

**UFRRJ**

**INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA  
E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

**DISSERTAÇÃO**

**Produção e caracterização físico-química de flocos por  
extrusão à base de arroz e farinha integral de banana**

**Ronel Joel Bazán Colque**

**2020**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
DE ALIMENTOS**

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE FLOCOS  
POR EXTRUSÃO À BASE DE ARROZ E FARINHA INTEGRAL DE  
BANANA**

**RONEL JOEL BAZÁN COLQUE**

*Sob a Orientação do Professor D.Sc.*  
**José Luís Ramírez Ascheri**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Área de Concentração em Tecnologia de Alimentos.

**Seropédica, RJ  
Março de 2020**

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

B128p Bazán Colque, Ronel Joel, 1990-  
Produção e caracterização físico-química de flocos por  
extrusão à base de arroz e farinha integral de banana  
/ Ronel Joel Bazán Colque. - Seropédica, 2020.  
90 f.: il.

Orientador: José Luis Ramírez Ascheri.  
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal Rural  
do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Ciência  
e Tecnologia de Alimentos, 2020.

1. Cereal matinal. 2. Flocos. 3. Tecnologia de  
extrusão. 4. Fibra alimentar. 5. Banana. I. Ramírez  
Ascheri, José Luis, 1955-, orient. II Universidade  
Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós  
Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos III.  
Título.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de  
Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
ALIMENTOS

RONEL JOEL BAZÁN COLQUE

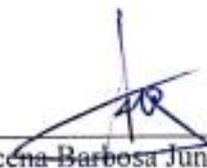
Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Área de Concentração em Tecnologia de Alimentos.

Dissertação aprovada em: 06/ 02/ 2020



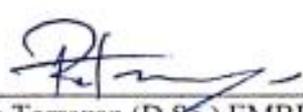
---

José Luis Ramírez Ascheri (D.Sc.) EMBRAPA-CTAA  
(Orientador)



---

José Lucena Barbosa Junior (D.Sc.) UFRRJ  
(Membro)



---

Renata Torrezan (D.Sc.) EMBRAPA-CTAA  
(Membro)

## DEDICATORIA

Dedico este trabalho com todo o amor e carinho a toda minha família Bazán-Colque, especialmente aos meus pais Enrique Bazán Ismiño e Maritza Colque Ambrosio que acreditaram em mim. A minha esposa Fiorella Ivette Ruiz Barreto por me apoiar em decisões difíceis. Aos meus filhos Thiago Alexandre Bazán Ruiz e Daenerys Areliz Maritza Bazán Ruiz, que são a razão da minha vida e força. E aos meus irmãos: Finley Enrique, Erick Kevin, Jorge Luis, Betsy Jhanira (*In memoriam*), Brenda Cecilia e Alain Banner (*In memoriam*).

*“No evitéis las dificultades a vuestros hijos, más bien enseñadles a superarlas”*  
**Louis Pasteur**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar a oportunidade de estudar uma pós-graduação no Brasil. Pai celestial, você que sempre me guia nas decisões difíceis e nunca me deixa sozinho. Graças a você, conheci muitas amizades na caminhada e muita experiência para compartilhar.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pela oportunidade concedida para realizar os estudos de pós-graduação.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro pelo apoio e acolhimento, em especial aos professores José Lucena Barbosa Junior (D.Sc.) e Maria Ivone Martins Jacintho Barbosa (D.Sc.), por me incentivar e acreditar em mim desde o início.

A EMBRAPA Agroindústria de Alimentos, pelas instalações cedidas para a execução completa do presente estudo.

A meu orientador o pesquisador D.Sc. José Luis Ramírez Ascheri, pela condução do estudo nas diversas etapas, por todo seu apoio, amizade e conhecimento transmitido cada dia.

Aos analistas e técnicos da planta piloto IV da EMBRAPA – Agroindústria de alimentos, Mariana Mattos, Francisco Carlos, Adriana Mingueta, Neuri Menezes pela amizade, acolhida, orientação e contribuição durante as análises.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo para o mestrado.

A meus amigos: Arturo Romero, Arturo Melendez, Jhony Vargas, Siraj Mohammad, Lucas Silva, David Cabral, Juan Santamaria, pelo apoio e parceria em nossa vida acadêmica.

Um agradecimento especial ao sr. Roberto Machado pela amizade sincera e ajuda possível.

A toda minha família por acreditar em mim. A meus segundos pais, meus sogros Julia Nilsa Barreto Pascual e Jaime Ruiz Pinedo, por me apoiarem desde a formatura e por me considerarem um filho mais na família.

A todos que contribuíram para a finalização deste trabalho.

**MUITO OBRIGADO!**  
***Ronel Joel Bazán Colque***

## RESUMO GERAL

BAZÁN COLQUE, Ronel Joel. **Produção e caracterização físico-química de flocos por extrusão à base de arroz e farinha integral de banana.** 2020. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2020.

A inclusão de farinha de banana verde inteira nas novas formulações de alimentos por extrusão contribui como veículo para promover o bem-estar e saúde do consumidor. Assim, o presente trabalho teve como objetivo obter e avaliar as características físico-químicas e sensoriais dos flocos a partir de misturas de farinha de banana verde inteira e farinha de arroz por extrusão. A banana é uma cultura amplamente consumida em todo o mundo, mas, por ser um alimento altamente perecível, cerca de 40 a 50% da produção é perdida durante as etapas da cadeia de produção dessa fruta. O processamento da farinha pode ser parte da solução para essas perdas pós-colheita. A indústria de farinha de banana no Brasil gera uma quantidade de resíduos de casca para o ambiente, o uso integral de bananas no processamento de farinha pode reduzir a contaminação atualmente. Banana e arroz são uma excelente fonte de alimento para a produção de produtos por extrusão, com a possibilidade de obter um cereal matinal nutritivo, funcional e sem glúten para pessoas que são intolerantes ao glúten. Foi avaliado o efeito das condições de extrusão nas propriedades físico-químicas de flocos de misturas de banana verde com casca e arroz. As misturas de banana e arroz foram processadas em um extrusor de laboratório com um único parafuso, variando a proporção de farinha de banana verde inteira (FBVi, 50 – 70%), umidade do processo (UP, 27 – 33%) e temperatura do barril da extrusora (TB, 80 – 100 °C). Foram avaliadas a energia mecânica específica (EME), dureza, composição centesimal, índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção de água (IAA) e viscosidade de pasta. O EME variou de 171,60 a 344,98 kJ/ kg. Os extrudados foram laminados, cortados manualmente e secos com 6% de umidade. A dureza variou de 97,02 a 292,21 N, sendo a mais adequada a menor dureza para cereais matinais. Uma porção dos flocos foi moída, para a composição centesimal e fibra alimentar. Os flocos representam alimentos saudáveis, com alto teor de fibras (6,25 – 7,51%) e minerais (1,89 – 2,69%). O ISA variou de 4,81 – 8,62%, o IAA variou de 2,9 – 5,4 g de água. g<sup>-1</sup>. A viscosidade de pasta mostrou conversão parcial do amido. A proporção de FBVi e UP foram as condições que mais afetaram significativamente ( $p < 0,05$ ) o processo. Para o segundo experimento, foi avaliado o impacto da extrusão e assadura nas propriedades físicas e tecnológicas de flocos de diferentes fontes de amido. Foram utilizadas farinhas de *grits* de milho, arroz branco e banana verde das variedades figo, prata e da terra. Foi usada uma extrusora de parafuso único. Os extrudados foram laminados, cortados manualmente, secos a 15% de umidade e assados a diferentes tempos (3, 4, 5 e 6 minutos), avaliando-se as propriedades físicas (umidade, cor, textura, espessura e densidade) e tecnológicas (ISA, IAA e viscosidade de pasta). A umidade desejável variou de 5,24 a 3,33% nos tempos de 5 e 6 minutos de assadura. Baixa dureza e maior crocância ocorreram nas amostras cozidas entre 5 e 6 minutos. Maiores espessuras e densidades mais baixas dos flocos ocorreram aos 5 minutos de assadura. No caso das propriedades tecnológicas, o processo de extrusão mostrou efeito significativo ( $p < 0,05$ ), em comparação como o processo de assadura. Flocos de banana verde (com e sem casca) e arroz branco foram processados nas melhores condições de processamento, com minerais avaliados (o potássio foi mais relevante nos flocos), levantamento de atributos, o que nos permite conhecer as características do produto e a vida útil na tigela mostrando pouca perda de dureza e pouco ganho de peso durante a imersão no leite.

**Palavras-chave:** Cereal matinal, flocos, tecnologia de extrusão, fibra alimentar, banana.

## ABSTRACT

BAZÁN COLQUE, Ronel Joel. **Production and physicochemical characterization of flakes by extrusion based on rice and whole banana flour.** 2020. 90 p. Dissertation (Master of Science in Food Technology). Institute of Technology, Department of Food Technology, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2020.

The inclusion of whole green banana flour in new extrusion food formulations contributes as a vehicle to promote consumer well-being and health. Thus, the present work aimed to obtain and evaluate the physical-chemical and sensory characteristics of the flakes from mixtures of whole green banana flour and extruded rice flour. The banana is a crop widely consumed worldwide, but because it is a highly perishable food, about 40 to 50% of production is lost during the stages of the production chain of this fruit. Flour processing can be part of the solution to these post-harvest losses. The banana flour industry in Brazil generates a quantity of peel residues for the environment, the full use of bananas in flour processing can reduce contamination today. Banana and rice are an excellent source of food for the production of products by extrusion, with the possibility of obtaining a nutritious, functional and gluten-free breakfast cereal for people who are gluten intolerant. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties of flakes of mixtures of green banana with peel and rice was evaluated. The banana and rice mixtures were processed in a laboratory extruder with a single screw, varying the proportion of whole green banana flour (FBVi, 50 - 70%), process moisture (UP, 27 - 33%) and temperature of the extruder barrel (TB, 80 - 100 °C). Specific mechanical energy (EME), hardness, chemical composition, water solubility index (ISA), water absorption index (IAA) and paste viscosity were evaluated. The EME ranged from 171.60 to 344.98 kJ/ kg. The extrudates were laminated, cut manually and dried with 6% moisture. The hardness ranged from 97.02 to 292.21 N, the most suitable being the lowest hardness for breakfast cereals. A portion of the flakes was ground, for the proximate composition and dietary fiber. The flakes represent healthy foods, with high fiber content (6.25 - 7.51%) and minerals (1.89 - 2.69%). The ISA varied from 4.81 - 8.62%, the IAA varied from 2.9 - 5.4 g of water. g-1. The paste viscosity showed partial conversion of the starch. The proportion of FBVi and UP were the conditions that most significantly affected ( $p < 0.05$ ) the process. For the second experiment, the impact of extrusion and roasting on the physical and technological properties of flakes from different sources of starch was evaluated. Corn grits, white rice and green bananas of the fig, silver and earth varieties were used. A single screw extruder was used. The extrudates were laminated, cut manually, dried at 15% humidity and baked at different times (3, 4, 5 and 6 minutes), evaluating the physical (moisture, color, texture, thickness and density) and technological properties (ISA, IAA and paste viscosity). The desirable humidity ranged from 5.24 to 3.33% at 5 and 6 minutes of roasting. Low hardness and greater crispness occurred in samples cooked between 5 and 6 minutes. Higher thicknesses and lower densities of the flakes occurred at 5 minutes of roasting. In the case of technological properties, the extrusion process showed a significant effect ( $p < 0.05$ ), in comparison with the roasting process. Green banana flakes (with and without peel) and white rice were processed in the best processing conditions, with evaluated minerals (potassium was more relevant in the flakes), survey of attributes, which allows us to know the product characteristics and life useful in the bowl showing little loss of hardness and little weight gain during immersion in milk.

**Keywords:** Breakfast cereal, flakes, extrusion technology, dietary fibre, banana.

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I

Tabela 1. Produção de bananas em 2015, 2016 e 2017 em toneladas. ....	4
Tabela 2. Composição centesimal de alguns cereais matinais prontos para o consumo. ....	18

### CAPÍTULO II

Tabela 1. Faixa de delineamento experimental e valores de variáveis independentes. ....	36
Tabela 2. Propriedades físico-químicas das farinhas cruas. ....	40
Tabela 3. Composição proximal das misturas cruas e os flocos extrudados secos. ....	41
Tabela 4. Respostas de índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção de água (IAA) e viscosidade de pasta de misturas cruas e flocos extrudados. ....	43
Tabela 5. Coeficientes de regressão dos modelos ajustados das propriedades físico-químicas dos flocos extrudados secos. ....	46

### CAPÍTULO III

Tabela 1. Respostas do sistema de extrusão e umidades de flocos durante a assadura a diferentes tempos. ....	62
Tabela 2. Parâmetros de cor após da assadura dos flocos extrudados. ....	65
Tabela 3. Avaliação da textura instrumental, espessura e densidade a granel dos flocos extrudados a diferentes tempos de assado. ....	69

### CAPÍTULO IV

Tabela 1. Proporção das misturas utilizadas para a produção dos flocos. ....	79
Tabela 2. Composição de minerais presentes nos flocos extrudados e assados. ....	82
Tabela 3. Ganho de peso dos flocos de banana e arroz a diferentes tempos de imersão no leite. ....	83
Tabela 4. Perda de dureza a diferentes tempos de imersão no leite. ....	84
Tabela 5. Características descritivas do levantamento de atributos dos flocos. ....	85

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

Figura 1. Classificação taxonômica da banana.....	5
Figura 2. Extrusores de parafuso único (A) e dupla rosca (B). ....	10
Figura 3. Tipos de cereais matinais mais populares no mercado. ....	13
Figura 4. Matérias-primas para o desenvolvimento dos cereais matinais por extrusão. ....	15

### CAPÍTULO II

Figura 1. Distribuição do tamanho de partículas da farinha de banana inteira (FBVi) e a farinha de arroz (FA). ....	37
Figura 2. Superfície de resposta da energia mecânica específica, EME (A), dureza (B), retenção de cinzas (C) e retenção de fibra alimentar, DF (D), em função da proporção de farinha de banana verde inteira (FBVi), umidade de processo (UP) e temperatura do barril do extrusor (TB).....	38
Figura 3. Superfície de resposta de índice de solubilidade em água (A), índice de absorção de água (B), tempo de pico (C), viscosidade de pico (D), Breakdown (E) e Setback (F).....	44

### CAPÍTULO III

Figura 1. Flocos extrudados a diferentes tempos de assadura. E1: Grits de milho, E2: Grits de milho/ Banana prata, E3: Grits de milho/ Banana Figo, E4: Grits de milho/ Banana da terra, E5: Arroz, E6: Arroz/ Banana da terra e E7: Banana da terra. ....	61
Figura 2. Viscosidade de pasta dos materiais crus (A), flocos extrudados (B), flocos assados a 3 (C), 4 (D), 5 (E) e 6 minutos (F).....	71

### CAPÍTULO IV

Figura 1. Curva de ganho de peso dos flocos extrudados com a aplicação do método de Peleg. ....	84
---	----

## LISTA DE ABREVIATURAS

FAO	Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação.
CEASA	Centrais Estaduais de Abastecimento.
FBVi	Farinha de banana verde inteira (com casca).
FA	Farinha de arroz.
UP	Umidade de processo.
TB	Temperatura do barril.
EME	Energia Mecânica Específica.
Q	Taxa mássica ou vazão de extrudado.
T	Torque subministrado ao parafuso.
TGA	Analizador termogravimétrico.
ISA	Índice de solubilidade em água.
IAA	Índice de absorção de água.
RVA	Rapid Viscosity Analyzer.
PV	Viscosidade de pico ou pico de gelatinização.
TP	Tempo de Pico.
BD	Quebra da viscosidade ou <i>Breakdown</i> .
TR	Tendência à retrogradação ou <i>Setback</i> .
TPA	Temperatura de pasta.
RPM	Rotações por minuto.
PPC	Cereais prontos para o consumo.
CQ	Cereais quentes.
L*	Luminosidade.
a*	Coordenadas vermelho/verde (+a indica vermelho e -a indica verde).
b*	Coordenadas amarelo/azul (+b indica amarelo e -b indica azul).
ANOVA	Análise de variância.

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL .....	1
Objetivo geral .....	2
Objetivos específicos .....	2
CAPÍTULO I .....	3
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
1 BANANA .....	4
1.1 Características taxonômicas .....	5
1.2 Variedades .....	5
1.3 Aspectos nutricionais .....	6
1.4 Processamento .....	7
2 ARROZ .....	8
2.1 Aspectos nutricionais .....	8
2.2 Processamento .....	9
3 EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA .....	9
3.1 Vantagens da extrusão .....	11
3.2 Produtos obtidos pela extrusão .....	11
4 CEREAIS MATINAIS .....	12
4.1 Tipos de cereal prontos para o consumo .....	14
4.2 Matérias-primas .....	14
4.3 Processamento .....	16
4.4 Aspectos nutricionais .....	16
4.4.1 Proteínas e aminoácidos .....	17
4.4.2 Carboidratos .....	19
4.4.3 Fibra alimentar .....	19
4.4.4 Minerais e vitaminas .....	20
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	20
CAPÍTULO II .....	29
EFEITO DAS CONDIÇÕES DE EXTRUSÃO NAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E FUNCIONAIS DE FLOCOS DE MISTURAS DE BANANA VERDE COM CASCA E ARROZ .....	29
RESUMO .....	30

1 INTRODUÇÃO.....	32
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	33
2.1 Matéria-prima.....	33
2.2 Preparação das farinhas.....	34
2.3 Distribuição do tamanho de partículas.....	34
2.4 Obtenção dos flocos.....	34
2.4.1 Energia mecânica específica.....	34
2.4.2 Laminação e secagem dos flocos.....	35
2.5 Textura instrumental.....	35
2.6 Composição centesimal.....	35
2.7 Índice de solubilidade em água e índice de absorção de água.....	36
2.8 Viscosidade de pasta.....	36
2.9 Delineamento experimental e análise estatística.....	36
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
3.1 Distribuição do tamanho de partículas.....	37
3.2 Energia mecânica específica.....	38
3.3 Textura instrumental.....	39
3.4 Composição centesimal.....	40
3.5 Índice de solubilidade em água e índice de absorção de água.....	45
3.6 Viscosidade de pasta.....	47
4. CONCLUSÕES.....	48
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49
CAPÍTULO III.....	53
IMPACTO DO TEMPO DE ASSADURA NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E TECNOLÓGICAS DE FLOCOS EXTRUDADOS DE DIFERENTES FONTES DE AMIDO .....	53
RESUMO.....	54
1 INTRODUÇÃO.....	56
2 MATERIL E MÉTODOS.....	57
2.1 Matérias-primas.....	57
2.2 Processo de extrusão.....	57
2.2.1 Parâmetros do sistema.....	58

2.3 Laminado e tostagem dos flocos .....	58
2.4 Análise de umidade .....	58
2.5 Análise de cor .....	58
2.7 Textura instrumental.....	59
2.8 Espessura de soprado e densidade a granel .....	59
2.9 Índice de absorção de água e índice de solubilidade em água.....	59
2.10 Propriedades de pasta .....	59
2.11 Análise estatística .....	60
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	60
3.1 Parâmetros do sistema .....	60
3.2 Umidade dos flocos durante a assadura.....	63
3.3 Análise de Cor .....	63
3.4 Textura instrumental.....	67
3.5 Espessura e densidade aparente.....	67
3.6 Índice de absorção de água e índice de solubilidade em água.....	70
3.7 Propriedades de pasta .....	70
4 CONCLUSÕES.....	71
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	72
CAPÍTULO IV .....	75
COMPOSIÇÃO DE MINERAIS, PERFIL SENSORIAL E VIDA DE TIGELA DE FLOCOS DE CEREAIS EXTRUDADOS A PARTIR DE MISTURAS DE BANANA VERDE E ARROZ.....	75
RESUMO .....	76
1 INTRODUCAO.....	78
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	79
2.1 Matérias-primas .....	79
2.2 Processamento dos flocos.....	79
2.3 Composição de minerais.....	80
2.4 Vida na tigela.....	80
2.4.1 Ganho de peso .....	80
2.4.2 Perda da dureza.....	81
2.5. Risco microbiológico e perfil sensorial .....	81

2.6. Análise estatístico .....	81
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	82
3.1. Composição de minerais.....	82
3.2. Vida na tigela.....	83
3.3. Risco microbiológico e perfil sensorial .....	86
4 CONCLUSÃO.....	86
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	87
CONCLUSÃO GERAL .....	89

## **ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

Este trabalho de dissertação está estruturado da seguinte maneira:

Capítulo I: Refere-se à revisão bibliográfica como fundamento dos tópicos abordados neste estudo. A banana como principal matéria-prima para o desenvolvimento de produto por extrusão, junto ao material amiláceo como o arroz, com a finalidade de fortificação e aspectos tecnológicos utilizando a tecnologia de extrusão, sendo uma tecnologia versátil e viável para a produção de cereais matinais em forma de flocos.

Capítulo II, são apresentados os resultados concernentes ao estudo do efeito das condições da extrusão termoplástica nas propriedades físico-químicas dos flocos secos da mistura de banana e arroz, onde foi desenvolvido um delineamento fatorial de dois níveis com três fatores e 4 pontos centrais, avaliando-se por superfície de resposta. Este estudo permitiu obter as melhores condições da extrusão para o desenvolvimento dos flocos.

Capítulo III, foi realizado um trabalho concernente ao impacto da assadura nas propriedades físicas e tecnológicas dos flocos de milho, arroz, banana e suas misturas, onde foi possível conhecer o tempo ótimo de assadura dos flocos.

Capítulo IV, foi realizado um trabalho concernente a composição de minerais, vida de tigela (ganho de peso e perda da textura durante a imersão no leite) e avaliação sensorial mediante o levantamento dos atributos dos flocos de banana verde com arroz.

Cada capítulo está apresentado na forma de artigo e, portanto, está formatado de acordo com as normas exigidas pelo ABNT.

## INTRODUÇÃO GERAL

A extrusão termoplástica é uma tecnologia promissora para alimentos prontos para o consumo e consiste em cozinhar rapidamente sob pressão, cisalhamento e temperatura os alimentos crus à base de amidos, chegando a modificar suas propriedades físicas e químicas. Os produtos extrudados estão amplamente disponíveis no mercado, porém apresentam baixa qualidade nutricional porque seus ingredientes principais são cereais refinados. Os produtos extrudados usando bananas não estão disponíveis no mercado. A banana é conhecida como uma das frutas mais consumidas a nível mundial. Está presente na maioria dos países tropicais e representa a quarta cultura mais importante no mundo, depois do arroz, do milho e do trigo. No 2017, a produção de banana a nível mundial foi cerca de 114 milhões de toneladas em mais de 130 países e o Brasil ocupou o quarto lugar dessa produção com 7 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2018). Os estudos relataram que 40 a 50% dessa produção nacional é perdida nas várias etapas da cadeia produtiva, desde a colheita até o consumo. Parte dessas perdas pós-colheita estão relacionadas ao curto período em que a fruta *in natura* mantém sua qualidade comercial.

A banana é consumida geralmente como fruta madura ou sobremesa. Do ponto de vista nutricional a banana verde constitui um alimento importante, provendo com carboidratos resistentes a digestão e com alguns minerais, fibras e compostos bioativos. A polpa, a partir da fruta imatura, geralmente é processada por secagem para obter farinhas. A indústria de farinhas de banana no Brasil geralmente usa frutas com defeitos na aparência da casca, e anualmente este setor gera aproximadamente 1,2 milhão de toneladas de resíduos de casca. Existe a necessidade de desenvolver alimentos em quantidade adequada e qualidade adequada de nutrientes essenciais, uma das maneiras de melhorar o estado nutricional é enriquecer ou complementar os alimentos tradicionais disponíveis no país. A banana, sendo uma fruta nutritiva, processada quando acompanhada de alguns produtos à base de cereais, possui um grande potencial no desenvolvimento de vários alimentos com melhor valor nutricional e funcional.

Os cereais matinais prontos para o consumo são alimentos importantes e tem sido uma grande parte da dieta do café da manhã há muitos anos. Este tipo de alimento é feito utilizando cereais refinados que perderam uma grande parte de nutrientes importantes. No entanto, para atender as demandas dos consumidores preocupados com a saúde, muitos processadores de alimentos estão agregando ingredientes funcionais como o aumento de fibra alimentar e amido

resistente, tornando mais saudáveis para a dieta dos consumidores, procurando outras fontes livres de glúten para os celíacos e com baixo índice glicêmico. O mercado de cereais matinais cresce progressivamente a cada ano, em 2016 os volumes foram de 5 toneladas métricas e nesse mesmo ano, as vendas mundiais foram de cerca de US \$ 34 bilhões. Sua fabricação varia de acordo com o tipo de cereal pronto para o consumo, seja como: granola, floco, expandido, assado ou extrudado.

Hoje em dia, os consumidores exigem mais opções de alimentos saudáveis e saborosos. O mercado de alimentos extrudados está crescendo em todo o mundo. Além disso, a demanda por alimentos que promovam benefícios à saúde humana está em plena expansão, assim como novas fontes de substâncias com propriedades funcionais. Nesse cenário, a banana verde vem recebendo destaque. Portanto, o presente trabalho teve como objetivo elaborar e avaliar as propriedades físico-químicas dos flocos a partir de farinha de banana verde, com casca e associada à farinha de arroz utilizando a extrusão termoplástica.

### **Objetivo geral**

Produzir e avaliar as propriedades físico-químicas, tecnológicas e sensoriais dos flocos a partir de misturas de banana verde com casca e arroz por extrusão.

### **Objetivos específicos**

- Determinar as condições de extrusão na elaboração de flocos extrudados utilizando mistura de farinha de banana verde inteira e arroz.
- Determinar o tempo de assado dos flocos extrudados para o desenvolvimento do cereal matinal.
- Avaliar a composição de minerais, vida de tigela, microbiológico e sensorial dos flocos selecionados.

# **CAPÍTULO I**

## **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

## 1 BANANA

A banana (*Musa* spp.) é conhecida como uma das culturas mais populares no mundo (AURORE *et al.*, 2009) e ocupa o quarto lugar entre os produtos agrícolas mais importantes do mundo, depois de milho, arroz e trigo (CORDOBA *et al.*, 2018; FAO, 2018). Em 2017, a produção foi de cerca de 114 milhões de toneladas de bananas em mais de 130 países, praticamente todas as regiões tropicais do planeta, de acordo com os dados estatísticos da Organização das Nações Unidas (FAOSTAT, 2019). Nesse ano 2017, o Brasil ocupou o quarto lugar com uma produção de cerca de 7 milhões de toneladas como é observado na **Tabela 1**. A produção nacional de bananas está distribuída com os estados mais representativo, como: São Paulo, Santa Catarina, Bahia, Ceará e Pernambuco, dessa produção o 95% é destinada ao mercado interno e menos de 3% é para exportação (DE BARROS MESQUITA *et al.*, 2016; IBGE, 2018).

**Tabela 1.** Produção de bananas em 2015, 2016 e 2017 em toneladas.

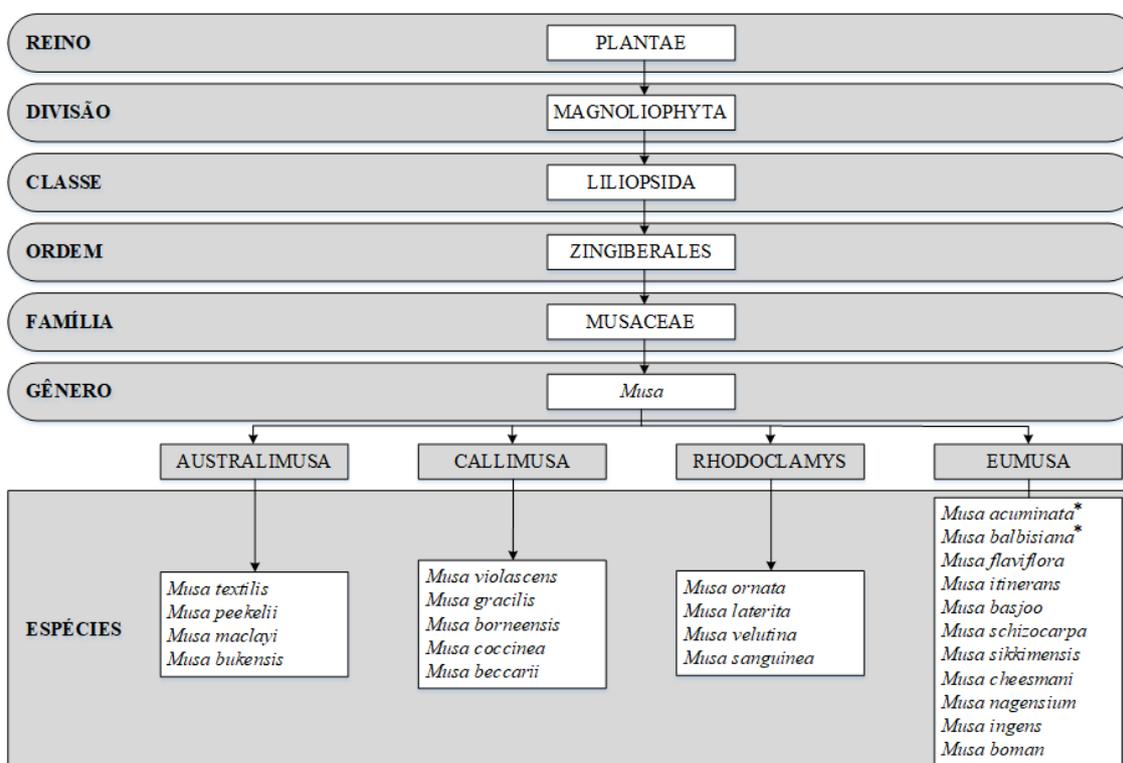
<b>Pais</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
Índia	29 221 000	29 135 000	30 477 000
China	10 627 000	10 940 000	11 170 000
Indonésia	9 496 058	7 007 125	7 162 685
Brasil	6 859 227	6 735 260	6 675 100
Equador	7 194 431	6 529 676	6 282 105
Filipinas	5 840 124	5 829 142	6 041 369
Angola	3 595 306	3 820 873	4 301 880
Guatemala	3 796 115	3 775 150	3 887 439
Colômbia	3 705 343	3 691 163	3 786 672
Tanzânia	3 584 532	3 563 596	3 484 788
<b>Total no mundo</b>	<b>115 110 163</b>	<b>112 599 836</b>	<b>113 918 763</b>

Fonte: Base de dados estatísticos da Organização das Nações Unidas (FAOSTAT, 2019).

As bananas são um componente importante para a economia e segurança alimentar de muitos países, especialmente, alguns com economias frágeis (THOMPSON, 2011). A banana por ser uma fruta climatérica altamente perecível, gera perdas pós-colheita através de manejos inadequados, atingindo de cerca de 40 a 50% da produção nacional bananeira (EMBRAPA, 2018). As características comuns desta fruta são as variedades de tamanhos (grandes e pequenos), cores (de vermelho a preto e de verde a marrom) e firmeza (FAO, 2018).

## 1.1 Características taxonômicas

A banana pertence à família Musaceae, sendo a planta mais importante desta família. O gênero *Musa* é derivado da palavra árabe “Mouz”. Neste gênero, encontra-se dividido em quatro seções: *Callimusa* y *Australimusa*; *Eumusa* e *Rhodochlymus* (SIMMONDS; SHEPHERD, 1955), como observa-se na **Figura 1**, que apresenta sua classificação taxonômica. Embora muitos autores usem a classificação de Linnaean (*Musa paradisiaca* y *Musa sapientum*), ao longo dos anos eles foram considerados como híbridos da espécie *Musa acuminata* e *Musa balbisiana* (QAMAR; SHAIKH, 2018; SIMMONDS; WEATHERUP, 1990).



**Figura 1.** Classificação taxonômica da banana.

Adaptado de REKHA (2016) e SIMMONDS; WEATHERUP (1990).

\*Espécies combinadas para a evolução de genótipos de bananas.

## 1.2 Variedades

As bananas foram cultivadas há milhares de anos, esta cultura sem semente foi a forma mais comum desenvolvida, isto deve-se a contribuição de espécies primárias como *Musa acuminata* e *Musa balbisiana* (DA SILVA CONCEIÇÃO *et al.*, 1998; SIMMONDS;

WEATHERUP, 1990), os nomes dos híbridos são descritos para denotar os genomas usados, como é mostrado na **Figura 1**. No mundo existem milhares de variedades de bananas (THOMPSON, 2011), sendo que o 30 a 47% da produção de bananas pertencem ao sub grupo Cavendish, que apresentam altos rendimentos de produção e maior resistência aos danos ambientais (FAO, 2018). Quase todas as variedades utilizadas comercialmente surgiram de híbridos selecionados no campo (MENON, 2016).

Diferentes variedades de bananas são cultivadas no Brasil e algumas dessas variedades são colhidas para serem comercializadas nos mercados locais (BORGES *et al.*, 2012). As variedades mais importantes cultivadas no Brasil são: Ouro (AA), Nanica (AAA), Nanicão (AAA), Grande Naine (AAA), Maçã (AAB), Mysore (AAB), Prata (AAB), Pacovan (AAB), Prata Anã (AAB), Terra (AAB), D'Angola (AAB), Figo (AAB). Estas culturas foram consideradas de acordo com a aceitação do consumidor, alta produtividade e resistência de pragas e doenças (EMBRAPA, 1998; GONDIM; CAVALCANTE, 2001).

### 1.3 Aspectos nutricionais

Existe uma importância em conhecer a composição nutricional dos alimentos que serão consumidos. Deste modo, o conhecimento nutricional dos produtos tornou-se o pilar básico para uma educação nutricional, controle de qualidade e avaliação do consumo nutritivo (TACO, 2011). A indústria de alimentos desenvolve produtos para veiculação de nutrientes importantes para o benefício do organismo humano. Sendo assim, a banana é uma alternativa potencial para o consumo, pois possui um alto valor nutritivo em carboidratos (26,22%), proteínas (1,33%), lipídeos (0,24%), fibras (2,58%) e minerais (0,62%), as composições estão expressos em base úmida (BELLO-PÉREZ *et al.*, 2011; PAREEK, 2016; REKHA, 2016).

Os carboidratos representam os principais componentes das bananas. Frutas verdes têm mais carboidratos de que as frutas maduras. O amido é mais importante em cereais, raízes, tubérculos e frutos imaturos. Na banana, o amido é o carboidrato mais importante, representa cerca de 30% da fruta (CLIFTON; KEOGH, 2016), seu peso molecular é entre  $2,88 - 3,14 \times 10^8 \text{ g. mol}^{-1}$  e existem três tipos de amidos: o tipo de amido digestível rápido, amido digestível lento e amido resistente, este último promove efeitos benéficos para a saúde (AGAMA-ACEVEDO *et al.*, 2012; BEZERRA *et al.*, 2013), ocorrência e provável digestão. As proteínas são nutrientes em baixas concentrações das bananas, havendo um ligeiro aumento na concentração quando amadurecem (CLIFTON; KEOGH, 2016). As bananas não são ricas em

lipídios, os níveis permanecem quase constantes nas bananas verdes e maduras. O lipídio presente na casca é rico em ácidos graxos poli-insaturados, particularmente ácido linoléico e ácido linolênico. As bananas são conhecidas por seu alto teor de potássio (K) na polpa, além do magnésio, cálcio e fósforo que também estão presentes (CLIFTON; KEOGH, 2016). Segundo a FAO/WHO (2018), as fibras são carboidratos com grau de polimerização igual ou superior a 3, que resistem a digestão e absorção no intestino delgado humano e que são fermentados completa ou parcialmente no intestino grosso. Elas estão presentes naturalmente nos alimentos in natura. A banana possui maior conteúdo de fibra na casca que na polpa (entre o 33 – 43% de total de fibra de peso fresco). O potássio é o mineral mais abundante na banana, com valores estimados de 4,1 – 5,5 mg. 100 g<sup>-1</sup> de peso seco da fruta.

#### **1.4 Processamento**

Os altos padrões de exportação e perdas pós-colheita geram uma alta proporção de bananas. Esta situação permite promover alternativas de processamento e conservação de bananas (CLIFTON; KEOGH, 2016; THOMPSON, 2011) e oferecer variedades de produtos, tais como: farinhas, amidos, purês, álcoois, sucos, geleias, banana desidratada, chips de bananas, flocos (AGAMA-ACEVEDO *et al.*, 2015; ANDRADE *et al.*, 2018; BORGES *et al.*, 2010; DE JESUS *et al.*, 2018; DOS ANJOS *et al.*, 2015; EMERY *et al.*, 1997; PALMER, 1979; YAP *et al.*, 2017).

A indústria de alimentos tem o desafio de reduzir o impacto ambiental dos resíduos orgânicos, como o caso da casca de banana. Este subproduto é utilizado como matéria-prima para ser transformado em farinhas, tendo nutrientes como amido resistente (17,5%), fibra alimentar (14,5%), ácidos graxos poli-insaturados, compostos bioactivos e minerais (AGAMA-ACEVEDO *et al.*, 2015; ALKARKHI *et al.*, 2011; CASTELO-BRANCO *et al.*, 2017).

No caso das farinhas, eles são produtos finamente moídos, cuja característica é um pó fino feito comumente de grãos secos (cereais), mas também obtidas de outros alimentos ricos em amidos. A elaboração das farinhas iniciou-se com a cultura do trigo e hoje existem variedades de farinhas rica em amidos (PREEDY *et al.*, 2011). De acordo a legislação brasileira, as farinhas são “produtos obtidos das partes comestíveis de uma as mais espécies de cereais, leguminosas, frutos, sementes, tubérculos e rizomas por moagem e ou outros processos tecnológicos considerados seguros para a produção de alimentos” (ANVISA, 2018).

No caso das bananas, para obter-se a farinha do fruto verde existem diferentes fatores (variedades da fruta, métodos e condições de processamento) que podem influenciar as características físico-químicas, tecnológicas e funcionais (DOS ANJOS *et al.*, 2015; PACHECO-DELAHAYE *et al.*, 2008). Na atualidade, as farinhas de bananas verdes são utilizados para o preparo de outros produtos para o consumo humano, como os pães, biscoitos, macarrões, bolos, salgadinhos, nuggets, bebidas (AGAMA-ACEVEDO *et al.*, 2012; DOS ANJOS *et al.*, 2015; GOMES *et al.*, 2016).

## **2 ARROZ**

O arroz (*Oryza sativa* L.) é a cultura mais importante no mundo depois do trigo e o milho. Sua importância, deve-se porque esse cereal alimenta mais da metade da população global. Em 2017, a produção mundial de arroz foi de cerca de 770 milhões de toneladas em mais de 100 países e estima-se que a produção mundial de arroz deve aumentar em 30% nos próximos 20 anos, isto é, para atender as demandas projetadas do crescimento populacional e desenvolvimento econômico (DALBHAGAT *et al.*, 2019; FAOSTAT, 2019). Na atualidade, o arroz é considerado um alimento básico para aproximadamente dois terços da população mundial.

O arroz branco ou polido é obtido por diversas etapas, como descascamento, brunimento e polimento. Através do descascamento, separa-se a casca do grão, seguido o polimento para obter o arroz branco (WALTER *et al.*, 2008). O polimento melhora o sabor e a aparência do arroz, porém, leva a perda nutricional do grão, principalmente de vitaminas, minerais e fibras alimentares.

### **2.1 Aspectos nutricionais**

O arroz destaca-se por ser uma fonte de energia, isto é, devido à alta concentração de amido. Por tanto, o arroz branco é constituído principalmente de carboidratos (87,58%) e o amido é o mais importante, também apresentam quantidades menores de proteínas (8,94%), lipídeos (0,36%), fibra total (2,87%) e cinzas (0,30%), expresso em base úmida. Entretanto, a distribuição de nutrientes não se dá de forma uniforme nas diferentes frações do grão. As camadas externas apresentam maiores concentrações de proteínas, lipídios, fibras, minerais e vitaminas. Assim o polimento resulta a redução no teor destes nutrientes, exceto do amido,

originando as diferenças entre o arroz integral e o polido (WALTER *et al.*, 2008). As proteínas presentes no arroz são consideradas de boa qualidade, isto deve-se a presença de aminoácidos essenciais para o consumidor. Porém, assim como outros cereais, o arroz possui como aminoácido limitante a lisina. As proteínas presentes no grão são albumina, globulina, prolamina e glutelina, que estão organizadas em dois tipos de corpos proteicos presentes no endosperma do grão (WALTER *et al.*, 2008).

## **2.2 Processamento**

O grão de arroz é uma excelente matéria-prima para a obtenção de novos alimentos. Misturado com outras fontes alimentares pode fortificar com nutrientes o produto, além de fornecer outras características, como: sabor e aroma neutro, hipo-alergenicidade e uma fonte livre de glúten para consumidores com doença celíaca. Nesse sentido, o grão de arroz tem sido amplamente empregado para a elaboração de diferentes produtos industrializados (DALBHAGAT *et al.*, 2019).

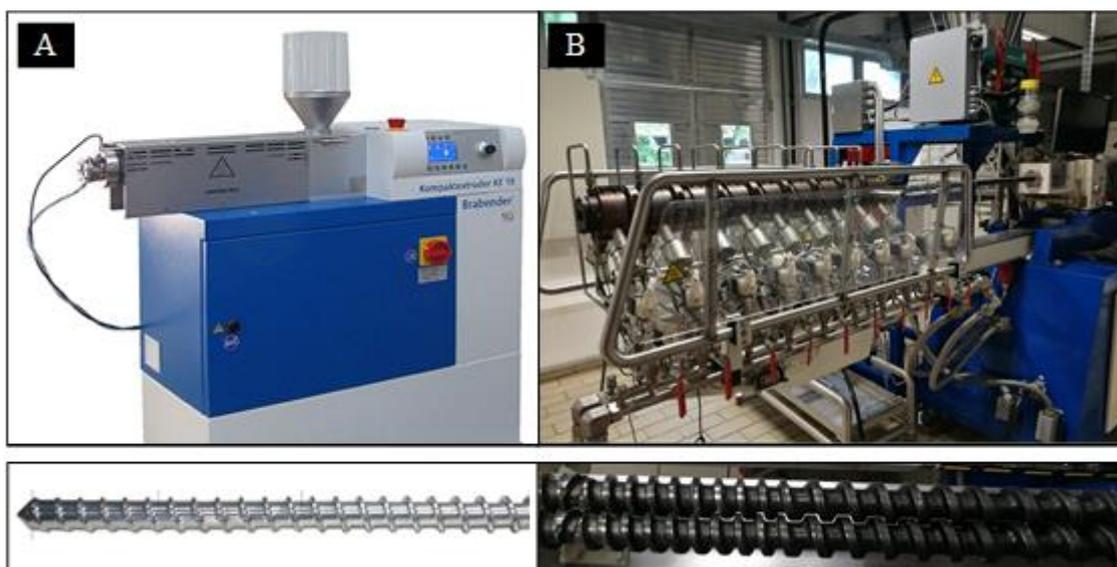
A farinha de arroz é um produto obtida pela moagem, o arroz pode ser de grãos brancos ou integrais e é utilizada como material chave para a produção de diferentes alimentos. No caso dos extrudados, a farinha de arroz tornou-se um dos ingredientes mais populares para este processo (QIAN; ZHANG, 2013). Hoje em dia, o uso da farinha de arroz permite melhorar a qualidade nutricional dos produtos por extrusão (AWOLU *et al.*, 2015), como também apresentar pequenos tamanhos dos grânulos de amido, alta proporção de amidos facilmente digeríveis e ampla faixa de teor de amilose. Diversos trabalhos consideram a inclusão da farinha de arroz em produtos extrudados, isto é, com a finalidade de facilitar a extrusão quando se utiliza uma matéria-prima não amilácea, de difícil cozimento, não aportando sabor ao produto e sendo uma alternativa livre de glúten para pessoas com alergia ao glúten. Estes trabalhos misturaram com amaranto (ILO *et al.*, 1999), com casca de maracujá (ALVES *et al.*, 2018), com bagaço de cevada (ASCHERI *et al.*, 2016) e fubá de milho (SILVA *et al.*, 2016), para gerar farinhas pré-cozidas, expandidos e massa de boa qualidade nutricional e funcional.

## **3 EXTRUSÃO TERMOPLÁSTICA**

A extrusão termoplástica é um processo de alta temperatura e tempo curto (*HTST – High Temperature Short Time*). Permite transformar uma ampla variedade de matérias-primas cruas

em produtos intermediários ou produtos finais (GUY, 2001). Esta tecnologia é considerada um processo contínuo que envolve a combinação de tratamento térmico e pressão simultânea, juntamente com o cisalhamento mecânico, alcançando mudanças para o produto extrudado, tais como gelatinização do amido, desnaturação da proteína e até mesmo o cozimento completo, permitindo que o produto esteja pronto para seu consumo (BERRIOS *et al.*, 2013; BHATTACHARYA, 2016).

A tecnologia de extrusão consiste em que o material seja forçado através de uma matriz envolvendo condições de misturas, aquecimento, pressão e atrito para modificar a composição do material, para o caso dos carboidratos ocorre a gelatinização e para as proteínas ocorre desnaturação. Este processo começou a ser utilizada desde mediados da década de 1930 para a produção de cereais e lanches prontos para o consumo, e hoje em dia é uma alternativa importante para o processamento de alimentos gerando variedades de formatos de produtos extrudados (RIAZ *et al.*, 2009).



**Figura 2.** Extrusores de parafuso único (A) e dupla rosca (B).

Existem três tipos principais de extrusoras que são utilizados na indústria de alimentos: extrusora de pistão, extrusora de rolos e extrusora de parafuso. Este último extrusor, é um equipamento que pode apresentar parafuso simples ou duplo (**Figura 2**). O extrusor mono rosca ou parafuso único é mais simples que o de dupla rosca, isto é, em termos de custo o mono rosca é muito mais acessível, contudo, tem limitações ao processar matérias-primas com umidades baixas e com baixo teor de lipídeos para os quais os dupla roscas são mais abrangentes. O

extrusor é composto por cinco componentes básicos: sistema de monitoramento, tanques de condicionamento ou alimentação, cilindro dos parafusos, matriz e sistema de aquecimento. Muitos dos extrusores são equipados com sensores de pressão e temperatura para o controle do processo (ALAM *et al.*, 2016).

### **3.1 Vantagens da extrusão**

A tecnologia por extrusão começou a ser utilizada com maior intensidade nas últimas três décadas. Isso ocorreu devido principalmente ao aumento da demanda por produtos alimentícios de conveniência prontos para o consumo (YU *et al.*, 2012). A tecnologia de extrusão é amplamente utilizada em diversas indústrias de processamento de alimentos, isto porque oferece diversas vantagens como: a flexibilidade de operação, obtenção de uma grande diversidade de produtos; versatilidade de processamento em inúmeras formulações, permitindo ajustar o nível nutricional de acordo com as necessidades da população, apresenta baixo custo de processamento, tecnologia simples, deterioração mínima de nutrientes no processo alimentar, uso eficiente de energia, ausência de efluentes, inativação de enzimas, inativação de certos fatores antinutricionais, produção de alimentos seguros, tecnologia limpa e amigável com a natureza, requer quantidade mínima de água e alta qualidade de produtos processados (GUY, 2001; HARPER; CLARK, 1979).

### **3.2 Produtos obtidos pela extrusão**

Dentre os produtos obtidos por extrusão, podem-se citar as pastas alimentícias, bebidas em pó, produtos de confeitarias, substitutos de carnes, massas, substitutos de leite, granola, amidos modificados, alimentos infantis, cereais matinais e lanches. A extrusão, permite modificar diferentes produtos alimentares para produzir novos, não é apenas aplicável à indústria alimentar, mas também a outros setores, como a alimentação animal, incluindo a aquicultura (MASKAN; ALTAN, 2016; VASANTHAN *et al.*, 2002; WHALEN *et al.*, 1997). A mudança das propriedades sensoriais do alimento dependerá do tipo de extrusão que é realizado, ou seja, aplicando altas temperaturas o produto perderá mais água, o que resultará em produtos extrudados com menor umidade e longa vida útil. Pelo contrário, trabalhar em condições frias produzirá produtos com mais atividade de água, mas com menor perda de qualidade (NAYAK *et al.*, 2011; SINGH *et al.*, 2007).

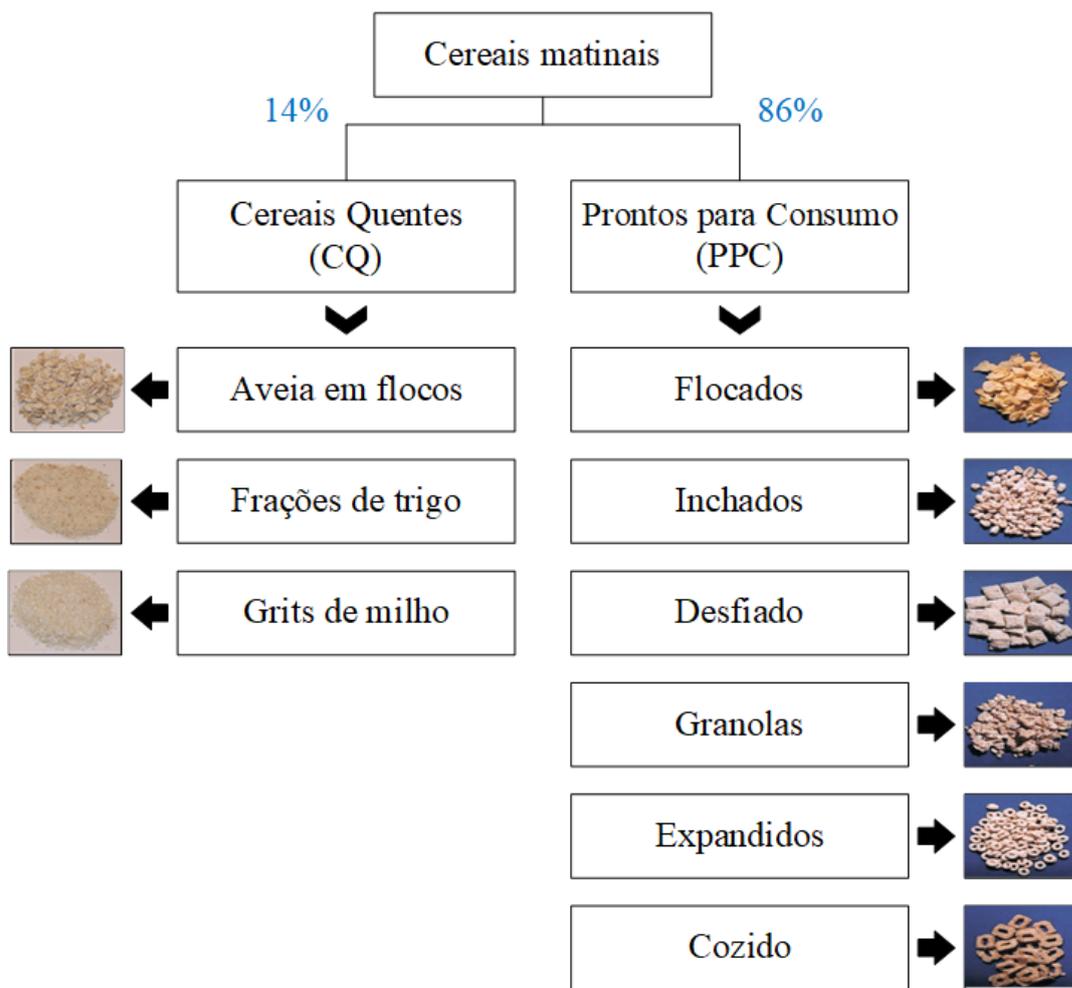
No caso das bananas, o processo de extrusão foi utilizado para a obtenção de farinhas extrudadas desta fruta (polpa). SARAWONG et al. (2014) avaliou o efeito da extrusão sobre as propriedades químicas (teor de amilose, amido resistente e atividade antioxidante) da farinha de banana verde, utilizando uma extrusora de parafuso duplo contínuo, com diâmetro de barril 19 mm, matriz com abertura de 2 mm de diâmetro. Onde as condições de estudo foram velocidade de parafuso (200 – 400 rpm) e umidade de alimentação (20 – 50%, base úmida). Concluindo que estas condições afetam drasticamente o teor de amilose e as propriedades de pasta, de hidratação e antioxidantes. Outro estudo avaliou as propriedades físicas, nutricionais e sensoriais de farinhas extrudadas mistas de banana e arroz, a banana foi estudada em diferentes estágios de maturação (4, 5 e 6), isto é, com a finalidade de desenvolver lanches. Neste estudo foi utilizado um extrusor de duplo parafuso, escala de planta piloto, com comprimento de 44 cm e 4 cm de diâmetro, temperatura do barril 120 °C, velocidade de parafuso (220 – 260 rpm) e umidade de alimentação (12%). Concluíram que o aumento na maturidade das bananas produz um efeito negativo na capacidade de expansão e absorção de água dos lanches. Na análise sensorial, todos os lanches tiveram boa aceitação demonstrando um potencial o uso de bananas como lanche devido a sua qualidade nutricional e aceitabilidade sensorial (GAMLATH, 2008)

#### **4 CEREAIS MATINAIS**

Os cereais matinais são uma das alternativas para a primeira refeição do dia, pois eles são “grãos processados para o consumo humano”. A **Figura 3**, mostra os tipos de cereais matinais que existem no mercado, pois encontram-se empacotados como cereais prontos para o consumo (PPC) e como cereais quentes (CQ). Os CQ geralmente requerem um cozimento adicional e foram categorizados como cereais tradicionais, hoje em dia os cereais PPC (86%) estão ganhando cada vez mais aceitação no mercado, substituindo os cereais tradicionais (14%) (CALDWELL *et al.*, 2016). Cereais PPC são ótimas alternativas para a alimentação de crianças e adultos e podem ser consumidos com ou sem leite, frio ou quente, de acordo a sua disponibilidade, localização e seus hábitos (USMAN; OKAFOR, 2016; WILLIAMS, 2014).

Entre os anos 2014 e 2016, o Brasil exportou entre 5,1 a 5,6 mil toneladas de cereais matinais, respectivamente; sendo um equivalente a US\$ 12,6 a 14,1 mil milhões. Os principais países potenciais que importam estes tipos de produtos são: Canadá, Estados Unidos de América, Alemanha, França e Reino Unido (FAOSTAT, 2016). O consumo de cereais matinais

está aumentando progressivamente nos últimos anos, isto porque é um alimento de fácil e rápido preparo com boa aceitação pelo consumidor (BOLANHO *et al.*, 2014). Em adição, os cereais matinais, maiormente são baixos em gorduras (GIBSON; O'SULLIVAN, 1995) e ajudam alcançar a ingestão diária recomendada de nutrientes, fornecendo os principais nutrientes para crianças e adultos (ALBERTSON *et al.*, 2013).



**Figura 3.** Tipos de cereais matinais mais populares no mercado.

Adaptado de CALDWELL *et al.* (2016) e ROSENTRATER; EVERS (2018).

No Brasil, os cereais processados são definidos como “produtos obtidos a partir de cereais laminados, cilindrados, rolados, inflados, flocados, extrudados, pré-cozidos e ou por outros processos tecnológicos considerados seguros para produção de alimentos, podendo conter outros ingredientes desde que não descaracterizem os produtos” (ANVISA, 2005). Estes cereais são produzidos a partir dos grãos inteiros ou frações como as farinhas, a partir do milho, arroz, trigo, aveia, cevada ou suas misturas, além de outros ingredientes no processamento

(CALDWELL *et al.*, 2016). Cereais PPC são caracterizados, principalmente, pela sua crocância, sendo um atributo sensorial chave e que deve ser mantido durante toda sua vida útil até o consumo, além do valor nutricional.

#### **4.1 Tipos de cereal prontos para o consumo**

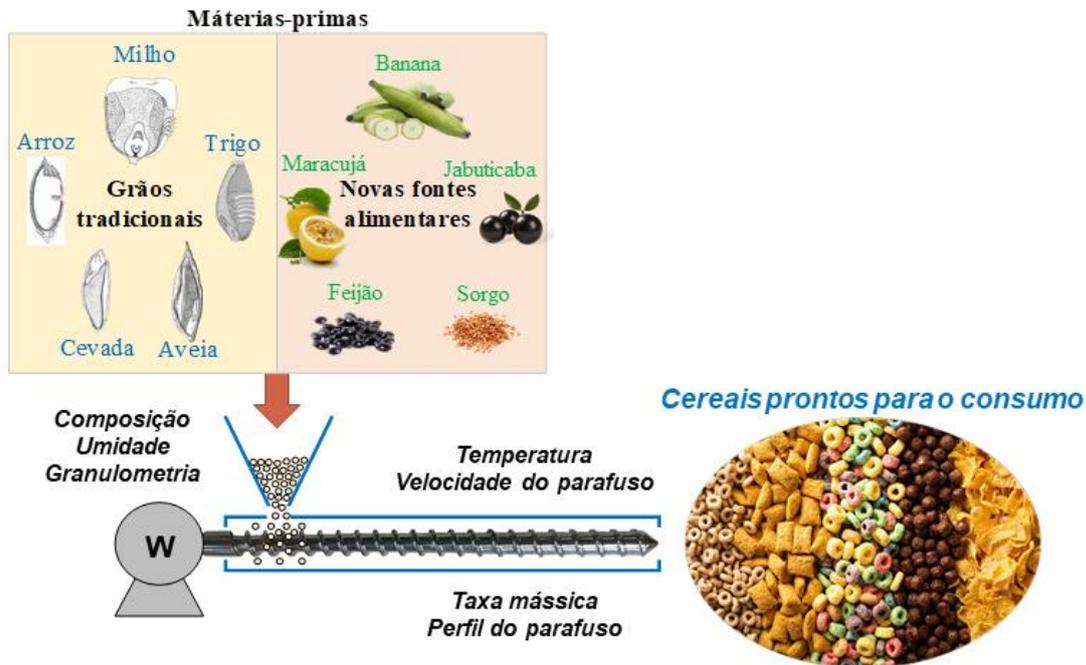
Os cereais prontos para o consumo (PPC) representam 86% das vendas no mundo (**Figura 3**), porque não requerem cozimento por parte do consumidor em comparação com os cereais quentes (CQ). Neste grupo de cereais PPC se encontram os flocos, inchados, picados, as granolas, expandidos e assados. Os cereais matinais expandidos por extrusão junto com os flocos são os tipos de cereais PPC mais populares no café da manhã (WÓJTOWICZ *et al.*, 2015).

Os tipos de cereais prontos para o consumo são descritos por (KADAN; CALDWELL, 2003). Os cereais em flocos são os mais tradicionais nesse grupo, feitos de grãos inteiros e também de farinhas finamente moídas, os principais componentes são a sêmola de milho, milho amarelo degerminado, trigo ou arroz. Os flocos são misturados com aromas e sabores como o açúcar, sal e xarope de malte para dar uma característica saborosa, o torrado fornece as características desejadas como o teor de umidade entre 1 e 3%. Outro tipo de cereal PPC são os cereais inflados, feitos de arroz branco ou trigo, de preferência o trigo duro, aqui o cereal é soprado através de pistolas com vapor ou formado, atingindo uma umidade entre 1 e 3%. Cereais ralados, como o trigo triturado, continuam a ser um produto importante do mercado, cuja característica é parecida aos biscoitos ou lanches (snacks), possuindo uma textura esponjosa. Os grãos em forma de granola são feitos de aveia em flocos por cozimento regular ou rápido, eles contêm mais ingredientes como frutas secas, leite em pó, mel, coco, nozes em pedaços, entre outros e são muito populares nas prateleiras das lojas. Cereais expandidos, são obtidos diretamente da extrusão são secadas a umidade abaixo de 6%. A tecnologia de extrusão foi desenvolvida para produzir cereais matinais em flocos, inflados, triturados e expandidos. Os extrudados podem ser revestidos com soluções vitamínicas e de minerais, com aromas, aromas e depois secos até a umidade final do produto.

#### **4.2 Matérias-primas**

Os cereais são um grupo alimentos que se cultivam em grandes quantidades e fornecem mais energia que qualquer outro tipo de cultura, considerados culturas alimentares básicos, os

cereais como arroz (23%), trigo (17%) e o milho (10%) são os que aportam o 50% das calorias consumidas pela população no mundo (MORENO *et al.*, 2017; SINGHAL; KAUSHIK, 2016).



**Figura 4.** Matérias-primas para o desenvolvimento dos cereais matinais por extrusão.

Cereais como o milho, arroz, trigo, aveia e cevada são matérias-primas mais utilizadas para o processamento de cereais matinais prontos para o consumo (OLIVEIRA *et al.*, 2015; SALDIVAR, 2016). Estes cereais tradicionais mostrados na Figura 4, são utilizados a partir de grãos inteiros, decorticados, partidos ou em farinhas. Na extrusão, são usados principalmente como farinhas refinadas, que perderam grande parte de nutrientes importantes, como as fibras, vitaminas e minerais (OLIVEIRA, 2015). O uso de farinhas integrais estão-se implementando para uma dieta saudável, esta matéria-prima é uma importante fonte de fibra alimentar na dieta, responsável de melhorar a função do trato gastrointestinal, por tanto o consumo de produtos integrais melhora o metabolismo, reduz a absorção de gordura pelo corpo humano e reduz o nível de colesterol LDL no sangue (GHATTAS *et al.*, 2008; MARQUART *et al.*, 2006).

Hoje em dia, os consumidores exigem novas fontes alimentares para sua alimentação (e.x. legumes, frutas ou subprodutos), alguns deles são mostrados na **Figura 4**. Esta inclusão permite fortificar nutricionalmente os produtos, fornecendo também a energia necessária e componentes que tenham efeitos positivos a saúde. É necessário criar novas formulas com características que sejam também aceitos sensorialmente pelo consumidor, além das

propriedades físico-químicas que estas contem e que sejam produzidas a partir de matérias-primas regionais (GODOY, 2013; OLIVEIRA *et al.*, 2018; SANTOS, 2014).

### **4.3 Processamento**

Os cereais *in natura* são comestíveis para os animais e para o consumo humano, eles precisam de cozimento para disponibilizar seus nutrientes. Ao longo dos anos o processamento dos cereais prontos para o consumo evoluiu muito, com a finalidade de minorar custos de fabricação, tornar o processamento rápido e um menor impacto para ao ambiente (ROSENTRATER; EVERS, 2018). As etapas comuns do processamento de cereais prontos para o consumo começam com a limpeza das matérias-primas (decorticado em alguns grãos), moenda, mistura com outros ingredientes (sal, açúcar, malte e outros), umectação da mistura, cozimento, resfriamento, secagem, formato do cereal, assadura (opcional) e empacotado.

Durante o processamento dos cereais matinais por cozimento Batch já foi utilizado por décadas. Resumidamente, a elaboração de flocos, começa com a hidratação dos grãos em recipientes giratórios de aço inoxidável, os quais se injetava vapor para o cozimento que gera o cor e sabor do produto, seguido de secagem com ar quente para obter a umidade apropriada para descamação mediante rolos de aço e por último passa pelo forno para fornecer as características do produto final, este tipo de processamento é conhecido por ser um processo por lotes (WU *et al.*, 2018). O cozimento contínuo apresenta muitas vantagens sobre os métodos por cozimento por lotes (batch). Este tipo de processamento requer menores espaços e pouca energia para seu funcionamento. Permite um ótimo controle das condições de processamento, pelo que conduz a uma melhor qualidade dos produtos finais (ROSENTRATER; EVERS, 2018). Cozimento por extrusão é um processo muito vantajoso para a produção deste tipo de alimento, hoje em dia existem muitas pesquisas que desenvolvem cereais matinais a partir de grãos integrais, misturas com polpas e cascas de frutas e outras fontes alimentares (ANUNCIACÃO *et al.*, 2017).

### **4.4 Aspectos nutricionais**

As propriedades nutricionais são muito importantes no desenvolvimento dos alimentos. No caso dos grãos integrais dos cereais são uma excelente fonte de vitaminas, minerais, carboidratos, gorduras, proteínas e fitoquímicos. Porém, quando estes grãos são refinados mediante a eliminação do gérmen e farelo, o endosperma que fica é composto, principalmente,

de carboidratos pobres em outros nutrientes (SARWAR *et al.*, 2013). No caso dos cereais matinais, esta propriedade depende do processamento (temperatura, umidade de alimentação, velocidade do parafuso, configuração do parafuso) que foi submetido o alimento e as características da matéria-prima (composição e tamanho de partícula) podendo causar ganho ou perdas de nutrientes (SINGH *et al.*, 2007). Os cereais matinais prontos para o consumo apresentam benefícios positivos como conveniência, variedade e um alto conteúdo de micronutrientes além dos benefícios nutritivos obtidos do leite quando consumidos. Além disso, muitos cereais prontos para o consumo estão altamente processados e cereais para crianças contêm altos níveis de energia, açúcar e sódio (WILES, 2017). Na **Tabela 2** mostra-se algumas das características nutricionais dos cereais prontos para o consumo.

#### **4.4.1 Proteínas e aminoácidos**

O processamento por extrusão pode causar perdas de aminoácidos essenciais, inativar inibidores de protease fazendo aumentar o valor nutritivo das proteínas, entre outros. Produtos à base de cereais são deficientes de aminoácidos lisina, esta deficiência pode ser relativamente maior nos cereais prontos para o consumo do que no pão, devido às mudanças que ocorrem na proteína quando submetido a alta temperatura, assim foi reportado as eficiências proteicas dos cereais matinais à base de trigo em relação à caseína (MCAULEY *et al.*, 1987). Sua deficiência em lisina não é muito fundamental nos cereais matinais porque eles são complementados com as proteínas do leite, que é uma ótima fonte deste aminoácido. Outro fenômeno que ocorre no processo de extrusão é a desnaturação de proteínas e permite a abertura de estruturas livres para interagir com os taninos logrando formar complexos de tanino-proteína e assim reter a atividade antioxidante. Este complexo formado, são digeridos ou descompostos no trato gastrointestinal humano para liberar os taninos unidos e atuar como captadores de radicais livres (RIEDL; HAGERMAN, 2001).

**Tabela 2.** Composição centesimal de alguns cereais matinais prontos para o consumo.

Matéria-prima	Composição centesimal (%)						Fonte bibliográfica
	Umidade	Proteínas	Carboidratos	Fibras	Lipídeos	Cinzas	
Mandioca/ soro do leite	5,93 ± 0,01	8,38 ± 0,12	84,21	2,93 ± 0,08	0,75 ± 0,01	0,73 ± 0,01	SILVA <i>et al.</i> (2011).
Arroz/ casca de maracujá/ soro do leite	5,38 ± 0,02	7,55 ± 0,07	84,72	6,12 ± 0,01	0,97 ± 0,02	1,38 ± 0,04	DOS SANTOS <i>et al.</i> (2019).
Trigo/ grits de milho/ aveia/ casca de naranjita	4,34 ± 0,06	8,00 ± 1,23	84,19	0,64 – 7,00	2,35 ± 0,13	5,46 ± 0,04	DELGADO-NIEBLAS <i>et al.</i> (2019).
Milheto perlado	3,16 ± 0,05	9,34 ± 0,12	78,3 ± 0,10	0,1	8,26 ± 0,06	1,48 ± 0,03	KUMARI <i>et al.</i> (2019).
Comercial*	3 - 4	7,3 – 10,5	75,9 – 61,9	4,3 – 8,4	3,9 – 7,6	< 1	WILES (2017).

Os dados estão expressos como média ± desvio padrão.

#### 4.4.2 Carboidratos

O amido representa o principal carboidrato presente nos cereais matinais, no estado cru é insolúvel, não digerível para o homem, é por isso que o processamento gelatiniza para que seja disponível e desejável nos alimentos. Para a gelatinização do amido precisa-se utilizar umidades abaixo de 20% e temperaturas maiores de 110 °C, no caso do cozimento por extrusão (ASP; BJÖRCK, 1989). A extrusão de cereais acrescenta a mudança molecular do amido, divide aleatoriamente as cadeias da amilose e amilopectina, gerando também açúcares com peso molecular muito baixo, o processo é chamado dextrinização. Os carboidratos como os açúcares redutores junto a um grupo de aminoácidos específicos formam um efeito químico importante durante a extrusão como a formação dos produtos da reação de Maillard, este processo contribui propriedades antioxidantes do produto final (ŽILIC *et al.*, 2014).

#### 4.4.3 Fibra alimentar

O cereal matinal pronto para o consumo permite fornecer entre 5 a 10 g de fibra alimentar, melhorando a ingestão de fibra para atender as recomendações de 25 a 30 g por dia. Estudos mostraram que cereais matinais a base de aveia contem fibra solúvel como a beta-glucana suficiente para fornecer na dieta diária 3 g, cereais matinais feitos com casca de sementes de *Psyllium* podem fornecer até 7 g de fibra solúvel. Fontes alimentares ricas em fibras com baixo teor de gorduras totais, saturadas e colesterol podem reduzir o risco de doenças cardíacas e câncer (CALDWELL *et al.*, 2016). Os cereais matinais que contem fibra alimentar pode facilitar a prevenção da obesidade e o preenchimento da saciedade (KAUR *et al.*, 2014). Estudos mostraram níveis de fibra em cereais comerciais como Kellogg's e General Mills que aumentaram em 13,4% nos Estados Unidos de América, isto mostra o emprego de ingredientes integrais nas novas formulas (THOMAS *et al.*, 2013).

A fibra alimentar junto aos amidos resistentes, estão recentemente associados com a redução do colesterol, proteção de doenças cardiovasculares e diminuição de riscos do câncer (WÓJTOWICZ *et al.*, 2015). Durante a extrusão a temperatura do barril pode induzir a quebra de ligações moleculares nos cereais matinais, podendo liberar fibras solúveis que podem estar ligadas ao amido ou a outros compostos (CAMIRE *et al.*, 1990). No Brasil, a legislação estabelece que um alimento deve ter 2,5 g e 5 g de fibra alimentar por porção para que seja considerada uma boa e rica fonte em fibras, respectivamente (ANVISA, 2012). Cereais expandidos de grãos integrais de trigo como substituto em farinha de milho apresentaram de

1,19 a 3,68 g de fibra alimentar por porção, de modo que os cereais matinais representam boas fontes de fibra (OLIVEIRA *et al.*, 2015). Outra boa fonte de fibra alimentar é o cereal matinal feito de milho perlado, aportando com 6,13% (KUMARI *et al.*, 2019).

#### 4.4.4 Minerais e vitaminas

Cerca de 50% da tiamina (vitamina B1) é destruída durante a fabricação do trigo triturado e na extrusão, enquanto quase 100% é destruída durante a inalação e descamação. Esses processos têm pouco efeito sobre a riboflavina (vitamina B2), niacina (vitamina B3), piridoxina (vitamina B6) ou ácido fólico. Foi demonstrado que o cozimento por extrusão causa uma perda de 11% a 21% da vitamina E, enquanto em produtos enriquecidos com gérmen de trigo, o cozimento por extrusão pode causar perdas de 50% a 66% da vitamina E (ASP; BJÖRCK, 1989). A maioria dos cereais matinais prontos para o consumo fabricados no Reino Unido e nos Estados Unidos de América, são enriquecidas com vitaminas (B6, B12, A, C, E, D3) e minerais como ferro. A incorporação destes pode ser realizada de várias maneiras, primeiro no estágio de cozimento por extrusão e através de pulverização da superfície após o processamento, o método empregado vai depender da estabilidade das vitaminas individuais (ROSENTRATER; EVERS, 2018). Os cereais feitos com milho perlado dentro da formulação do cereal pronto para o consumo teve conteúdos de cálcio, fósforo, zinco e ferro de 62,79, 239,53, 3,24, e 5,02 mg. 100g<sup>-1</sup>, respectivamente, este cereal representa uma excelente fonte de minerais aportando um 34,5% de cálcio e 20,5% para o ferro, no caso das vitaminas, ela teve vitamina E, niacina e ácido fólico 3,86, 0,39 e 103,21 mg. 100g<sup>-1</sup>, respectivamente. Estes valores representam uma boa fonte de nutrientes, sendo uma vantagem adicional que apoiara a criar seu espaço e demanda na indústria alimentar (KUMARI *et al.*, 2019).

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGAMA-ACEVEDO, E.; ISLAS-HERNÁNDEZ, J. J.; PACHECO-VARGAS, G.; OSORIO-DÍAZ, P.; BELLO-PÉREZ, L. A. Starch digestibility and glycemic index of cookies partially substituted with unripe banana flour. **LWT - Food Science and Technology**, 46, n. 1, p. 177-182, 2012.

AGAMA-ACEVEDO, E.; NUÑEZ-SANTIAGO, M. C.; ALVAREZ-RAMIREZ, J.; BELLO-PÉREZ, L. A. Physicochemical, digestibility and structural characteristics of starch isolated from banana cultivars. **Carbohydrate Polymers**, 124, p. 17-24, 2015.

AGAMA-ACEVEDO, E.; SAÑUDO-BARAJAS, J. A.; VÉLEZ DE LA ROCHA, R.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A.; BELLO-PERÉZ, L. A. Potential of plantain peels flour (*Musa paradisiaca* L.) as a source of dietary fiber and antioxidant compound. **CyTA - Journal of Food**, 14, n. 1, p. 117-123, 2015.

ALAM, M. S.; KAUR, J.; KHAIRA, H.; GUPTA, K. Extrusion and Extruded Products: Changes in Quality Attributes as Affected by Extrusion Process Parameters: A Review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 56, n. 3, p. 445-473, 2016.

ALBERTSON, A. M.; FRANKO, D. L.; THOMPSON, D. R.; TUTTLE, C.; HOLSCHUH, N. M. Ready-to-Eat Cereal Intake is Associated with an Improved Nutrient Intake Profile among Food Insecure Children in the United States. **Journal of Hunger & Environmental Nutrition**, 8, n. 2, p. 200-220, 2013.

ALKARKHI, A. F. M.; RAMLI, S. b.; YONG, Y. S.; EASA, A. M. Comparing physicochemical properties of banana pulp and peel flours prepared from green and ripe fruits. **Food Chemistry**, 129, n. 2, p. 312-318, 2011.

ALVES, P. L. d. S.; BERRIOS, J. D. J.; PAN, J.; ASCHERI, J. L. R. Passion fruit shell flour and rice blends processed into fiber-rich expanded extrudates. **CyTA - Journal of Food**, 16, n. 1, p. 901-908, 2018.

ANDRADE, B. A.; PERIUS, D. B.; DE MATTOS, N. V.; DE MELLO LUVIELMO, M.; MELLADO, M. S. Production of unripe banana flour (*Musa* spp) for application in whole wheat bread. **Brazilian Journal of Food Technology**, 21, 2018.

ANUNCIÇÃO, P. C.; CARDOSO, L. d. M.; GOMES, J. V. P.; DELLA LUCIA, C. M.; CARVALHO, C. W. P.; GALDEANO, M. C.; QUEIROZ, V. A. V.; ALFENAS, R. d. C. G.; MARTINO, H. S. D.; PINHEIRO-SANT'ANA, H. M. Comparing sorghum and wheat whole grain breakfast cereals: Sensorial acceptance and bioactive compound content. **Food Chemistry**, 221, p. 984-989, 2017.

ANVISA. Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. RDC n° 263, de 22 de setembro de 2005.

ANVISA. Resolução da Diretoria Colegiada, n°54, de 12 de nov. de 2012.

ANVISA. Legislação por categoria de produto: Farinhas. 2018. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/legislacao#/visualizar/27619>. Acesso em: 14/10/2018.

ASCHERI, D. P. R.; CAVALCANTE, L. H.; ASCHERI, J. L. R.; DE CARVALHO, C. W. P. Physical-chemical characterization of pre-cooked mixed rice flour and barley bagasse. **Seminário: Ciências Agrárias**, 37, n. 2, p. 737-750, 2016.

ASP, N.-G.; BJÖRCK, I. Nutritional properties of extruded foods. In: Mercier, C., Linko, P., Harper, J.M. (Eds.), *Extrusion Cooking*. Amer. Assoc. of Cereal Chemists Inc., St. Paul, MN, USA. 1989.

AUORE, G.; PARFAIT, B.; FAHRASMANE, L. Bananas, raw materials for making processed food products. **Trends in Food Science & Technology**, 20, n. 2, p. 78-91, 2009.

AWOLU, O. O.; OLUWAFERANMI, P. M.; FAFOWORA, O. I.; OSEYEMI, G. F. Optimization of the extrusion process for the production of ready-to-eat snack from rice, cassava and kersting's groundnut composite flours. **LWT - Food Science and Technology**, 64, n. 1, p. 18-24, 2015.

BELLO-PÉREZ, L. A.; AGAMA-ACEVEDO, E.; OSORIO-DÍAZ, P.; UTRILLA-COELLO, R. G.; GARCÍA-SUÁREZ, F. J. Chapter 22 - Banana and Mango Flours. In: PREEDY, V. R.; WATSON, R. R., et al (Ed.). *Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention*. San Diego: Academic Press, 2011. p. 235-245.

BERRIOS, J. D.; ASCHERI, J. L. R.; LOSSO, J. N. Extrusion Processing of Dry Beans and Pulses. In: *Dry Beans and Pulses Production, Processing and Nutrition*. 1 ed. ed. Arnes: Iowa State University Press: Processing and Nutrition (eds M. Siddiq and M. A. Uebersax), 2013. v. v.1, p. 191-203.

BEZERRA, C. V.; AMANTE, E. R.; DE OLIVEIRA, D. C.; RODRIGUES, A. M. C.; DA SILVA, L. H. M. 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**, 41, p. 241-249, 2013.

BHATTACHARYA, S. Extrusion Technology and Glass Transition. In: *Non-Equilibrium States and Glass Transitions in Foods: Processing Effects and Product-Specific Implications*: Elsevier Inc., 2016. p. 137-152.

BOLANHO, B. C.; DANESI, E. D. G.; BELÉIA, A. D. Characterization of flours made from peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth) by-products as a new food ingredient. **Journal of Food and Nutrition Research**, 53(1), p. 51-59, 2014.

BORGES, A. d. M.; PEREIRA, J.; JÚNIOR, A. S.; PEREIRA DE LUCENA, E. M.; CESAR DE SALES, J. Estabilidade da pré-mistura de bolo elaborada com 60% de farinha de banana verde. **Ciência e Agrotecnologia**, 34, n. 1, p. 173-181, 2010.

BORGES, A. L.; SOUZA, A. d. S.; MATOS, A. P. d.; LEDO, C. A. d. S.; RITZINGER, C. H. S. P.; ALMEIDA, C. O. d.; ALVES, É. J.; VIANA, E. d. S.; COELHO, E. F.; SOUZA, F. V. D.; MATSUURA, F. C.; NETO, F. P. L.; SEREJO, J. A. d. S.; SILVEIRA, J. R. S.; SOUZA, L. d. S.; POIANI, L. M.; LIMA, M. B.; PEREIRA, M. E. C.; FANCELLI, M.; MATSUURA, M. I. d. S. F.; WASZCZYNSKJ, N.; FILHO, P. E. M.; GODOY, R. C. B. d.; SILVA, S. d. O. e.; MEDINA, V. M.; CORDEIRO, Z. J. M. *Banana: O produtor pergunta, a Embrapa responde*. 2 ed. Embrapa, Brasília, 2012.

CALDWELL, E. F.; MCKEEHEN, J. D.; KADAN, R. S. Breakfast Cereals. In: *Reference Module in Food Science*: Elsevier, 2016.

CAMIRE, M. E.; CAMIRE, A.; KRUMHAR, K. Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 29, n. 1, p. 35-57, 1990.

CASTELO-BRANCO, V. N.; GUIMARÃES, J. N.; SOUZA, L.; GUEDES, M. R.; SILVA, P. M.; FERRÃO, L. L.; MIYAHIRA, R. F.; GUIMARÃES, R. R.; FREITAS, S. M. L.; REIS, M. C. d.; ZAGO, L. The use of green banana (*Musa balbisiana*) pulp and peel flour as an ingredient for tagliatelle pasta. **Brazilian Journal of Food Technology**, 20, 2017.

CLIFTON, P.; KEOGH, J. Starch. In: CABALLERO, B.; FINGLAS, P. M., et al (Ed.). Encyclopedia of Food and Health. Oxford: Academic Press, 2016. p. 146-151.

CORDOBA, L. d. P.; DA SILVA, R. G.; GOMES, D. d. S.; SCHNITZLER, E.; WASZCZYNSKYJ, N. Brazilian green banana. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, 2018.

DA SILVA CONCEIÇÃO, A.; MATSUMOTO, K.; BAKRY, F.; BERND-SOUZA, R. B. Plant regeneration from long-term callus culture of AAA-group dessert banana. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, 33, n. 8, p. 1291-1296, 1998.

DALBHAGAT, C. G.; MAHATO, D. K.; MISHRA, H. N. Effect of extrusion processing on physicochemical, functional and nutritional characteristics of rice and rice-based products: A review. **Trends in Food Science & Technology**, 85, p. 226-240, 2019.

DE BARROS MESQUITA, C.; LEONEL, M.; FRANCO, C. M. L.; LEONEL, S.; GARCIA, E. L.; DOS SANTOS, T. P. R. Characterization of banana starches obtained from cultivars grown in Brazil. **International Journal of Biological Macromolecules**, 89, p. 632-639, 2016.

DE JESUS FILHO, M.; DO CARMO, L. B.; DELLA LUCIA, S. M.; SARAIVA, S. H.; COSTA, A. V.; OSÓRIO, V. M.; TEIXEIRA, L. J. Q. Banana liqueur: Optimization of the alcohol and sugar contents, sensory profile and analysis of volatile compounds. **LWT**, 97, p. 31-38, 2018.

DELGADO-NIEBLAS, C.; RUIZ-BELTRÁN, K.; SÁNCHEZ-LIZÁRRAGA, J.; ZAZUETA-MORALES, J. d. J.; AGUILAR-PALAZUELOS, E.; CARRILLO-LÓPEZ, A.; CAMACHO-HERNÁNDEZ, I. L.; QUINTERO-RAMOS, A. Effect of extrusion on physicochemical, nutritional and antioxidant properties of breakfast cereals produced from bran and dehydrated naranjita pomace. **CyTA - Journal of Food**, 17, n. 1, p. 240-250, 2019.

DOS ANJOS, A. S.; BARBOSA, J. L. J.; MARTINS, M. I. J. B. Farinha de banana verde como ingrediente funcional em produtos alimentícios. **Ciência Rural**, 45, n. 12, 2015.

DOS SANTOS, P. A.; CALIARI, M.; SOARES SOARES JÚNIOR, M.; SOARES SILVA, K.; FLEURY VIANA, L.; GONÇALVES CAIXETA GARCIA, L.; SIQUEIRA DE LIMA, M. Use of agricultural by-products in extruded gluten-free breakfast cereals. **Food Chemistry**, 297, p. 124956, 2019.

EMBRAPA. O cultivo da banana. 2. ed. re. e aum. ed. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura Tropical, 1998.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2018. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia40/AG01/Abertura.html>. Acesso em: 13/10/2018.

EMERY, E. A.; AHMAD, S.; KOETHE, J. D.; SKIPPER, A.; PERLMUTTER, S.; PASKIN, D. L. Banana Flakes Control Diarrhea in Enterally Fed Patients. **Nutrition in Clinical Practice**, 12, n. 2, p. 72-75, 1997.

FAO. Banana cultivars. 2018. Disponível em: <http://www.fao.org/economic/est/est-commodities/bananas/bananafacts/en/#.W3GQ6-gzbiW>. Acesso em: 14/08/2018.

FAO/WHO, Food and Agriculture Organization/ World Health Organization. Report of the 27th Session of the Codex Committee on Nutrition and Foods for Special Dietary Uses. Bonn, Germany. 2018. Acesso em: 13/10/2018.

FAOSTAT. Crops and livestock products., 2016. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/TP>. Acesso em: 08/11/2018.

FAOSTAT. Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division. Data-Crops-Production. 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 09/08/2019.

GAMLATH, S. Impact of ripening stages of banana flour on the quality of extruded products. **International Journal of Food Science & Technology**, 43, n. 9, p. 1541-1548, 2008.

GHATTAS, L. A.; HANNA, L. M.; EL-SHEBINI, S. M.; TAPOZADA, S. T. Effect of daily consumption of a variety of grains on some of type 2 diabetic complications. **Polish Journal of Food and Nutrition Science**, 58, p. 503-506, 2008.

GIBSON, S. A.; O'SULLIVAN, K. R. Breakfast cereal consumption patterns and nutrient intakes of British schoolchildren. **Journal of the Royal Society of Health**, 115, n. 6, p. 366-370, 1995.

GODOY, R. C. Cereal extrusado, free glúten, formulado com subprodutos de arroz e quinoa. 2013. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2013.

GOMES, A. A. B.; FERREIRA, M. E.; PIMENTEL, T. C. Bread with flour obtained from green banana with its peel as partial substitute for wheat flour: Physical, chemical and microbiological characteristics and acceptance. **International Food Research Journal**, 23, n. 5, p. 2214-2222, 2016.

GONDIM, T. M. d. S.; CAVALCANTE, M. d. J. B. Como produzir banana. Embrapa Acre-Documentos (INFOTECA-E): Rio Branco: Embrapa Acre-Documentos 44: 31 p. 2001.

GUY, R. Extrusion Cooking: Technology and Applications. 1st, NW: Wood head Publishing Limited and CRC Press, Inc., Boca Raton, 2001.2022-2025, 2001.

HARPER, J. M.; CLARK, J. P. Food extrusion. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 11, n. 2, p. 155-215, 1979.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, LSPA. 2018. Disponível em: [www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric](http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric). Acesso em: 13/10/2018.

ILO, S.; LIU, Y.; BERGHOFER, E. Extrusion Cooking of Rice Flour and Amaranth Blends. **LWT - Food Science and Technology**, 32, n. 2, p. 79-88, 1999.

KADAN, R. S.; CALDWELL, E. F. CEREALS | Breakfast Cereals. In: CABALLERO, B. (Ed.). *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition)*. Oxford: Academic Press, 2003. p. 1023-1027.

KAUR, K. D.; JHA, A.; SABIKHI, L.; SINGH, A. K. Significance of coarse cereals in health and nutrition: a review. **Journal of food science and technology**. 51, n. 8, p. 1429-1441, 2014.

KUMARI, R.; SINGH, K.; SINGH, R.; BHATIA, N.; NAIN, M. J. Development of healthy ready-to-eat (RTE) breakfast cereal from popped pearl millet. **Indian Journal of Agricultural Sciences**. v. 89, n. 5, p. 877-881, 2019.

MARQUART, L.; PHAM, A.-T.; LAUTENSCHLAGER, L.; CROY, M.; SOBAL, J. Beliefs about Whole-Grain Foods by Food and Nutrition Professionals, Health Club Members, and Special Supplemental Nutrition Program for Women, Infants, and Children Participants/State Fair Attendees. **Journal of the American Dietetic Association**, 106, n. 11, p. 1856-1860, 2006.

MASKAN, M.; ALTAN, A. *Advances in food extrusion technology*. CRC press, 2016. 1439815216.

MCAULEY, J. A.; HOOVER, J. L. B.; KUNKEL, M. E.; ACTON, J. C. Relative Protein Efficiency Ratios for Wheat-Based Breakfast Cereals. 52, n. 4, p. 1111-1112, 1987.

MENON, R. Banana Breeding. In: MOHANDAS, S. e RAVISHANKAR, K. V. (Ed.). *Banana: Genomics and Transgenic Approaches for Genetic Improvement*. Singapore: Springer Singapore, 2016. p. 13-34.

MORENO, C. R.; FERNÁNDEZ, P. C. R.; RODRÍGUEZ, E. O. C.; CARRILLO, J. M.; ROCHÍN, S. M. Changes in Nutritional Properties and Bioactive Compounds in Cereals During Extrusion Cooking. In: *Extrusion of Metals, Polymers and Food Products*: IntechOpen, 2017.

NAYAK, B.; BERRIOS, J. D. J.; POWERS, J. R.; TANG, J. Effect of Extrusion on the Antioxidant Capacity and Color Attributes of Expanded Extrudates Prepared from Purple Potato and Yellow Pea Flour Mixes. **Journal of Food Science**, 76, n. 6, p. C874-C883, 2011.

OLIVEIRA, L. C.; ALENCAR, N. M. M.; STEEL, C. J. Improvement of sensorial and technological characteristics of extruded breakfast cereals enriched with whole grain wheat flour and jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) peel. **LWT**, 90, p. 207-214, 2018.

OLIVEIRA, L. C.; ROSELL, C. M.; STEEL, C. J. Effect of the addition of whole-grain wheat flour and of extrusion process parameters on dietary fibre content, starch transformation and mechanical properties of a ready-to-eat breakfast cereal. **International Journal of Food Science & Technology**, 50, n. 6, p. 1504-1514, 2015.

OLIVEIRA, L. d. C. Propriedades antioxidantes e características físicas, sensoriais e nutricionais de cereal matinal extrusado elaborado com farinha de trigo em grão inteiro e casca de jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*). 2015. 250 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, São Paulo. 2015

PACHECO-DELAHAYE, E.; MALDONADO, R.; PÉREZ, E.; SCHROEDER, M. Production and characterization of unripe plantain (*Musa paradisiaca* L.) flours. *Interciencia*, 33, n. 4, 2008.

PALMER, J. K. BANANA PRODUCTS. In: INGLETT, G. E. e CHARALAMBOUS, G. (Ed.). *Tropical Food: Chemistry and Nutrition*: Academic Press, 1979. p. 625-635.

PAREEK, S. Chapter 3 - Nutritional and Biochemical Composition of Banana (*Musa* spp.) Cultivars. In: SIMMONDS, M. S. J. e PREEDY, V. R. (Ed.). *Nutritional Composition of Fruit Cultivars*. San Diego: Academic Press, 2016. p. 49-81.

PREEDY, V. R.; WATSON, R. R.; PATEL, V. B. Flour and breads and their fortification in health and disease prevention. Academic press, 2011. 0123808871.

QAMAR, S.; SHAIKH, A. Therapeutic potentials and compositional changes of valuable compounds from banana- A review. **Trends in Food Science & Technology**, 79, p. 1-9, 2018.

QIAN, H.; ZHANG, H. 22 - Rice flour and related products. In: BHANDARI, B.; BANSAL, N., et al (Ed.). *Handbook of Food Powders*: Woodhead Publishing, 2013. p. 553-575.

REKHA, A. History, Origin, Domestication, and Evolution. In: MOHANDAS, S. e RAVISHANKAR, K. V. (Ed.). *Banana: Genomics and Transgenic Approaches for Genetic Improvement*. Singapore: Springer Singapore, 2016. p. 3-11.

RIAZ, M. N.; ASIF, M.; ALI, R. Stability of Vitamins during Extrusion. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 49, n. 4, p. 361-368, 2009.

RIEDL, K. M.; HAGERMAN, A. E. Tannin-Protein Complexes as Radical Scavengers and Radical Sinks. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 49, n. 10, p. 4917-4923, 2001.

ROSENTRATER, K. A.; EVERS, A. D. Chapter 9 - Breakfast cereals. In: ROSENTRATER, K. A. e EVERS, A. D. (Ed.). *Kent's Technology of Cereals (Fifth Edition)*: Woodhead Publishing, 2018. p. 623-655.

SALDIVAR, S. O. S. Cereals: Types and Composition. In: CABALLERO, B.; FINGLAS, P. M., et al (Ed.). *Encyclopedia of Food and Health*. Oxford: Academic Press, 2016. p. 718-723.

- SANTOS, I. L. Desenvolvimento de cereal matinal extrusado à base de farinha de milho (*Zea mays*), e pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth). 2014. 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus. 2014.
- SARAWONG, C.; SCHOENLECHNER, R.; SEKIGUCHI, K.; BERGHOFER, E.; NG, P. K. W. Effect of extrusion cooking on the physicochemical properties, resistant starch, phenolic content and antioxidant capacities of green banana flour. **Food Chemistry**, 143, p. 33-39, 2014.
- SARWAR, M. H.; SARWAR, M. F.; SARWAR, M.; QADRI, N. A.; MOGHAL, S. J. J. o. c.; OILSEEDS. The importance of cereals (*Poaceae: Gramineae*) nutrition in human health: A review. **Journal of cereals and oilseeds**. 4, n. 3, p. 32-35, 2013.
- SILVA, E. M. M. d.; ASCHERI, J. L. R.; ASCHERI, D. P. R. Quality assessment of gluten-free pasta prepared with a brown rice and corn meal blend via thermoplastic extrusion. **LWT - Food Science and Technology**, 68, p. 698-706, 2016.
- SILVA, P.; ASSIS, G.; CARVALHO, A.; SIMÕES, M. J. E. A. O. Desenvolvimento e caracterização de cereal matinal extrudado de mandioca enriquecido com concentrado proteico de soro de leite. 2011.
- SIMMONDS, N. W.; SHEPHERD, K. The taxonomy and origins of the cultivated bananas. **Botanical Journal of the Linnean Society**, 55, n. 359, p. 302-312, 1955.
- SIMMONDS, N. W.; WEATHERUP, S. T. C. Numerical taxonomy of the wild bananas (*Musa*). *New Phytologist*, 115, n. 3, p. 567-571, 1990.
- SINGH, S.; GAMLATH, S.; WAKELING, L. Nutritional aspects of food extrusion: a review. **International Journal of Food Science & Technology**, 42, n. 8, p. 916-929, 2007.
- SINGHAL, P.; KAUSHIK, G. Therapeutic Effect of Cereal Grains: A Review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 56, n. 5, p. 748-759, 2016.
- TACO. Tabela brasileira de composição de alimentos: NEPA. UNICAMP. Campinas - São Paulo: 161 p. 2011.
- THOMAS, R. G.; PEHRSSON, P. R.; AHUJA, J. K. C.; SMIEJA, E.; MILLER, K. B. Recent Trends in Ready-to-eat Breakfast Cereals in the U.S. *Procedia Food Science*, 2, p. 20-26, 2013.
- THOMPSON, A. K. 10 - Banana (*Musa* spp.). In: YAHIA, E. M. (Ed.). *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*: Woodhead Publishing, 2011. p. 216-244e.
- USMAN, G. O.; OKAFOR, G. I. Organoleptic properties and perception of maize, African yam bean, and defatted coconut flour-based breakfast cereals served in conventional forms. **Food Science & Nutrition**, 4(5), 716-722. 2016.
- VASANTHAN, T.; GAOSONG, J.; YEUNG, J.; LI, J. Dietary fiber profile of barley flour as affected by extrusion cooking. **Food Chemistry**, 77, n. 1, p. 35-40, 2002.

WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; DE AVILA, L. A. J. C. R. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural**, 38, n. 4, p. 1184-1192, 2008.

WHALEN, P.; BASON, M.; BOOTH, R.; WALKER, C.; WILLIAMS, P. Measurement of extrusion effects by viscosity profile using the Rapid Visco Analyser. **Cereal Foods World**, v. 42, n. 6, p. p. 469-475, 1997.

WILES, N. L. The nutritional quality of South African ready-to-eat breakfast cereals. **South African Journal of Clinical Nutrition**, 30, n. 4, p. 93-100, 2017.

WILLIAMS, P. G. The Benefits of Breakfast Cereal Consumption: A Systematic Review of the Evidence Base. **Advances in Nutrition**, 5, n. 5, p. 636S-673S, 2014.

WÓJTOWICZ, A.; MITRUS, M.; ONISZCZUK, T.; MOŚCICKI, L.; KRĘCISZ, M.; ONISZCZUK, A. Selected Physical Properties, Texture and Sensory Characteristics of Extruded Breakfast Cereals based on Wholegrain Wheat Flour. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, 7, p. 301-308, 2015.

WU, G.; ASHTON, J.; SIMIC, A.; FANG, Z.; JOHNSON, S. K. Mineral availability is modified by tannin and phytate content in sorghum flaked breakfast cereals. **Food Research International**, 103, p. 509-514, 2018.

YAP, M.; FERNANDO, W. M. A. D. B.; BRENNAN, C. S.; JAYASENA, V.; COOREY, R. The effects of banana ripeness on quality indices for puree production. **LWT - Food Science and Technology**, 80, p. 10-18, 2017.

YU, L.; RAMASWAMY, H. S.; BOYE, J. Twin-screw Extrusion of Corn Flour and Soy Protein Isolate (SPI) Blends: A Response Surface Analysis. **Food and Bioprocess Technology**, 5, n. 2, p. 485-497, 2012.

ŽILIĆ, S.; MOGOL, B. A.; AKİLLİOĞLU, G.; SERPEN, A.; DELIĆ, N.; GÖKMEN, V. Effects of extrusion, infrared and microwave processing on Maillard reaction products and phenolic compounds in soybean. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 94, n. 1, p. 45-51, 2014.

## **CAPÍTULO II**

### **EFEITO DAS CONDIÇÕES DE EXTRUSÃO NAS PROPRIEDADES FÍSICO- QUÍMICAS DE FLOCOS DE MISTURAS DE BANANA VERDE COM CASCA E ARROZ**

Submetido para publicação na Revista Molecules (Qualis Capes A2)

## RESUMO

A farinha de banana verde inteira representa uma excelente matéria-prima para novas formulações de produtos por extrusão. O objetivo deste trabalho foi obter flocos por extrusão e secagem, estudando o efeito das condições de extrusão nas suas propriedades físico-químicas. Misturas binárias à base de arroz polido e banana verde inteira (com casca) foram processadas em uma extrusora de parafuso único em escala de laboratório, variando a proporção de farinha de banana verde inteira (FBVi) na mistura com farinha de arroz (FA) (50 e 70% em base seca), umidade de processo (UP, 50 e 70% , em base úmida) e temperatura do barril na terceira zona (TB, 80 e 100 °C), de acordo com um delineamento fatorial de  $2^3$  com 4 pontos centrais para ser testados efeitos lineares. Os parâmetros do sistema, como a energia mecânica específica (EME), variaram de 171,60 a 344,98 kJ. kg<sup>-1</sup>. Os extrudados foram laminados, cortados e secos em um forno com circulação de ar a 60 °C por aproximadamente 20 horas. Os flocos obtidos, com umidade final de 6% foram avaliados com a relação da dureza, que variou de 97,02 a 292,21 N, sendo o valor mais baixo o adequado para um cereal matinal. Além disso, outra parte dos flocos foram moídas, para determinar sua composição centesimal, fibra alimentar, índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção de água (IAA) e propriedades de pasta. Os fatores de proporção de FBVi e UP foram as condições que mais afetaram significativamente ( $p < 0,05$ ) o processo de extrusão. Flocos extrudados a partir de misturas de farinhas de banana verde inteira e farinha de arroz, são alternativas saudáveis ricos em fibras e micronutrientes como os minerais, além disso é um produto livre de glúten para pessoas com alergia ao glúten ou celíacas.

Palavras-chave: Tecnologia de extrusão, flocos, misturas cruas, fibra alimentar, banana verde, farinhas.

## ABSTRACT

Whole green banana flour represents an excellent raw material for new product formulations by extrusion. The objective of this work was to obtain flakes by extrusion and drying by studying the effect of extrusion conditions on their physicochemical properties. Binary mixtures based on polished rice and whole green banana (with peel) were processed in a laboratory-scale single screw extruder, varying the proportion of whole green banana flour (FBVi) in the mixture with rice flour (FA) (50 and 70% on a dry basis), process moisture (UP, 50 and 70%, on a wet basis) and barrel temperature in the third zone (TB, 80 and 100 °C), according to a factorial design of  $2^3$  with 4 central points to test linear effects. System parameters, such as specific mechanical energy (EME), ranged from 171.60 to 344.98 kJ/ kg. The extrudates were laminated, cut and dried in an oven with air circulation at 60 °C for approximately 20 hours. The flakes obtained, with a final moisture content of 6%, were evaluated with the hardness ratio, which ranged from 97.02 to 292.21 N, with the lowest value being adequate for a breakfast cereal. In addition, another part of the flakes was ground to determine their chemical composition, dietary fiber, water solubility index (ISA), water absorption index (IAA) and paste properties. The FBVi and UP proportion factors were the conditions that most significantly affected ( $p < 0.05$ ) the extrusion process. Flakes extruded from mixtures of whole green banana flour and rice flour, are healthy alternatives rich in fiber and micronutrients like minerals, in addition it is a gluten-free product for people with gluten or celiac allergies.

Keywords: Extrusion technology, flakes, raw mixtures, dietary fiber, green bananas, flours.

## 1 INTRODUÇÃO

A banana (*Musa* spp.) representa a quarta cultura mais importante do mundo depois do milho, o arroz e o trigo (HASLINDA *et al.*, 2009). Em 2017, a produção mundial de banana foi de aproximadamente 114 milhões de toneladas em mais de 130 países tropicais e o Brasil estava em quarto lugar, com 5,86% dessa produção, segundo o banco de dados estatísticos da FAO (FAOSTAT, 2019). Estudos relatam que há uma perda quantitativa de 40 a 50% dessa produção nacional pelo fato da banana de ser uma fruta climatérica altamente perecível (ANDRADE *et al.*, 2018). A industrialização, como no caso da produção de farinha, tem sido parte da solução para esse problema, sendo um ingrediente básico para a elaboração de outros produtos, como biscoitos, pão, macarrão (DOS ANJOS *et al.*, 2015; GARCIA-VALLE *et al.*, 2019; RAYO *et al.*, 2015), mas a produção dessas farinhas a partir da polpa de banana gera um desperdício considerável para o meio ambiente. Estudos relatam que a indústria das farinhas gera 1,2 milhão de toneladas de resíduos de casca de banana na produção brasileira (REBELLO *et al.*, 2014).

A indústria de alimentos tem-se reinventado com tecnologias versáteis para o processamento de novos produtos e a extrusão termoplástica é uma opção de grande versatilidade. Esse processo eficiente consiste no cozimento dos materiais crus (grânulos ou pós) pela ação combinada da umidade, pressão, temperatura e força de cisalhamento para a produção de produtos intermediários ou finais, com diferentes variedades de formatos (GUY, 2001). É apropriado desenvolver produtos processados adaptados às expectativas dos consumidores modernos, proporcionando maior variedade e conveniência de uso, ao fabricar produtos que possam ser utilizados na formulação de outros produtos (AURORE *et al.*, 2009). Atualmente, a extrusão está sendo amplamente utilizada pela indústria com os diferentes produtos obtidos, como pastas, bebidas em pó, produtos de confeitaria, substitutos de carne, massas alimentícias, substitutos de leite, amidos modificados, alimentos para bebês, lanches e cereais matinais (BERRIOS *et al.*, 2013). Uma vantagem importante da extrusão é devido à versatilidade com diferentes fontes alimentares, de modo que quando não seja possível processar um determinado material, isso pode ser complementado com o uso de outra fonte amilácea, como o arroz, o milho, o sorgo ou outras fontes, de acordo com sua disponibilidade regional (ASCHERI *et al.*, 2019). A inclusão de farinhas de frutas inteiras combinados com cereais, como o arroz, nos permite melhorar a qualidade nutricional dos alimentos, este

enriquecimento representa a melhor alternativa que demonstra viabilidade tecnológica e econômica.

Os flocos são um tipo de cereal matinal gostoso e nutritivo, feito comumente de milho, arroz e/ou aveia. Este tipo de alimento há décadas é feito de grãos refinados (que foram removidos de farelo e germe) para ser mais agradável durante o consumo. Durante esses tempos, novas fórmulas incluem matérias-primas ricas em fibras, como a inclusão de farelo de trigo para melhorar as características nutricionais e textura de flocos de trigo (DE BRIER *et al.*, 2015), flocos de cevada com altos níveis de fibra solúvel (LAU *et al.*, 2016), flocos feitos com mocaf-arroz-tapioca preto complementados com farinha de soja e feijão (AGUSTIA *et al.*, 2019), com o objetivo de oferecer uma dieta saudável ao consumidor. Porém, há uma limitação de estudos que demonstram o uso de bananas na fabricação de flocos (EMERY *et al.*, 1997; RUALES *et al.*, 1990). As bananas verdes podem ser consideradas um recurso para a produção desses lanches, além de produtos pré-cozidos. Seu uso para essas fórmulas contribuirá com nutrientes funcionais benéficos para a saúde, amidos resistentes, minerais e fibras, tornando o consumidor mais confiável em consumi-lo.

Flocos feitos de misturas de farinha de banana verde inteira e arroz são produtos feitos por extrusão. O arroz além de melhorar a qualidade nutricional dos extrudados, possui sabor neutro que não interfere ao sabor do material de estudo, facilita a extrusão ao usar um material de difícil cozimento, como foi utilizado em estudos com amaranto (OIT *et al.*, 1999), casca de maracujá (ALVES *et al.*, 2018; DOS SANTOS *et al.*, 2019), bagaço de cevada (ASCHERI *et al.*, 2016) e representa uma boa fonte de alimento livre de glúten para pessoas com doença celíaca. Portanto, na ausência de informações detalhadas sobre o uso de misturas de farinha de banana verde inteira e arroz para o desenvolvimento de flocos, este estudo procura definir o efeito das condições da extrusão sobre as propriedades físico-químicas dos flocos a partir de misturas de farinhas de banana verde inteira e arroz.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Matéria-prima**

As bananas verdes da variedade terra (genótipo AAB) foram adquiridas no Centro Estadual de Abastecimento (CEASA) do Rio de Janeiro. O arroz branco da marca Vilaroz (Fumacense Food Ltd., Santa Catarina, Brasil) foi comprado em uma loja local do estado.

## 2.2 Preparação das farinhas

As bananas verdes, foram lavadas com água corrente, depois imersas em água clorada (20 ppm) por 10 minutos, enxaguadas, drenadas por 2 minutos, cortadas manualmente em fatias de 5 mm de espessura aproximadamente, branqueadas por fervura por 3 minutos e secas em um secador de bandejas (Hauber, DMS-G-EG, Brasil) a 60 °C. A temperatura e a umidade relativa do secador foram medidas com um termo-higrômetro (Cole-Parmer, Vernon Hills, EUA), que variou de 60 ± 1 °C e 32 ± 2%, respectivamente. As fatias atingiram peso constante após um período de 20 h. As fatias secas de banana verde com casca e arroz foram moídas separadamente em um moinho de facas e martelos 7,5 CV (TREU, Brasil) com uma peneira acoplada de 1,0 mm de abertura.

## 2.3 Distribuição do tamanho de partículas

A distribuição do tamanho de partículas das farinhas cruas foi determinada por segregação. Foram utilizadas 100 g de amostra em duplicata em um conjunto de peneiras padrão: 0,297, 0,212, 0,149, 0,106, 0,090, 0,075 mm (Newark, EUA). Após 10 minutos de peneiração em ROTAP RX-29-10 (WS Tyler, St. Albans, EUA), a fração retida em cada peneira foi calculada e convertida em porcentagem.

## 2.4 Obtenção dos flocos

O processamento foi realizado em um extrusor de parafuso único (Brabender 20DN, Duisburg, Alemanha) com uma taxa de compressão de 3:1, acoplada uma matriz de orifício único com 3 mm de diâmetro, um alimentador volumétrico e um sistema de refrigeração do barril com ar comprimido. O extrusor operava nas seguintes condições: taxa de alimentação constante (4 kg. h<sup>-1</sup>), velocidade do parafuso (120 rpm) e temperaturas de aquecimento nas zonas 1 e 2 (50 e 70 °C, respectivamente). A umidade de processo (UP) e temperatura do barril (TB) na zona 3 da extrusora variaram de acordo com o planejamento experimental.

### 2.4.1 Energia mecânica específica

A EME foi determinada de acordo com a equação (1) descrita por CHEN *et al.* (2010) e FANG *et al.* (2013).

$$EME = \frac{T \times 2\pi (SS) \times n}{Q} \quad (1)$$

Onde T é o torque fornecido ao parafuso (kJ, registrado automaticamente pela extrusora), a velocidade de rotação (SS) foi expressada em rpm, n é o número de parafusos e a taxa mássica (Q) em kg. min<sup>-1</sup>, obtido em duplicado.

#### **2.4.2 Laminação e secagem dos flocos**

Os extrudados recém saídos da matriz foram laminados em um rolo de laminação (G.Paniz, CL 300, Rio Grande do Sul, Brasil). As fitas foram cortadas manualmente (aproximadamente 10 mm de largura) e depois secas a 60 °C nas condições descritas no item 2.2 para obter fatias de banana secas, atingindo um teor de umidade de 6 % aproximadamente de cada tratamento.

#### **2.5 Textura instrumental**

A dureza foi determinada usando um analisador de textura (TA.TXplus, Stable Micro Systems, Reino Unido) com uma célula de carga de 30 kg, com um encaixe de compressão cilíndrico de 50 mm de diâmetro. O teste de compressão foi utilizado, com 15 g de flocos extrudados secos, sendo deformados em até 30%, partindo de 30 mm da base do cilindro. O acessório de compressão desceu a uma velocidade de 2 mm. s<sup>-1</sup>, após o teste, o acessório subiu a uma velocidade de 10 mm. s<sup>-1</sup> e 15 repetições foram realizadas para cada tratamento. A dureza foi expressa como a força máxima (N) das leituras.

#### **2.6 Composição centesimal**

A composição centesimal das farinhas cruas e dos flocos extrudados secos foram feitas de acordo com a AOAC (2005). Os flocos extrudados foram previamente triturados num moinho de martelos LM3100 (Perten Instruments AB, Huddinge, Suécia), equipado com uma peneira de abertura de 0,8 mm, a fim de atingir um tamanho de partícula desejável para análise. A umidade e o teor de cinzas foram determinados utilizando um analisador termogravimétrico TGA-2000 (Navas Instruments, Conway, EUA) a 105 e 550 °C, respectivamente, a peso constante. O conteúdo lipídico foi medido pelo método 945.38 (Soxhlet), o nitrogênio total foi medido pelo método 2001.11 (Kjeldahl), a proteína total (5,75 \* nitrogênio total) e a fibra alimentar foram determinadas pelo método 985.29 (Enzimático-Gravimétrico). O teor de carboidratos foi calculado por diferença (ANVISA, 2003).

## 2.7 Índice de solubilidade em água e índice de absorção de água

Amostras de farinhas cruas e flocos extrudados secos foram moídas em um moinho de facas e martelos, peneiradas e as frações de tamanho de partícula entre 0,106 - 0,212 mm, foram usadas em quadruplicatas para avaliar o índice de absorção de água (IAA) e solubilidade em água (ISA). A preparação das suspensões e o processo de absorção-solubilização foram realizados de acordo com a metodologia descrita por ANDERSON *et al.* (1969), com algumas modificações indicadas em VARGAS-SOLÓRZANO *et al.* (2014). Os cálculos do ISA e IAA foram realizados de acordo com as equações descritas em DOGAN e KARWE (2003).

## 2.8 Viscosidade de pasta

As frações de farinha crua e farinha de flocos com tamanho de partícula de 0,106 - 0,212 mm foram usadas para preparar suspensões. As curvas de viscosidades foram determinadas em um analisador rápido de viscosidade RVA série 4 (Newport scientific, Warriewood, NSW, Austrália). O perfil tempo-temperatura foi realizado conforme descrito por TEBA *et al.* (2017). Os parâmetros de pasta determinados foram: pico de viscosidade (PV), pico de gelificação (PG), quebra de viscosidade ou *breakdown* (BD) e a tendência à retrogradação ou *setback* (ST).

## 2.9 Delineamento experimental e análise estatística

Um delineamento fatorial  $2^3$  com 4 pontos centrais foi utilizada para estudar os efeitos das variáveis independentes (**Tabela 1**). As respostas avaliadas foram: EME, dureza, cinzas, fibra alimentar, ISA, IAA, PV, PT, BD e ST. Os níveis reais dos fatores estudados foram selecionados de acordo com testes preliminares e valores da literatura consultada. A significância dos termos do modelo testado foi determinada pela ANOVA. As respostas com bons ajustes no modelo ( $R^2 > 0,70$ ) e superfícies de resposta foram geradas. As ANOVAs, os coeficientes de regressão dos modelos e as superfícies 3D foram realizados com o pacote estatístico de STATISTICA versão 12.0 (Statsoft Inc., Tulsa, OK, EUA).

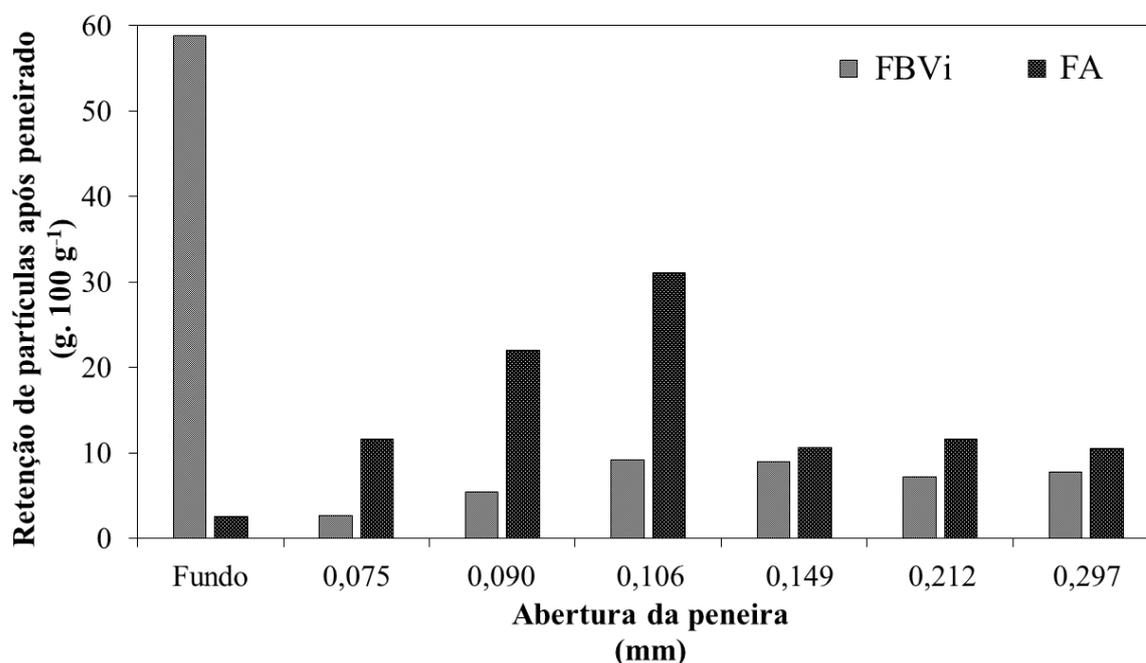
**Tabela 1.** Faixa de delineamento experimental e valores de variáveis independentes.

Variáveis independentes	Níveis		
	-1	0	1
X <sub>1</sub> : Proporção de farinha de banana verde inteira (%)	50	60	70
X <sub>2</sub> : Umidade de processo (%)	27	30	33
X <sub>3</sub> : Temperatura do barril (°C)	80	90	100

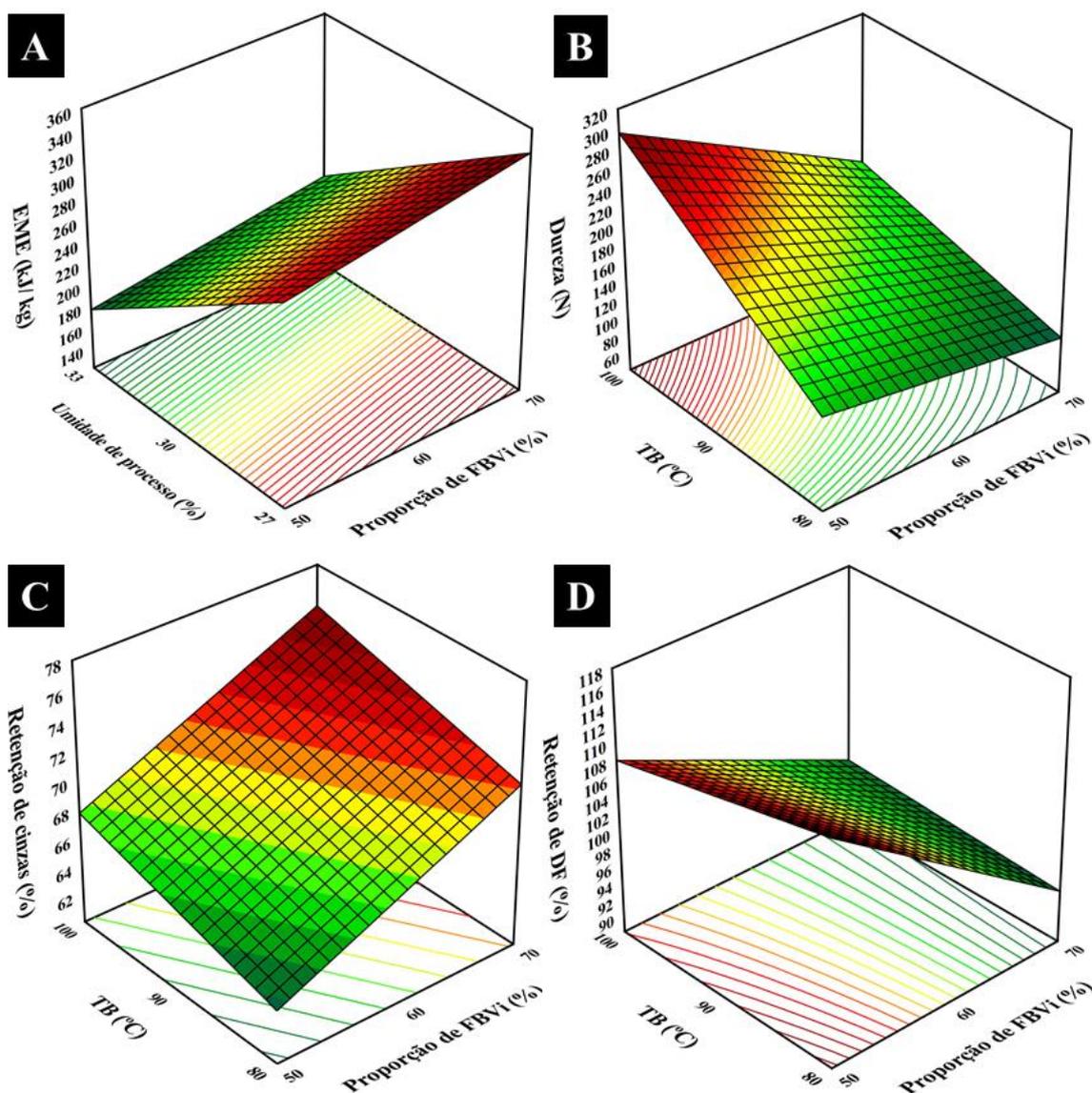
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Distribuição do tamanho de partículas

A distribuição do tamanho de partícula está intimamente ligada ao processo de moagem e desempenha um papel importante no processo de extrusão (CARVALHO *et al.*, 2010). A **Figura 1** apresenta a distribuição do tamanho de partículas da farinha de banana verde inteira (FBVi), na qual é observada partículas menores que 0,075 mm em comparação com os tamanhos de partícula de farinha de arroz (FA) que são um pouco mais grossas. Essas diferenças são devidas ao tamanho dos grânulos de amido presentes no material. Em resumo, FBVi e FA apresentaram respectivamente 85,04 e 78,36% de partículas com tamanho de partícula menor que 0,202 mm, ambas farinhas apresentaram tamanhos de partículas diferentes quando trituradas no mesmo moinho. O trabalho demonstrativo que caracteriza a distribuição de tamanho de qualquer material farináceo é importante na determinação de sua funcionalidade, além de manter suas propriedades texturais apropriadas em produtos extrudados (ONWULATA; KONSTANCE, 2006). O tamanho mais fino das partículas aquece mais rapidamente no processo de extrusão e afeta a uniformidade da absorção de umidade no momento do condicionamento do material de alimentação (ZHANG; HOSENEY, 1998).



**Figura 1.** Distribuição do tamanho de partículas da farinha de banana inteira (FBVi) e a farinha de arroz (FA).



**Figura 2.** Superfície de resposta da energia mecânica específica, EME (A), dureza (B), retenção de cinzas (C) e retenção de fibra alimentar, DF (D), em função da proporção de farinha de banana verde inteira (FBVi), umidade de processo (UP) e temperatura do barril do extrusor (TB).

### 3.2 Energia mecânica específica

A energia mecânica específica (EME) é a quantidade de energia gerada pelo motor de acionamento e transferida para o material durante o processo de extrusão (BOUVIER; CAMPANELLA, 2014; DOMENECH *et al.*, 2013). A EME está intimamente relacionada à viscosidade do material fundido, atingindo a resistência ao empurrar o material através do parafuso. Os valores EME variaram de 171,60 a 344,98 kJ/ kg. Na **Figura 2A**, o 87,92% de significância ( $p < 0,001$ ) foi para a umidade de processo (UP), isto indica que quanto maior o

UP, menor será a entrada de EME, reduzindo a força necessária para empurrar a massa derretida através do barril da extrusora. A água contida nos materiais de alimentação atua como um meio lubrificante dentro do barril no extrusor (KANG *et al.*, 2007). Por outro lado, a proporção de farinha de banana verde inteira (FBVi) obteve uma significância de 5,30% ( $p < 0,05$ ), isso indica que a tendência é levemente inclinada positiva e quanto maior a proporção de FBVi aumenta ligeiramente a contribuição da EME. A composição dos níveis de misturas de FBVi e farinha de arroz (FA) afetaram diretamente a EME, onde os polissacarídeos lineares de alto peso molecular, como amilose e fibras, aumentam a viscosidade do fundido. Além disso, o uso de farinha com tamanho de partículas finas também pode afetar a entrada de EME (VARGAS-SOLÓRZANO *et al.*, 2014). Neste estudo, foram utilizadas farinhas de tamanho de partículas menores de 0,425 mm. Mesmo assim, os valores das energias mecânicas específicas obtidos foram semelhantes aos relatados por outros autores (BOUVIER; CAMPANELLA, 2014; KOWALSKI *et al.*, 2016).

### 3.3 Textura instrumental

A análise instrumental da textura é aplicada consideravelmente em produtos extrudados, como lanches e cereais matinais (PAULA e CONTI-SILVA, 2014). A textura desempenha um papel importante na aceitação do produto entre os consumidores (ANTON e LUCIANO, 2007). Portanto, é um atributo sensorial crítico que pode determinar a qualidade do produto, neste caso, flocos extrudados. A dureza foi o atributo descrito pela força máxima da textura instrumental e os valores variaram de 97,02 a 292,21 N, conforme observa-se na **Figura 2B**. Essa dureza deve ter valores baixos para alcançar uma melhor aceitação pelos consumidores.

Os efeitos principais como a temperatura do barril (TB) e a proporção de FBVi, mostraram efeitos significativos ( $p < 0,01$ ), como também a interação de TB x proporção de FBVi ( $p < 0,05$ ). A significância de 36,82% foi para o TB, seguida pela proporção de FBVi com uma significância de 23,11%. Para este modelo, foi realizado o teste de curvatura ( $p < 0,05$ ); para fins de otimização, recomenda-se testar um modelo com termos quadráticos, mas, para fins de caracterização, esse modelo linear é preditivo com os valores de dureza obtidos (**Tabela 4**). Da **Figura 2B**, observa-se que a tendência de TB é diretamente significativa em comparação com a tendência da proporção de FBVi que é levemente inversa.

### 3.4 Composição centesimal

A composição centesimal da farinha de banana verde inteira (FBVi) e a farinha de arroz (FA) são mostradas na **Tabela 1**. Os níveis de proteínas, lipídios, cinzas, fibras alimentares e carboidratos para FBVi foram de 3,96, 1,10, 4,30, 10,58 e 80,05 g. 100 g<sup>-1</sup> expressos em base seca, respectivamente. A farinha de banana Awak apresentou conteúdo ligeiramente semelhante às amostras trabalhadas neste estudo, onde os níveis de fibra alimentar foram de 11,27 g. 100 g<sup>-1</sup> (HASLINDA *et al.*, 2009). As farinhas com casca fortificam os alimentos com nutrientes com minerais e fibras alimentares, também contribuem com efeitos benéficos à saúde do consumidor (QAMAR; SHAIKH, 2018). No caso de FA, como fonte de proteínas e carboidratos com quantidades consideráveis (7,54 y 88,82 g. 100 g<sup>-1</sup> expressos em base seca, respectivamente), são considerados materiais ideais para fazer parte da formulação de produtos por extrusão (BORAH *et al.*, 2016; CARVALHO *et al.*, 2012; DALBHAGAT *et al.*, 2019).

**Tabela 2.** Propriedades físico-químicas das farinhas cruas.

Componentes	FBVi	FA
<i>Composição centesimal</i> <sup>1</sup> (g. 100 g <sup>-1</sup> )		
Umidade	9,27 ± 0,03	10,83 ± 0,06
Proteínas	3,59 ± 0,04	6,73 ± 0,01
Lipídeos	1,00 ± 0,01	0,78 ± 0,01
Cinzas	3,91 ± 0,01	1,50 ± 0,08
Fibra alimentar	9,60 ± 0,01	0,96 ± 0,02
Carboidratos <sup>2</sup>	72,67 ± 0,03	79,20 ± 0,01
<i>Propriedades físicas</i>		
Índice de solubilidade em água (g. 100 g <sup>-1</sup> ) <sup>3</sup>	7,47 ± 0,01	1,15 ± 0,01
Índice de absorção de água (g água. g <sup>-1</sup> ) <sup>3</sup>	2,01 ± 0,02	1,27 ± 0,04
<i>Viscosidade de pasta</i> <sup>1</sup>		
Pico de viscosidade (PV, mPa.s)	2383,00 ± 25,46	2510,00 ± 26,87
Tempo de pico (TP, min)	8,37 ± 0,14	9,90 ± 0,05
Pico de gelificação (PG, mPa.s)	4555,00 ± 7,07	7308,00 ± 69,30
Quebra de viscosidade (BD, mPa.s)	411,25 ± 4,60	185,75 ± 13,79
Tendência a retrogradação (ST, mPa.s)	2583,25 ± 27,93	4983,75 ± 56,21
Temperatura de pasta (°C)	84,41 ± 0,58	78,43 ± 0,60

<sup>1</sup> Valores são expressos como a média ± desvio padrão de duplicatas em base úmida.

<sup>2</sup> Calculado por diferença.

<sup>3</sup> Calculado em base seca.

FBVi, Farinha de banana verde inteira; FA, Farinha de arroz.

**Tabela 3.** Composição proximal das misturas cruas e os flocos extrudados secos.

Tratamento	Valores codificados (Valores reais) <sup>1</sup>			Composição (g. 100 g <sup>-1</sup> ) <sup>2</sup>									
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Proteínas		Lipídeos		Cinzas		Fibra alimentar		Carboidratos <sup>3</sup>	
				Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
1	-1 (50)	-1 (27)	-1 (80)	5,7528	5,6875	0,9885	0,3567	2,9931	1,8918	5,8287	6,8104	84,4370	85,2535
2	1 (70)	-1 (27)	-1 (80)	5,0360	5,0885	1,0339	0,4886	3,5174	2,4377	7,7296	7,2317	82,6830	84,7535
3	-1 (50)	1 (33)	-1 (80)	5,7528	5,7671	0,9885	0,2966	2,9931	1,9790	5,8287	6,4168	84,4370	85,5406
4	1 (70)	1 (33)	-1 (80)	5,0360	5,0684	1,0339	0,4164	3,5174	2,4984	7,7296	7,2896	82,6830	84,7272
5	-1 (50)	-1 (27)	1 (100)	5,7528	5,8168	0,9885	0,3319	2,9931	2,0232	5,8287	6,2517	84,4370	85,5765
6	1 (70)	-1 (27)	1 (100)	5,0360	5,0392	1,0339	0,5269	3,5174	2,6722	7,7296	7,5058	82,6830	84,2559
7	-1 (50)	1 (33)	1 (100)	5,7528	5,7744	0,9885	0,3276	2,9931	1,9709	5,8287	6,3262	84,4370	85,6009
8	1 (70)	1 (33)	1 (100)	5,0360	5,0078	1,0339	0,5085	3,5174	2,6885	7,7296	7,2379	82,6830	84,5572
9	0 (60)	0 (30)	0 (90)	5,3944	5,2721	1,0112	0,3467	3,2553	2,4271	6,7791	7,2919	83,5600	84,5882
10	0 (60)	0 (30)	0 (90)	5,3944	5,3735	1,0112	0,3187	3,2553	2,3876	6,7791	7,1629	83,5600	84,7572
11	0 (60)	0 (30)	0 (90)	5,3944	5,5181	1,0112	0,3307	3,2553	2,4940	6,7791	7,0809	83,5600	84,5763
12	0 (60)	0 (30)	0 (90)	5,3944	5,2804	1,0112	0,3097	3,2553	2,4344	6,7791	7,2380	83,5600	84,7375

<sup>1</sup> X<sub>1</sub>: proporção de farinha de banana verde inteira (% , em base seca), X<sub>2</sub>: umidade de processo (% , em base úmida), e X<sub>3</sub>: temperatura do barril (°C).

<sup>2</sup> Valores são expressos como a média de duas repetições.

<sup>3</sup> Calculado por diferença.

Para os flocos extrudados, a **Tabela 2** mostra os valores antes e após o processo de extrusão, com o objetivo de calcular sua capacidade de retenção de nutrientes nas condições utilizadas no processo de extrusão. As proteínas não apresentaram efeitos significativos ( $p > 0,05$ ), não houve aumento ou diminuição durante o processamento dos flocos, assim, não são válidas para caracterizar o efeito das condições de extrusão. No caso dos lipídios, eles variaram de 0,2966 a 0,5269 g. 100 g<sup>-1</sup>, expressos em base seca (**Tabela 2**), e teve um efeito significativo na retenção de componentes de 30 a 50,96% ( $p < 0,05$ ), indicando diminuição das moléculas para a formação de complexos durante o processo. No caso dos extrudados, como cereais matinais e lanches prontos para o consumo, a maioria desses produtos possui baixos valores lipídicos, a fim de evitar a oxidação lipídica que pode ocorrer no armazenamento do produto, além de neutralizar os efeitos negativos à saúde, como sobrepeso, diabetes e doenças cardiovasculares. No caso das cinzas, elas representam o conteúdo mineral nos produtos e nos flocos, com amplitude de 1,89 a 2,69 g. 100 g<sup>-1</sup>, expressos em base seca, onde houve formação de complexos durante o processo de extrusão, representando uma retenção de 63,20 a 76,61% ( $p < 0,05$ ). Na **Figura 2C**, há uma tendência maior na proporção de farinha de banana verde inteira (FBVi) ( $p < 0,01$ ) seguida da temperatura do barril (TB) ( $p < 0,05$ ), indicando que quanto mais altos os seus valores, maior a retenção de cinzas. Na **Tabela 4**, são mostrados seus valores do coeficiente de regressão, sendo um modelo linear preditivo ( $R^2 = 0,9148$ ) para melhor caracterização, mas para otimização recomenda-se o uso de efeitos quadráticos, uma vez que o teste de curvatura foi significativo ( $p < 0,01$ ).

Os carboidratos variaram de 84,26 a 85,60 g. 100 g<sup>-1</sup>, expressos em base seca, e a retenção variou de 100,97 a 102,47%, isto indica que os carboidratos aumentaram durante a extrusão ( $p < 0,05$ ). A fibra alimentar faz parte de carboidratos não digeríveis e é encontrada em alimentos como frutas e legumes. Esse componente tem efeitos positivos na saúde do consumidor e nosso produto extrudado apresentou níveis consideráveis de fibras alimentares de 6,25 a 7,51 g. 100 g<sup>-1</sup>, expressos em base seca (**Tabela 2**). A retenção de DF variou de 93,56 a 116,84%, isto indica que em algumas condições houve queda e em outras houve aumento, sendo a proporção de FBVi mais relevante ( $p < 0,001$ ) seguida pela interação de FBVi x TB ( $p < 0,05$ ). Na **Figura 2D**, pode-se dizer que, quando a proporção de FBVi diminui, a retenção de DF aumenta e os valores de regressão são observados na **Tabela 4**, onde o modelo linear é preditivo ( $R^2 = 0,9423$ ) para termos de caracterização e processo otimização, recomenda-se o uso de termos quadráticos.

**Tabela 4.** Respostas de índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção de água (IAA) e viscosidade de pasta de misturas cruas e flocos extrudados.

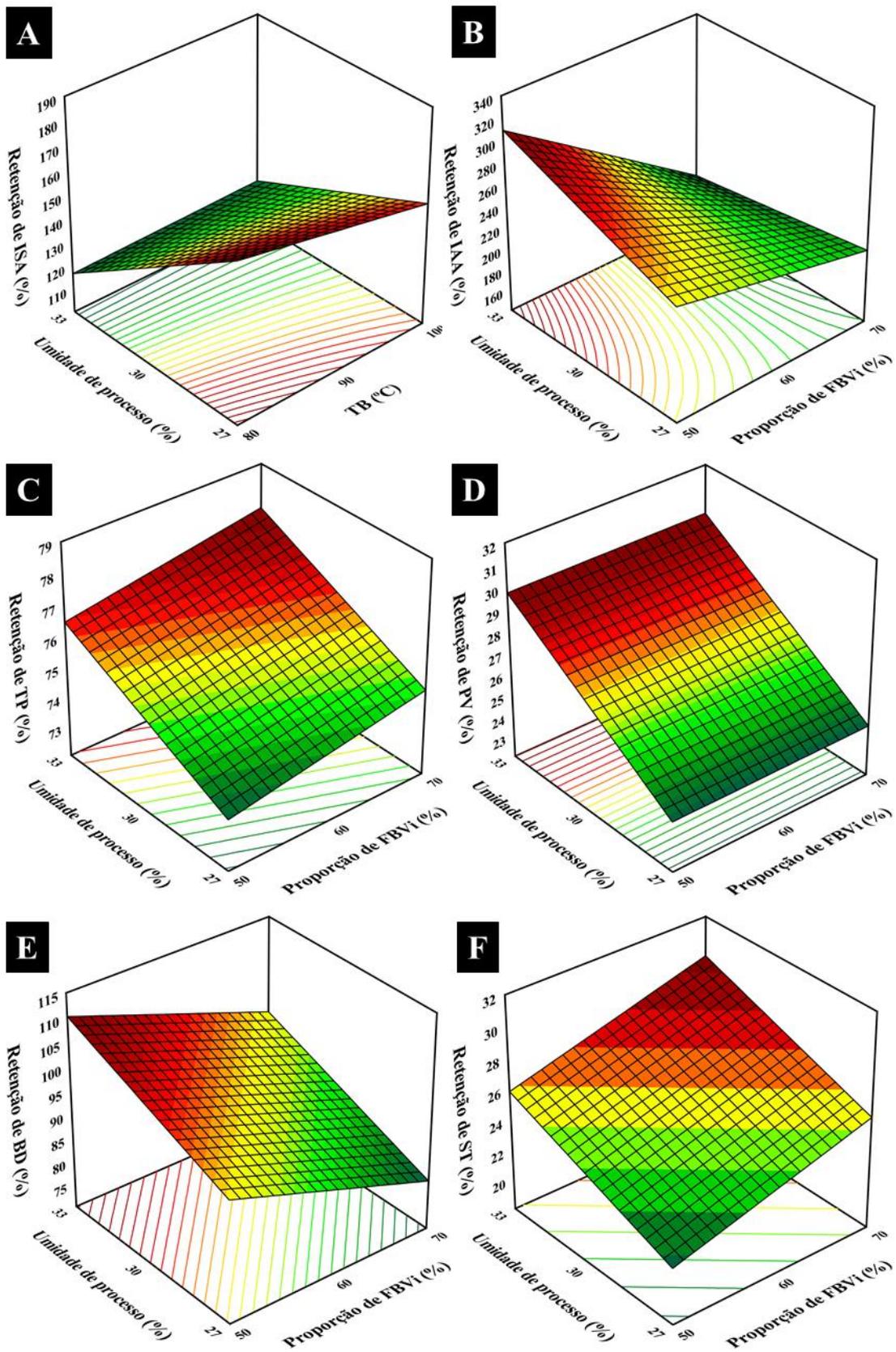
Tratamentos	Valores codificados (Valores reais) <sup>1</sup>			ISA <sup>2</sup> (g ss/ g)		IAA <sup>2</sup> (g água/ g)		Viscosidade de pasta <sup>3</sup>							
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Antes	Depois	Antes	Depois	PT (min)		PV (mPa.s)		BD (mPa.s)		ST (mPa.s)	
								Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
1	-1 (50)	-1 (27)	-1 (80)	0,0430	0,0770	1,6282	4,0437	9,14	6,77	2755,50	701,00	558,25	545,75	3333,25	694,75
2	1 (70)	-1 (27)	-1 (80)	0,0556	0,0862	1,7807	3,8114	8,83	6,57	2501,00	596,00	495,50	412,00	2645,00	678,00
3	-1 (50)	1 (33)	-1 (80)	0,0430	0,0481	1,6282	5,4053	9,14	6,93	2755,50	826,50	558,25	621,75	3333,25	838,75
4	1 (70)	1 (33)	-1 (80)	0,0556	0,0676	1,7807	2,9325	8,83	6,90	2501,00	742,50	495,50	481,25	2645,00	775,25
5	-1 (50)	-1 (27)	1 (100)	0,0430	0,0642	1,6282	4,0058	9,14	6,83	2755,50	707,50	558,25	541,75	3333,25	756,75
6	1 (70)	-1 (27)	1 (100)	0,0556	0,0849	1,7807	3,6083	8,83	6,67	2501,00	562,50	495,50	367,25	2645,00	657,75
7	-1 (50)	1 (33)	1 (100)	0,0430	0,0508	1,6282	4,6669	9,14	7,07	2755,50	813,50	558,25	590,75	3333,25	880,75
8	1 (70)	1 (33)	1 (100)	0,0556	0,0663	1,7807	3,6811	8,83	6,93	2501,00	745,50	495,50	475,25	2645,00	786,75
9	0 (60)	0 (30)	0 (90)	0,0493	0,0601	1,7044	5,2382	8,98	6,80	2578,50	775,00	592,00	547,75	3059,00	763,75
10	0 (60)	0 (30)	0 (90)	0,0493	0,0641	1,7044	5,1448	8,98	6,80	2578,50	772,50	592,00	551,75	3059,00	740,25
11	0 (60)	0 (30)	0 (90)	0,0493	0,0639	1,7044	5,3480	8,98	6,83	2578,50	778,00	592,00	544,75	3059,00	745,75
12	0 (60)	0 (30)	0 (90)	0,0493	0,0620	1,7044	5,0110	8,98	6,87	2578,50	807,00	592,00	600,50	3059,00	810,00

<sup>1</sup> X<sub>1</sub>: Proporção de farinha de banana verde inteira (FBVi) (% , base seca), X<sub>2</sub>: umidade de processo (MP) (% , base úmida), e X<sub>3</sub>: temperatura do barril (TB) (°C).

<sup>2</sup> Os valores são expressos como a média de quadruplicata em base seca, ss: sólidos solúveis.

<sup>3</sup> Os valores são expressos como a média de duplicatas em base seca.

TP, Tempo de pico; PV Pico de viscosidade; BD, Quebra de viscosidade ou *Breakdown*; ST, Tendência a retrogradação ou *Setback*.



**Figura 3.** Superfície de resposta de índice de solubilidade em água (A), índice de absorção de água (B), tempo de pico (C), viscosidade de pico (D), *Breakdown* (E) e *Setback* (F).

### 3.5 Índice de solubilidade em água e índice de absorção de água

Para o índice de solubilidade em água (ISA), o grau de degradação do amido é avaliado através do conteúdo de polissacarídeos solúveis liberados pelas estruturas granulares em excesso de água. O valor de ISA está relacionado com o grau de dextrinização do amido após o processamento por extrusão. Esse fato foi verificado pela amplitude dos valores de ISA que variaram de 0,0481 a 0,0862 g ss. g<sup>-1</sup> de matéria seca (**Tabela 3**). O ISA foi estatisticamente afetado por uma variável independente e uma interação, a umidade de processo (UP) teve maior efeito significativo ( $p < 0,001$ ) comparados com os outros efeitos principais, seguido pela interação da temperatura do barril (TB) x UP ( $p < 0,05$ ). A superfície de resposta mostra que o ISA aumenta com a diminuição de UP (**Figura 3A**), isso indica que a água atua como um lubrificante logrando reduzir a degradação do amido, valores altos em UP tornam os grãos de amido mais preservados durante a extrusão, resultando em menos dextrinização e consequentemente em um valor ISA mais baixo (TEBA *et al.*, 2017). Os coeficientes de regressão foram altamente significativos. ( $R^2 = 0,9127$ ), esses resultados revelaram que os efeitos significativos são adaptados ao modelo linear (**Tabela 4**). O menor valor de WSI foi para o floco extrudado do tratamento 3 (proporção FBVi = 50%, UP = 33% e TB = 80 °C).

O índice de absorção de água (IAA) é uma medida de modificação do amido, mede a capacidade de formar géis quando hidratado e depende da disponibilidade de grupos hidrofílicos e da formação de complexos macromoleculares. Os valores de IAA variaram de 2,9325 a 5,4053 g de água. g<sup>-1</sup> de matéria seca para tratamentos de projeto (**Tabela 3**). O IAA foi afetado estatisticamente por variáveis independentes e duas interações, a proporção de FBVi teve um efeito significativo maior ( $p < 0,001$ ), seguida pela interação da proporção de FBVi x UP ( $p < 0,01$ ), o efeito principal da UP ( $p < 0,05$ ) e a interação da proporção de FBVi x TB ( $p < 0,05$ ). A proporção de FBVi afeta em maior medida no experimento, uma vez que a fibra presente apresenta um potencial menor de intumescimento devido à sua capacidade de insolubilidade (BEMILLER; HUBER, 2008). A superfície de resposta mostra que o IAA aumenta quando a proporção de FBVi diminui e a UP aumenta (**Figura 3B**). Os coeficientes de regressão são preditivos ( $R^2 = 0,9561$ ), onde os resultados revelaram que os efeitos significativos se encaixam no modelo linear para caracterização e o teste de curvatura foi significativo ( $p < 0,05$ ) e recomenda-se o uso de termos quadráticos para otimizar o processo (**Tabela 4**). O menor valor de IAA foi para o floco extrudado do tratamento 4 (proporção de FBVi = 70%, UP = 33% e TB = 80 °C).

**Tabela 5.** Coeficientes de regressão dos modelos ajustados das propriedades físico-químicas dos flocos extrudados secos.

Coeficiente.	EME		Dureza		Retenção (%)									
					Cinzas	Fibra alimentar	ISA	IAA	TP	PV	BD	ST		
$\beta_0$	262,3379 ***	171,4751 ***	69,4380 ***	102,6669 ***	138,3667 ***	237,6363 ***	76,0913 ***	27,0563 ***	95,2863 ***	25,5838 ***				
$\beta_1$	16,0376 *	-34,3785 **	3,7458 **	-8,0141 ***	-	-40,6188 ***	0,5588 *	-	-7,7113 *	1,8038 *				
$\beta_2$	-65,3099 ***	-	-	-	-20,6598 ***	9,8713 *	1,3813 **	2,6963 **	7,2688 *	2,0738 *				
$\beta_3$	-	43,3897 **	2,0242 *	-1,0330 Ns	-3,5206 ns	-2,1313 ns	0,4588 *	-	-	-				
$\beta_{12}$	-	-	-	-	-	-21,1888 **	-	-	-	-				
$\beta_{13}$	-	-23,9331 *	-	1,7523 *	-	9,7888 *	-	-	-	-				
$\beta_{23}$	-	-	-	-	4,5058 *	-	-	-	-	-				
Curvatura	-15,9234 ns	49,5046 *	5,3877 **	3,4445 *	-11,5411 *	66,6013 ***	-0,1038 ns	3,3163 **	-0,4888 ns	-0,5763 ns				
Falta de ajuste	0,1450	0,1262	0,3555	0,1389	0,0877	0,0593	0,3010	0,2047	0,6145	0,7403				
R <sup>2</sup>	0,9497	0,8711	0,9148	0,9423	0,9127	0,9561	0,9290	0,1647	0,8661	0,9088				
R <sup>2</sup> ajustado	0,9308	0,7974	0,8828	0,9094	0,8628	0,9034	0,8884	0,8979	0,8158	0,8746				

$\beta_1$ : Proporção de farinha de banana verde inteira (FBVi) (% base seca),  $\beta_2$ : umidade de processo (MP) (% base úmida), e  $\beta_3$ : temperatura do barril (TB) (°C).

EME, energia mecânica específica; ISA, índice de solubilidade em água; IAA, índice de absorção de água; TP, tempo de pico; PV, pico de viscosidade; BD, quebra de viscosidade ou *Breakdown*; ST, tendência a retrogradação ou *Setback*.

\* Significativo a  $p < 0.05$

\*\* Significativo a  $p < 0.01$

\*\*\* Significativo a  $p < 0.001$

ns não significativo.

### 3.6 Viscosidade de pasta

A extrusão causa a quebra do grânulo de amido por cisalhamento, levando à perda da estrutura cristalina e à redução da capacidade de dilatação (BASTO et al., 2016). As propriedades de pasta por RVA (*Rapid Visco Analyzer*) permite medir o grau de conversão de amido processado por extrusão. O pico de viscosidade (PV) durante o ciclo de aquecimento corresponde à presença de amido que não foi modificado durante a extrusão. Nas **Tabelas 1 e 3**, o tempo de pico (TP) das misturas cruas ficou entre 8 e 9 min e após ser submetido ao processo de extrusão, elas variaram entre 6,57 e 7,07 min. A umidade de processo (UP) foi a condição com o maior efeito de retenção significativa ( $p < 0,01$ ), seguida pela proporção de farinha de banana verde inteira (FBVi) ( $p < 0,05$ ) e temperatura do barril (TB) ( $p < 0,05$ ), o modelo linear é preditivo e adequado para termos de caracterização e otimização do processo (**Tabela 4**). A partir da **Figura 3C**, observa-se que quando a proporção de FBVi e UP é aumentada, a retenção do TP é maior. O PV das misturas brutas variou de 2501 a 2755 mPa.s (**Tabela 3**), e nos flocos extrudados variou de 562,5 a 826,5 mPa.s, isso indica uma retenção de 23,83 a 31,3% durante o processo de extrusão, onde houve modificações no amido e na UP foi o único fator que influenciou ( $p < 0,01$ ) o experimento.

Durante o estudo, o processo de extrusão utilizado não foi severo, de modo que o amido foi parcialmente quebrado e, por esse motivo, apresentou um certo inchaço, conforme mostrado nos valores de PV das amostras extrudadas contendo FBVi e FA. De acordo com a **Tabela 4**, o teste de curvatura foi significativo, indicando que o modelo se ajusta corretamente usando termos quadráticos; no entanto, o modelo linear é preditivo para fins de caracterização ( $R^2 = 0,9165$ ). Na **Figura 3D**, observa-se que quanto maior a UP, maior a retenção do PV. No caso do *Breakdown* (BD), houve retenção de 74,12 a 111,37%, sendo a proporção de FBVi e UP significativa ( $p < 0,05$ ) no experimento. Na **Tabela 4**, estão representados os coeficientes de regressão que se ajustam ao modelo linear ( $R^2 = 0,8661$ ), e na **Figura 3E** observa-se que à medida que a proporção de FBVi e UP aumenta, a retenção de BD também aumenta.

A viscosidade final está relacionada à recuperação do gel de amido durante o processo de resfriamento RVA, que por sua vez está associado ao nível de moléculas de amilose que promovem rearranjos moleculares durante a gelificação, também conhecido como *Setback* (ST) (CHUNG et al., 2011). Na **Tabela 3**, os valores de ST nas misturas cruas foram de 2645 a 3333,25 mPa.s, após o processo de extrusão, os flocos secos apresentaram ST entre 657,75 a 880,75 mPa.s, representando entre 20,84 e 29,74% de retenção, onde os principais efeitos como

a proporção de FBVi e UP foi significativa ( $p < 0,05$ ), e os coeficientes de regressão são mostrados na **Tabela 4**, sendo adequados para o modelo linear ( $R^2 = 0,9088$ ) e também preditivo. Na **Figura 3F**, observa-se que um aumento nos principais efeitos (proporção de FBVi e UP) aumenta a retenção de ST. Isso indica que as propriedades da massa foram afetadas principalmente pela UP. Os aumentos de UP resultaram em um menor grau de conversão de amido na extrusora (STOJCESKA et al., 2009).

#### 4. CONCLUSÃO

A energia mecânica específica, que é um dos parâmetros do sistema variou de 171,60 a 344,98 kJ/ kg, isto é, a umidade de processo e a proporção de farinha de banana verde inteira mostraram efeitos significativos ( $p < 0,05$ ) em comparação com a temperatura do barril. Foi trabalhado com granulometrias finas, apresentaram 85,04 e 78,36% de partículas retidas na peneira de 0,202 mm nas farinhas de banana verde inteira e arroz, respectivamente. A dureza, que é um parâmetro importante nas propriedades de qualidade para cereais matinais, os valores variaram de 97,02 a 292,21 N, sendo a temperatura de barril e a proporção de farinha de banana verde inteira os mais significativos ( $p < 0,05$ ). Os flocos extrudados representam serem alimentos saudáveis com um aporte de fibras alimentares de 6,25 a 7,51% em base seca e minerais de 1,89 a 2,69% em base seca, sendo a temperatura de barril e a proporção de farinha de banana verde inteira as condições de extrusão mais significativos ( $p < 0,05$ ). Os flocos obtidos são caracterizados como dietéticos, pois possuem níveis menores de 1% de gorduras. O índice de solubilidade em água foi menor quando 50% de conteúdo de farinha de banana verde inteira, 33% de umidade de processo e 80 °C de temperatura do barril foram utilizados. O índice de absorção de água foi menor quando 70% de conteúdo de farinha de banana verde inteira, 33% de umidade de processo e 80 °C de temperatura do barril foram utilizados. Sendo adequados níveis baixos de ISA e IAA para cereais matinais. O processo de extrusão mostrou conversão parcial do amido através da viscosidade de pasta, a umidade de processo e a proporção de farinha de banana verde inteira mostraram efeitos significativos ( $p < 0,05$ ). Portanto, misturas de farinha de banana verde inteira e arroz branco podem ser extrudadas para produzir um cereal matinal, como flocos com alto teor de fibras e serem também são uma ótima alternativa para pessoas com alergias ao glúten ou celíacos.

## **Agradecimentos**

O autor agradece ao financiamento a bolsa concedida pela CAPES a R. Joel Bazán-Colque.

## **Conflito de interesses**

Os autores declaram que não têm conflito de interesses.

## **5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AGUSTIA, F. C.; ROSYIDAH, S.; SUBARDJO, Y. P.; RAMADHAN, G. R.; BETADITYA, D. Formulation of Flakes made from mocaf-black rice-tapioca high in protein and dietary fiber by soy and jack bean flour addition. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 255, p. 012019, 2019.

ALVES, P. L. d. S.; BERRIOS, J. D. J.; PAN, J.; ASCHERI, J. L. R. Passion fruit shell flour and rice blends processed into fiber-rich expanded extrudates. *CyTA - Journal of Food*, 16, n. 1, p. 901-908, 2018.

ANDERSON, J. C.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. F.; GRIFFIN, E. L. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Science Today*, 14(1), 4–12. 1969.

ANDRADE, B. A.; PERIUS, D. B.; DE MATTOS, N. V.; DE MELLO LUVIELMO, M.; MELLADO, M. S. Production of unripe banana flour (*Musa* spp.) for application in whole wheat bread. *Brazilian Journal of Food Technology*, 21, 2018.

ANTON, A. A.; LUCIANO, F. B. Instrumental texture evaluation of extruded snack foods: A review. *Ciencia y Tecnologia Alimentaria*, 5, n. 4, p. 245-251, 2007.

ANVISA. Regulamento Técnico Sobre Rotulagem Nutricional De Alimentos Embalados. Resolução - RDC N° 360, de 23 de dezembro de 2003. 9 p. 2003.

AOAC. Official Methods of Analysis of the Association Analytical Chemists (18th edition). Gaithersburg: **AOAC International**. 2005.

ASCHERI, D. P. R.; CAVALCANTE, L. H.; ASCHERI, J. L. R.; DE CARVALHO, C. W. P. Physical-chemical characterization of pre-cooked mixed rice flour and barley bagasse. *Semina: Ciências Agrárias*, 37, n. 2, p. 737-750, 2016.

ASCHERI, J. L. R.; COLQUE, R. J. B.; BORSOI, L. M.; ASCHERI, D. P. R.; AREVALO, A. M.; DA SILVA, E. M. M. Extrusion Cooking using Fruits Peels, Whole Cereals and Grains. *Global Journal of Nutrition & Food Science*. 1 (5): 1-2 p, 2019.

AUORE, G.; PARFAIT, B.; FAHRASMANE, L. Bananas, raw materials for making processed food products. *Trends in Food Science & Technology*, 20, n. 2, p. 78-91, 2009.

BASTO, G. J.; CARVALHO, C. W. P.; SOARES, A. G.; COSTA, H. T. G. B.; CHÁVEZ, D. W. H.; GODOY, R. L. d. O.; PACHECO, S. Physicochemical properties and carotenoid content of extruded and non-extruded corn and peach palm (*Bactris gasipaes*, Kunth). **LWT - Food Science and Technology**, 69, p. 312-318, 2016.

BEMILLER, J. N.; HUBER, K. C. Carbohydrates. In S. Damodaran, K. L. Parkin, & O. R. Fennema (Eds.), *Fennema's foodchemistry* (pp. 75–130) (4th ed.). Boca Raton: CRC Press. 2008.

BERRIOS, J. D.; ASCHERI, J. L. R.; LOSSO, J. N. Extrusion Processing of Dry Beans and Pulses. In: *Dry Beans and Pulses Production, Processing and Nutrition*. 1 ed. ed. Arnes: Iowa State University Press: Processing and Nutrition (eds M. Siddiq and M. A. Uebersax), 2013. v. v.1, p. 191-203.

BORAH, A.; LATA MAHANTA, C.; KALITA, D. J. J. o. F. S.; TECHNOLOGY. Optimization of process parameters for extrusion cooking of low amylose rice flour blended with seeded banana and carambola pomace for development of minerals and fiber rich breakfast cereal. **Journal of Food Science and Technology**, 53, n. 1, p. 221-232, 2016.

BOUVIER, J.-M.; CAMPANELLA, O. H. Extrusion processing technology: food and non-food biomaterials. John Wiley & Sons, 2014.

CARVALHO, A. V.; MATTIETTO, R. d. A.; BASSINELLO, P. Z.; KOAKUZU, S. N.; RIOS, A. d. O.; MACIEL, R. d. A.; CARVALHO, R. N. Processing and characterization of extruded breakfast meal formulated with broken rice and bean flour. **Journal Food Science and Technology**, 32, p. 515-524, 2012.

CARVALHO, C. W. P.; TAKEITI, C. Y.; ONWULATA, C. I.; PORDESIMO, L. O. Relative effect of particle size on the physical properties of corn meal extrudates: Effect of particle size on the extrusion of corn meal. **Journal of Food Engineering**, 98, n. 1, p. 103-109, 2010.

CHEN, F. L.; WEI, Y. M.; ZHANG, B.; OJOKOH, A. O. System parameters and product properties response of soybean protein extruded at wide moisture range. **Journal of Food Engineering**, 96, n. 2, p. 208-213, 2010.

CHUNG, H.-J.; LIU, Q.; LEE, L.; WEI, D. Relationship between the structure, physicochemical properties and in vitro digestibility of rice starches with different amylose contents. **Food Hydrocolloids**, 25, n. 5, p. 968-975, 2011.

DALBHAGAT, C. G.; MAHATO, D. K.; MISHRA, H. N. Effect of extrusion processing on physicochemical, functional and nutritional characteristics of rice and rice-based products: A review. **Trends in Food Science & Technology**, 85, p. 226-240, 2019.

DE BRIER, N.; GOMAND, S. V.; JOYE, I. J.; PAREYT, B.; COURTIN, C. M.; DELCOUR, J. A. The impact of pearling as a treatment prior to wheat roller milling on the texture and structure of bran-rich breakfast flakes. **LWT - Food Science and Technology**, 62, n. 1, Part 2, p. 668-674, 2015.

DOGAN, H.; KARWE, M. V. Physicochemical properties of quinoa extrudates. **Food Science and Technology International**, 9(2), 101–114. 2003.

DOMENECH, T.; PEUVREL-DISDIER, E.; VERGNES, B. The importance of specific mechanical energy during twin screw extrusion of organoclay based polypropylene nanocomposites. **Composites Science and Technology**, 75, p. 7-14, 2013.

DOS ANJOS, A. S.; BARBOSA, J. L. J.; MARTINS, M. I. J. B. Farinha de banana verde como ingrediente funcional em produtos alimentícios. **Ciência Rural**, 45, n. 12, 2015.

DOS SANTOS, P. A.; CALIARI, M.; SOARES SOARES JÚNIOR, M.; SOARES SILVA, K.; FLEURY VIANA, L.; GONÇALVES CAIXETA GARCIA, L.; SIQUEIRA DE LIMA, M. Use of agricultural by-products in extruded gluten-free breakfast cereals. **Food Chemistry**, 297, p. 124956, 2019.

EMERY, E. A.; AHMAD, S.; KOETHE, J. D.; SKIPPER, A.; PERLMUTTER, S.; PASKIN, D. L. Banana Flakes Control Diarrhea in Enterally Fed Patients. **Nutrition in Clinical Practice**, 12, n. 2, p. 72-75, 1997.

FANG, Y.; ZHANG, B.; WEI, Y.; LI, S. Effects of specific mechanical energy on soy protein aggregation during extrusion process studied by size exclusion chromatography coupled with multi-angle laser light scattering. **Journal of Food Engineering**, 115, n. 2, p. 220-225, 2013.

FAOSTAT. Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division. Data-Crops-Production. 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 09/08/2019.

GARCIA-VALLE, D. E.; BELLO-PEREZ, L. A.; FLORES-SILVA, P. C.; AGAMA-ACEVEDO, E.; TOVAR, J. Extruded Unripe Plantain Flour as an Indigestible Carbohydrate-Rich Ingredient. **Frontiers in nutrition**, 6, p. 2-2, 2019.

GUY, R. Extrusion Cooking: Technology and Applications. 1st, NW: Wood head Publishing Limited and CRC Press, Inc., Boca Raton, 2001. 2022-2025, 2001.

HASLINDA, W. H.; CHENG, L. H.; CHONG, L. C.; AZIAH, A. A. N. Chemical composition and physicochemical properties of green banana (*Musa acuminata* × *balbisiana* Colla cv. Awak) flour. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, 60, n. sup4, p. 232-239, 2009.

ILO, S.; LIU, Y.; BERGHOFER, E. Extrusion Cooking of Rice Flour and Amaranth Blends. **LWT - Food Science and Technology**, 32, n. 2, p. 79-88, 1999.

KANG, L. N.; WEI, Y. M.; ZHANG, B. J. Effects of technological parameters on system pressure and torque in soy protein texturization by high moisture extrusion. **Journal of the Chinese Cereals Oils Association**, 22, n. 4, p. 43-49, 2007.

KOWALSKI, R. J.; MEDINA-MEZA, I. G.; THAPA, B. B.; MURPHY, K. M.; GANJYAL, G. M. Extrusion processing characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) var. Cherry Vanilla. **Journal of Cereal Science**, 70, p. 91-98, 2016.

LAU, R.; CLUSKEY, M.; HOWES, E.; HAYES, P.; ROSS, A. Sensory Acceptance and Satiation Potential of Barley Flakes as a Breakfast Cereal Replacement for Oatmeal. **Cereal Foods World**, 61, p. 204-208, 2016.

ONWULATA, C. I.; KONSTANCE, R. P. EXTRUDED CORN MEAL AND WHEY PROTEIN CONCENTRATE: EFFECT OF PARTICLE SIZE. **Journal of Food Processing and Preservation**, 30, n. 4, p. 475-487, 2006.

PAULA, A. M.; CONTI-SILVA, A. C. Texture profile and correlation between sensory and instrumental analyses on extruded snacks. **Journal of Food Engineering**, 121, p. 9-14, 2014.

QAMAR, S.; SHAIKH, A. Therapeutic potentials and compositional changes of valuable compounds from banana- A review. **Trends in Food Science & Technology**, 79, p. 1-9, 2018.

RAYO, L. M.; CHAGURI E CARVALHO, L.; SARDÁ, F. A. H.; DACANAL, G. C.; MENEZES, E. W.; TADINI, C. C. Production of instant green banana flour (*Musa cavendishii*, var. Nanicão) by a pulsed-fluidized bed agglomeration. **LWT - Food Science and Technology**, 63, n. 1, p. 461-469, 2015.

REBELLO, L. P. G.; RAMOS, A. M.; PERTUZATTI, P. B.; BARCIA, M. T.; CASTILLO-MUÑOZ, N.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I. Flour of banana (*Musa* AAA) peel as a source of antioxidant phenolic compounds. **Food Research International**, 55, p. 397-403, 2014.

RUALES, J.; PÓLIT, P.; NAIR, B. M. Evaluation of the nutritional quality of flakes made of banana pulp and full-fat soya flour. **Food Chemistry**, 36, n. 1, p. 31-43, 1990.

STOJCESKA, V.; AINSWORTH, P.; PLUNKETT, A.; İBANOĞLU, Ş. The effect of extrusion cooking using different water feed rates on the quality of ready-to-eat snacks made from food by-products. **Food Chemistry**, 114, n. 1, p. 226-232, 2009.

TEBA, C. d. S.; SILVA, E. M. M. d.; CHÁVEZ, D. W. H.; CARVALHO, C. W. P.; ASCHERI, J. L. R. Effects of whey protein concentrate, feed moisture and temperature on the physicochemical characteristics of a rice-based extruded flour. **Food Chemistry**, 228, p. 287-296, 2017.

VARGAS-SOLÓRZANO, J. W.; CARVALHO, C. W. P.; TAKEITI, C. Y.; ASCHERI, J. L. R.; QUEIROZ, V. A. V. Physicochemical properties of expanded extrudates from colored sorghum genotypes. **Food Research International**, 55, p. 37-44, 2014.

ZHANG, W.; HOSENEY, R. C. Factors Affecting Expansion of Corn Meals with Poor and Good Expansion Properties. **Cereal Chemistry**, 75, n. 5, p. 639-643, 1998.

## **CAPÍTULO III**

### **IMPACTO DO TEMPO DE ASSADURA NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E TECNOLÓGICAS DE FLOCOS EXTRUDADOS DE DIFERENTES FONTES DE AMIDO**

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar o impacto da extrusão e de assadura nas propriedades físicas e tecnológicas de flocos de diferentes fontes de amido. As matérias-primas utilizadas foram farinhas de *grits* de milho, arroz, banana da variedade Figo, Prata e Terra (Genótipos AAB). Foi utilizado farinhas com tamanho de partícula menor que 0,425 mm, o material de alimentação teve uma umidade de processo de 28%, em base úmida. Foi utilizado um extrusor de parafuso simples de escala laboratório. A energia mecânica específica (EME) variou de 100,27 a 240,79 kJ. Kg<sup>-1</sup>, sendo baixos valores para formar os pellets. Os extrudados recém-saídos do extrusor foram laminados e cortados manualmente a 10 mm de comprimento, depois foram parcialmente secos até 15% de umidade, e depois cozidos em um forno elétrico a 175 °C por um determinado tempo (variável de estudo). O tempo de assadura (3, 4, 5 e 6 minutos) foi avaliado quanto às características físicas (umidade, cor, espessura de soprado, densidade a granel e textura instrumental) e tecnológicas (ISA, IAA e viscosidade de pasta). Concluiu-se que o tempo ideal de assadura foi de 5 minutos, apresentando boas características dos produtos extrudados como a densidade a granel de 294,61 a 496,64 kg. m<sup>-3</sup>, espessura de soprado 0,83 a 5,97 mm, as mudanças de cor (parâmetros L\*, a\*, b\* e C\*) indicam as reações químicas entre aminoácidos e açúcares (Maillard) e a textura instrumental como baixa dureza e alta crocância. Para as propriedades de ISA e IAA, a extrusão apresentou maior efeito significativo (p < 0,05) entre os ensaios, em comparação ao processo de assadura. Para propriedades de pasta, a extrusão permitiu converter de 41,84 a 76,51% do amido presente nos materiais crus por meio de pico de viscosidade, mostrando maior efeito significativo (p < 0,05) em relação ao processo de assadura.

Palavras-chave: Processamento por extrusão, assadura, flocos, propriedades tecnológicas, impacto, cereal matinal.

## ABSTRACT

This work aimed to evaluate the impact of extrusion and roasting on the physical and technological properties of flakes from different sources of starch. The raw materials used were *grits* corn, rice and banana of the Figo, Prata and Terra variety (AAB Genotypes). Flours with particle sizes smaller than 0.425 mm were used, the feed material had a process humidity of 28%, on a wet basis. A laboratory scale single screw extruder was used. The specific mechanical energy (EME) ranged from 100.27 to 240.79 kJ. kg<sup>-1</sup>, being low values to form the pellets. The extrudates were laminated and cut manually to 10 mm in length, then they were partially dried at 15% humidity, and then baked in an electric oven at 175 °C for a certain time (study variable). The roasting time (3, 4, 5 and 6 minutes) was evaluated on the physical (humidity, color, the thickness of blown, bulk density and instrumental texture) and technological characteristics (ISA, IAA and paste viscosity). It was concluded that the optimal roasting time was 5 minutes, showing good characteristics of the extruded products such as bulk density from 294.61 to 496.64 kg. m<sup>-3</sup>, blown thickness 0.83 to 5.97 mm, color changes (parameters L\*, a\*, b\* and C\*) indicate the chemical reactions between amino acids and sugars (Maillard) and instrumental texture as low hardness and high crispness. For the properties of ISA and IAA, the extrusion showed a greater significant effect ( $p < 0.05$ ) between the tests, compared to the roasting process. For paste properties, extrusion allowed to convert from 41.84 to 76.51% of the starch present in the raw materials through peak viscosity, showing a greater significant effect ( $p < 0.05$ ) compared to the roasting process.

Keywords: Extrusion processing, roasted, flakes, technological properties, impact, breakfast cereal.

## 1 INTRODUÇÃO

Os flocos ou laminados, comumente são um tipo de cereal matinal pronto para o consumo, muito populares a nível mundial. Este tipo de cereal pronto para o consumo é elaborado por cozimento em panelas fechadas giratórias ou por extrusão. Este último processo está sendo muito difundido na indústria por apresentar vantagens de custo e rápido preparo (CALDWELL *et al.*, 2016).

A extrusão termoplástica é um processo de múltiplas entradas e saídas que combina forças de cisalhamento, alta pressão e alta temperatura em pouco tempo (BERRIOS *et al.*, 2013). O material alimentar é misturado e plastificado com água para obter fluidez e cozido continuamente enquanto atravessa em um canhão cilíndrico (GUY, 2001). As extrusoras podem ser usadas para cozinhar, formar, misturar, texturizar e modelar produtos alimentícios em condições que favorecem a retenção de qualidade, alta produtividade e baixo custo. Existem vários ingredientes que precisam de algum tipo de processamento para torná-lo mais digerível e palatável para uso como ingredientes alimentares (ASCHERI *et al.*, 2019; BOUVIER; CAMPANELLA, 2014).

Outra etapa para a produção de cereais matinais é a torrefação ou assadura. A assadura é uma importante etapa para a fabricação de cereais matinais, porque atribui características de textura e crocância única, expansão e manutenção da integridade ao consumidor ao adicionar leite, já que esse atributo é muito crítico para a aceitação do produto pelos consumidores (SUMITHRA; BHATTACHARYA, 2008). O produto normalmente é assado numa corrente de ar quente colocados em uma superfície. Esta etapa de assadura permite que o produto apresente teores de umidades baixos, cor e textura adequadas, porém estes atributos vão depender do tipo de material, tempo e temperatura de assadura (BHATTACHARYA, 2014; FAST, 1990).

Para a elaboração dos flocos prontos para o consumo utiliza-se muito cereais como o milho, arroz e trigo. O milho é o cereal muito popular para este tipo de produto pronto para o consumo em continente americano (JOHNSON; SCHUETTE, 2019). A indústria alimentar inova constantemente, isto, com a finalidade de diversificar os produtos utilizando novas fontes alimentares que sejam mais saudáveis. As farinhas de frutas verdes como as bananas contribuem com nutrientes importantes para a saúde, como as fibras alimentares e minerais. Estes componentes podem ser úteis em dietas projetadas para reduzir o risco de doenças cardíacas e alguns tipos de câncer (ANDRADE *et al.*, 2018). Embora o processamento de flocos

seja já estabelecido pela indústria alimentar, o impacto de importantes condições de processamento como a extrusão e a assadura nas características dos produtos não é claramente conhecido. Os dados publicados sobre o impacto da extrusão e torrefação de flocos são limitados. Por tanto, gerar estes dados são úteis para a padronização de processos e produtos, como também para a melhoria do produto e das condições de processamento com novas fontes alimentares. O objetivo deste trabalho foi determinar o impacto da extrusão e a assadura dos flocos nas características de umidade, cor, textura, propriedades de hidratação e de pasta em flocos de diferentes fontes de amido.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Matérias-primas

Foram utilizadas farinhas de *grits* de milho, arroz polido, banana verde com casca das variedades pratã, figo e terra (genótipos AAB). As farinhas utilizadas tinham partículas finas com granulometria menor que 0,425mm. Logo, as farinhas foram identificadas como: *grits* de milho (E1), mistura de *grits* de milho e banana prata verde com casca ao 50:50 %, respectivamente (E2), mistura de *grits* de milho e banana figo verde com casca ao 50:50 %, respectivamente (E3), mistura de *grits* de milho e banana da terra verde com casca ao 50:50 %, respectivamente (E4), arroz branco (E5), mistura de arroz branco e banana da terra verde com casca ao 50:50 %, respectivamente (E6), banana da terra verde com casca (E7), todas as misturas foram em base seca. O acondicionamento da umidade de processo foi levado a 28 g de água. 100<sup>-1</sup> g de amostra em 600 g de mistura total, de acordo a equação (1):

$$\text{Adição de água (g)} = M_i \times \frac{1 - U_i}{1 - U_f} \quad (1)$$

Onde:  $M_i$  é a quantidade da mistura total (g),  $U_i$  é a umidade inicial da mistura e  $U_f$  é a umidade desejada para o processo.

### 2.2 Processo de extrusão

O processo de extrusão foi realizado num extrusor de laboratório de parafuso simples (Brabender 20 DN, Duisburg, Germany) acoplada a um reômetro de torque Plasti-Corder Lab. Station (Brabender, Duisburg, Germany), um parafuso com taxa de compressão 3:1, uma matriz circular de 3 mm de único furo, um sistema de esfriamento do barril com ar comprimido e um alimentador volumétrico. As condições constantes foram velocidade de rotação do parafuso

120 rpm, taxa de alimentação de 4 kg.h<sup>-1</sup> e as temperaturas de aquecimento na zona 1, 2 e 3 foram de 50, 70 e 90 °C, respectivamente.

### 2.2.1 Parâmetros do sistema

O Torque (T, kJ) subministrado ao parafuso foi reportado pelo software do extrusor, a taxa mássica do extrudado (Q, kg/ min) foi obtida por duplicata, coletando uma quantidade de produto extrudado à saída da matriz durante 30 s e a energia mecânica específica (EME, kJ/ kg) foi determinada de acordo com a equação (2) descrito por CHEN et al. (2010) e FANG *et al.* (2013).

$$EME = \frac{T \times 2\pi (SS) \times n}{Q} \quad (2)$$

Onde SS é a frequência angular de rotação dos parafusos (rpm) e n é o número dos parafusos do extrusor.

### 2.3 Laminado e tostagem dos flocos

Os extrudados foram laminados depois da saída do extrusor num cilindro laminador de massas (GPaniz, CL300, Rio Grande do Sul, Brasil), as fitas foram cortadas manualmente cerca de 10 mm de largura e depois secas parcialmente até 15 % de umidade a uma temperatura de 60 ± 1 °C num secador de bandejas (Hauber, DMS-G-EG, Brasil) e umidade relativa de 32 ± 2% medida com um termohigrômetro (Cole-Parmer, Vernon Hills, USA). Depois, os flocos secos parcialmente foram assados num forno elétrico de pancada a uma temperatura de 175 ± 5 °C a diferentes tempos de estudo (3, 4, 5 e 6 minutos) e empacotadas em sacolas de polietileno a temperatura ambiente para a realização das análises específicas.

### 2.4 Análise de umidade

Os flocos recentemente assados foram analisados quanto ao teor de umidade de acordo ao método 930.15 da AOAC (2005), utilizando uma temperatura de 105 °C até peso constante.

### 2.5 Análise de cor

A análise instrumental de cor foi realizada por refletância utilizando um colorímetro Hunterlab Colorquest, modelo XE (Reston, Virginia, EUA), escala CIELAB, com abertura de 1 mm de diâmetro, com iluminante D65/10. Os parâmetros de cor medidos foram: L\* (Luminosidade, 0 = preto e 100 = branco), a\* (-80 a 0 = verde e 0 a +100 = vermelho), b\* (-

100 a 0 = azul e 0 a +70 = amarelo) e C\* (Croma) que está definida pela intensidade ou saturação de cor, determinada pela equação (3). Foram realizadas quatro repetições para cada amostra.

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (3)$$

## **2.7 Textura instrumental**

A análise instrumental foi realizada em um analisador de textura (TA.TXplus, Stable Micro Systems, UK) com célula de carga de 30 kg, com acessório de compressão cilíndrico de 50 mm de diâmetro. O modo de teste de compressão foi utilizado. Os flocos foram deformados até 30%, iniciado a partir de 30 mm da base do cilindro. O acessório de compressão desceu a uma velocidade de 2 mm/ s. Após o teste, o acessório ascendeu a uma velocidade de 10 mm/ s. Foram determinadas em 15 g de flocos assados por 5 repetições de cada ensaio. A dureza foi medida pela força máxima e a crocância pelo número total de picos de força e distância.

## **2.8 Espessura de soprado e densidade a granel**

A espessura dos flocos antes e depois da assadura foi determinada de forma individual em 30 unidades, utilizando um medidor digital de precisão ( $\pm 0,01$  mm) e as espessuras médias foram calculadas. A densidade a granel foi determinada utilizando uma proveta de 200 mL e depois colocada os flocos sem sofrer acomodação para serem pesados.

## **2.9 Índice de absorção de água e índice de solubilidade em água**

Amostras de farinhas cruas e flocos extrudados e torrados, foram trituradas em moinho de facas e martelos com abertura de 0,8 mm, peneiradas e as frações com tamanhos de partículas entre 0,106 – 0,212 mm, foram utilizadas para avaliar em quadruplicata os índices de absorção de água (IAA) e solubilidade em água (ISA). O preparo das suspensões e o processo de absorção-solubilização foi realizado de acordo a metodologia descrita por ANDERSON et al. (1969), com algumas modificações indicadas em VARGAS-SOLÓRZANO et al. (2014). Os cálculos do ISA e IAA foram realizadas de acordo com as equações descritas em DOGAN e KARWE (2003).

## **2.10 Propriedades de pasta**

As frações das farinhas cruas, extrudadas e assadas com tamanhos de partículas entre 0,106 – 0,212  $\mu$ m foram usadas para preparar suspensões. As curvas de viscosidade foram determinadas com um analisador rápido de viscosidade RVA series 4 (Newport scientific,

Warriewood, NSW, Austrália). O perfil tempo-temperatura foi realizado de acordo com o descrito em TEBA et al. (2017).

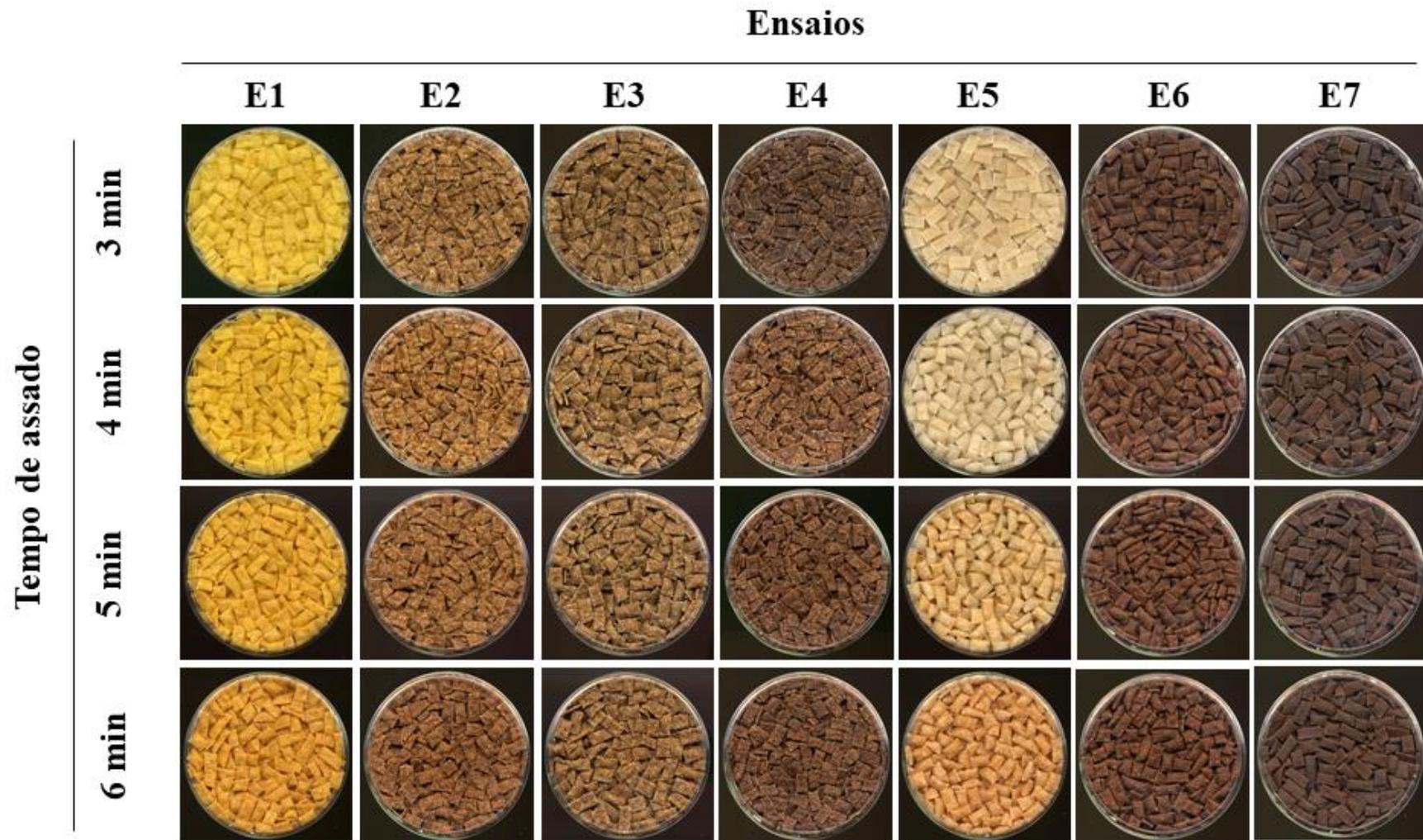
### 2.11 Análise estatística

Os resultados estão expressos como a média  $\pm$  desvio padrão. Os resultados de umidade e viscosidade de pasta foram realizados em duplicata. Para dureza, densidade a granel, índice de solubilidade em água (ISA), índice de absorção de água (IAA) e cor foram feitos em quaduplicata. Para análise de espessura de soprado foram de 15 repetições. Todos os resultados foram analisados estatisticamente pela análise de variância (ANOVA) de uma via para estabelecer diferenças significativas entre as medias com um intervalo de confiança de 95% mediante o teste de Tukey. As análises estatísticas foram feitas utilizando o software STATISTICA versão 12.0 (Statsoft Inc., Tulsa, OK, EUA).

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Parâmetros do sistema

Na **Tabela 1**, são apresentadas as respostas geradas pelo processo de extrusão como: taxa mássica (Q), torque (T) e energia mecânica específica (EME) em função ao tipo de matéria-prima. O valor de Q variou entre 4,76 a 6,36 kg/ h e a análise de variância (ANOVA) apontou diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os ensaios. O *grits* de milho foi o material com maior valor da taxa mássica (Q) no processo de extrusão, enquanto a mistura de banana terra e *grits* de milho na proporção 50:50 % (p:p %) foi que teve o menor valor Q, isto deve-se ao fato da farinha de banana verde com casca da variedade terra apresentando mais atrito e maior esforço do equipamento para empurrar o material pelo barril da extrusora. O Torque (T) de *grits* de milho (E1) e misturas de banana figo com *grits* de milho (E3) apresentaram maiores valores 30,85 e 30,40 N.m, respectivamente comparado com os outros materiais de alimentação. Os valores de SME variaram entre 100,27 a 240,79 kJ/ kg, entre os tratamentos apresentaram diferença significativas ( $p < 0,05$ ), isto deve-se ao tipo de material a utilizar e a composição de cada material (ZHANG *et al.*, 2016). Os valores reportados de EME mostram pouca severidade do processo de extrusão, isto é, ao aumento da umidade (28%, em base úmida) que reduz a força para empurrar o material através da matriz, reduzindo o atrito entre a massa, o parafuso e o barril do extrusor (KANG *et al.*, 2007).



**Figura 1.** Flocos extrudados a diferentes tempos de assadura. E1: *Grits* de milho, E2: *Grits* de milho/ Banana prata, E3: *Grits* de milho/ Banana Figo, E4: *Grits* de milho/ Banana da terra, E5: Arroz, E6: Arroz/ Banana da terra e E7: Banana da terra.

**Tabela 1.** Respostas do sistema de extrusão e umidades de flocos durante a assadura a diferentes tempos.

Ensaio	Respostas do sistema			Umidades a diferentes tempos de assadura (%)					Equação de regressão	R <sup>2</sup>
	Q	T	EME	3 min	4 min	5 min	6 min			
E1	6,36 <sup>a</sup> ± 0,01	30,85 <sup>a</sup> ± 1,07	219,23 <sup>b</sup> ± 7,36	9,69 <sup>bc</sup> ± 0,30	6,13 <sup>d</sup> ± 0,54	4,96 <sup>abc</sup> ± 0,12	3,33 <sup>a</sup> ± 0,10	U <sub>1</sub> = -2,0182 * t + 15,1080	0,9847	
E2	5,95 <sup>b</sup> ± 0,02	24,00 <sup>c</sup> ± 0,85	182,48 <sup>c</sup> ± 7,05	9,42 <sup>c</sup> ± 0,17	6,29 <sup>cd</sup> ± 0,17	4,96 <sup>abc</sup> ± 0,35	2,44 <sup>b</sup> ± 0,22	U <sub>2</sub> = -2,1542 * t + 15,4510	0,9942	
E3	5,94 <sup>b</sup> ± 0,15	30,40 <sup>a</sup> ± 0,99	231,36 <sup>ab</sup> ± 1,79	9,81 <sup>bc</sup> ± 0,67	6,85 <sup>bcd</sup> ± 0,67	5,24 <sup>ab</sup> ± 0,35	3,53 <sup>a</sup> ± 0,13	U <sub>3</sub> = -1,9907 * t + 15,3000	0,9939	
E4	4,76 <sup>d</sup> ± 0,08	10,55 <sup>d</sup> ± 0,35	100,27 <sup>d</sup> ± 4,97	10,76 <sup>ab</sup> ± 0,17	7,60 <sup>abc</sup> ± 0,17	5,40 <sup>a</sup> ± 0,28	3,90 <sup>a</sup> ± 0,23	U <sub>4</sub> = -1,9289 * t + 15,4980	0,9815	
E5	5,67 <sup>c</sup> ± 0,01	28,30 <sup>ab</sup> ± 0,57	225,75 <sup>ab</sup> ± 4,72	11,42 <sup>a</sup> ± 0,01	9,00 <sup>a</sup> ± 0,21	5,06 <sup>abc</sup> ± 0,47	3,46 <sup>a</sup> ± 0,01	U <sub>5</sub> = -2,0477 * t + 16,2460	0,9524	
E6	5,00 <sup>d</sup> ± 0,02	24,35 <sup>c</sup> ± 0,78	220,25 <sup>ab</sup> ± 6,03	10,68 <sup>ab</sup> ± 0,10	8,05 <sup>ab</sup> ± 0,24	3,94 <sup>c</sup> ± 0,38	1,85 <sup>c</sup> ± 0,12	U <sub>6</sub> = -2,3077 * t + 16,3060	0,9626	
E7	4,81 <sup>d</sup> ± 0,01	25,60 <sup>bc</sup> ± 0,28	240,79 <sup>a</sup> ± 2,15	10,59 <sup>abc</sup> ± 0,16	7,45 <sup>bcd</sup> ± 0,19	4,09 <sup>bc</sup> ± 0,06	1,04 <sup>d</sup> ± 0,08	U <sub>7</sub> = -2,3372 * t + 16,0700	0,9594	

E1 *grits* de milho, E2 mistura de *grits* de milho e banana pratã, E3 mistura de *grits* de milho e banana figo, E4, *grits* de milho e banana da terra, E5 arroz, E6 mistura de arroz e banana da terra, E7 banana da terra. Todas as misturas tiveram 50:50 %, em base seca, respectivamente.

Q taxa mássica do extrudado (kg/ h), T torque gerado pelo material dentro do barril (1 N.m = 10<sup>-3</sup> kJ), SME energia mecânica específica (kJ/ kg).

U<sub>1</sub>, U<sub>2</sub>, U<sub>3</sub>, U<sub>4</sub>, U<sub>5</sub>, U<sub>6</sub>, e U<sub>7</sub> representam as umidades (variável) em função ao tempo (t) de acordo a equação obtida por regressão linear.

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa pelo teste de Tukey (p < 0,05).

### 3.2 Umidade dos flocos durante a assadura

A assadura é uma operação muito importante para a elaboração de alguns produtos por extrusão, como os cereais matinais, já que ela fornece alguns atributos no alimento como: uma umidade baixa (entre 2 a 5%, em base úmida), textura crocante e cores desejados (BATTERMAN-AZCONA; HAMAKER, 1998). Na Tabela 1, mostra-se que a 3 minutos de assadura a umidade variou entre 9,42 a 11,42%, onde o E5 foi o que teve maior valor na umidade, enquanto, E2 teve o menor valor ( $p < 0,05$ ). A 4 minutos a umidade variou entre 9,00 a 6,13%, onde novamente E5 teve o maior valor de umidade, enquanto E1 teve o menor valor ( $p < 0,01$ ). As umidades obtidas a 3 e 4 minutos representam valores acima das características dos flocos (SUMITHRA; BHATTACHARYA, 2008). Os valores de umidade a 5 minutos de assadura tiveram valores entre 3,94 a 5,40%, onde E4 teve o maior valor de umidade, enquanto E6 teve o menor ( $p < 0,05$ ). A 6 minutos a umidade variou entre 1,04 a 3,90%, onde E1, E3, E4 e E5 tiveram valores altos, enquanto E6 e E7 tiveram menores valores ( $p < 0,01$ ). A umidade dos flocos depende da severidade do processo (RANI et al., 2019).

### 3.3 Análise de Cor

As amostras para cor foram significativas ( $p < 0,001$ ) na análise de variância em função dos ensaios (material) e o tempo de assadura no forno. A luminosidade ( $L^*$ ) é uma indicação de brilho de uma amostra. Os valores de  $L^*$  são mostrados na **Tabela 2**, para os flocos antes da assadura no forno o parâmetro  $L^*$  variaram de 40,76 a 65,76. Os ensaios E1 e E5 apresentaram homogeneidade de grupos pelo teste estatístico (Tukey,  $p < 0,05$ ). Flocos a 3 min no forno, os valores variaram de 40,55 a 68,68, estes valores apresentaram grupos heterogêneos. Flocos a 4 min no forno, os valores de  $L^*$  variaram de 41,30 a 69,67, os ensaios E2 e E3 mostraram homogeneidade de grupo. E para 6 min, os flocos tiveram valores de 41,22 a 63,95, onde E6 e E7 foram homogêneos. Dos dados, o *grits* de milho (E1) e o arroz (E5), mostraram maiores valores entre os ensaios e de acordo com o tempo de assadura, para E1, E2 e E5 apresentaram valores altos de  $L^*$  a 4 min de assadura no forno. E para E3, E4, E6 e E7 os valores máximos de  $L^*$  foram a 5 min de assadura no forno, sendo estes tempos ótimos por ser picos máximos do experimento.

O valor  $a^*$  indica a cor vermelha da amostra com um valor positivo e verde com um valor negativo. Os valores de  $a^*$  antes da assadura no forno foram de 1,16 a 9,55, estes valores foram significativos ( $p < 0,001$ ) entre ensaios (material) e tempos no forno. Para flocos a 3 min

de assadura, os valores variaram de 1,81 a 8,81 onde mostra-se dois grupos homogêneos, o primeiro grupo, são os ensaios E3 e E4 e o segundo ensaios E5 e E7 (**Tabela 2**). Para 4 min de assadura, os valores variaram de 1,27 a 9,41, os ensaios E3 e E6 apresentaram homogeneidade de grupos. A 5 min, os valores foram de 2,55 a 10,86, os ensaios E3 e E6 continuaram sendo um grupo homogêneo que os demais ensaios. E a 6 min, os valores variaram de 2,49 a 11,57, os ensaios E3, E4 e E6 apresentaram homogeneidade de grupo ( $p < 0,05$ ). Os valores de  $a^*$  acrescentaram quando ficaram no forno (E1, E3 e E5) e para os ensaios E2, E4, E6 e E7 apresentaram maiores valores no tempo 5 min.

Os valores de  $b^*$  variaram de 0,51 a 34,88 para os flocos antes de ingressar ao forno, os ensaios E1 e E5 apresentaram maiores valores. Os ensaios E6 e E7 apresentaram homogeneidade de grupos ( $p < 0,05$ ). No tempo 3 min, os flocos variaram de 1,10 a 37,25, onde os ensaios apresentaram heterogeneidade de grupos e acrescentaram seus valores comparados com o tempo inicial (0 min). A 4 min, os valores foram de 1,46 a 36,93, não tiveram homogeneidade de grupos. A 5 min, os valores foram de 2,09 a 32,27, onde os ensaios E2 e E3 foram homogêneos. E a 6 min, os valores foram de 2,27 a 28,99, os ensaios foram heterogêneos com uma alta significância ( $p < 0,001$ ). O tempo de assadura a 3 min foi que mostrou maior diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos.

Os valores de  $C^*$  apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os ensaios e os tempos de assadura no forno. Os flocos antes da assadura (0 min) variaram de 1,61 a 36,17. Para 3 min, variaram de 2,13 a 38,28. Para 4 min, os valores variaram de 2,53 a 38,11. Para 5 min, os valores variaram de 3,29 a 33,30. E para 6 min, os valores variaram de 3,37 a 30,96. Em função ao tempo, para os ensaios E3, E5 e E7 indicou que a maior tempo de assadura, maior é o valor de cor ( $C^*$ ). Para o ensaio E2 o tempo 4 min foi o maior valor que os demais tempos. Para E1 o maior valor foi no tempo de 3 min. Para E4 e E6 os maiores valores foram no tempo de 5 min. Na Tabela 4, mostra-se as equações de cada ensaio, sendo assim preditivos ( $R^2 > 0,70$ ). Estas mudanças de cor nas amostras estão em função a cada matéria-prima, sua composição e proporção na mistura (STOJCESKA *et al.*, 2009). Sabe-se que o principal motivo das mudanças de cor deve-se as reações de Maillard como tal como descreve (TEBA *et al.*, 2017) e (AMES, 1998) onde a cor muda a causa das reações químicas entre aminoácidos e redução de açúcares (BISHARAT *et al.*, 2014). Na **Figura 1**, observa-se que os ensaios (flocos) mudaram significativamente em cada tempo de assado, no qual a 6 min mostrou maior mudança como mais escuro do que o resto dos tempos, isto deve-se à queima da superfície da amostra.

**Tabela 2.** Parâmetros de cor após da assadura dos flocos extrudados.

Ensaio	Parâmetro L*					Equação de regressão	R <sup>2</sup>
	Tempo no forno						
	0 min	3 min	4 min	5 min	6 min		
E1	65,76 <sup>aB</sup> ± 0,43	68,68 <sup>aA</sup> ± 0,38	69,67 <sup>aA</sup> ± 0,39	65,97 <sup>aB</sup> ± 0,44	63,95 <sup>aC</sup> ± 0,79	$= -0,42 * t^2 + 2,17 * t + 65,79$	0,9911
E2	45,43 <sup>bB</sup> ± 0,66	47,09 <sup>cA</sup> ± 0,56	47,55 <sup>cA</sup> ± 0,23	46,91 <sup>cA</sup> ± 0,06	45,67 <sup>dB</sup> ± 0,53	$= -0,25 * t^2 + 1,52 * t + 45,43$	0,9994
E3	44,98 <sup>bC</sup> ± 0,68	46,08 <sup>dB</sup> ± 0,42	46,95 <sup>cAB</sup> ± 0,42	47,64 <sup>bA</sup> ± 0,20	47,85 <sup>cA</sup> ± 0,47	$= -0,02 * t^2 + 0,40 * t + 44,94$	0,9739
E4	43,01 <sup>cC</sup> ± 0,44	43,58 <sup>eBC</sup> ± 0,28	44,67 <sup>dA</sup> ± 0,16	45,00 <sup>dA</sup> ± 0,06	44,00 <sup>eB</sup> ± 0,21	$= -0,14 * t^2 + 1,03 * t + 42,99$	0,9195
E5	65,87 <sup>aB</sup> ± 0,19	64,35 <sup>bC</sup> ± 0,62	67,98 <sup>bA</sup> ± 0,04	65,61 <sup>aB</sup> ± 0,44	61,59 <sup>bD</sup> ± 0,61	$= -0,63 * t^2 + 3,05 * t + 65,87$	0,9987
E6	41,42 <sup>dC</sup> ± 0,12	41,68 <sup>fBC</sup> ± 0,09	42,04 <sup>eB</sup> ± 0,35	42,67 <sup>eA</sup> ± 0,22	42,07 <sup>fB</sup> ± 0,10	$= -0,24 * t^2 + 2,34 * t + 36,75$	0,7772
E7	40,76 <sup>dB</sup> ± 0,17	40,55 <sup>gC</sup> ± 0,34	41,30 <sup>fAB</sup> ± 0,24	41,64 <sup>fA</sup> ± 0,39	41,22 <sup>fAB</sup> ± 0,29	$= -0,04 * t^2 + 0,33 * t + 40,75$	0,8005
Ensaio	Parâmetro a*						
E1	9,55 <sup>aC</sup> ± 0,12	8,81 <sup>aD</sup> ± 0,33	9,41 <sup>aCD</sup> ± 0,10	10,86 <sup>aB</sup> ± 0,23	11,57 <sup>aA</sup> ± 0,55	$= -0,19 * t^2 + 0,76 * t + 9,52$	0,9542
E2	3,53 <sup>bC</sup> ± 0,20	4,14 <sup>bB</sup> ± 0,16	4,95 <sup>bA</sup> ± 0,08	5,09 <sup>cA</sup> ± 0,19	5,00 <sup>cA</sup> ± 0,05	$= -0,01 * t^2 + 0,36 * t + 3,49$	0,8941
E3	2,72 <sup>cE</sup> ± 0,14	3,17 <sup>cD</sup> ± 0,03	3,48 <sup>dC</sup> ± 0,13	4,01 <sup>eB</sup> ± 0,02	4,44 <sup>dA</sup> ± 0,07	$= 0,05 * t^2 + 0,01 * t + 2,72$	0,9966
E4	2,30 <sup>dE</sup> ± 0,15	2,87 <sup>cD</sup> ± 0,08	3,82 <sup>cC</sup> ± 0,02	4,52 <sup>dA</sup> ± 0,01	4,13 <sup>dB</sup> ± 0,11	$= -0,05 * t^2 + 0,64 * t + 2,29$	0,9419
E5	1,16 <sup>fD</sup> ± 0,01	1,81 <sup>dC</sup> ± 0,20	1,27 <sup>fD</sup> ± 0,05	5,49 <sup>bB</sup> ± 0,06	9,88 <sup>bA</sup> ± 0,20	$= 0,53 * t^2 - 1,82 * t + 1,31$	0,9452
E6	2,17 <sup>dE</sup> ± 0,05	2,94 <sup>cD</sup> ± 0,02	3,36 <sup>dC</sup> ± 0,14	4,13 <sup>eA</sup> ± 0,09	3,93 <sup>dB</sup> ± 0,02	$= 0,005 * t^2 + 0,30 * t + 2,14$	0,9219
E7	1,53 <sup>eD</sup> ± 0,03	1,83 <sup>dC</sup> ± 0,02	2,07 <sup>eB</sup> ± 0,11	2,55 <sup>fA</sup> ± 0,05	2,49 <sup>eA</sup> ± 0,01	$= 0,02 * t^2 + 0,09 * t + 1,51$	0,9132

E1 *grits* de milho, E2 mistura de *grits* de milho e banana pratã, E3 mistura de *grits* de milho e banana figo, E4, *grits* de milho e banana da terra, E5 arroz, E6 mistura de arroz e banana da terra, E7 banana da terra. Todas as misturas tiveram 50:50 %, em base seca, respectivamente. Os valores são expressos como a média ± desvio padrão de quatro repetições. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Letras maiúsculas diferentes na mesma fila indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). As equações são obtidas por regressão polinomial em função ao tempo (t).

**Tabela 2.** Parâmetros de cor após da assadura dos flocos extrudados (continuação).

Ensaio	Parâmetro b*					Equação de regressão	R <sup>2</sup>
	Tempo no forno						
	0 min	3 min	4 min	5 min	6 min		
E1	34.88 <sup>aB</sup> ± 0.45	37.25 <sup>aA</sup> ± 0.03	36.93 <sup>aA</sup> ± 0.35	32.27 <sup>aC</sup> ± 1.51	28.99 <sup>aD</sup> ± 0.87	= -0,65 * t <sup>2</sup> + 2,88 * t + 34,86	0,9652
E2	5.53 <sup>cD</sup> ± 0.41	7.90 <sup>cB</sup> ± 0.38	8.63 <sup>cA</sup> ± 0.08	8.14 <sup>cAB</sup> ± 0.03	7.05 <sup>dC</sup> ± 0.18	= -0,21 * t <sup>2</sup> + 1,56 * t + 5,48	0,9547
E3	4.29 <sup>dD</sup> ± 0.42	6.00 <sup>dC</sup> ± 0.22	6.88 <sup>dB</sup> ± 0.25	7.54 <sup>cA</sup> ± 0.17	7.93 <sup>cA</sup> ± 0.23	= -0,002 * t <sup>2</sup> + 0,64 * t + 4,26	0,9926
E4	2.34 <sup>eD</sup> ± 0.24	3.61 <sup>eC</sup> ± 0.12	4.99 <sup>eAB</sup> ± 0.12	5.29 <sup>dA</sup> ± 0.10	4.79 <sup>eB</sup> ± 0.15	= -0,14 * t <sup>2</sup> + 1,23 * t + 2,33	0,9914
E5	11.12 <sup>bD</sup> ± 0.12	12.25 <sup>bC</sup> ± 0.13	12.38 <sup>bC</sup> ± 0.11	17.23 <sup>bB</sup> ± 0.47	18.69 <sup>bA</sup> ± 0.29	= 0,36 * t <sup>2</sup> - 0,82 * t + 11,11	0,9282
E6	1.11 <sup>fE</sup> ± 0.04	2.41 <sup>fD</sup> ± 0.03	2.92 <sup>fC</sup> ± 0.21	3.76 <sup>eA</sup> ± 0.11	3.48 <sup>fB</sup> ± 0.02	= -0,02 * t <sup>2</sup> + 0,56 * t + 1,07	0,9461
E7	0.51 <sup>fE</sup> ± 0.03	1.10 <sup>gD</sup> ± 0.01	1.46 <sup>gC</sup> ± 0.11	2.09 <sup>fB</sup> ± 0.08	2.27 <sup>gA</sup> ± 0.03	= 0,03 * t <sup>2</sup> + 0,21 * t + 0,45	0,7731
Ensaio	Parâmetro C*						
E1	36,17 <sup>aB</sup> ± 0,47	38,28 <sup>aA</sup> ± 0,10	38,11 <sup>aA</sup> ± 0,36	33,30 <sup>aC</sup> ± 0,31	30,96 <sup>aD</sup> ± 0,83	= -0,58 * t <sup>2</sup> + 2,54 * t + 36,18	0,9372
E2	6,56 <sup>cC</sup> ± 0,45	8,92 <sup>cB</sup> ± 0,41	9,95 <sup>cA</sup> ± 0,03	9,59 <sup>cA</sup> ± 0,10	8,65 <sup>cB</sup> ± 0,12	= -0,19 * t <sup>2</sup> + 1,52 * t + 6,50	0,9393
E3	5,08 <sup>dD</sup> ± 0,43	6,78 <sup>dC</sup> ± 0,21	7,71 <sup>dB</sup> ± 0,28	8,54 <sup>dA</sup> ± 0,14	9,08 <sup>cA</sup> ± 0,23	= 0,02 * t <sup>2</sup> + 0,56 * t + 5,06	0,9939
E4	3,28 <sup>eD</sup> ± 0,28	4,61 <sup>eC</sup> ± 0,14	6,29 <sup>eB</sup> ± 0,08	6,96 <sup>eA</sup> ± 0,07	6,32 <sup>dB</sup> ± 0,18	= -0,14 * t <sup>2</sup> + 1,36 * t + 3,27	0,9779
E5	11,18 <sup>bD</sup> ± 0,12	12,38 <sup>bC</sup> ± 0,16	12,44 <sup>bC</sup> ± 0,11	18,08 <sup>bB</sup> ± 0,46	21,14 <sup>bA</sup> ± 0,35	= 0,52 * t <sup>2</sup> - 1,40 * t + 11,23	0,9526
E6	2,44 <sup>fE</sup> ± 0,06	3,80 <sup>fD</sup> ± 0,03	4,46 <sup>fC</sup> ± 0,24	5,58 <sup>fA</sup> ± 0,14	5,25 <sup>eB</sup> ± 0,02	= -0,01 * t <sup>2</sup> + 0,57 * t + 2,39	0,9320
E7	1,61 <sup>gD</sup> ± 0,03	2,13 <sup>gC</sup> ± 0,02	2,53 <sup>gB</sup> ± 0,15	3,29 <sup>gA</sup> ± 0,09	3,37 <sup>fA</sup> ± 0,02	= 0,04 * t <sup>2</sup> + 0,11 * t + 1,59	0,9515

E1 *grits* de milho, E2 mistura de *grits* de milho e banana pratã, E3 mistura de *grits* de milho e banana figo, E4, *grits* de milho e banana da terra, E5 arroz, E6 mistura de arroz e banana da terra, E7 banana da terra. Todas as misturas tiveram 50:50 %, em base seca, respectivamente. Os valores são expressos como a média ± desvio padrão de quatro repetições. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa pelo teste de Tukey (p < 0,05). Letras maiúsculas diferentes na mesma fila indicam diferença significativa pelo teste de Tukey (p < 0,05). As equações são obtidas por regressão polinomial em função ao tempo (t).

### 3.4 Textura instrumental

A dureza é um dos fatores que determina a aceitabilidade do alimento pelo consumidor (BHATTACHARYA; CHOUDHURY, 1994). Na **Tabela 3**, mostra-se os valores de dureza dos ensaios que variaram significativamente ( $p < 0,05$ ) em função das diferentes fontes de amido e diferentes tempos de assado. A 3 min, todos os ensaios apresentaram características muito duras nos quais não foram possíveis sua determinação. A 4 min, o ensaio E5 não foi possível determinar sua dureza, os valores da dureza variaram de 272,91 a 354,37 N, onde E3 foi o que maior valor apresentou e E2 foi o de menor valor. A 5 min, os valores de dureza diminuíram, variando de 226,39 a 376,71 N, onde E6 foi o que maior valor de dureza apresentou e E1 foi o de menor valor. E a 6 min, os valores de dureza variaram de 224,18 a 364,54 N, onde os ensaios E2, E6 e E7 apresentaram maior dureza que a 5 min. E os ensaios E1, E3, E4 e E5 apresentaram menor dureza que os ensaios de 5 min, isto indica que o tempo ótimo foi 5 min. Em cereais matinais feitos de leite em pó, arroz quebrado e casca de maracujá a dureza variou de 318,43 a 841,77 N (DOS SANTOS *et al.*, 2015).

Para crocância, o tempo exposto dos flocos no forno teve efeito significativo ( $p < 0,05$ ) em cada ensaio. A 5 min de assado, foi o tempo que mostrou maior crocância nos ensaios, pelo qual representa o ponto ótimo do processo. O arroz (E5) foi o material com maior crocância ( $p < 0,05$ ) seguido da mistura de arroz e banana da terra (E6). Isto deve-se a composição que tem o material. A assadura a temperaturas altas produz uma textura mais crocante, incha o produto e melhora a vida útil com menos atividade da água (JOGIHALLI *et al.*, 2017). Estas propriedades de textura, não existe definição da faixa de valores aceitáveis para *snacks* e cereais matinais.

### 3.5 Espessura e densidade aparente

As espessuras medias para os flocos apresentaram efeitos significativos em função do tempo de assado ( $p < 0,05$ ). A 0 min, os flocos tiveram espessuras de 0,83 a 1,42 mm, onde E5 foi o mais alto e E2 o mais baixo. A 3 min, as espessuras acrescentaram de 1,18 a 3,69 mm, o arroz (E5) foi o maior valor dos outros. A 4 min, os flocos acrescentaram mais a espessura, variaram de 1,44 a 5,97 mm. A 5 min alguns flocos diminuíram sua espessura (E5) e os outros acrescentaram, os valores variaram de 1,62 a 5,44 mm. E a 6 min os flocos diminuíram suas espessuras, isto deve-se a desidratação dos flocos e encolhimento, onde os valores variaram de 1,48 a 5,24 mm. O processo de assado consegue acrescentar a espessura dos flocos que permite

a diminuição de sua densidade, como também melhorar a crocância do produto. Estudos relataram que a espessura de soprado e o volume pode estar relacionados com a retenção da textura do produto quando os cereais matinais estão mergulhados no leite pronto para consumo (OWUSU-ANSAH *et al.*, 1984; SUMITHRA; BHATTACHARYA, 2008).

A densidade a granel dos flocos representa um análise muito relevante porque relacionamos com o requerimento da embalagem e a capacidade de flutuação quando está mergulhado no leite. No caso o produto fosse muito denso, ele não flutuaria no leite e essa característica estaria qualificando como ruim no produto pronto para o consumo. Esta característica normalmente está em função do teor de umidade que tem o produto. De nos ensaios realizados, as densidades foram baixas no tempo de 5 min, onde variaram de 294,61 a 435,24 kg. m<sup>-3</sup>, a mistura de *grits* de milho e banana verde da variedade figo (E3) foi que teve o menor valor junto ao arroz (E5), e banana verde variedade da terra (E7) foi que teve o maior valor de densidade. Estudos relatam que valores baixos de densidades se deve a expansão do material e foi indicado que a nova organização das camadas externas e a alta porosidade são os responsáveis pela rápida hidratação dos materiais expandidos e a predominância da absorção de água é esperada (MARIOTTI *et al.*, 2006).

**Tabela 3.** Avaliação da textura instrumental, espessura e densidade a granel dos flocos extrudados a diferentes tempos de assado.

Ensaio	Dureza (N)			Espessura de soprado (mm)				
	4 min	5 min	6 min	0 min	3 min	4 min	5 min	6 min
E1	335,44 <sup>bA</sup> ± 15,27	226,39 <sup>cB</sup> ± 5,69	224,18 <sup>dB</sup> ± 23,18	1,15 <sup>cdB</sup> ± 0,08	3,48 <sup>aA</sup> ± 0,28	3,56 <sup>cA</sup> ± 0,23	3,58 <sup>dA</sup> ± 0,23	3,44 <sup>dA</sup> ± 0,25
E2	272,91 <sup>cA</sup> ± 9,65	242,08 <sup>cA</sup> ± 19,01	267,72 <sup>cdA</sup> ± 3,25	0,83 <sup>fC</sup> ± 0,05	1,58 <sup>cB</sup> ± 0,11	1,68 <sup>eAB</sup> ± 0,13	1,80 <sup>fA</sup> ± 0,15	1,69 <sup>fAB</sup> ± 0,15
E3	354,37 <sup>bA</sup> ± 6,72	271,45 <sup>bcB</sup> ± 11,06	270,69 <sup>cdB</sup> ± 19,23	1,06 <sup>eC</sup> ± 0,06	3,54 <sup>aB</sup> ± 0,31	3,71 <sup>cAB</sup> ± 0,31	3,92 <sup>cA</sup> ± 0,31	3,76 <sup>cAB</sup> ± 0,30
E4	353,33 <sup>bA</sup> ± 8,07	337,07 <sup>abAB</sup> ± 21,28	311,00 <sup>bcB</sup> ± 17,03	1,09 <sup>deC</sup> ± 0,05	1,18 <sup>dC</sup> ± 0,09	1,44 <sup>fB</sup> ± 0,13	1,62 <sup>fA</sup> ± 0,14	1,48 <sup>fB</sup> ± 0,11
E5	NQ	372,00 <sup>aA</sup> ± 23,32	326,39 <sup>abA</sup> ± 24,78	1,42 <sup>aC</sup> ± 0,11	1,60 <sup>cC</sup> ± 0,10	5,97 <sup>aA</sup> ± 0,26	5,44 <sup>aB</sup> ± 0,32	5,24 <sup>aB</sup> ± 0,24
E6	397,28 <sup>aA</sup> ± 2,55	376,71 <sup>aA</sup> ± 32,15	284,24 <sup>bcB</sup> ± 6,52	1,20 <sup>cD</sup> ± 0,06	3,69 <sup>aC</sup> ± 0,23	4,42 <sup>bB</sup> ± 0,22	4,70 <sup>bA</sup> ± 0,17	4,24 <sup>bB</sup> ± 0,38
E7	292,64 <sup>cB</sup> ± 16,61	337,92 <sup>abAB</sup> ± 38,59	364,54 <sup>aA</sup> ± 22,18	1,33 <sup>bC</sup> ± 0,08	2,24 <sup>bB</sup> ± 0,18	2,45 <sup>dA</sup> ± 0,16	2,62 <sup>eA</sup> ± 0,15	2,60 <sup>eA</sup> ± 0,24

Ensaio	Crocância (N.mm)			Densidade a granel (kg.m <sup>-3</sup> )				
	4 min	5 min	6 min	0 min	3 min	4 min	5 min	6 min
E1	507,89 ± 63,45 <sup>bcA</sup>	550,17 ± 27,32 <sup>bcA</sup>	512,02 ± 3,02 <sup>bcdA</sup>	399,72 ± 4,53 <sup>cA</sup>	341,58 ± 4,04 <sup>eB</sup>	336,41 ± 6,32 <sup>cBC</sup>	331,21 ± 2,10 <sup>cBC</sup>	332,13 ± 4,35 <sup>cC</sup>
E2	393,12 ± 23,12 <sup>dB</sup>	463,73 ± 23,47 <sup>cdeA</sup>	480,47 ± 30,61 <sup>cdA</sup>	350,40 ± 8,15 <sup>dA</sup>	334,96 ± 5,12 <sup>eB</sup>	312,45 ± 6,16 <sup>dC</sup>	326,92 ± 2,32 <sup>cB</sup>	313,59 ± 6,88 <sup>dC</sup>
E3	644,30 ± 44,75 <sup>aA</sup>	528,63 ± 21,46 <sup>cdA</sup>	568,88 ± 70,76 <sup>bcA</sup>	341,42 ± 9,11 <sup>dA</sup>	309,36 ± 5,68 <sup>fB</sup>	301,31 ± 4,44 <sup>dBC</sup>	294,61 ± 7,68 <sup>dC</sup>	295,51 ± 1,09 <sup>eC</sup>
E4	419,98 ± 15,59 <sup>cdA</sup>	452,09 ± 12,96 <sup>deA</sup>	441,44 ± 14,10 <sup>dA</sup>	419,74 ± 2,24 <sup>bBC</sup>	437,05 ± 4,63 <sup>cA</sup>	433,71 ± 5,14 <sup>aAB</sup>	413,53 ± 5,87 <sup>bC</sup>	405,15 ± 1,03 <sup>bC</sup>
E5	NQ	925,14 ± 63,07 <sup>aA</sup>	821,65 ± 73,51 <sup>aA</sup>	453,08 ± 5,53 <sup>aB</sup>	496,64 ± 1,87 <sup>aA</sup>	299,94 ± 5,31 <sup>dD</sup>	300,57 ± 4,02 <sup>dD</sup>	321,22 ± 3,43 <sup>cdC</sup>
E6	540,74 ± 46,94 <sup>abB</sup>	642,05 ± 20,16 <sup>bA</sup>	632,27 ± 11,40 <sup>bA</sup>	433,26 ± 5,31 <sup>bA</sup>	382,76 ± 6,23 <sup>dB</sup>	382,13 ± 6,77 <sup>bB</sup>	322,99 ± 4,54 <sup>cC</sup>	325,34 ± 6,97 <sup>cC</sup>
E7	335,18 ± 32,58 <sup>dB</sup>	423,19 ± 38,58 <sup>eAB</sup>	469,18 ± 40,99 <sup>cdA</sup>	461,78 ± 5,48 <sup>aA</sup>	450,42 ± 5,21 <sup>bAB</sup>	445,83 ± 8,06 <sup>aB</sup>	435,24 ± 9,02 <sup>aBC</sup>	420,52 ± 6,30 <sup>aC</sup>

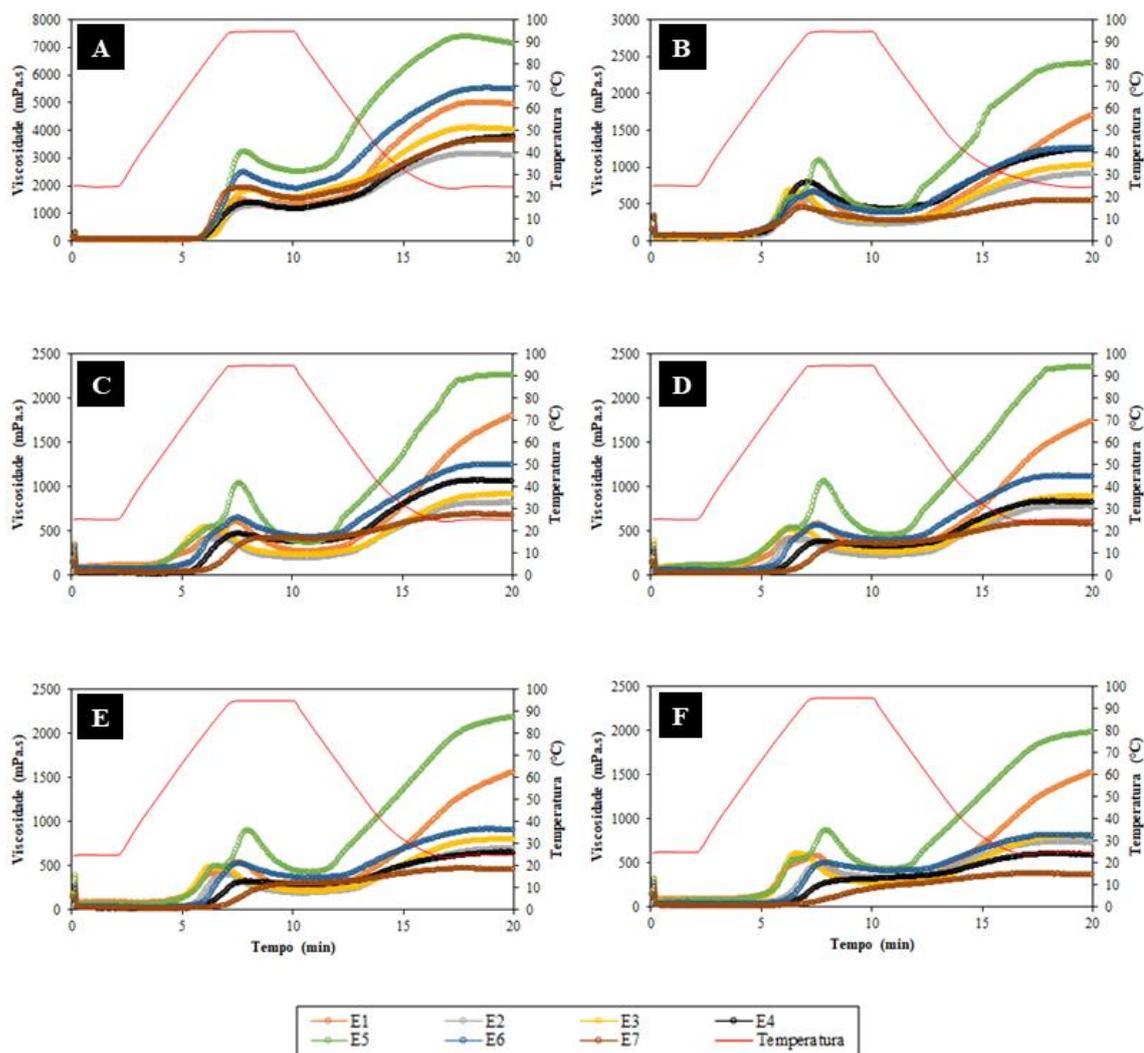
E1 *grits* de milho, E2 mistura de *grits* de milho e banana pratã, E3 mistura de *grits* de milho e banana figo, E4, *grits* de milho e banana da terra, E5 arroz, E6 mistura de arroz e banana da terra, E7 banana da terra. Todas as misturas tiveram 50:50 %, em base seca, respectivamente. NQ não quantificado. Os valores são expressos da média ± desvio padrão. Letras maiúsculas diferentes na mesma fila indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

### 3.6 Índice de absorção de água e índice de solubilidade em água

As farinhas cruas apresentaram valores de índice de solubilidade em água (ISA) entre 0,0052 a 0,1164 g sólidos solúveis. g<sup>-1</sup>. A farinha de arroz (E5) apresentou o valor mais baixo que os outros. A farinha de banana terra (E7) apresentou o valor mais alto que os outros ensaios. Estas farinhas, foram processados com as condições de extrusão e depois de secos e moídos o ISA variou de 0,0255 a 0,1319 g sólidos solúveis. g<sup>-1</sup>. Para o índice de absorção de água (IAA) os valores das farinhas cruas variaram de 1,4754 a 2,1988 g de água. g<sup>-1</sup>. A farinha de arroz (E5) apresentou o menor valor e a mistura de *grits* de milho e farinha de banana figo (E3) apresentou o valor mais alto. Para os extrudados, os valores de IAA variaram de 2,9212 a 5,3830 g de água. g<sup>-1</sup>, onde a farinha de banana terra (E7) apresentou o valor mais baixo e a farinha de arroz (E5) apresentou o valor mais alto. No caso da assadura, o ISA e IAA para extrudados durante o assado não apresentaram diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) nos diferentes tempos. As propriedades de hidratação (ISA e IAA) tem uma relação direta com a gelatinização do amido (RANI *et al.*, 2019).

### 3.7 Propriedades de pasta

A viscosidade de pasta é uma propriedade importante, porque permite medir o grau de conversão do amido durante o processamento (CHÁVEZ *et al.*, 2017). As curvas de viscosidade das matérias-primas cruas, extrudadas e assadas (a diferentes tempos) são apresentados na **Figura 2**. As matérias-primas cruas (**Figura 2A**) e extrudados (**Figura 2B**) apresentaram efeitos significativos ( $p < 0,05$ ) na viscosidade, onde ainda há presença de amido, isto é, pela curva de forma bimodal que apresentou os ensaios, assim, o processamento de extrusão não foi severa (configuração do parafuso e umidade alta), conseguindo conservar uma parte do amido presente no extrudado, enquanto que nos assados (**Figura 2C, 2D, 2E e 2F**) apresentaram efeitos significativo ( $p < 0,05$ ) leves. Onde alguns ensaios não mudaram muito sua viscosidade. O Pico de viscosidade (PV) para as amostras cruas (**Figura 2A**) variaram de 1278,5 a 3216 mPa.s, onde o arroz (E5) foi quem teve maior valor de viscosidade. Para extrudados, os valores variaram de 447,5 a 1085,5 mPa.s, no qual representa um 41,84 a 76,51% de conversão do amido durante o processamento de extrusão. E durante a assadura a conversão de amido foram parciais, onde alguns ensaios mudaram e outros mantiveram-se.



**Figura 2.** Viscosidade de pasta dos materiais crus (A), flocos extrudados (B), flocos assados a 3 (C), 4 (D), 5 (E) e 6 minutos (F).

#### 4 CONCLUSÃO

Em conclusão, este estudo forneceu informações sobre as propriedades físicas e tecnológicas dos flocos de diferentes fontes de amido a diferentes tempos de assadura. A assadura é um processo muito importante para as características finais dos cereais matinais. As respostas do sistema, como a taxa mássica, torque e energia mecânica específica, mostraram diferença significativa ( $p < 0,05$ ) nos materiais de diferentes fontes de amido. Flocos feitos da mistura de *grits* de milho e banana da terra apresentou baixos valores nas respostas do sistema em comparação com os outros ensaios. A umidade dos flocos em diferentes tempos de

cozimento por assadura mostrou efeito linear negativo entre cada ensaio, com coeficientes de regressão ( $R^2$ ) de 0,9524 a 0,9942. A umidade final dos flocos variou de 1,04 a 3,90%. As mudanças de cor foram significativas ( $p < 0,05$ ) durante a assadura, ou seja, reações químicas (Maillard) foram produzidas entre aminoácidos e açúcares presentes no alimento. Os valores dos parâmetros de cor mostraram equações polinomiais de segunda ordem e os valores dos coeficientes de regressão ( $R^2$ ) variaram de 0,7731 a 0,9994. A textura instrumental desempenha um papel importante na aceitação de cereais matinas, a baixa dureza e alta crocância dos flocos foram obtidas dentro de 5 minutos após do cozimento por assadura. Altos valores nas espessuras de soprado dos flocos foram obtidas em 5 minutos. Baixas densidades a granel foram obtidas a 5 minutos de assadura. Todos os ensaios mostraram diferença significativa ( $p < 0,05$ ) em diferentes tempos de assadura. O índice de solubilidade em água, índice de absorção de água e viscosidade de pasta durante o processo de extrusão apresentaram maiores efeitos significativos ( $p < 0,05$ ) comparado com o processo de assadura. Flocos a 5 minutos de assadura a uma temperatura de 175 °C, apresentaram melhores características de umidade, cor, dureza, crocância, espessura e densidade a granel.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMES, J. M. Applications of the Maillard reaction in the food industry. **Food Chemistry**, 62, n. 4, p. 431-439, 1998.
- ANDERSON, J. C.; CONWAY, H. F.; PFEIFER, V. F.; GRIFFIN, E. L. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. **Cereal Science Today**, 14(1), 4–12. 1969.
- ANDRADE, B. A.; PERIUS, D. B.; MATTOS, N. V. d.; LUVIELMO, M. d. M.; MELLADO, M. S. Produção de farinha de banana verde (*Musa spp.*) para aplicação em pão de trigo integral. **Brazilian Journal of Food Technology**, 21, 2018.
- AOAC. Official Methods of Analysis of the Association Analytical Chemists. **AOAC international**, Gaithersburg, Maryland. 2005.
- ASCHERI, J. L. R.; COLQUE, R. J. B.; DE SOUSA, L. B. T.; ASCHERI, D. P. R.; DA SILVA, E. M. M. How does Extrusion Technology Help the Development of Foods with Better Nutritional Values? **Global Journal of Nutrition & Food Science**. 1: 1-2 p. 2019.
- BATTERMAN-AZCONA, S. J.; HAMAKER, B. R. Changes Occurring in Protein Body Structure and  $\alpha$ -Zein During Cornflake Processing. **Cereal chemistry**. 75, n. 2, p. 217-221, 1998.

BERRIOS, J. D.; ASCHERI, J. L. R.; LOSSO, J. N. Extrusion Processing of Dry Beans and Pulses. In: *Dry Beans and Pulses Production, Processing and Nutrition*. 1 ed. ed. Arnes: Iowa State University Press: Processing and Nutrition (eds M. Siddiq and M. A. Uebersax), 2013. v. v.1, p. 191-203.

BHATTACHARYA, S. Roasting and Toasting Operations in Food: Process Engineering and Applications. In: **Conventional and Advanced Food Processing Technologies**, 2014. p. 221-248.

BHATTACHARYA, S.; CHOUDHURY, G. S. Twin-screw extrusion of rice flour: Effect of extruder length-to-diameter ratio and barrel temperature on extrusion parameters and product characteristics. **Journal of Food Processing and Preservation**, 18, n. 5, p. 389-406, 1994.

BISHARAT, G. I.; KATSAVOU, I. D.; PANAGIOTOU, N. M.; KROKIDA, M. K.; MAROULIS, Z. B. Investigation of functional properties and color changes of corn extrudates enriched with broccoli or olive paste. **Food Science and Technology International**, 21, n. 8, p. 613-630, 2014.

BOUVIER, J.-M.; CAMPANELLA, O. H. Extrusion processing technology: food and non-food biomaterials. John Wiley & Sons, 2014.

CALDWELL, E. F.; MCKEEHEN, J. D.; KADAN, R. S. Cereals: Breakfast Cereals. In: WRIGLEY, C.; CORKE, H., et al (Ed.). *Encyclopedia of Food Grains (Second Edition)*. Oxford: Academic Press, 2016. p. 262-267.

CHÁVEZ, D. W. H.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P.; GODOY, R. L. O.; PACHECO, S. Sorghum and roasted coffee blends as a novel extruded product: Bioactive compounds and antioxidant capacity. **Journal of Functional Foods**, 29, p. 93-103, 2017.

CHEN, F. L.; WEI, Y. M.; ZHANG, B.; OJOKOH, A. O. System parameters and product properties response of soybean protein extruded at wide moisture range. **Journal of Food Engineering**, 96, n. 2, p. 208-213, 2010.

DOGAN, H.; KARWE, M. V. Physicochemical properties of quinoa extrudates. **Food Science and Technology International**, 9(2), 101–114. 2003.

FANG, Y.; ZHANG, B.; WEI, Y.; LI, S. Effects of specific mechanical energy on soy protein aggregation during extrusion process studied by size exclusion chromatography coupled with multi-angle laser light scattering. **Journal of Food Engineering**, 115, n. 2, p. 220-225, 2013.

FAST, R. B. Manufacturing technology of ready-to-eat cereals. In: Fast, R.B., Caldwell, E.F. (Eds.), *Breakfast Cereals and How They Are Made*. **American Association of Cereal Chemists**, St. Paul, Minnesota, USA, pp. 15–42. 1990.

GUY, R. Extrusion Cooking: Technology and Applications. 1st, NW: Wood head Publishing Limited and CRC Press, Inc., Boca Raton, 2001.2022-2025, 2001.

JOGIHALLI, P.; SINGH, L.; SHARANAGAT, V. S. Effect of microwave roasting parameters on functional and antioxidant properties of chickpea (*Cicer arietinum*). **LWT - Food Science and Technology**, 79, p. 223-233, 2017.

JOHNSON, J.; SCHUETTE, J. 10 - Breakfast cereals. In: BEEREN, C.; GROVES, K., et al (Ed.). *Reducing Salt in Foods (Second Edition)*: Woodhead Publishing, 2019. p. 231-253.

KANG, L. N.; WEI, Y. M.; ZHANG, B. J. Effects of technological parameters on system pressure and torque in soy protein texturization by high moisture extrusion. **Journal of the Chinese Cereals Oils Association**, 22, n. 4, p. 43-49, 2007.

MARIOTTI, M.; ALAMPRESE, C.; PAGANI, M. A.; LUCISANO, M. Effect of puffing on ultrastructure and physical characteristics of cereal grains and flours. **Journal of Cereal Science**, 43, n. 1, p. 47-56, 2006.

OWUSU-ANSAH, J.; VAN DE VOORT, F. R.; STANLEY, D. W. Textural and microstructural changes in corn starch as a function of extrusion variables. **Canadian Institute of Food Science and Technology Journal**, 17, n. 2, p. 65-70, 1984.

RANI, P.; KUMAR, A.; PUROHIT, S. R.; RAO, P. S. Development of multigrain extruded flakes and their sensory analysis using fuzzy logic. **Journal of Food Measurement and Characterization**, 2019.

STOJCESKA, V.; AINSWORTH, P.; PLUNKETT, A.; İBANOĞLU, Ş. The effect of extrusion cooking using different water feed rates on the quality of ready-to-eat snacks made from food by-products. **Food Chemistry**, 114, n. 1, p. 226-232, 2009.

SUMITHRA, B.; BHATTACHARYA, S. Toasting of corn flakes: Product characteristics as a function of processing conditions. **Journal of Food Engineering**, 88, n. 3, p. 419-428, 2008.

TEBA, C. d. S.; SILVA, E. M. M. d.; CHÁVEZ, D. W. H.; CARVALHO, C. W. P.; ASCHERI, J. L. R. Effects of whey protein concentrate, feed moisture and temperature on the physicochemical characteristics of a rice-based extruded flour. **Food Chemistry**, 228, p. 287-296, 2017.

VARGAS-SOLÓRZANO, J. W.; CARVALHO, C. W. P.; TAKEITI, C. Y.; ASCHERI, J. L. R.; QUEIROZ, V. A. V. Physicochemical properties of expanded extrudates from colored sorghum genotypes. **Food Research International**, 55, p. 37-44, 2014.

ZHANG, W.; LI, S.; ZHANG, B.; DRAGO, S. R.; ZHANG, J. Relationships between the gelatinization of starches and the textural properties of extruded texturized soybean protein-starch systems. **Journal of Food Engineering**, 174, p. 29-36, 2016.

## **CAPÍTULO IV**

### **COMPOSIÇÃO DE MINERAIS, PERFIL SENSORIAL E VIDA DE TIGELA DE FLOCOS DE CEREAIS EXTRUDADOS A PARTIR DE MISTURAS DE BANANA VERDE E ARROZ**

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a composição mineral, o perfil sensorial e a vida na tigela de flocos extrudados de banana com e sem casca misturados com arroz branco. Anteriormente, este estudo, utilizou as melhores condições de processamento de extrusão e assadura de flocos nos capítulos anteriores para ser aplicados neste estudo. Os flocos foram moídos para o análise de minerais, esses componentes inúmeras funções no organismo humano e o componente que mais se destacou nos flocos foi o potássio, que variou de 702,59 a 1399,19 mg/ 100g, encontrando-se mais nos flocos de banana com casca e arroz (50 e 70%, em base seca). Foi avaliada a vida útil na tigela (ganho de peso e perda de dureza), onde a textura do cereal matinal está associada à qualidade do produto e é de suma importância entre suas características sensoriais quando imerso no leite. As amostras apresentaram pouco ganho de peso quando imersas no leite, devido à baixa porosidade da parede do produto que impede a transferência de massa. Os flocos de banana sem casca e arroz tiveram uma baixa velocidade de perda de textura, em comparação com os flocos de banana com casca e arroz. O levantamento de atributos sensoriais nos permite ajustar o método de processamento para obter um produto com perfil sensorial que proporciona melhor aceitação pelo consumidor.

Palavras-chaves: perda de textura, análise sensorial descritivo, flocos, banana.

## **ABSTRACT**

The objective of this work was to evaluate the mineral composition, sensory profile and life in the bowl of extruded flakes banana with and without peel with white rice blends. Previously, this study used the best processing conditions for extrusion and flake roasting in the previous chapters to be applied in this study. The flakes were ground for the analysis of minerals, these components have numerous functions in the human body and the component that stood out the most in the flakes was potassium which ranged from 702.59 to 1399.19 mg / 100g, being more in the flakes banana peel and rice (50 and 70%, on a dry basis). Bowl life (weight gain and hardness loss) was evaluated, where the texture of the breakfast cereal is associated with the quality of the product and is of paramount importance among its sensory characteristics when it is immersed in milk. The samples showed little weight gain when they were immersed in milk, this is due to the low porosity of the product wall that prevents mass transfer. Banana flakes without peel and rice had a low speed of texture loss, compared with banana flakes with peel and rice. The survey of sensory attributes allows us to adjust the processing method in order to obtain a product with a sensory profile that provides better acceptance by the consumer.

Keywords: loss of texture, descriptive sensory analysis, flakes, banana.

## 1 INTRODUCAO

Os flocos por extrusão estão sendo muito difundidos pela indústria de alimentos e cada dia o consumidor demanda produtos que apresentem benefícios a saúde, além das propriedades nutritivas (GODOY, 2013; OLIVEIRA *et al.*, 2018). O uso de frutas como bananas verdes demonstrou ser uma alternativa viável para a produção de flocos, isto com ajuda do arroz para uma melhor forma de extrusão, além das características do produto e serem uma alternativa isento de glúten. Os capítulos anteriores deste trabalho de dissertação permitiram conhecer alguns parâmetros para a obtenção dos flocos, no caso do segundo capítulo permitiu determinar as melhores condições de extrusão como proporção de farinha de banana verde inteira na mistura binária de arroz e banana, a umidade de processo e a temperatura do barril do extrusor. No terceiro capítulo permitiu determinar o tempo de assadura dos flocos, sendo o ótimo a 5 min a uma temperatura de 175 °C. Os flocos obtidos dos estudos anteriores deste trabalho apresentaram teores de minerais totais de 1,89 a 2,69%, em base seca, mesmo assim, não é conhecido a composição destes minerais.

Os cereais matinais prontos para o consumo são consumidos comumente com leite na primeira refeição do dia, fornecendo os nutrientes necessários para o consumidor, como micronutrientes (vitaminas e minerais) e fibras alimentares (OLIVEIRA *et al.*, 2015). O aumento deste último componente permite obter produtos com texturas variáveis. A indústria de alimentos enfrenta grandes desafios para ajustar processos que resultem em produtos de maior aceitação. Como os cereais matinais são consumidos por imersão no leite (SACCHETTI *et al.*, 2005), logrando absorver umidade e paralelamente mudando as características de textura como a perda da dureza por efeito da água. As características de hidratação dos flocos representam um importante atributo de qualidade e poucos estudos informaram as alterações nas propriedades físicas dos cereais matinais após a reidratação no leite (OLIVEIRA *et al.*, 2017) como a perda da dureza e ganho de peso (TAKEUCHI *et al.*, 2005).

A indústria alimentícia vem cada vez mais utilizando a análise sensorial como ferramenta de avaliação das características sensoriais dos produtos (SHINAGAWA *et al.*, 2013). A análise sensorial descritiva é uma técnica desenvolvida baseado no princípio de que as pessoas percebam as mesmas características sensoriais em cada produto, mesmo que as expressem de forma diferenciada com vocabulário próprio em função da experiência e familiaridade com o produto (SCHOLZ *et al.*, 2013; WILLIAMS *et al.*, 1984). Conhecendo as propriedades sensoriais é possível trabalhar o método de processamento, a proporção dos

ingredientes e os ingredientes utilizados na fabricação do produto a fim de se obter um alimento com perfil sensorial que proporcione melhor aceitação pelo mercado consumidor (LOURES *et al.*, 2010).

Desta forma o presente trabalho teve como objetivo de avaliar a composição dos minerais, perfil sensorial e vida de tigela de flocos extrudados de banana e arroz.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Matérias-primas

As matérias primas foram as farinhas de banana verde (com e sem casca) da variedade Terra (Genótipo AAB) e farinha de arroz. As farinhas utilizadas tiveram tamanho de partículas menores a 0,425 mm. Depois, as farinhas foram misturadas em proporções de dois níveis (50 e 70 %, em base seca) como mostra-se na **Tabela 1**.

**Tabela 1.** Proporção das misturas utilizadas para a produção dos flocos.

Ensaio	Código	Proporção de farinhas em base seca (%)		
		Banana verde (com casca)	Banana verde (sem casca)	Arroz
1	M1	50	-	50
2	M2	70	-	30
3	M3	-	50	50
4	M4	-	70	30

### 2.2 Processamento dos flocos

Foi utilizado um extrusor de laboratório de parafuso único (Brabender 20 DN, Duisburg, Germany) acoplada a um reômetro de torque Plasti-Corder Lab. Station (Brabender, Duisburg, Germany), parafuso com taxa de compressão 3:1, uma matriz circular de 3 mm de único furo, um sistema de esfriamento do barril com ar comprimido e um alimentador volumétrico. As condições fixas foram: velocidade de rotação do parafuso 120 rpm, taxa de alimentação de 4 kg.h<sup>-1</sup>, umidade de processo foi de 33%, em base úmida e as temperaturas de aquecimento na zona 1, 2 e 3 foram de 50, 70 e 90 °C, respectivamente. A quantidade de água adicionada as amostras foram calculadas de acordo com a Equação (1) e as misturas umidificadas permaneceram 24h sob refrigeração para uniformização da umidade.

$$Y = \frac{P \times (U_f - U_0)}{(100 - U_f)} \quad (1)$$

Onde  $Y$  é a quantidade de água a ser adicionada (mL),  $U_f$  é a umidade final ou desejada da amostra,  $U_0$  é a umidade inicial ou real da amostra e  $P$  é a massa da amostra ou mistura. Os extrudados foram laminados depois da saída do extrusor utilizando um cilindro laminador de massas (GPaniz, CL300, Rio Grande do Sul, Brasil), as fitas foram cortadas manualmente com cerca de 10 mm de largura e depois secas parcialmente até 15% de umidade.

Para o assado, foi utilizado um forno elétrico a uma temperatura de  $175 \pm 5$  °C durante 5 minutos. A seguir o material foi resfriado durante 5 minutos a temperatura ambiente (24 °C) e empacotado em sacola de polietileno a temperatura ambiente para as seguintes análises.

### **2.3 Composição de minerais**

A composição de minerais foi determinada em duplicata pelo método de digestão em micro-ondas Milestone (EUA) pelo método 999.10 da AOAC (2005) e quantificada seguindo os procedimentos do método, ICP-OES - AOAC 2005, rev.2010 - Método 990.08, item 9.2.39 em espectrofotômetro de emissão de plasma ICP Spectroflama Flame, sendo a determinação feita por espectrometria de emissão atômica, após digestão completa da amostra com ácido nítrico e ácido perclórico.

### **2.4 Vida na tigela**

Para determinar a vida de tigela foram consideradas duas análises, a primeira foi o ganho de peso depois de imerso no leite e a segunda foi a perda da dureza. Os flocos extrudados foram completamente imersos em leite na proporção de 1:20 (m/v %), com  $1 \pm 0,05$  g de amostra para 20 g de leite integral, durante os tempos de estudo (30, 60, 180, 300, 600, 900, 1200, 1800 e 2400 s) a uma temperatura de  $10 \pm 0,5$  °C em um cilindro adaptador de 41,6 mm de diâmetro e 76 mm de altura, este cilindro tinha 8 furos de 3 mm de diâmetro (distribuídos simetricamente na base da parede para drenar o leite depois da imersão).

#### **2.4.1 Ganho de peso**

As amostras foram retiradas em diferentes tempos de imersão no leite integral (item 2.4), escorregadas durante 15 s e pesadas numa balança analítica. A diferença entre o peso inicial e o peso no tempo retirado demonstrou o ganho de peso.

#### **2.4.2 Perda da dureza**

As amostras retiradas nos diferentes tempos de imersão, foram escorridas durante 15 s para a medição da perda de a textura, que foi medida ( $n = 5$ ) em um analisador de textura TA-XT Plus (Stable Micro Systems, Surrey, Inglaterra) executando o software Exponent 6.1.11.0 (Stable Micro Systems, Surrey, Inglaterra). O equipamento possuía uma célula de carga de 30 kg, com um cilindro adaptador de 41,6 mm de diâmetro e 76 mm de altura, este cilindro tinha 8 furos de 3 mm de diâmetro (distribuídos simetricamente na base da parede para drenar o leite). Cerca de  $1 \pm 0,05$  g foram colocados dentro do cilindro, para formar uma camada. O teste foi configurado no modo “força de medição” com distância da sonda de 70 mm, velocidade de pré-teste de 2 mm/ s, velocidade de teste de 2 mm/ s velocidade de pós-teste de 10 mm. s<sup>-1</sup>. A dureza do lanche foi considerada como a força de pico (N).

#### **2.5. Risco microbiológico e perfil sensorial**

A análise microbiológica dos flocos de banana verde e arroz foram analisados quanto o número de coliformes a 45 °C, de acordo a (APHA, 2002). E os resultados foram comparados de acordo com os parâmetros estabelecidos pela legislação brasileira (ANVISA, 2001).

Para o perfil sensorial, os flocos foram servidos em 20 mL de leite integral (10 °C) em copos plásticos descartáveis (100 mL) codificados com números de 3 dígitos. Onze provadores foram selecionados com base na disponibilidade, interesse, facilidade de expressão, trabalhar em grupo e habilidade para identificar atributos sensoriais. O levantamento de atributos foi realizado por meio de preenchimento de uma ficha descritiva. Os provadores discutiram os atributos de aparência, aroma, sabor, textura e residual dos flocos de banana (com e sem casca) e arroz branco.

#### **2.6. Análise estatístico**

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software Statistic v.12 (Statsoft Inc., Tulsa, EUA). As diferenças entre os resultados foram determinadas através da análise de variância (ANOVA) e o teste Tukey com um nível de confiança de 95% na comparação de médias dos resultados.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Composição de minerais

Os minerais são os responsáveis pela formação dos tecidos e vários processos metabólicos, e devem estar presentes em quantidades suficientes para a formação do sistema ósseo. Na **Tabela 2** são apresentados os resultados de composição mineral dos flocos assados. No caso do sódio (Na), as amostras apresentaram valores muito baixos deste componente, estudos relatam que os cereais matinais são amplamente consumidos ao longo do dia devido a expansão para outros alimentos e que não são a maior fonte de sódio (JOHNSON; SCHUETTE, 2019), estes valores obtidos são muito baixos aos reportados (LOUIE *et al.*, 2012). Pode-se observar que o conteúdo de Potássio (K) foi que se destacou quanto aos demais componentes. Os valores variaram de 702,59 a 1399,19 mg. 100 g<sup>-1</sup> e a mistura M2 foi a que maior conteúdo de K apresentou. De acordo com a Ingestão Diária Recomendada a quantidade de minerais necessárias a ser consumida ao dia para adultos seria 14 mg para ferro, 7 mg para zinco, 900 µg para cobre, 2,3 mg para manganês, 260 mg para magnésio, 1000 mg para cálcio e 34 µg para selênio (ANVISA, 2005). No caso da disponibilidade, as matérias primas apresentam fitoquímicos que não disponibilizam minerais, por tanto o processamento como a extrusão reduz este tipo de componentes para melhorar a disponibilidade dos minerais, tal como é o caso do sorgo (WU *et al.*, 2018).

**Tabela 2.** Composição de minerais presentes nos flocos extrudados e assados.

Componente	Flocos assados (mg. 100 g <sup>-1</sup> )			
	M1	M2	M3	M4
Sódio (Na)	2,77 <sup>a</sup> ± 0,03	1,61 <sup>b</sup> ± 0,01	1,67 <sup>b</sup> ± 0,05	1,97 <sup>b</sup> ± 0,18
Potássio (K)	997,87 <sup>b</sup> ± 10,51	1399,19 <sup>a</sup> ± 22,58	702,59 <sup>d</sup> ± 6,33	938,63 <sup>c</sup> ± 3,24
Magnésio (Mg)	82,82 <sup>bc</sup> ± 1,00	101,31 <sup>a</sup> ± 4,09	74,84 <sup>c</sup> ± 1,72	90,01 <sup>b</sup> ± 1,21
Cálcio (Ca)	46,17 <sup>b</sup> ± 0,83	65,66 <sup>a</sup> ± 1,31	12,08 <sup>d</sup> ± 0,01	17,41 <sup>c</sup> ± 0,54
Manganês (Mn)	3,65 <sup>b</sup> ± 0,03	4,61 <sup>a</sup> ± 0,09	2,23 <sup>d</sup> ± 0,04	2,61 <sup>c</sup> ± 0,01
Ferro (Fe)	1,69 <sup>c</sup> ± 0,03	4,25 <sup>a</sup> ± 0,03	1,45 <sup>d</sup> ± 0,01	2,35 <sup>b</sup> ± 0,01
Zinco (Zn)	1,48 <sup>a</sup> ± 0,02	1,48 <sup>a</sup> ± 0,03	1,19 <sup>b</sup> ± 0,01	1,08 <sup>c</sup> ± 0,01
Cobre (Cu)	0,46 <sup>a</sup> ± 0,01	0,46 <sup>a</sup> ± 0,01	0,44 <sup>a</sup> ± 0,01	0,44 <sup>a</sup> ± 0,01
Fósforo (P)	105,81 <sup>a</sup> ± 1,65	95,64 <sup>b</sup> ± 0,68	102,85 <sup>a</sup> ± 1,44	91,47 <sup>b</sup> ± 1,89

Letras diferentes na mesma fila representam diferença significativa pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Os dados são expressos como a média ± desvio padrão de  $n = 2$  repetições.

### 3.2. Vida na tigela

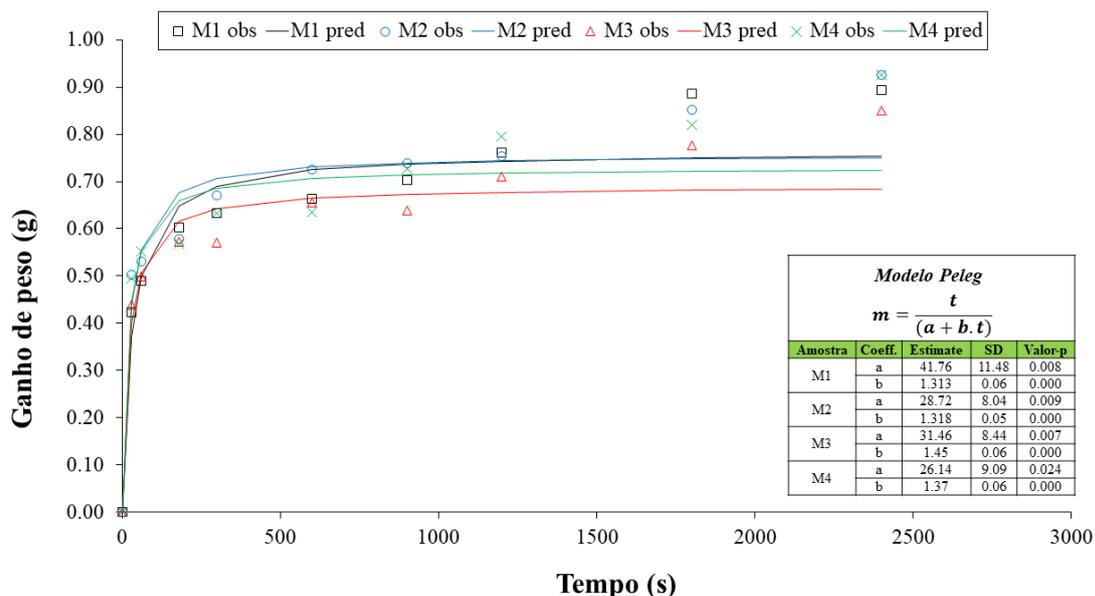
Para o ganho de peso, a **Tabela 3** apresenta os resultados de ganho de peso durante os tempos de imersão dos flocos no leite. Dos dados apresentados os flocos da proporção de 50:50% (p:p%, em base seca) tiveram respostas parecidas ou iguais aos flocos da proporção 70:30 (p:p%, em base seca). A ganho de peso das amostras foram baixo comparados com o estudo de TAKEITI (2009), isto deve-se ao tipo de material, a porosidade dos flocos e ao índice de absorção que foi muito baixo neste caso, geometria como o tamanho, forma e área (OCHOA-MARTÍNEZ; AYALA-APONTE, 2005).

**Tabela 3.** Ganho de peso dos flocos de banana e arroz a diferentes tempos de imersão no leite.

Tempo (s)	Ganho de peso (g)			
	M1	M2	M3	M4
30	0,4231 ± 0,0311	0,5034 ± 0,0501	0,4376 ± 0,0282	0,4953 ± 0,0166
60	0,4894 ± 0,0304	0,5312 ± 0,0223	0,4989 ± 0,0234	0,5521 ± 0,0438
180	0,6028 ± 0,0188	0,5787 ± 0,0159	0,5727 ± 0,0238	0,5689 ± 0,0053
300	0,6340 ± 0,0684	0,6712 ± 0,0763	0,5709 ± 0,0073	0,6336 ± 0,0790
600	0,6641 ± 0,0504	0,7258 ± 0,0811	0,6551 ± 0,0577	0,6352 ± 0,0196
900	0,7021 ± 0,0028	0,7389 ± 0,0441	0,6387 ± 0,0908	0,7280 ± 0,0273
1200	0,7619 ± 0,0100	0,7546 ± 0,0423	0,7111 ± 0,0047	0,7947 ± 0,0146
1800	0,8862 ± 0,1148	0,8526 ± 0,0964	0,7760 ± 0,0197	0,8208 ± 0,0909
2400	0,8939 ± 0,0578	0,9267 ± 0,0356	0,8504 ± 0,0417	0,9256 ± 0,0122

Os dados são expressos da média ± desvio padrão de n = 5 repetições.

A partir destes dados foi modelado matematicamente com o método Peleg para a predição dos dados, onde  $m$  é a ganho de peso e  $t$  é o tempo que o produto está imerso no liquido (leite). Na **Figura 1** apresenta os dados experimentais e preditivos do modelo utilizado, onde os coeficientes de regressão ( $R^2$ ) variaram de 0,9633 a 0,9757, sendo os modelos preditivos para este experimento, mesmo assim alguns estudos recomendam utilizar outros modelos matemáticos para a predição da ganho de peso, tais como exponencial, Weibull, Ezbieta (COX *et al.*, 2012). O modelo de Peleg é muito utilizada para determinar a velocidade da perda e o ganho de umidade em produtos alimentares (OCHOA-MARTÍNEZ; AYALA-APONTE, 2005).



**Figura 1.** Curva de ganho de peso dos flocos extrudados com a aplicação do método de Peleg.

A **Tabela 4** apresenta os valores obtidos por observação enquanto a perda de dureza dos flocos durante os tempos de imersão no leite. Os valores foram calculados mediante cinco leituras por cada tempo de imersão. A perda de textura foi mínima, isto indica que os flocos possuem baixa capacidade de absorção de líquido, isto deve-se as características de porosidade do alimento ou que o amido presente esteja retrogradado fazendo que o produto fique duro e a textura seja estável durante a imersão.

**Tabela 4.** Perda de dureza a diferentes tempos de imersão no leite.

Tempo (s)	Dureza (N)			
	M1	M2	M3	M4
0	115,46 ± 17,76	108,54 ± 10,36	181,21 ± 23,32	247,29 ± 17,35
30	102,71 ± 14,89	94,19 ± 10,94	153,73 ± 8,31	222,41 ± 14,76
60	83,46 ± 5,33	92,21 ± 14,46	151,22 ± 25,33	208,22 ± 27,80
180	80,50 ± 10,86	86,16 ± 8,80	146,33 ± 5,51	203,00 ± 3,87
300	76,69 ± 5,84	88,64 ± 13,20	136,79 ± 0,83	210,31 ± 7,72
600	68,88 ± 4,66	81,64 ± 7,12	129,89 ± 2,63	199,84 ± 24,05
900	70,23 ± 4,93	84,41 ± 14,52	125,39 ± 4,22	183,00 ± 7,94
1200	66,82 ± 2,19	83,67 ± 5,20	128,52 ± 2,67	196,32 ± 12,15
1800	65,04 ± 5,14	76,05 ± 3,54	120,27 ± 15,65	198,08 ± 17,60
2400	65,76 ± 8,34	77,15 ± 7,35	108,30 ± 12,48	190,54 ± 15,43

Os dados são expressos da média ± desvio padrão de n = 5 repetições.

**Tabela 5.** Características descritivas do levantamento de atributos dos flocos.

Amostras	Aparência	Aroma	Sabor	Textura	Residual
M1	Flocos escuras Grafite Áspero Cubinhos Corte diferente de cereal Uniforme Cor de chocolate	Nada Leite (quando puro não se identifica) Cereal	Ligeiro amargo Nada doce Vegetal Salgado Cereal Milho Sem sabor algum	Dura Crocante Seco (palha) Arenoso	Cereal de milho Salgado Adstringente Nada Arenoso
M2	Retângulos escuras Cinza Grafite Cubinhos Áspero Uniforme Cor de chocolate	Nada Biscoito salgado Suave	Falta doçura Amargo Cereal Mato Salgado Trigo, Milho	Dura demais que M1 Crocante Arenoso	Adstringente Cereal Salgado Trigo Arenoso
M3	Retângulos claros e pouco amarelados Marrom claro Áspero Pontinhos pretos Cor de ração	Nada Salgado Característica de biscoito Aveia	Cereal Nada doce Sabor do leite ficou mais forte Nem salgado Arroz, Farinha	Pouco crocante e menos dura Seco (palha) Partículas Arenoso	Limpo Arenoso
M4	Cor intermédio entre M3 e M1 Marrom claro Corte esbranquiçado Pontinhos pretos Ásperos Cor de ração	Nada Suave	Ligeiro amargo Mato Sabor do leite ficou mais forte Nem salgado Amargo	Dura demais que M3 Crocante Seco Partículas Arenoso Quebradiço	Empacota Um pouco adstringente Nada Amargo leve Arenoso

### 3.3. Risco microbiológico e perfil sensorial

O resultado da análise de coliformes termotolerantes a 45 °C nos flocos matinais foram inferiores (ausência) aos estabelecidos pela legislação brasileira por meio de sua Resolução nº 12 de 2 de janeiro de 2001 (ANVISA, 2001), que regulamenta os parâmetros microbiológicos para alimentos e estabelece que cereais matinais e produtos extrudados devem apresentar menos de 1 ufc/ g. Deste modo os flocos foram aptos e seguros para ser consumidos, isto indica as boas condições higiênicas foram adotados durante o processamento dos flocos de banana verde e arroz. Para a análise sensorial descritiva, os consumidores avaliaram as amostras (flocos) imersos no leite, onde o produto manteve sua dureza, após o tempo de imersão considerando razoável (10 min), descreveram as suas características como se detalha na **Tabela 5**. Os provadores recomendaram que o produto seja adicionado de sabor doce, já que as características dos cereais matinais, possuem sabor doce para melhor aceitação por parte dos consumidores. Por outro lado, a textura ficou muito dura recomendando-se melhorar essa característica física, aumentando-se as condições de cozimento ou também diminuindo-se a espessura dos flocos seja mais fina (menor a 1 mm de espessura), já que os flocos tiveram espessuras maiores a 1 mm. Quanto a porosidade, deve ser melhorado porque os consumidores acharam que os flocos absorvem pouco o líquido quando se encontra imerso no leite.

## 4 CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que houve uma alta quantidade de minerais em flocos de misturas de farinha de banana verde com casca e farinha de arroz, comparados com flocos de misturas de banana verde sem casca e arroz. O potássio foi o mineral que mais destacou na análise de minerais, variando de 997,87 a 1399,19 mg. 100 g<sup>-1</sup> em flocos de farinha de banana verde com casca misturada com farinha de arroz. Os resultados de vida útil na tigela mostraram que as amostras foram parecidas enquanto ganho de peso, os valores obtidos foram mínimos, isto é, a pouca porosidade dos flocos que dificulta a transferência de massa ou absorção do leite. Os valores observados foram gerados equações matemáticas com o método de Peleg, obtendo coeficientes de regressão (R<sup>2</sup>) preditivos de 0,9633 a 0,9757. Para perda de dureza, os resultados obtidos apresentam uma maior retenção da dureza nos flocos de farinha de banana verde sem casca misturada com farinha de arroz (59,77 e 77,05%), isso ocorre porque a baixa absorção de líquido, baixa porosidade ou porque o amido provavelmente foi retrogradado. A análise de

coliformes termotolerantes a 45 °C foram menores aos estabelecidos pelo ANVISA, sendo alimentos seguros para o consumo. O levantamento de atributos apresentou características próprias de cada produto, os provadores recomendaram que o produto deve apresentar um sabor doce por serem um tipo de alimento matinal e uma textura pouca dura comparado com os flocos analisados. Esta análise descritiva permitiu conhecer as características críticas que se deve melhorar para obter um produto final aceitável pelos consumidores, além de ser um método útil para a caracterização de produtos em desenvolvimento.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANVISA, A. N. d. V. S. Resolução RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001. Aprova o Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. Brasil: Diário Oficial da União. 2001.

ANVISA, A. N. d. V. S. Resolução RDC nº 269, de 23 de dezembro de 2005. Regulamento técnico sobre IDR de proteínas, vitaminas e minerais. 2005.

AOAC. Official Methods of Analysis of the Association Analytical Chemists (18th edition). Gaithersburg: **AOAC International**. 2005.

APHA, A. P. H. A. Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods (4th. ed.). Washington: American Public Health Association. 2002.

COX, S.; GUPTA, S.; ABU-GHANNAM, N. Effect of different rehydration temperatures on the moisture, content of phenolic compounds, antioxidant capacity and textural properties of edible Irish brown seaweed. **LWT**, 47, n. 2, p. 300-307, 2012.

GODOY, R. C. Cereal extrusado, free glúten, formulado com subprodutos de arroz e quinoa. 2013. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2013.

JOHNSON, J.; SCHUETTE, J. 10 - Breakfast cereals. In: BEEREN, C.; GROVES, K., et al (Ed.). Reducing Salt in Foods (Second Edition): Woodhead Publishing, 2019. p. 231-253.

LOUIE, J. C. Y.; DUNFORD, E. K.; WALKER, K. Z.; GILL, T. P. Nutritional quality of Australian breakfast cereals. Are they improving?. **Appetite**, 59, n. 2, p. 464-470, 2012.

LOURES, M. M. R.; MINIM, V. P. R.; CERESINO, E. B.; CARNEIRO, R. C.; MINIM, L. A. J. S. C. A. Análise descritiva por ordenação na caracterização sensorial de iogurte diet sabor morango enriquecido com concentrado protéico do soro. **Semina: Ciências Agrárias**, 31, n. 3, p. 661-667, 2010.

OCHOA-MARTÍNEZ, C. I.; AYALA-APONTE, A. Mathematical models of mass transfer in osmotic dehydration. **Ciencia y Tecnología Alimentaria**, 4, n. 5, p. 330-342, 2005.

OLIVEIRA, L. C.; ALENCAR, N. M. M.; STEEL, C. J. Improvement of sensorial and technological characteristics of extruded breakfast cereals enriched with whole grain wheat flour and jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) peel. **LWT**, 90, p. 207-214, 2018.

OLIVEIRA, L. C.; ROSELL, C. M.; STEEL, C. J. J. I. Effect of the addition of whole-grain wheat flour and of extrusion process parameters on dietary fibre content, starch transformation and mechanical properties of a ready-to-eat breakfast cereal. **International journal of food science & technology**, 50, n. 6, p. 1504-1514, 2015.

OLIVEIRA, L. C.; SCHMIELE, M.; STEEL, C. J. Development of whole grain wheat flour extruded cereal and process impacts on color, expansion, and dry and bowl-life texture. **LWT**, 75, p. 261-270, 2017.

SACCHETTI, G.; PITTIA, P.; PINNAVAIA, G. G. J. I. The effect of extrusion temperature and drying-tempering on both the kinetics of hydration and the textural changes in extruded ready-to-eat breakfast cereals during soaking in semi-skimmed milk. **International journal of food science & technology**, 40, n. 6, p. 655-663, 2005.

SCHOLZ, M. B. d. S.; SILVA, J. V. N. d.; FIGUEIREDO, V. R. G. d.; KITZBERGER, C. S. G. Atributos sensoriais e características físico-químicas de bebida de cultivares de café do IAPAR. **Coffe Science**, 8, n. 1, p. 6-16, 2013.

SHINAGAWA, F. B.; DELIZA, R.; ROSENTHAL, A.; ZARUR, M. A. J. C. R. Pressão hidrostática nos atributos sensoriais do néctar de mamão. **Ciência Rural**, 43, p. 1898-1904, 2013.

TAKEUCHI, K. P.; SABADINI, E.; CUNHA, R. L. d. Análise das propriedades mecânicas de cereais matinais com diferentes fontes de amido durante o processo de absorção de leite. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 25, p. 78-85, 2005.

WILLIAMS, A. A.; LANGRON, S. P. J. J. The use of free-choice profiling for the evaluation of commercial ports. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 35, n. 5, p. 558-568, 1984.

WU, G.; ASHTON, J.; SIMIC, A.; FANG, Z.; JOHNSON, S. K. Mineral availability is modified by tannin and phytate content in sorghum flaked breakfast cereals. **Food Research International**, 103, p. 509-514, 2018.

## CONCLUSÃO GERAL

Flocos extrudados à base de farinha de banana verde inteira (com casca) e farinha de arroz representam novas alternativas alimentares como um tipo de cereal matinal com nutrientes funcionais. As condições de: proporção de farinha de banana verde inteira na mistura binária banana-arroz, umidade do processo e a temperatura do barril são condições que produzem efeitos nas propriedades físico-químicas dos flocos. A energia mecânica específica variou de 171,60 a 344,98 kJ/kg, a umidade de processo e a proporção de farinha de banana verde inteira foram as mais significativas ( $p < 0,05$ ). A dureza variou de 97,02 a 292,21 N, a temperatura do barril e a proporção de farinha de banana verde inteira foram as mais significativas ( $p < 0,05$ ); os valores baixos são ótimos para cereais matinais. Os flocos extrudados apresentaram fibras alimentares de 6,25 a 7,51% e minerais de 1,89 a 2,69%, com a temperatura de barril e a proporção de farinha de banana verde inteira sendo as condições de extrusão mais significativas ( $p < 0,05$ ). O índice de solubilidade em água foi menor quando foram utilizados 50% da proporção de farinha de banana verde inteira, 33% de umidade de processo e 80 °C de temperatura do barril. O índice de absorção de água foi menor quando 70% de conteúdo de farinha de banana verde inteira, 33% de umidade de processo e 80 °C de temperatura do barril foram utilizados. O processo de extrusão mostrou uma conversão parcial do amido através da viscosidade de pasta, sendo a umidade do processo e a proporção de farinha de banana verde inteira as mais significativas ( $p < 0,05$ ) nessas análises. Misturas de farinha de banana verde inteira e farinha de arroz branco podem ser extrudadas para produzir um cereal matinal, com bons níveis de fibra alimentar, micronutrientes e também são uma excelente alternativa para pessoas com alergias ao glúten.

Os flocos da mistura de *grits* de milho e banana da terra apresentaram baixos valores de taxa mássica, torque e energia mecânica específica obtida na extrusão. A umidade dos flocos em diferentes tempos de assadura mostrou efeitos lineares com direção negativa em cada ensaio, mostrando coeficientes de regressão ( $R^2$ ) de 0,9524 a 0,9942, isto indica que as equações são preditivas. Os flocos aos 5 minutos de assadura, a uma temperatura de 175 °C, apresentaram melhores características de umidade, cor, dureza, crocância, espessura de soprado e densidade a granel nos flocos obtidos de diferentes fontes de amido. O índice de solubilidade em água, índice de absorção de água e viscosidade de pasta durante o processo de extrusão mostraram maiores efeitos significativos ( $p < 0,05$ ) em relação ao processo de assadura.

O potássio foi o mineral que mais destacou na análise de minerais, variando de 997,87 a 1399,19 mg. 100 g<sup>-1</sup>, em flocos de farinha de banana verde com casca misturada com farinha de arroz. Os valores de ganho de peso permitiram gerar equações matemáticas pelo método de Peleg, sendo os coeficientes de regressão (R<sup>2</sup>) de 0,9633 a 0,9757, sendo estes preditivos. A maior retenção da dureza foi para os flocos de farinha de banana verde sem casca misturados com farinha de arroz (59,77 e 77,05%), devido à baixa absorção de líquido do leite ou porque o amido provavelmente foi retrogradado. A análise de coliformes termotolerantes a 45 °C foi menor do que a estabelecida pelo ANVISA, sendo seguro para consumo alimentar. O levantamento de atributos apresentou características específicas para cada flocos. Os provadores recomendaram que os produtos fossem adoçados, ou seja, por que é um tipo de cereal matinal. Eles também recomendaram que os flocos tivessem menos texturas duras do que os flocos obtidos. O levantamento de atributos é uma análise descritiva que permite conhecer as características críticas que devem ser aprimoradas em um produto para a aceitabilidade dos consumidores, além de ser um método útil para caracterização de produtos em desenvolvimento.