranthus viridis* fator de Hausner de 1,26 e índice de Carr de 26,41%, classificando-se a farinha como de coesividade intermediária e de pobre fluidez.

A solubilidade das farinhas mistas apresentou aumento significativo na formulação com maior quantidade da farinha de grão-de-bico (F1) e redução com a adição de mesma proporção da farinha de banana verde (F2) e em maior valor (F3). Segundo Ikegwu et al. (2009), a solubilidade é indicativa da capacidade de penetração da água nos grânulos de amido das farinhas. O índice de solubilidade também fornece evidências das interações entre as moléculas de água e as cadeias de amido na região cristalina e amorfa. Fatores capazes de influenciar a solubilidade das farinhas incluem a composição da farinha, tamanho da partícula, densidade e pH (ASAAM et al., 2018).

A capacidade de absorção de água das farinhas mistas mostrou-se estatisticamente iguais ( $p < 0,01$ ). Assim como na absorção de óleo, verificando-se que não houve influência das proporções das farinhas. Segundo Bello, Akpan e Sodipo (2020) a alta capacidade de

absorção de água de farinhas pode ser atribuído ao baixo teor de proteína e alto conteúdo de carboidratos, onde a capacidade de absorção de água é uma expressão da quantidade de água disponível para o processo de gelatinização (AKINTADE; AWOLU; IFESAN, 2019). Ferreira, Lima e Feijó (2018) ao avaliarem as propriedades tecnológicas da farinha da banana verde integral obtido a 40 °C, verificaram valores para a solubilidade em água de 8,99%, índice de absorção de água de 15,8 g/100 g e o índice de absorção de óleo de 414,90 g/100 g.

Quanto a molhabilidade as farinhas apresentaram diferenças estatísticas ( $p < 0,01$ ) com destaque para F3, seguido de F2 e F1 com menor valor. Sabe-se que o princípio da molhabilidade é que o produto (sólido) ao ser mergulhado na água gaste menor tempo possível para ser totalmente molhado. Assim, a molhabilidade pode ser influenciada diretamente pela a composição química do material. Ribeiro e Maradini Filho (2020) estudando a farinha integral de quinoa BRS piabiru, observaram que a farinha estava totalmente molhada com 1,8 minutos. Elkhalfa e Bernhardt (2018) verificaram tempo de molhabilidade em farinha de sorgo controle e germinada, de 1,42 e 1,19 minutos, respectivamente.

#### **4. Conclusões**

Verifica-se que as diferentes proporções de farinha de banana verde e de grão-de-bico para a formulação das farinhas mistas influenciam nos parâmetros analisados.

A farinha que apresenta em sua formulação a maior quantidade da farinha de grão-de-bico (F1), destaca-se em relação aos teores de proteínas, lipídeos, taninos, compostos fenólicos, antocianinas e solubilidade.

Já a que apresenta em sua formulação maior quantidade de farinha de banana verde (F3) apresenta-se com os menores teores de água e maior acidez total titulável e molhabilidade.

A junção das farinhas não causa alterações na atividade de água, pH, teor de cinzas, flavonoides, densidade aparente e compactada e capacidade de absorção de água e óleo,

mantendo estatisticamente iguais em todas as formulações. As farinhas mistas estudadas apresentam fluidez muito ruim e com alta coesividade em todas as formulações.

As propriedades verificadas conferem as farinhas mistas um grande potencial na indústria de alimentos podendo desta forma, serem utilizadas na fabricação de pães, biscoitos, alimentos infantis, na substituição parcial da farinha de trigo, produtos dietéticos ou até mesmo adicionada em pratos prontos ou enriquecendo alimentos farináceos. Seu baixo custo e a alta disponibilidade das matérias-primas confere um mercado favorável aos produtores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AURORE, G.; PARFAIT, B.; FAHRASMANE, L. Bananas, raw materials for making processed food products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 20, p. 78–91, 1 fev. 2009.
- ABIOYE, V. F.; OGUNLAKIN, G. O.; TAIWO, G. Effect of germination on anti-oxidant activity, total phenols, flavonoids and anti-nutritional content of finger millet flour. **Journal of Food Processing & Technology**, v. 9, n. 2, p. 1-4, 2020.
- AKINTADE, A. O.; AWOLU, O. O.; IFESAN, B. O. Nutritional evaluation of fermented, germinated and roasted pumpkin (*Cucurbita maxima*) seed flour. **Acta Universitatis Cibiniensis Series E: Food Technology**, v. 23, n. 2, p. 179-186, 2019.
- ASAAM, E. S.; ADUBOFUOR, J.; AMOAH, I.; APEKU, O. J. D. Functional and pasting properties of yellow maize–soya bean–pumpkin composite flours and acceptability study on their breakfast cereals. **Cogent Food & Agriculture**, v. 4, p. 1-15, 2018.
- BELLO, F. A.; AKPAN, M. E.; SODIPO, M. A. Physicochemical and sensory properties of cookies produced from wheat, unripe plantain and germinated fluted pumpkin seed composite flour. **Food Science and Quality Management**, v. 96, p. 36- 43, 2020.
- BEZERRA, C. V.; AMANTE, E. R.; OLIVEIRA, D. C. DE; RODRIGUES, A. M. C.; SILVA, L. H. M. DA. Green banana (*Musa cavendishii*) flour obtained in spouted bed – Effect of drying on physico-chemical, functional and morphological characteristics of the starch. **Industrial Crops and Products**, v. 41, p. 241–249, 1 jan. 2013.
- BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal Biochemistry Physiology**, v. 37, n. 8, p. 911-917, 1959.
- BOLAJI, O. T.; KAMORU, M. A.; ADEYEYE, S. A. O. Quality evaluation and physico-chemical properties of blends of fermented cassava flour (lafun) and pigeon pea flour. **Scientific African**, v. 12, p. e00833, 1 jul. 2021.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. Resolução RDC nº 263. Diário Oficial da União; Poder Executivo, 2005. 6 p.

- CARR, H.E. Evaluating flow properties of solids. *Chemical Engineering*, v. 74, n. 2, p. 163-168, 1965.
- CAPPELLI, A.; CINI, E.; GUERRINI, L.; MASELLA, P.; ANGELONI, G.; PARENTI, A. Predictive models of the rheological properties and optimal water content in doughs: An application to ancient grain flours with different degrees of refining. **Journal of Cereal Science**, v. 83, p. 229–235, 1 set. 2018.
- CASTRO, D. S. DE; OLIVEIRA, T. K. B. DE; LEMOS, D. M.; ROCHA, A. P. T.; ALMEIDA, R. D. Efeito da temperatura sobre a composição físico-química e compostos bioativos de farinha de taro obtida em leite de jorro. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, n. 0, 2017.
- ELKHALIFA, A. E. O.; BERNHARDT, R. Combination effect of germination and fermentation on functional properties of sorghum flour. **Current Journal of Applied Science and Technology**, v. 30, n. 1, p. 1-12, 2018.
- FERNANDES, T. C. R.; CAMARGOS, L. F. DE; CAMILO, P. A.; JESUS, F. G. DE; SIQUEIRA, A. P. S. Caracterização tecnológica da farinha de grão-de-bico variedade BRS cristalino. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 25, 2022.
- FERREIRA, C. S.; LIMA, E. C. DE; FEIJÓ, M. B. DA S. Aproveitamento integral e não convencional da banana verde inativada em forno micro-ondas para elaboração de farinha. *Brazilian Journal of Food Research*, v. 9, n. 4, p. 164–179, 2018.
- FERREIRA, C. M.; LIMA, S. B. DE; ZAMBELLI, R. A.; AFONSO, M. R. A. Efeito da farinha mista de subprodutos vegetais em pães tipo forma / Effect of mixed flour from vegetable by-products on breads. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 2, p. 8710–8724, 2020.
- FERRONATTO, A. N.; ROSSI, R.; CAPPELLARI, F. Amido resistente: alternativa de alimento funcional para a homeostase da glicose, redução do perfil lipídico e modulação da microbiota intestinal. *Saúde e Desenvolvimento Humano*, v. 8, n. 2, p. 109–120, 2020.
- FRANCIS, F. J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. *Anthocyanins as food color s*. New York: Academic Press, 1982. p.181207.

- GHRIBI, A. M.; GAFSI, I. M.; BLECKER, C.; DANTHINE, S.; ATTIA, H.; BESBES, S. Effect of drying methods on physico-chemical and functional properties of chickpea protein concentrates. **Journal of Food Engineering**, v. 165, p. 179–188, 2015.
- GOMES, Daiane de Souza et al. Development of muffins with green pea flour and their physical and sensory evaluation and essential amino acid content. *Ciência Rural*, v. 52, n. 7, 2022.
- HAUSNER, H.H. Friction conditions in a mass of metal powder. *Powder Metall*, v. 13, p. 7- 13, 1967.
- HUSSEIN, H.; AWAD, S.; EL-SAYED, I.; IBRAHIM, A. Impact of chickpea as prebiotic, antioxidant and thickener agent of stirred bio-yoghurt. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 65, n. 1, p. 49–58, 1 jun. 2020.
- IAL. Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. São Paulo: IAL, 2008. 1020 p.
- IKEGWU, O. J.; OKECHUKWU, P. E.; EKUMANKAMA, E. O.; EGBEDIKE, C. N. Functional Properties of Chemically Modified amylose and amylopectin fractions isolated from achi starch (*Brachystegia eurycoma*). **Nigeria Food Journal**, n. 72, v. 2, p. 50-54, 2009.
- IWE, M. O.; ONYEUKWU, U.; AGIRIGA, A. N. Proximate, functional & pasting properties of FARO 44 rice, African yam bean and brown cowpea seeds composite flour. **Cogent Food & Agriculture** v. 2, n. 1, p. 1-10, 2016.
- JINAPONG, N.; SUPHANTHARIKA, M.; JAMNONG, P. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*, v. 84, n. 2, p. 194–205, 2008.
- KHOOZANI, A. A.; BEKHIT, A. E.-D. A.; BIRCH, J. Effects of different drying conditions on the starch content, thermal properties and some of the physicochemical parameters of whole green banana flour. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 130, p. 938–946, 1 jun. 2019.
- KLEEF, E. VAN; SEIJDELL, K.; VINGERHOEDS, M. H.; WIJK, R. A. DE; TRIJP, H. C. M. VAN. The effect of a default-based nudge on the choice of whole wheat bread. **Appetite**, v. 121, p. 179–185, 1 fev. 2018.

- MARTINS, A. N. A.; PASQUALI, M. A. DE B.; SCHNORR, C. E.; MARTINS, J. J. A.; ARAÚJO, G. T. DE; ROCHA, A. P. T. Development and characterization of blends formulated with banana peel and banana pulp for the production of blends powders rich in antioxidant properties. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, n. 12, p. 5289–5297, 1 dez. 2019.
- MELO, A. M. DE; ALMEIDA, F. L. C.; CAVALCANTE, A. M. DE M.; IKEDA, M.; BARBI, R. C. T.; COSTA, B. P.; RIBANI, R. H. Garcinia brasiliensis fruits and its by-products: Antioxidant activity, health effects and future food industry trends – A bibliometric review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 112, p. 325–335, 1 jun. 2021.
- MOREIRA, C. A.; MONTEIRO, P. S.; SANTOS, P. H. S. DOS; GOIS, L. C.; DORES, M. T. DAS. Efeito da associação de farinha de polpa de banana verde e inulina na multiplicação de *Streptococcus thermophilus* em leite fermentado. *Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes*, v. 75, n. 2, p. 94–104, 2020.
- NEVES, V. A.; SILVA, M. A. DA; LOURENÇO, E. J. Caracterização e hidrólise in vitro da globulina principal de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.), var. IAC-Marrocos. *Food Science and Technology*, v. 24, p. 139–145, 2004.
- OLIVEIRA, N. C. S.; LACERDA DE OLIVEIRA, L. DE; RODRIGUES DE ALENCAR, E.; MOREIRA, G. P.; SANTOS LEANDRO, E. DOS; GINANI, V. C.; ZANDONADI, R. P. Textural, physical and sensory impacts of the use of green banana puree to replace fat in reduced sugar pound cakes. **LWT**, v. 89, p. 617–623, 1 mar. 2018.
- OLIVEIRA, F. B. DE; SANTIAGO, Â. M.; MARSIGLIA, W. I. M. DE L.; BARBOSA, A. G. A.; SILVA, M. C. DOS S.; GOUVEIA, A. G. M.; NASCIMENTO, M. G. DA S.; SILVESTRE, M. DE L.; GALDINO, P. O.; MOTA, M. M. DE A. Produção e caracterização da farinha da casca da banana. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, p. e0910817017–e0910817017, 3 jul. 2021.
- PATTERSON C. A.; CURRAN, J.; DER, T. Effect of processing on antinutrient compounds in pulses. **Cereal Chemistry**, v. 94, n. 1, p. 2-10, 2017.

- RIBEIRO, L. R.; MARADINI FILHO, A. M. Caracterização física e funcional da farinha integral de quinoa BRS piabiru. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 11, p. 93282-93291, 2020.
- RODRÍGUEZ-AMBRIZ, S. L.; ISLAS-HERNÁNDEZ, J. J.; AGAMA-ACEVEDO, E.; TOVAR, J.; BELLO-PÉREZ, L. A. Characterization of a fibre-rich powder prepared by liquefaction of unripe banana flour. *Food Chemistry*, v. 107, n. 4, p. 1515–1521, 2008.
- SANTHALAKSHMY, S.; DON BOSCO, S. J.; FRANCIS, S.; SABEENA, M. Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. **Powder Technology**, v. 274, p. 37–43, 2015.
- SANTOS, F. G.; FRATELLI, C.; MUNIZ, D. G.; CAPRILES, V. D. The impact of dough hydration level on gluten-free bread quality: A case study with chickpea flour. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 26, p. 100434, 1 dez. 2021a.
- SANTOS, K. L.; ALVES, C. A. N.; MOISÉS DE SOUSA, F.; SOUZA GUSMÃO, T. A.; ALVES FILHO, E. G.; BARROS DE VASCONCELOS, L. Chemometrics applied to physical, physicochemical and sensorial attributes of chicken hamburgers blended with green banana and passion fruit epicarp biomasses. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 24, p. 100337, 1 jul. 2021b.
- SCHUBERT, H. Food particle technology. Part I: properties of particles and particles food systems. *Journal of Food Engineering*, v. 6, n. 1, p. 1-30, 1993.
- SHARIF, Z. I. M.; MUSTAPHA, F. A.; JAI, J.; YUSOF, N. M.; ZAKI, N. A. M. Review on methods for preservation and natural preservatives for extending the food longevity. **Chemical Engineering Research Bulletin**, p. 145–153, 10 set. 2017.
- SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v. 4, n. 1, p. 71-78, 2009.
- SUMMO, C.; DE ANGELIS, D.; RICCIARDI, L.; CAPONIO, F.; LOTTI, C.; PAVAN, S.; PASQUALONE, A. Nutritional, physico-chemical and functional characterization of

- a global chickpea collection. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 84, p. 103306, 1 dez. 2019.
- TUFAN, B.; SAHIN, S.; SUMNU, G. Utilization of legume flours in wafer sheets. **Legume Science**, v. 2, n. 1, p. e12, 2020.
- VASCONCELOS, M. A. S.; MELO FILHO, A. B. Conservação de alimentos. Recife: EDUFRPE, 2010. 130 p.
- WATERHOUSE, A. Folin-ciocalteau micro method for total phenol in wine. *American Journal of Enology and Viticulture*, p. 3-5, 2006.
- WILDMAN, R. E. C. Nutraceuticals: a brief review of historical and teleological aspects. *Handbook of Nutraceuticals and Functional Foods*, p. 1;12, 2001.

#### 4 CONCLUSÕES GERAIS

Os dados da cinética de secagem da banana verde e do grão-de-bico se ajustam bem aos nove modelos matemáticos aplicados, com os melhores resultados obtidos para o modelo de Page Modificado na secagem da banana verde, pelos dois métodos de secador convectivo e *Air fryer*. E o modelo de Midilli, para a secagem do grão-de-bico por secagem convectiva. A difusividade efetiva dos processos de secagem de ambos os matérias está na ordem de  $10^{-11}$ , ocorrendo o acréscimo do paramento com o aumento da temperatura de desidratação, assim como, na taxa de transporte de água durante a secagem, de acordo com o número de Biot e no coeficiente de transferência de massa. Quanto as propriedades termodinâmicas, o aumento da temperatura do ar de secagem promove a diminuição da entalpia e da entropia e o aumento da energia livre de Gibbs em todos as situações estudadas.

As temperaturas de secagem influenciaram diretamente nos parâmetros analisados em todas as farinhas obtidas. As diferentes proporções de farinha de banana verde e de grão-de-bico para a formulação das farinhas mistas influenciam na composição das mesmas.

A farinha que apresenta em sua formulação a maior quantidade da farinha de grão-de-bico (F1), destaca-se em relação aos teores de proteínas, lipídeos, taninos, compostos fenólicos, antocianinas e solubilidade. Já a que apresenta em sua formulação maior quantidade de farinha de banana verde (F3) apresenta-se com os menores teores de água e maior acidez total titulável e molhabilidade.

A junção das farinhas não alterou a atividade de água, pH, teor de cinzas, flavonoides, densidade aparente e compactada e capacidade de absorção de água e óleo, mantendo estatisticamente iguais em todas as formulações. As farinhas mistas estudadas apresentam fluidez muito ruim e com alta coesividade em todas as formulações.

As propriedades verificadas conferem as farinhas mistas um grande potencial na indústria de alimentos podendo desta forma, serem utilizadas na fabricação de pães, biscoitos, alimentos infantis, na substituição parcial da farinha de trigo, produtos dietéticos ou até mesmo adicionada em pratos prontos ou enriquecendo alimentos farináceos. Seu baixo custo e a alta disponibilidade das matérias-primas confere um mercado favorável aos produtores.