

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

MONICA APARECIDA MARTINS

**QUALIDADE TECNOLÓGICA E POTENCIAL FUNCIONAL DE PÃES
ENRIQUECIDOS COM FARINHA DO RESÍDUO DE SUCO DE JABUTICABA
(*MYRCIARIA CAULIFLORA*) E SUA RELAÇÃO COM A LONGEVIDADE**

ALFENAS/MG

2023

MONICA APARECIDA MARTINS

**QUALIDADE TECNOLÓGICA E POTENCIAL FUNCIONAL DE PÃES
ENRIQUECIDOS COM FARINHA DO RESÍDUO DE SUCO DE JABUTICABA
(*MYRCIARIA CAULIFLORA*) E SUA RELAÇÃO COM A LONGEVIDADE**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Nutrição e Longevidade pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Nutrição.

Orientador (a): Profa. Dra. Flávia Della Lucia
Coorientador (a): Prof. Dr. Eric Batista Ferreira

ALFENAS/MG

2023

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Central

Martins, Monica Aparecida.

Qualidade tecnológica e potencial funcional de pães enriquecidos com farinha do resíduo de suco de jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) e sua relação com a longevidade / Monica Aparecida Martins. - Alfenas, MG, 2023.

85 f. : il. -

Orientador(a): Flávia Della Lucia.

Dissertação (Mestrado em Nutrição e Longevidade) - Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2023.

Bibliografia.

1. Jabuticaba. 2. Panificação. 3. Compostos fitoquímicos. 4. Otimização de processos. I. Della Lucia, Flávia, orient. II. Título.

Ficha gerada automaticamente com dados fornecidos pelo autor.

MONICA APARECIDA MARTINS

QUALIDADE TECNOLÓGICA E POTENCIAL FUNCIONAL DE PÃES ENRIQUECIDOS COM FARINHA DO RESÍDUO DE SUCO DE JABUTICABA (*MYRCIARIA CAULIFLORA*) E SUA RELAÇÃO COM A LONGEVIDADE

A Presidente da banca examinadora abaixo assina a aprovação da Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Nutrição e Longevidade pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Nutrição e Longevidade.

Aprovada em: 21 de setembro de 2023.

Profa. Dra. Flávia Della Lucia
Presidente da Banca Examinadora
Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Profa. Dra. Kamilla Soares de Mendonça
Instituição: Instituto Federal de Minas Gerais

Dra. Alice Helena de Souza Paulino



Documento assinado eletronicamente por **Flávia Della Lucia, Presidente**, em 21/09/2023, às 16:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1082192** e o código CRC **7B7D10A4**.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, obrigada Deus! “Se Deus disse que eu posso, então eu posso. Irei e não temerei mal algum” (Joyce Meyer).

Expresso minha profunda gratidão a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram na conquista deste título. Este é um momento emocionante e gratificante, que não teria sido possível sem o apoio de todos e o incentivo principal da minha família.

À minha orientadora, Doutora Flávia, agradeço por sua orientação experiente, paciência e dedicação ao longo deste percurso. Ao meu coorientador, Doutor Eric, meu agradecimento pelo compartilhamento de valiosos conhecimentos que ampliaram minha visão na área.

À Doutora Olga, coordenadora do programa de pós-graduação, agradeço pelo esforço contínuo em não me deixar desistir e pela administração eficiente do programa. Sua dedicação à qualidade da educação e pesquisa é admirável. Agradeço também, a Doutora Rosângela que foi a primeira a me impulsionar nesta jornada.

À pós-doutoranda Patrícia expresso minha gratidão, cujas contribuições, dedicação e *insights* foram essenciais para minha formação acadêmica e compreensão aprofundada dos legados de pesquisa, a parceria foi memorável.

Um agradecimento à parte a aluna de iniciação científica Karla, cujo entusiasmo e trabalho incrementou o ambiente de pesquisa. E às técnicas de laboratório Marisa, Sueli e Adriana pela ajuda e suporte nas atividades práticas e experimentais, o profissionalismo e dedicação de vocês foram inestimáveis. Aos demais colegas do programa, obrigada por me fortalecerem com palavras nos momentos desafiadores.

À minha *best friend* Mayra que nunca soltou minha mão desde a graduação, meu sincero sentimento de carinho e gratidão! Ao meu amigo Carlos Formighieri que sempre acreditou que eu seria capaz, mesmo diante de tantas dificuldades, obrigada.

Agradeço aos membros da banca examinadora por aceitarem o convite, tenho certeza de que suas contribuições enriquecerão com excelência este trabalho.

A todos os professores e à Universidade Federal de Alfenas pela oportunidade e por me permitirem crescer um pouco mais em conhecimento.

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

Enfim, imensa gratidão a tudo e a todos!

RESUMO

A jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) é uma fruta brasileira rica em compostos bioativos benéficos para a saúde e longevidade, que muitas vezes estão nas partes descartadas. Métodos de secagem para obtenção de farinha podem enriquecer nutricionalmente produtos de panificação e reduzir os resíduos agroindustriais. Objetivou-se elaborar e otimizar formulações de pães do tipo forma, enriquecidos com farinha do resíduo de suco de jabuticaba (FRSJ), avaliando sua qualidade tecnológica e potencial funcional. As frutas foram trituradas, coadas e o resíduo seco em estufa ($55^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}/16\text{ h}$). A farinha foi utilizada em formulações de pães o que possibilitou realizar um planejamento experimental utilizando um delineamento composto central rotacional (DCCR) com duas variáveis independentes: grau de substituição da farinha de trigo branca por FRSJ (%) e temperatura de assamento ($^{\circ}\text{C}$). Determinou-se fenólicos totais, flavonoides totais, antocianinas e potencial antioxidante, além de colorimetria, volume e densidade, sendo os dados analisados no software Protimiza Experimental Design. Observou-se diminuição da luminosidade, tonalidade, intensidade da cor e volume específico nas formulações com crescentes % FRSJ. A perda de peso após forneamento aumentou com a presença de FRSJ e elevação da temperatura. Os parâmetros Hue crosta e a^* miolo mostraram relação com as duas variáveis, gerando superfície de resposta. Na crosta, a tonalidade tornou-se mais próxima do amarelo puro nas menores concentrações e temperaturas, já em concentrações maiores de FRSJ, foram as maiores temperaturas que se aproximaram ao amarelo puro. O miolo mostrou propensão a cor avermelhada em concentrações intermediárias de FRSJ e maiores temperaturas, mas apesar disso, nas concentrações mais extremas e temperaturas elevadas, essa cor não se manteve ao final do assamento. Conforme aumentou-se a % FRSJ, o teor de antocianinas foi elevado, porém, isso não foi verificado nos níveis extremos das temperaturas testadas, mostrando redução. Temperaturas intermediárias, proporcionaram uma maior estabilidade das antocianinas. Para fenólicos, flavonoides e atividade antioxidante foi observado maior teor, conforme aumentou-se a % FRSJ, não gerando superfícies de resposta em relação a temperatura. Com a validação do modelo experimental (7,5% FRSJ e 144°C) foi possível a otimização de um pão com % FRSJ e temperatura de assamento compatíveis com bons teores de compostos bioativos e boas características tecnológicas.

Palavras-chaves: jabuticaba; panificação; compostos fitoquímicos; otimização de processos.

ABSTRACT

Jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) is a Brazilian fruit rich in bioactive compounds beneficial to health and longevity, which are often found in discarded parts. Drying methods to obtain flour can nutritionally enrich bakery products and reduce agro-industrial waste. The objective was to develop and optimize formulations of mold-type breads, enriched with flour from jaboticaba juice residue (FRSJ), evaluating their technological quality and functional potential. The fruits were crushed, strained and the residue dried in an oven ($55^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}/16 \text{ h}$). The flour was used in bread formulations, which made it possible to carry out an experimental design using a central rotational composite design (DCCR) with two independent variables: degree of replacement of white wheat flour by FRSJ (%) and baking temperature ($^{\circ}\text{C}$). Total phenolics, total flavonoids, anthocyanins and antioxidant potential were determined, in addition to colorimetry, volume and density, and the data was analyzed using the Protimiza Experimental Design software. A decrease in luminosity, tone, color intensity and specific volume was observed in formulations with increasing % FRSJ. Weight loss after baking increased with the presence of FRSJ and increased temperature. The parameters Hue crust and a^* crumb showed a relationship with the two variables, generating a response surface. In the crust, the tone became closer to pure yellow at lower concentrations and temperatures, whereas at higher concentrations of FRSJ, it was the highest temperatures that approached pure yellow. The crumb showed a propensity for a reddish color at intermediate concentrations of FRSJ and higher temperatures, but despite this, at the most extreme concentrations and high temperatures, this color did not remain at the end of baking. As the % FRSJ increased, the anthocyanin content increased, however, this was not verified at the extreme levels of temperatures tested, showing a reduction. Intermediate temperatures provided greater stability of anthocyanins. For phenolics, flavonoids and antioxidant activity, a higher content was observed, as the % FRSJ increased, not generating response surfaces in relation to temperature. With the validation of the experimental model (7.5% FRSJ and 144°C) it was possible to optimize a bread with % FRSJ and baking temperature compatible with good levels of bioactive compounds and good technological characteristics.

Keywords: jaboticaba; baking; phytochemical compounds; process optimization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Árvore jabuticabeira, fruto jabuticaba e jabuticaba partida ao meio	17
Figura 2 –	Estrutura molecular da antocianina	19
Figura 3 –	Compostos fenólicos encontrados na jabuticaba (<i>Myrciaria cauliflora</i>)	20
Figura 4 –	Fluxograma do processo de produção da farinha do resíduo de suco de jabuticaba (FRSJ)	31
Figura 5 –	Etapas de elaboração da farinha do resíduo de suco de jabuticaba (FRSJ)	32
Figura 6	Formulações de pães elaborados com diferentes concentrações de FRSJ	43
Figura 7 –	Diagramas de dispersão em 3D (Sistema RGB - Red- Green- Blue) das formulações de pães com diferentes concentrações de farinha do resíduo de suco de jabuticaba (FRSJ)	48
Figura 8 –	Diagrama de dispersão em 3D (Sistema RGB - Red- Green- Blue) das formulações de pães com diferentes concentrações de farinha do resíduo de suco de jabuticaba (FRSJ)	48
Figura 9 –	Teor de fenólicos totais determinados nos diferentes extratos, para seleção do método de extração mais eficaz na quantificação destes compostos em formulações de pães de forma	52
Figura 10 –	Formulações de pães de forma elaborados com diferentes graus de substituição de farinha de trigo branca por FRSJ e temperatura de assamento	54
Figura 11 –	Curvas de contorno e superfície de resposta de interação das variáveis grau de substituição de farinha de trigo branca por FRSJ e temperatura de assamento, em razão do parâmetro Hue da crosta em formulações de pães de forma	56
Figura 12 –	Curvas de contorno e superfície de resposta de interação das variáveis grau de substituição de farinha de trigo branca por FRSJ e temperatura de assamento, em razão do parâmetro a* do miolo em formulações de pães de forma	57

Figura 13 –	Modelo de regressão linear da interação das variáveis grau de substituição de farinha de trigo branca por FRSJ e temperatura de assamento, em razão de fenólicos totais e flavonoides totais em formulações de pães de forma	60
Figura 14 –	Curvas de contorno e superfície de resposta de interação das variáveis grau de substituição de farinha de trigo branca por FRSJ e temperatura de assamento, em razão do teor de antocianinas totais em formulações de pães de forma	64
Figura 15 –	Modelo de regressão linear da interação das variáveis grau de substituição de farinha de trigo branca por FRSJ e temperatura de assamento, em razão da atividade antioxidante em formulações de pães de forma	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Formulações de pães de forma elaborados e enriquecidos com diferentes concentrações de farinha do resíduo de suco de jabuticaba (FRSJ)	33
Tabela 2 –	Matriz de planejamento do delineamento composto central rotacional (DCCR) de duas variáveis, valores reais e codificados para otimização das formulações de pães de forma elaborados com FRSJ	36
Tabela 3 –	Métodos avaliados para extração de compostos fenólicos em formulações de pães de forma elaborados e enriquecidos com diferentes concentrações de farinha do resíduo de suco de jabuticaba (FRSJ)	38
Tabela 4 –	Colorimetria da crosta das formulações de pães com diferentes concentrações de farinha do resíduo de suco de jabuticaba (FRSJ)	44
Tabela 5 –	Colorimetria do miolo das formulações de pães com diferentes concentrações de farinha do resíduo de suco de jabuticaba (FRSJ)	47
Tabela 6 –	Características tecnológicas e percentual de perda de peso após forneamento das formulações de pães com diferentes concentrações de farinha do resíduo de suco de jabuticaba (FRSJ)	49
Tabela 7 –	Média dos métodos de extração na quantificação de fenólicos totais da formulação de pão com 9% de substituição de farinha de trigo branca por FRSJ	51
Tabela 8 –	Efeito do grau de substituição parcial de farinha de trigo branca por FRSJ e temperatura de assamento sobre teor de fenólicos totais e flavonoides totais em formulações de pães de forma	59
Tabela 9 –	Efeito do grau de substituição parcial de farinha de trigo branca por FRSJ e temperatura de assamento sobre o teor de antocianinas totais em formulações de pães de forma	63
Tabela 10 –	Efeito do grau de substituição parcial de farinha de trigo branca por FRSJ e temperatura de assamento sobre a atividade antioxidante em formulações de pães de forma	67
Tabela 11 –	Validação da condição otimizada em relação ao grau de substituição de farinha de trigo branca por FRSJ e temperatura de assamento, em formulação de pão de forma	70

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

μg	micrograma
μL	microlitro
μmol	micromol
a*	Variação de cor do verde (- a*) até o vermelho (+ a*)
AlCl_3	Cloreto de alumínio
ANOVA	Análise de Variância
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AT	Antocianinas Totais
$A\lambda$	Absorvância
b*	Variação de cor do azul (- b*) até o amarelo (+ b*)
C*	Chroma
C3G	Cianidina-3-glicosídeo
CAT	Catequinas
CB	Compostos Bioativos
CH_3COONa	Acetato de sódio
CIE	Comissão Internacional de Iluminação
DCCR	Delineamento Composto Central Rotacional
DNA	Ácido desoxirribonucleico
DP	Desvio Padrão
DPPH	1,1-difenil-2-picrilhidrazil
ER	Erro relativo
ERN	Espécie Reativa de Nitrogênio
ERO	Espécie Reativa de Oxigênio
FD	Fator de diluição
FRSJ	Farinha do Resíduo de Suco de Jabuticaba
g	Gramma
GAE	Ácido gálico
HPLC	Cromatografia líquida de alta eficiência
KCL	Cloreto de potássio
L*	Luminosidade
mg	miligrama
MG	Minas Gerais

mg/l	miligrama por litro
mL	mililitro
NaNO ₂	Nitrito de sódio
NaOH	Hidróxido de sódio
nm	Nanômetro
nmol	Nanomol
pH	Potencial hidrogeniônico
PM	Peso molecular
RGB	Red Green Blue
Subst.	Substituição
TEAC	Capacidade Antioxidante Equivalente Trolox
TROLOX	Ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico
UNIFAL	Universidade Federal de Alfenas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS	15
1.1.1	Objetivo geral	15
1.1.2	Objetivos específicos	15
1.2	JUSTIFICATIVA	16
2	DESENVOLVIMENTO	17
2.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1.1	Jabuticaba	17
2.1.1.1	Processamento e resíduos	17
2.1.1.2	Composição química da jabuticaba	18
2.1.2	Resíduos agroindustriais	21
2.1.3	Produtos de panificação e farinhas mistas	22
2.1.4	Compostos bioativos e longevidade	25
3	MATERIAL E MÉTODOS	30
3.1	MATÉRIA-PRIMA	30
3.2	PREPARO DA FARINHA DO RESÍDUO DE SUCO DE JABUTICABA (FRSJ)	30
3.3	TESTE PILOTO: PÃES COM VARIÁVEIS PERCENTUAIS DE SUBSTITUIÇÃO DE FARINHA DE TRIGO POR FRSJ	32
3.3.1	Formulações de pães de forma	32
3.3.2	Análises de colorimetria e características tecnológicas	34
3.4	OTIMIZAÇÃO DAS FORMULAÇÕES DE PÃES: PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	35
3.5	ANÁLISES FÍSICAS, QUÍMICAS E TECNOLÓGICAS	37
3.5.1	Colorimetria e características tecnológicas	37
3.5.2	Avaliação e seleção de métodos de extração	37
3.5.3	Determinação de compostos fenólicos totais	38
3.5.4	Determinação de flavonoides totais	39
3.5.5	Determinação de antocianinas totais	39
3.5.6	Determinação de potencial antioxidante (<i>Scavenging DPPH Activity</i>)	40
3.6	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	41

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1	RENDIMENTO DA FARINHA DO RESÍDUO DE SUCO DE JABUTICABA (FRSJ)	42
4.2	DETERMINAÇÃO DE FORMULAÇÕES PRELIMINARES EM PÃES EM ESCALA PILOTO	42
4.2.1	Análises de colorimetria e características tecnológicas de pães elaborados com diferentes concentrações de FRSJ	43
4.2.1.1	Colorimetria da crosta dos pães	43
4.2.1.2	Colorimetria do miolo dos pães	46
4.2.1.3	Características tecnológicas e Perda de peso no forneamento	49
4.2.2	Determinação de extrato para compostos bioativos (fenólicos)	51
4.3	OTIMIZAÇÃO DAS FORMULAÇÕES DOS PÃES PELO DELINEAMENTO COMPOSTO CENTRAL ROTACIONAL (DCCR)	54
4.3.1	Análises de colorimetria e características tecnológicas	54
4.3.2	Determinações analíticas	58
4.3.2.1	Fenólicos totais e Flavonoides totais	58
4.3.2.2	Antocianinas totais	62
4.3.2.3	Potencial antioxidante (<i>Scavenging DPPH Activity</i>)	66
4.4	VALIDAÇÃO DO MODELO EXPERIMENTAL	69
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
	REFERÊNCIAS	73
	APÊNDICES	85

1 INTRODUÇÃO

O interesse por frutas tropicais comestíveis, como a jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*), fruto nativo do Brasil pertencente à família Myrtaceae, tem crescido devido aos benefícios à saúde que oferecem (NEVES *et al.*, 2018; QUATRIN *et al.*, 2019). No entanto, a jabuticaba é altamente perecível e de difícil produção em grande escala, o que limita seu consumo *in natura* e sua industrialização. Apesar disso, a jabuticaba apresenta bom potencial de mercado, pois a partir dela, produzem-se compotas, geleias, vinagres, licores e vinhos (INADA *et al.*, 2015; LEMOS *et al.*, 2019).

Diante das diversas aplicações tecnológicas, a indústria de alimentos, ao processar frutas como a jabuticaba para suco e outros produtos, gera resíduos ricos em fibras e compostos bioativos (CB) (OLIVEIRA *et al.*, 2018; ALMEIDA *et al.*, 2020). Aproximadamente 40% da fruta, incluindo cascas, sementes e parte da polpa, é descartada, resultando em mais de uma tonelada de resíduos anualmente. A recuperação desses resíduos para extrair os compostos bioativos é uma maneira importante de aumentar o valor nutricional dos alimentos e promover uma produção sustentável (GURAK *et al.*, 2014; MARK *et al.*, 2019).

Quanto a isso, a jabuticaba e seus subprodutos apresentam mais de oitenta compostos fenólicos reconhecidos, com concentração especialmente elevada na casca, incluindo antocianinas (composto mais abundante), que são pigmentos responsáveis pelas cores em flores, frutas, folhas, caules e raízes de plantas, e apresentam uma concentração em cerca de 4,5 a 7,8 vezes maior nas cascas secas do que nas frutas inteiras. Além disso, outros CB como os taninos estão presentes nestes resíduos, tais como galotaninos e elagitaninos (INADA *et al.*, 2021).

Portanto, o reaproveitamento aliado a secagem das partes não comestíveis da jabuticaba, é uma ferramenta estratégica para reduzir o impacto ambiental decorrente da geração de resíduos e ao mesmo tempo desfrutar dos benefícios desses subprodutos para a saúde. Uma vez que podem ser incorporados em produtos de panificação, em substituição parcial a farinha de trigo (COELHO *et al.*, 2017). Isso é relevante, uma vez que os produtos de panificação por serem consumidos cotidianamente em grande quantidade pela população mundial, constitui-se uma das fontes energéticas predominantes da dieta (SANTOS *et al.*, 2020).

Esses compostos bioativos possuem propriedades antioxidantes e desempenham um papel substancial na redução de riscos do desenvolvimento de doenças crônicas. Isso ocorre porque, eles atuam na proteção contra danos celulares e na neutralização de radicais livres, contribuindo assim, na promoção para uma vida mais longa (CABRAL *et al.*, 2018; TENG

et al., 2017). Deste modo, modificações benéficas em sua composição como inclusão de CB poderiam agregar valor nutritivo e, assim, promover o consumo de produtos mais saudáveis.

Embora os subprodutos do processamento da jabuticaba sejam fontes potenciais de compostos bioativos, a maioria dos estudos que englobam reaproveitamento desses subprodutos não os aplicam integralmente, empregando apenas as cascas, ou sementes ou frações do fruto. Dessa forma, esses estudos partem apenas da redução do descarte de resíduos, não fazendo um total reaproveitamento e aplicação dos seus benefícios a saúde humana (MORALES *et al.*, 2016; ALBUQUERQUE *et al.*, 2020). O reaproveitamento integral dos subprodutos do processamento da jabuticaba se torna então uma importante lacuna a ser preenchida na produção de alimentos para otimizar a valorização de subprodutos do processamento, de forma a produzir produtos de baixo custo e com notáveis propriedades funcionais, passíveis de serem aplicados na indústria de alimentos.

1.1 OBJETIVOS

1.1 Objetivo geral:

Elaborar e otimizar formulações de pães do tipo forma enriquecidos com diferentes concentrações do resíduo de suco de jabuticaba e de temperatura de assamento avaliando sua qualidade tecnológica e seu potencial funcional.

1.1.2 Objetivos específicos:

São objetivos específicos para o presente estudo:

- a) desenvolver formulações de pães de forma enriquecidos com diferentes concentrações da farinha do resíduo de suco de jabuticaba e de temperatura de assamento;
- b) testar formulações de pães com diferentes concentrações da farinha do resíduo de suco de jabuticaba com vistas a otimização.
- c) determinar características físicas, químicas e tecnológicas, após o forneamento das formulações de pão produzidas;
- d) realizar a caracterização fitoquímica e capacidade antioxidante das formulações elaboradas;

- e) validar a formulação de pão de melhor perfil das propriedades funcionais e tecnológicas.

1.2 JUSTIFICATIVA

Estratégias que envolvam a utilização de cascas e outras partes deste fruto vão de encontro com as necessidades do consumidor que desejam utilizar produtos que favoreçam a saúde. Assim, farinhas elaboradas com partes geralmente desprezadas da jabuticaba podem atender essa necessidade, além de contribuir com o destino adequado destes resíduos no meio ambiente.

Ao ser preparado com farinha integral de frutas, o produto torna-se mais rico em vitaminas, minerais, fibras e fitoquímicos, quando comparado à versão tradicional com farinha refinada. Cabem aos estudos vindouros avaliarem se a quantidade incluída destes compostos bioativos no produto irá contribuir de forma eficaz para a inclusão deste produto na dieta. Além disso, deve-se considerar que o produto precisa ser bem aceito, ou seja, apresentar todos os atributos sensoriais de acordo com o que se espera de um pão de qualidade pelo consumidor.

Neste cenário a presente pesquisa teve sua justificativa traçada no panorama de que sendo os pães de ingestão habitual, estando presentes na mesa da maioria da população e tradicionalmente consumidos no café da manhã ou lanches da tarde, considera-se uma apreciável estratégia o seu enriquecimento nutricional com a incorporação de ingredientes promissores como os compostos bioativos encontrados na jabuticaba. Compostos estes, que exibem uma notável ação antioxidante, contribuindo para a neutralização dos radicais livres e oferecendo proteção contra danos celulares. Além disso, possuem propriedades antimicrobianas, anticancerígenas e anti-inflamatórias que podem ter um efeito positivo no aumento da expectativa de vida.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 Jabuticaba

2.1.1.1 Processamento e resíduos

A jabuticabeira apresenta copa com forma matizada, porte médio a grande, altura variando de 6 m a 12 m. As flores são brancas e emergem diretamente no tronco ou ramos (REZENDE, 2011, TEDESCO *et al.*, 2020). O fruto do tipo baga globosa tem até 3,5 cm de diâmetro, ostentando uma casca roxa escura a preta quando madura e uma polpa esbranquiçada com sabor doce, levemente ácida/adstringente, podendo conter de uma a quatro sementes (WU *et al.*, 2013). Produz frutas uma ou, esporadicamente, duas vezes por ano, em geral entre os meses de agosto e novembro onde estes amadurecem entre 40 e 60 dias (INADA *et al.*, 2015) (FIGURA 1).

Figura 1 – Árvore jabuticabeira, fruto jabuticaba e jabuticaba partida ao meio.



Fonte: Compilação da autora (2023)¹.

Nota: ¹Montagem a partir de imagens coletadas no Google Imagens.

De dois a três dias após a colheita ocorre uma acelerada modificação do sabor e da aparência da fruta, derivado da perda de água ocasionando murchamento, deterioração e fermentação da polpa. Essa alta perecibilidade faz com que não atinja valor comercial significativo se tornando um dos seus problemas de comercialização (REZENDE, 2011, ALBUQUERQUE *et al.*, 2020). Diante do exposto, para difundir o consumo da jabuticaba em

todo o mundo, o alinhamento dos métodos de armazenamento, a potencialização da retenção da cor pelas antocianinas e o aumento da vida útil precisam ser estudados e otimizados (WU *et al.*, 2013).

Entretanto, durante o processamento da jabuticaba destinado a produção de suco e outros produtos para consumo, como forma de otimizar seu uso, utiliza-se principalmente a polpa (ALEZANDRO *et al.*, 2013; OLIVEIRA, 2018; ROSA *et al.*, 2022). Nesse sentido, após a extração do suco, os produtos retidos como as cascas, sementes e parte da polpa são descartados. Desta maneira, o reaproveitamento destas partes e extração dos compostos bioativos presentes, se constitui importante forma de agregar valor nutricional aos alimentos, pois é onde se concentra a maior parte dos nutrientes e CB, além de contribuir para a preservação ambiental (INADA *et al.*, 2015; MARK *et al.*, 2019; MARTINS *et al.*, 2011; MIRANDA, 2019).

Com isso, a produção de farinha de cascas de jabuticaba para enriquecimento de produtos alimentícios, se torna uma eficiente estratégia de reaproveitamento dos resíduos gerados no processamento e já foi empregada na elaboração de geleia, muffins, macarrão sem glúten, cereais, cookies, barra de cereais, iogurtes (FREITAS-SÁ *et al.*, 2018), sobremesa fermentada (NETA *et al.*, 2018), produção de um pigmento natural para ser empregado como corante natural em salsichas (BALDIN *et al.*, 2018), e outros.

2.1.1.2 Composição química da jabuticaba

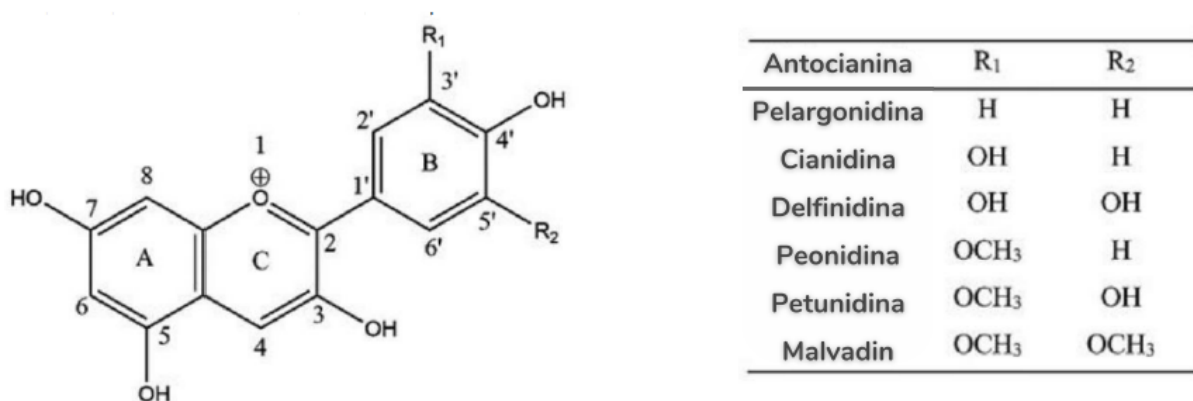
Algumas frutas são consumidas não somente pelos seus atributos sensoriais e predileção, mas sim como fonte de compostos benéficos a saúde (FERNANDES *et al.*, 2022).

A jabuticaba é uma fruta de elevado valor nutricional apresentando em sua composição no fruto inteiro nutrientes como: carboidratos (90,0/100g), proteínas (5,0/100g), lipídios (2,0/100g), triptofano (1,0 mg/100g) e lisina (7,0 mg/100g), fibras (1,0 mg/100g), ferro (75,5 mg/100g), manganês (23,7 mg/100g), magnésio (23,7 mg/100mg), cálcio (27,1 mg/100g), fósforo (34,6 mg/100g), potássio (72,3 mg/100g) e cobre (0,07 mg/100g) (INADA *et al.*, 2015; WU *et al.*, 2013; RUFINO, 2011). Já as vitaminas B1, B2, B3 e C apresentam 0,04 mg/100g, 0,09 mg/100g, 1,3 mg/100g, 238 mg/100g respectivamente e os carotenoides totais 0,32 mg/100g. Apresentam também compostos bioativos (CB), como os fenólicos totais que alcançaram 460,9 mg/100g, enquanto as antocianinas chegam a atingir teores de 3222 mg/100g (RUFINO, 2011; PLAZA *et al.*, 2016). Condições do fruto e técnicas de extração para estes

compostos podem fazer com que a médias desses componentes sofram variação (FERNANDES *et al.*, 2022, INADA *et al.*, 2021).

Dentre os compostos fenólicos presentes na jabuticaba, destacam-se as antocianinas, composto mais abundante nesta fruta (ALBUQUERQUE *et al.*, 2020; MIRABELLA *et al.*, 2014). Esses compostos se apresentam em mais de 700 estruturas diferentes já reconhecidas, que raramente se apresentam livres, mas sim ligados a uma ou mais porções de açúcar. A estrutura molecular se dá por um “núcleo” de antocianidina que como dito anteriormente está ligado a uma porção de açúcar que varia em relação ao número e posição dos grupos hidroxila ou metoxila que estão ligados à antocianidina. As antocianinas mais abundantes na natureza são pelargonidina, cianidina, peonidina, delphinidina, petunidina e malvidina, conforme ilustrado na Figura 2 (NASSOUR *et al.*, 2020; ZAO *et al.*, 2018).

Figura 2 – Estrutura molecular da antocianina.



Fonte: ZHAO *et al.* (2018).

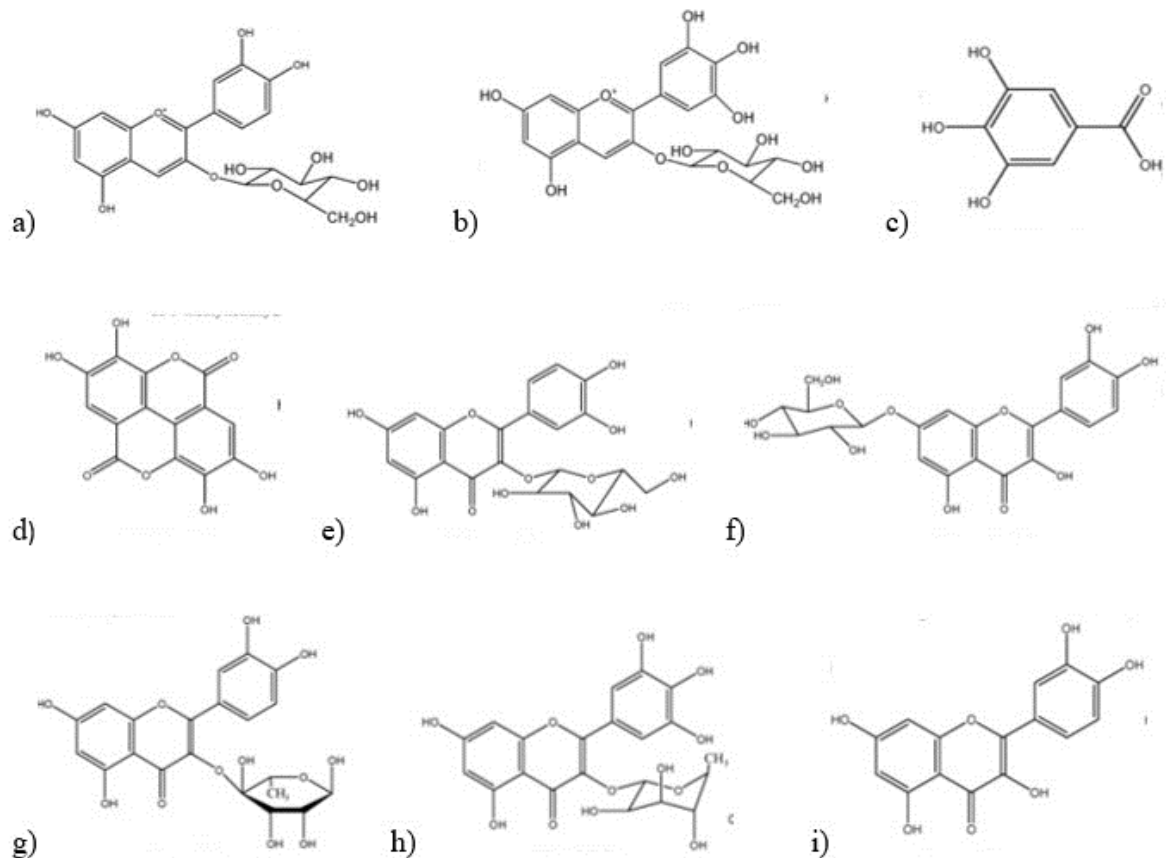
Por se apresentarem ligadas a um açúcar, que geralmente é a glicose (glicosilação), elas se ligam geralmente na posição 3 do anel C, formando o 3-glicosídeo e se houver uma segunda glicosilação, geralmente se ligará a posição 5 do anel A que formará o glicosídeo (NASSOUR *et al.*, 2020).

Especificamente, a casca da jabuticaba (*Myrciaria jaboticaba* (Vell.) O. Berg. ou *Plinia cauliflora* (Mart.) O. Berg.) tem como principais CB, as antocianinas cianidina-3-glicosídeo (19,45mg/g) e delphinidina-3-0-glicosídeo (5,09 mg/g) (REGUENGO *et al.*, 2022).

Um estudo realizado com frutas do cerrado brasileiro, identificou que a *Myrciaria cauliflora* apresenta como principais CB, as antocianinas, sendo a cianidina-3 - glicosídeo (**a**),

delfinidina-3- *O* -glicosídeo (**b**), que justificam a atividade antioxidante da fruta, mas outros compostos fenólicos também são encontrados, a saber: ácido gálico (**c**), ácido elágico (**d**), isoquercitrina (**e**), quercimeritrina (**f**), quercitrina (**g**), miricitrina (**h**) e quercetina (**i**) (BAILÃO *et al.*, 2015). As estruturas destes compostos podem ser visualizadas na Figura 3.

Figura 3 – Compostos fenólicos encontrados na jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*).



Fonte: BAILÃO *et al.* (2015).

Legenda: a) Cianidina-3-glicosídeo
 b) delfinidina-3- *O* -glicosídeo
 c) ácido gálico
 d) ácido elágico
 e) isoquercitrina
 f) quercimeritrina
 g) quercitrina
 h) miricitrina
 i) quercetina

Em relação à *Myrciaria cauliflora*, variedade paulista, Neves *et al.* (2021) encontraram maior concentração de fenólicos totais nas sementes (713,139 mg/100g), cascas (696,861 mg/100g) e polpa (179,524 mg/100g), respectivamente. A atividade antioxidante medida por

mmol de Trolox/100g gramas de fruta foi maior na polpa (6,151 mmol/100g), seguida da semente (5,380 mmol/100g) e da casca (4,547 mmol/100g). Quanto às antocianinas, estas foram encontradas apenas nas cascas, tanto antocianinas totais (38,025 mg/100g) quanto as antocianinas polimerizadas (4,029 mg/100g), que pode ser explicada devido à antocianina ser um pigmento que confere cor à casca e não às sementes e a polpa. Ainda, na variedade paulista, a principal antocianina encontrada foi a delfinidina-3-glicosídeo.

Nessa perspectiva, a extração desses compostos apresenta propriedades nutracêuticas, como no estudo de Albuquerque *et al.* (2020) que mostrou efeito antiproliferativo em células de carcinoma humano para câncer de mama, hepatocelular e cervical.

Em humanos, o consumo de jabuticaba se associou a um aumento no status antioxidante sérico e redução de glicose e insulina, sendo parte dessas implicações atribuídas aos CB presentes na fruta (PLAZA *et al.*, 2016).

Assim, entre os benefícios já comprovados da fruta, em relação à saúde estão a destruição dos radicais livres, atividade antiproliferativa em células de tumores, atividade antimicrobianas, anticancerígena, antidiabética e ainda, atua contra danos hepáticos (SANTOS *et al.*, 2022).

2.1.2 Resíduos agroindustriais

O crescimento populacional que tem ocorrido mundialmente, impacta diretamente no aumento da quantidade de alimentos produzidos, conseqüentemente elevando o seu desperdício. Isso culmina na inviabilidade de armazenamento dos resíduos originados, pois gera perdas econômicas e impactos ambientais (DIACONEASA *et al.*, 2023). Além disso, espera-se que nos próximos 40 anos, a população mundial continue a expandir, assim, o aumento na produção alimentícia e a redução do desperdício é uma questão chave, pois cerca de um terço das partes comestíveis dos alimentos é desperdiçada em todo o planeta, o que representa mais de um trilhão de dólares anuais (BARRERA; HERTEL, 2021).

Aliado ao crescimento populacional, o status econômico e preocupação com a saúde têm aumentado o consumo de frutas e verduras, o que contribui para o desperdício, já que a indústria alimentícia produz grandes quantidades de resíduos agroindustriais (cascas, sementes e bagaços) devido ao processamento destes alimentos para a fabricação de vinhos, compotas e conservas (DIACONEASA *et al.*, 2023). Juntas, as frutas e verduras representam 60% do desperdício de alimentos (ISLA *et al.*, 2022).

O Brasil, ocupa o terceiro lugar em produção de frutas e juntamente com a China e a Índia, representam 45% da produção mundial (CANGUSSU *et al.*, 2021). Essas frutas, quando *in natura* sofrem alto percentual de perdas no mercado brasileiro, que começa desde a colheita até chegar à casa do consumidor, passando por embalagem, transporte, atacado, varejo, atingindo, desta forma, consideráveis valores de desperdício e excesso de resíduos (CAMPOS, *et al.*, 2020; BOESSO, 2017).

A grande quantidade de resíduos agroindustriais gerados pelo processamento de frutas e hortaliças, se constitui, portanto, um dos maiores desafios da indústria alimentícia, visto que exige que as empresas façam grandes investimentos para coletar e designar corretamente esses resíduos, de forma a reduzir impactos ambientais indesejáveis (GONÇALVES *et al.*, 2021).

Nesse sentido, tais resíduos possuem quantidades interessantes de compostos bioativos, como as proteínas, óleos essenciais, carotenoides, compostos fenólicos, pigmentos, antioxidantes, enzimas e fibras, que podem ser aproveitados pelas indústrias farmacêutica, química e alimentícia e possuem efeito benéfico para a saúde humana (DUEÑAS; GARCÍA-ESTÉVEZ, 2020; ROMERO *et al.*, 2022; VALENCIA-HERNANDEZ *et al.*, 2021).

Estudos recentes têm demonstrado que os resíduos alimentares devem ser compreendidos como uma fonte renovável de CB de valor agregado. A aplicação desses CB recuperados dos resíduos alimentares para fabricação de novos alimentos, aditivos naturais e para a produção de alimentos funcionais têm sido estudadas, principalmente devido ao aumento da preocupação da população por uma dieta balanceada e saudável e as pesquisas que visam identificar os benefícios para a saúde dos CB e sua aplicação na indústria alimentícia (DUEÑAS; GARCÍA-ESTÉVEZ, 2020; VILAS-BOAS *et al.*, 2021).

Quanto à aplicação dos resíduos agroindustriais, os subprodutos das frutas têm sido estudados quanto a sua incorporação em laticínios, carnes fortificadas e produtos de panificação, ganhando destaque principalmente as frutas latino-americanas, como a jabuticaba (REGUENGO *et al.*, 2022).

Assim, o uso de subprodutos agroindustriais como matéria-prima na elaboração de outros alimentos pode fornecer produtos ricos em compostos bioativos, e contribuir na redução do desperdício e degradação do meio ambiente (EIT FOOD, 2021).

2.1.3 Produtos de panificação e farinhas mistas

Na atualidade, os consumidores buscam por produtos alimentícios mais nutritivos, seguros e que preservem a saúde, exercendo efeito protetor na redução da incidência de doenças

(SZAKÁLY *et al.*, 2019). Aliado a isso, como formas de evitar o desperdício de partes não consumidas no dia a dia como cascas, sementes e bagaços, as frutas e seus subprodutos/resíduos têm sido utilizados para a obtenção de farinhas, estas obtidas por meio de secagem, tornam-se um produto desidratado, que pode ainda, ter o tamanho das partículas padronizado por granulometria (SAVLAK *et al.*, 2016; ASCHERI *et al.*, 2006).

A fabricação de farinhas não apenas prolonga a vida útil das frutas, mas também sua disponibilidade, independentemente das condições climáticas e sazonais. Além disso, essas farinhas podem ser incorporadas a produtos alimentícios tradicionais como pães, massas, bolos e biscoitos, aprimorando o perfil nutricional e otimizando suas características tecnológicas. Como forma inicial, pode-se utilizar farinhas mistas no preparo desses alimentos e verificar a aceitação do consumidor (DURAZZO *et al.*, 2013; KHOOZANI *et al.*, 2019; RESENDE *et al.*, 2020).

No processo de secagem da farinha ocorre a redução do teor de água do produto até que atinja um nível considerado seguro, sendo aplicada de forma a garantir a preservação da qualidade físico-química, sensorial e nutricional do produto a ser armazenado por longos períodos (SANTOS *et al.*, 2019, ALMEIDA *et al.*, 2020).

De acordo com a Resolução nº 263 de 2005 da ANVISA (2005, p. 2) pão “é o produto obtido da farinha de trigo ou de outras farinhas, adicionado de líquido, resultantes do processo de fermentação ou não, e cocção, podendo conter outros ingredientes, desde que não descaracterizem os produtos. Podem apresentar cobertura, recheio, formato e textura diversos”. Percebe-se por esta Legislação que é permitido a adição de ingredientes não convencionais provenientes de partes de vegetais e frutas que comumente seriam menosprezados, como farinha das cascas, sementes, talos, folhas, etc., mas desde que o produto não perca suas características originais.

Assim, já é sabido, que os vegetais e frutas retêm seus CB durante a secagem. Este é um importante motivo pelo qual a obtenção de farinhas de resíduos agroindustriais de frutas e vegetais para produção de produtos de panificação é interessante, pois o pão, possui vantagens como o baixo custo e consumo difundido, mas geralmente carece de alguns nutrientes como proteínas, fibras, minerais, especialmente os preparados com farinha de trigo refinada (KAUR *et al.*, 2020).

Nesse contexto, torna-se imprescindível avaliar as características de pães a base de farinhas e pós de frutas e vegetais, como textura, volume específico, peso, cor, pois interfere nas propriedades sensoriais. Estas, podem ser influenciadas pelos ingredientes utilizados na

formulação do pão, pelas características de cozimento como tempo e temperatura de assamento (AMOAHA *et al.*, 2020).

O teor de umidade, por exemplo é vital para a boa aceitação de pão, pois está relacionada à maciez, característica desejada em pães (DADKHAH, 2012). Apesar disso, pães com alto teor de umidade são mais suscetíveis ao crescimento microbiano, interferindo na vida útil, entretanto, pães funcionais apresentam uma tendência de tempo de prateleira mais longo, pois os CB presentes atuam reduzindo a oxidação lipídica e proteica e também atuam como agentes antimicrobianos contra o crescimento de fungos (AXEL *et al.*, 2017; AMOAHA *et al.*, 2019).

Quanto à adição de farinhas derivadas de vegetais e frutas, estas tornam o pão mais pesado, devido ao teor de fibras, que altera a densidade e a estrutura física do pão. Também, conforme a adição dessas farinhas aumenta, observa-se a redução do volume do pão, sendo explicado pela diminuição da proporção de glúten na receita, oriundo da farinha de trigo convencional, pois é o glúten, o responsável pela formação da rede estrutural e retenção de gases, que torna o pão mais volumoso (KAUR *et al.*, 2020).

Entretanto, embora as fibras enfraqueçam a formação da rede de glúten, impactando na dureza do miolo dos pães, sabe-se que existem algumas fibras com boas propriedades hidrofílicas (retenção de água), como a pectina, que podem produzir pães com boas características de miolo em relação a outros tipos de fibras (EINHORN-STOLL, 2018).

O volume em massa crua, por sua vez, pode avaliar o desenvolvimento e qualidade das massas, êxito das formulações e a efetividade dos ingredientes usados no aprimoramento da massa e do pão como produto final, já que este pode ser afetado pelos ingredientes, especialmente a farinha e pelos processos utilizados na sua fabricação (SANTOS *et al.*, 2018).

Sabe-se também, que pães com ingredientes ricos em compostos bioativos, podem apresentar volume e crescimento reduzidos, devido ao teor de polifenóis, que inibe a amilase, repercutindo na redução da hidrólise do amido e na redução do uso da maltose pelas leveduras (TOLVE *et al.*, 2021).

A temperatura, outro fator importante para as características físicas e químicas de pães, em geral destrói os CB, como é o caso das antocianinas, termicamente instáveis e que condições de cozimento podem provocar sua degradação (FRANCAVILLA; JOYE, 2022). Entretanto, estudos também já relataram que a alta temperatura aumentou o teor de CB e potencial antioxidante, podendo ser explicado pelo fato de que suas ligações com os antioxidantes são quebradas durante o processo de fermentação, o que garantiria a potencialização dos mesmos (KAUR *et al.*, 2020; NING *et al.*, 2017; GAWLIK-DZIKI *et al.*, 2013).

Altas temperaturas também se relacionam a reações de Maillard, que atribuem escurecimento à crosta dos pães e já foi identificado que essas reações podem aumentar a atividade antioxidante e, por vezes, estabilizar as antocianinas, pois os compostos formados durante a reação interagem-se com as agliconas, durante a degradação pela temperatura. Contudo, os produtos da reação de Maillard não são desejáveis, pois estes degradam aminoácidos essenciais e liberam fatores antinutricionais, o que faz, com que não sejam indicadas temperaturas muito acima dos 150°C (BLANCH; DEL CASTILLO, 2021). Além disso, as reações de Maillard, estão relacionadas à diminuição dos valores de L* em produtos de panificação formulados com subprodutos de frutas e vegetais (RIBAS-AUGUSTÍ *et al.*, 2018).

Sabe-se que a alta temperatura de cocção e o tempo de fermentação longo são fatores que podem reduzir a atividade antioxidante detectada pelo método DPPH (CALDERÓN DE LA BARCA *et al.*, 2022). Além disso, os compostos fenólicos exercem efeito protetor contra a formação de substâncias cancerígenas durante o cozimento em pães (ELKATRY *et al.*, 2022). Já, quanto a estabilidade das antocianinas, o pH ácido favorece sua estabilidade, enquanto meios alcalinos podem facilitar sua degradação, levando assim, à alteração de cor (SÁNCHEZ-MADRIGAL *et al.*, 2015).

Diante disso, apesar dos evidentes benefícios para a saúde, a aceitação desses produtos deve ser atestada, já que muitas vezes as farinhas integrais podem alterar as características tecnológicas e sensoriais do mesmo (ANDRADE *et al.*, 2018). Menor volume, miolo mais duro, coloração escura, textura mais rígida e sabor e aroma mais pronunciados são alguns atributos que podem dificultar a aceitação por indivíduos familiarizados com o pão elaborado a partir da farinha de trigo refinada (TEBBEN *et al.*, 2018). Assim, torna-se um desafio para pesquisadores e para a indústria alimentícia, encontrar um equilíbrio entre boas características sensoriais e bom perfil funcional nos pães.

2.1.4 Compostos bioativos e longevidade

O envelhecimento favorece o aparecimento de doenças relacionadas à idade e que são responsáveis por dois terços das mortes em pessoas idosas (DHALARIA *et al.*, 2020).

Já foi descoberto, que a maioria das mudanças que culminam no declínio funcional no envelhecimento, são ligadas à danos moleculares provocados por radicais livres e esses radicais livres podem reduzir a expectativa de vida máxima quando presentes em órgãos como fígado, coração e rins (DHALARIA *et al.*, 2020; MECHCHATE *et al.*, 2022).

Nesse sentido, uma das teorias do envelhecimento mais estudadas é a teoria dos radicais livres, que abarcam as espécies reativas de oxigênio (EROs) e espécies reativas de nitrogênio (ERN) que podem ser tanto radicais como não radicais (DHALARIA *et al.*, 2020). Dentre as EROs radicais mais presentes estão o ânion superóxido (O^{2-}), peroxil (ROO^{\cdot}) e alcóxil (RO^{\cdot}), já para os ERN radicais, estão os derivados do óxido nítrico (NO^{\cdot}) (PALUDO *et al.*, 2019).

Os radicais livres são moléculas que possuem alta instabilidade e compõem-se de um ou mais elétrons desemparelhados em volta de uma órbita nuclear. Eles podem doar ou aceitar um elétron para outra molécula e assim podem se tornar redutores ou oxidantes. A formação desses radicais livres se dá em processos metabólicos normais do organismo, como a fagocitose e processos inflamatórios, mas também por fontes externas como tabagismo, exposição ao raio x, desequilíbrio de energia e excesso de nutrientes (LOBO *et al.*, 2010; PLAZA *et al.*, 2016).

Assim, o desequilíbrio entre a produção desses componentes e a defesa antioxidante leva a um excesso de radicais livres que causam alterações negativas nas estruturas celulares como a membrana, DNA, DNA mitocondrial e disfunção proteica, podendo levar ao desenvolvimento de doenças crônicas como diabetes tipo 2, hipertensão, câncer, doenças cardiovasculares, doenças neurodegenerativas e ao envelhecimento (DHALARIA *et al.*, 2020; PALUDO *et al.*, 2019).

Para neutralizar estas espécies, as células contam com uma rede interativa de enzimas antioxidantes como a catalase, superóxido dismutase, e glutatona peroxidase e também com um sistema não enzimático através de substâncias como a melatonina e a glutatona, esta última, considerada um dos mais potentes antioxidantes. Seus efeitos no organismo se dão por vários mecanismos como a doação de elétrons, quelante de íons metálicos, como co-antioxidantes ou regulando a expressão gênica (LOBO *et al.*, 2010).

Entretanto, além do mecanismo antioxidante endógeno, existe o sistema exógeno, que ocorre por meio da ingestão de nutrientes que atuam como antioxidantes, como o ácido ascórbico (vitamina C), o tocoferol (vitamina E) e carotenoides (pró- vitamina A) (MICHALAK, 2022). Assim, a relação entre dieta e envelhecimento tem sido estudada, pois principalmente as frutas e vegetais apresentam alto teor de compostos bioativos que apresentam ação antioxidante (DHALARIA *et al.*, 2020).

Desse modo, são as propriedades biológicas e extra nutricionais destes CB, como propriedades antimicrobianas, anticancerígenas, antioxidantes e anti-inflamatória, as responsáveis por impactar na saúde humana (KESSAS *et al.*, 2022; TRIGO *et al.*, 2020).

Estes compostos se dividem em dois grandes grupos: essenciais e não essenciais. Os CB essenciais incluem as vitaminas e minerais que são indispensáveis para os processos

bioquímicos do organismo e para a redução de riscos de doenças. Já os CB não essenciais, incluem produtos do metabolismo de frutas e vegetais, como os fenólicos, carotenoides, flavonoides, saponinas, óleos essenciais, fitosteróis, ácido fítico que estão envolvidos na homeostase celular, aumentando a longevidade (GUIL-GUERRERO *et al.*, 2016; PADAYACHEE *et al.*, 2017).

Quanto aos compostos fenólicos, estes incluem mais de 8000 substâncias hidrossolúveis e possuem minimamente um anel aromático com pelo menos um substituinte de hidroxilas. Os fenólicos com maior peso molecular são comumente chamados de polifenóis (TRIGO *et al.*, 2020).

Os polifenóis, aliás, são o maior e mais estudado grupo de antioxidantes de origem natural, que a depender de sua estrutura química, podem ser divididos em flavonoides, ácidos fenólicos, taninos ou estilbenos. Os flavonoides são o grupo mais estudado, podendo se apresentar na forma livre (agliconas) ou mais comumente ligado a açúcares (glicosídeos) e apresentam as antocianinas como importante grupo antioxidante (BABBAR; OBEROI, 2014; LUO *et al.*, 2021; MICHALAK, 2022).

De forma geral, os mecanismos antioxidantes dos polifenóis se dão por meio de 4 mecanismos descritos a seguir. O primeiro mecanismo seria por meio da eliminação ERO de forma direta, devido à presença de grupos hidroxila fenólicos. A capacidade de eliminar essas espécies dependem da posição e número de hidroxilas, dos padrões de substituintes e da glicosilação de moléculas. O segundo mecanismo pode regular a produção e atividade das enzimas antioxidantes e oxidases endógenas, como a óxido sódio dismutases (SODs), catalase (CAT) e glutathionas peroxidases (GSH-Px). Já o terceiro mecanismo é através da regulação da via mediada por Nrf2, um fator de transcrição regulatório de diversas enzimas antioxidantes como a SOD, GSH, NADP(H), quinona oxidoreductase 1 (NQO1), glutathion-s-transferase (GST) e heme-oxigenase-1 (HO^{-1}), pela ligação em elementos de resposta antioxidante, nas regiões promotoras dos agentes de tais enzimas. Por fim, o quarto mecanismo se dá pela regulação de micro RNAs (LUO *et al.*, 2021).

Sobre a atuação dos polifenóis nos micros RNAs, apesar de serem poucos os estudos que avaliam sua atuação nos mesmos, existem evidências de que revelam que os polifenóis modulam a expressão de micro RNAs que estão envolvidos na longevidade (LUO *et al.*, 2021).

Quanto aos flavonoides, estes apresentam diferentes subclasses que são encontradas nas frutas e vegetais, a saber: flavonóis, flavonas, flavan-3-óis, flavononas e antocianidinas, exibindo propriedades antimicrobianas, anti-inflamatórias, anti-hiperlipidêmicas e

antioxidantes e hepatoprotetoras (DHALARIA *et al.*, 2020; GUIL-GUERRERO *et al.*, 2016; TRIGO *et al.*, 2020).

As antocianinas, por sua vez, são um uma classe de pigmentos hidrossolúveis naturais que apresentam atividade antioxidantes, anti-inflamatórias, antimicrobianas e anticancerígenas, podendo ser aplicadas para reduzir o risco de desenvolver doenças crônicas como a obesidade, diabetes e o câncer (DIACONEASA *et al.*, 2023).

Esse pigmento confere as cores azul, vermelha e roxa e a capacidade antioxidante das antocianinas é determinada pela sua estrutura química, pois quanto maior o número de hidroxilas, maior a capacidade antioxidante (DHALARIA *et al.*, 2020; OLAS, 2018).

Além disso, as antocianinas exercem maior potencial antioxidante dentre os flavonoides, devido a sua estrutura química que as tornam capazes de quelar íons metálicos que participam da produção de radicais livres, portanto reduzem a peroxidação induzida por metais (DAI *et al.*, 2012; MARTÍN *et al.*, 2017).

Também, as antocianinas são doadoras muito eficazes de hidrogênio para EROs e radicais livres, desintoxicando-os e prevenindo a formação de outros radicais, pois possui carga positiva, posição e quantidade de grupos hidroxila e metoxila e substituintes que somam e retiram elétrons. O mecanismo pelo qual as antocianinas destroem os radicais livres são: ataque aos grupos OH do anel B e ataque do íon oxônio, presente no anel C. Isso confere a elas grande poder antioxidante, como exemplo, a cianidina apresenta 4,4 vezes maior potencial antioxidante do que a vitamina E e o ácido ascórbico (NASSOUR *et al.*, 2020).

Finalmente, ressalta-se a importância do consumo de alimentos, fontes de antioxidantes, como a jabuticaba, que é rica em compostos fenólicos, especialmente as antocianinas. Um estudo que avaliou a capacidade de desativação de EROs e ERNs em extratos de cascas e sementes de cinco variedades de jabuticaba brasileira (sabará, paulista, híbrida e pintada) identificaram que tanto cascas quanto sementes das jabuticabas estudadas foram potentes em anular/desativar as espécies reativas, como a variedade paulista, que desativou o radical superóxido (O_2^-) com IC_{50} 16,15 $\mu\text{g. mL}^{-1}$ (PALUDO *et al.*, 2019).

Assim, dentre os efeitos na saúde decorrentes da ação desses compostos bioativos no organismo, estão a redução do risco de doenças cardiovasculares, degenerativas, distúrbios metabólicos dos fenólicos (SAITO *et al.*, 2019; ROMÃO *et al.*, 2019; MARK *et al.*, 2019). O consumo de alimentos ricos em antocianinas promove efeito protetor contra danos hepáticos, degradação do colágeno, coibindo as chamadas de marcas de expressão, expande o desempenho cognitivo e também exibem boa atividade contra a citotoxicidade do cigarro. Auxiliam na redução de produção de histamina, melhora na circulação sanguínea periférica, além de reprimir

o envelhecimento precoce (FERNANDES; SILVA, 2018; BORGES *et al.*, 2011; SAITO *et al.*, 2019).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Trata-se de um estudo de natureza experimental, quantitativo e qualitativo.

3.1 MATÉRIA-PRIMA

As jaboticabas (*Myrciaria cauliflora*) da variedade Paulista, inteiras e maduras, foram coletadas manualmente na região de Três Pontas, Minas Gerais (21°23'56.87''Sul; 45°37'20.25''Oeste) (registro SisGen AB53B85), transportadas em condições apropriadas até Laboratório de Técnica Dietética na Universidade Federal de Alfenas. Em seguida, foram selecionadas, higienizadas (sanitizadas em hipoclorito de sódio 200 mgL⁻¹ por 15 minutos e enxaguadas em água potável). Os frutos foram pesados, obtendo-se aproximadamente 76 kg ao total. Em seguida foram embalados em sacos plásticos, onde permaneceram sob congelamento em freezer (-18°C), até o momento de sua utilização.

3.2 PREPARO DA FARINHA DO RESÍDUO DE SUCO DE JABUTICABA (FRSJ)

Cerca de duas horas antes de sua utilização, os frutos congelados de jaboticaba foram retirados do freezer para seu descongelamento sob refrigeração (10°C).

O processo iniciou-se com a trituração da jaboticaba inteira em liquidificador (Mondial®, turbo L-900, BA-Brasil) por 1 minuto. A proporção de fruto para água utilizada foi de 1:1, ou seja, a cada 100 g de fruto adicionou-se 100 mL de água, resultando em aproximadamente, 150 mL de suco. Em seguida o suco obtido foi coado em tecido organza (material fino sintético) e o resíduo resultante dessa filtragem foi utilizado neste experimento.

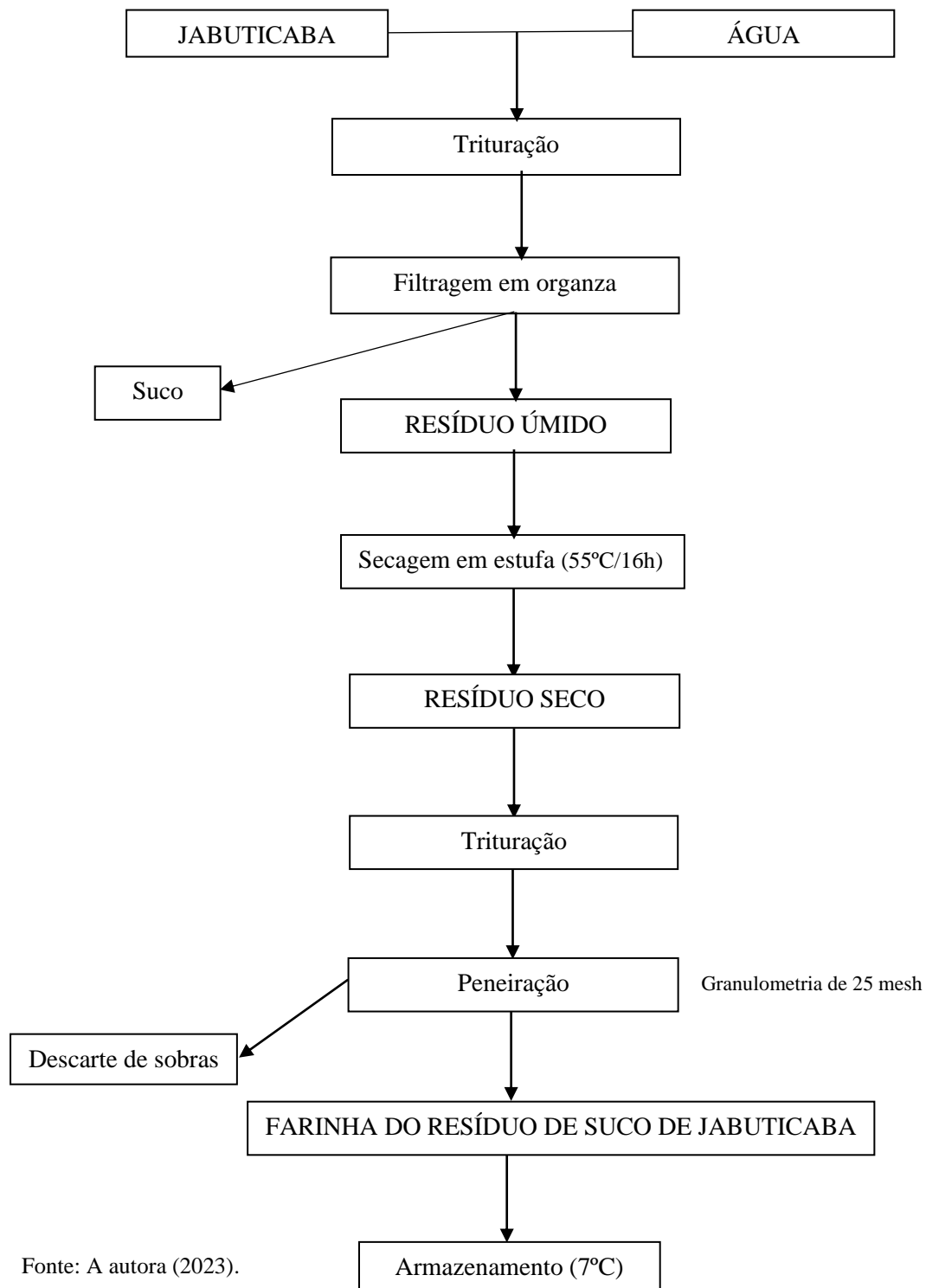
Este resíduo foi disposto em bandejas de alumínio em uma camada fina e levado a estufa com circulação e renovação de ar (Solab®, SL102, SP-Brasil) à 55°C ± 5° durante 16 horas para sua secagem. Logo após, foram triturados em liquidificador (Mondial® turbo L-900, BA-Brasil) até tornar-se uma farinha fina. A farinha foi peneirada e homogeneizada para obtenção de granulometria em malha de 25 mesh (a Bronzinox®, inox, abertura 710 µm, SP-Brasil), e as sobras foram descartadas. O armazenamento ocorreu em frascos de vidro esterilizados, envoltos por papel alumínio para proteger da oxidação pela presença de luz, e mantidos sob refrigeração (7°C) até a utilização (FIGURAS 4 e 5).

O rendimento das farinhas foi determinado de acordo com a equação referida por Andrade *et al.* (2018).

$$R = \frac{F}{P} \times 100 \quad (1)$$

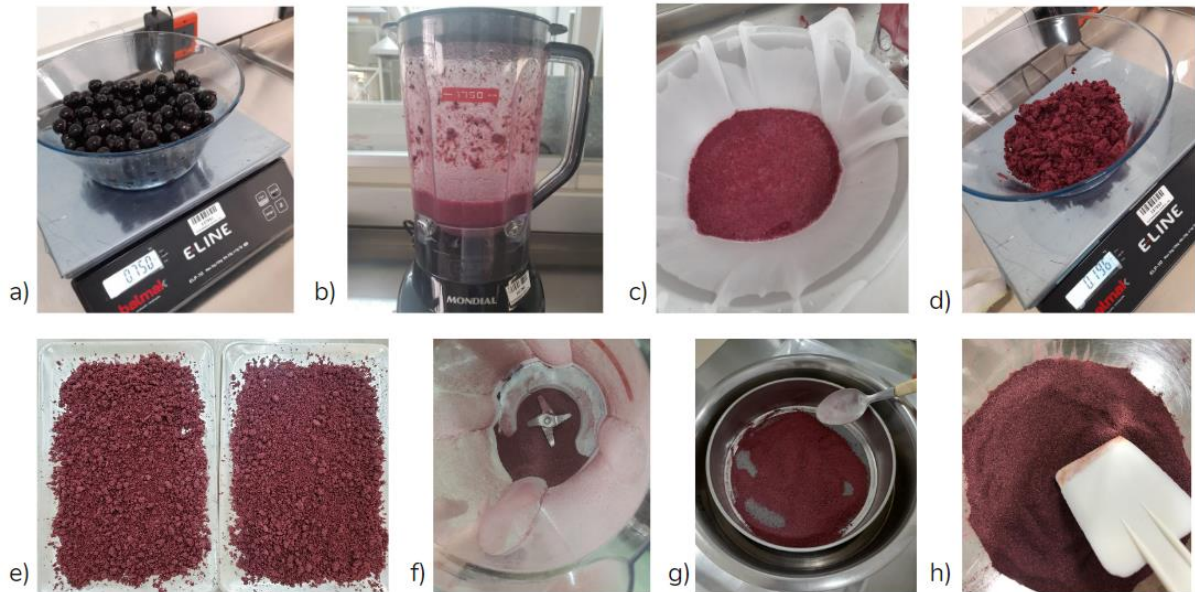
em que: R = rendimento (%); F = quantidade de farinha obtida (g); P = quantidade de fruta inteira (g).

Figura 4 – Fluxograma do processo de produção da farinha do resíduo de suco de jabuticaba (FRSJ).



Fonte: A autora (2023).

Figura 5 – Etapas de elaboração da farinha do resíduo de suco de jabuticaba (FRSJ).



Fonte: A autora (2023).

Legenda: a) jabuticabas sanitizadas
 b) trituração das frutas com água
 c) coagem do suco em organza
 d) pesagem do resíduo úmido
 e) resíduo úmido levado a estufa
 f) trituração do resíduo seco
 g) peneiração do resíduo seco
 h) farinha do resíduo de suco de jabuticaba.

3.3 TESTE PILOTO: PÃES COM VARIÁVEIS PERCENTUAIS DE SUBSTITUIÇÃO DE FARINHA DE TRIGO BRANCA POR FRSJ

3.3.1 Formulações de pães de forma

Os pães foram desenvolvidos a partir de uma formulação padrão de pão tipo forma proposto por Araújo (2018), com modificações propostas a seguir, e preparados no Laboratório de Tecnologia de Alimentos da Unifal-MG.

Primeiramente, todos os ingredientes foram pesados em balança semi analítica (Shimadzu, BL3200H, SP-Brasil). As formulações de pães incluíram: farinha de trigo comum branca (Rosa Branca®); fermento biológico seco (Dr. Oeckter®); sal refinado (Cisne®); açúcar cristal (Monte Alegre®); leite em pó integral (Itambé®); margarina (Qualy®) e água filtrada a 38°C. Os ingredientes com suas respectivas proporções em relação a farinha de trigo branca estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Formulações de pães de forma elaborados e enriquecidos com diferentes concentrações de farinha do resíduo de suco de jabuticaba (FRSJ).

Ingredientes	Formulações									
	F0		F3		F5		F7		F9	
	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%
Farinha de trigo	250	100	242,5	97	237,5	95	232,5	93	227,5	91
FRSJ	0	0	7,5	3	12,5	5	17,5	7	22,5	9
Água filtrada	150	60	150	60	150	60	150	60	150	60
Margarina	10	4	10	4	10	4	10	4	10	4
Açúcar	10	4	10	4	10	4	10	4	10	4
Sal	5	2	5	2	5	2	5	2	5	2
Leite em pó integral	5	2	5	2	5	2	5	2	5	2
Fermento biológico seco	2,5	1	2,5	1	2,5	1	2,5	1	2,5	1

Fonte: A autora (2023).

Legenda: g = grama; % = porcentagem em relação ao total de farinha a ser utilizada (250 g por receita); F0 = sem substituição por FRSJ; F3 = substituição por 3% de FRSJ; F5 = substituição por 5% de FRSJ; F7 = substituição por 7% de FRSJ; F9 = substituição por 9% de FRSJ.

Os percentuais de substituição da farinha convencional pela farinha do resíduo de suco de jabuticaba (FRSJ) foram escolhidos através de pré-testes e o cálculo feito a partir do total de farinha a ser utilizada, sendo 0 (controle); 3; 5; 7 e 9 % respectivamente nas 5 formulações. As formulações foram denominadas de F0; F3; F5; F7; F9.

Para elaboração dos pães foi utilizado o modo indireto (método esponja), que consiste em misturar 50% da farinha de trigo, 100% da água e todo o fermento. Utilizou-se máquina panificadora (Cadence® Finezza, PAD502, SC-Brasil) (em modo 3, cor médio e tamanho 500 g, temperatura interna 26°C) para descanso e fermentação por 30 minutos. Logo após, a massa foi levada até uma batedeira planetária (Philco® PHP500, AM-Brasil), acrescentando-se os demais ingredientes e batendo por um minuto em velocidade alternada de 1 e 2. A massa foi boleada e deixada descansar e fermentar por mais 30 minutos na mesma panificadora (em modo 3, cor médio e tamanho 1000 g). Após esta fermentação, foi adicionado à massa 5 g de farinha de trigo, misturado manualmente e sovado levemente.

Em seguida, a massa foi dividida em duas partes de tamanhos e pesos semelhantes e colocada em formas de alumínio no formato tipo pão de forma, previamente untadas (com

margarina e farinha de trigo) e deixadas em repouso dentro do forno industrial desligado por mais 40 minutos para seu crescimento final.

Para o assamento dos pães, utilizou-se forno industrial (Progás®, turbo elétrico, RS-Brasil), pré-aquecido em 70°C, e 160°C contínuos, por em média 22 minutos por fornada. Cada receita rendeu 2 pães de aproximadamente 200 g. Aguardou-se cerca de 30 minutos para atingir a temperatura ambiente, e em seguida, foi verificado peso, volume e mediu-se os parâmetros de colorimetria.

3.3.2 Análises de colorimetria e características tecnológicas

A colorimetria das formulações de pães teve aplicação do colorímetro (Konica Minolta®, CR-10, Japão) (o equipamento foi tarado usando uma placa branca padrão) no modo CIE L*, a* e b; onde L*, indica valores de luminosidade (0% = negro e 100% = branco); a* indica a variação de cor do verde (-a*) até o vermelho (+ a*) e b* indica a variação de cor do azul (-b*) até o amarelo (+ b*). O Hue (h°) aponta o ângulo de tonalidade que considera as coordenadas polares a* e b* (0° representa vermelho puro; o 90°, amarelo puro; o 180°, verde puro; e o 270°, azul puro). Enquanto o Chroma (C*) indica a saturação da cor, avaliando juntamente os critérios a* e b* (quanto mais alto o valor de C* mais forte é a cor observada) (ALVES *et al.*, 2008). A leitura foi realizada em duplicata em dois pontos distintos da crosta e do miolo em três repetições (MCGUIRE, 1992).

Já as análises das características tecnológicas volume, volume específico e densidade das formulações de pães testadas, foram determinadas de acordo com o descrito por Kajishima *et al.* (2001) e Ferreira *et al.* (2001). Ademais, foi calculado a porcentagem de perda de peso no forneamento, onde se usou a equação referida por Andrade *et al.* (2018) (4). O volume foi estabelecido pelo método de deslocamento através de sementes de painço, onde se encheu um recipiente com as sementes, e nivelou-se com o auxílio de uma régua. Depois foi retirado as sementes e colocado o pão e completou-se o volume e novamente foi nivelado com uma régua. As sementes foram medidas utilizando-se uma proveta de 1000 mL. Calculou-se a diferença entre o volume do recipiente preenchido totalmente com as sementes de painço e o volume deslocado ao se medir com o pão.

Posteriormente, o volume específico foi definido pelo quociente entre o volume deslocado (mL) e a massa (g) de cada amostra forneada, com resultados expressos em mL/g:

$$\text{Volume específico (mL/g)} = \frac{\text{Volume deslocado (mL)}}{\text{Massa (g)}} \quad (2)$$

Peso da amostra forneada (g)

Já a densidade foi calculada pela razão: massa forneada (g) / volume deslocado (mL) e expressa em g/mL:

$$\text{Densidade (g/mL)} = \frac{\text{Peso da amostra forneada (g)}}{\text{Volume deslocado (mL)}} \quad (3)$$

A percentagem de perda de peso no forneamento (PPF) foi calculada pela fórmula abaixo:

$$\text{PPF (\%)} = \frac{\text{M massa} - \text{M pão}}{\text{M massa}} \times 100 \quad (4)$$

Em que: M massa = peso antes do forneamento; M pão = peso da massa assada.

3.4 OTIMIZAÇÃO DAS FORMULAÇÕES DE PÃES: PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Com o propósito de otimizar uma formulação de pão e potencializar suas propriedades antioxidantes foi executado um planeamento experimental, utilizando um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), com duas variáveis independentes avaliadas: o grau de substituição da farinha de trigo branca por farinha do resíduo de suco de jabuticaba (%) e temperatura de assamento (°C). Essas variáveis resultaram em 4 pontos fatoriais, 4 axiais e 3 repetições do ponto central, totalizando 11 experimentos. Os valores dos níveis estudados (-1,41; -1; 0; +1; +1,41) das 2 variáveis independentes foram baseados em formulações previamente testadas na execução de testes em escala piloto conforme já descritos no item 3.3. Os níveis também foram determinados com base em valores de temperatura de assamento factíveis encontrados na literatura (RODRIGUES; LEMMA, 2017). O design experimental proposto é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Matriz de planejamento do delineamento composto central rotacional (DCCR) de duas variáveis, valores reais e codificados para otimização das formulações de pães de forma elaborados com FRSJ.

Ensaio	% SFT/FRSJ	% SFT/FRSJ	TA (°C)	TA (°C)
	VR	VC x ₁	VR	VC x ₂
1	2,18	-1	139	-1
2	12,82	+1	139	-1
3	2,18	-1	181	+1
4	12,82	+1	181	+1
5	0	+1,41	160	0,00
6	15	-1,41	160	0,00
7	7,5	0,00	130	-1,41
8	7,5	0,00	190	+1,41
9	7,5	0	160	0
10	7,5	0	160	0
11	7,5	0	160	0

Fonte: A autora (2023).

Legenda: % SFT/FRSJ = porcentagem de substituição de farinha de trigo branca por farinha do resíduo de suco de jabuticaba; TA = temperatura de assamento; VR= valor real; VC = valor codificado; x₁ = grau de substituição de farinha de trigo por FRSJ (%); x₂ = temperatura de assamento (°C);

As variáveis dependentes (respostas) foram os parâmetros físico-químicos das análises de compostos fenólicos totais, flavonoides totais, antocianinas, potencial antioxidante (DPPH - 1,1-difenil-2-picrilhidrazil), de modo a se obter um pão com alto teor destes componentes, aliado a cor e boas características tecnológicas (volume específico, densidade, etc). Os dados foram analisados através do software online Protimiza Experimental Design (RODRIGUES; COSTA, 2023).

Os pães foram elaborados com os mesmos ingredientes e igual modo de preparo já descrito no item 3.3.1, com exceção da proporção (%) de substituição da farinha de trigo branca pela farinha do resíduo de suco de jabuticaba (FRSJ) e a temperatura de assamento (°C), as quais foram modificadas de acordo com o proposto pela matriz do delineamento experimental (TABELA 2).

Após o assamento dos pães, uma fatia do centro de cada pão foi retirada e homogeneizada incluindo cascas e miolo, sendo trituradas manualmente, pesadas e

armazenadas em tubos tipo falcon e congeladas (-18°C) até o momento das determinações analíticas.

Ao final, foi realizado a validação do modelo experimental a partir da análise e exploração das superfícies de resposta, que visou definir condições otimizadas para a presença de FRSJ e a temperatura considerando as variáveis respostas avaliadas, de forma, que os percentuais de substituição da farinha de trigo por FRSJ aliado as temperaturas de assamento investigadas se mostrassem compatíveis com o expressivo teor de compostos bioativos, cor e características tecnológicas apreciáveis, aspirando proximidade a um pão comercial.

3.5 ANÁLISES FÍSICAS, QUÍMICAS E TECNOLÓGICAS

3.5.1 Colorimetria e características tecnológicas

As análises de colorimetria e características tecnológicas dos pães derivados do planejamento experimental, seguiram a mesma metodologia anteriormente descrita no item 3.3.2 .

3.5.2 Avaliação e seleção de métodos de extração

Inicialmente, foram testados quatro métodos de extração comumente usados em estudos envolvendo a quantificação de compostos fenólicos totais, de forma a maximizar a extração desses compostos nesse presente estudo.

As amostras foram provenientes de um pão produzido para o teste piloto com o maior percentual de FRSJ (9%) testado, estas foram previamente trituradas e homogeneizadas e devidamente pesadas através de uma balança analítica (BEL Engineering®, mark210A, SP-Brasil). Após o acondicionamento dos reagentes em tubos tipo falcon (15 mL), as amostras foram agitadas continuamente por 60 minutos através de agitador horizontal tipo roller (Biomixer®, MR-II, SP-Brasil) seguidas de centrifugação (Excelsa® baby II, 206-R, SP-Brasil) na velocidade de 3000 rpm por 10 minutos em cada extração. As extrações foram realizadas em triplicatas. Dessa forma, foram avaliados 4 métodos de extração, denominados M1, M2, M3 e M4, utilizando diferentes solventes, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Métodos avaliados para extração de compostos fenólicos em formulações de pães de forma elaborados e enriquecidos com diferentes concentrações de farinha do resíduo de suco de jabuticaba (FRSJ).

Métodos	Amostra (g)	Solvente	Volume (mL)	Número de extrações
M1	0,75	Metanol 50% Acetona 70%	10,0	3 1 ^a metanol 2 ^a e 3 ^a acetona
M2	2,5	Metanol com HCl (0,01%)	5,0	4
M3	0,5	Etanol 80%	10,0	3
M4	2,5	Etanol com HCl (15%)	5,0	3

Fonte: A autora (2023).

Legenda: M1= Rufino *et al.* (2010); M2= Sui *et al.* (2015); M3= Castelo-Branco *et al.* (2016); M4= Shehata *et al.* (2020).

Salienta-se, que para as determinações analíticas das amostras de pães do planejamento experimental, os sobrenadantes de cada extração foram reunidos todos em um mesmo balão volumétrico de 25 mL, antes de serem analisados.

3.5.3 Determinação de compostos fenólicos totais

Os extratos obtidos pelos métodos aplicados, foram analisados quanto ao teor de fenólicos totais, conforme metodologia descrita por Woisky e Salatino (1998), com adaptações propostas por Pereira e Tavano (2014) descritas a seguir. Este método baseia-se na oxidação dos grupos hidroxila dos fenóis em meio básico (reagente de Folin-Ciocalteu) (BLANCH; DEL CASTILLO, 2021).

Em resumo, 125 µL de amostra dos respectivos extratos foi adicionado a 125 µL de reagente Folin-Ciocalteu e mais 1,25 mL de água seguido de agitação em vórtex (38órtex XH-DU; 0-3500 rpm, SP-Brasil) e logo acrescentado 0,5 mL de Na₂CO₃ (carbonato de sódio) a 7%, agitando-se novamente. Todos os extratos foram deixados em repouso por 2 horas sob abrigo da luz. Após esse período, foi realizada a leitura das triplicatas em espectrofotômetro Uv-vis

(Bel Photonics® UV-M51, China) no comprimento de onda de 750 nm, o qual foi previamente zerado com tubo branco.

Foi construída uma curva padrão de ácido gálico considerando-se as concentrações entre 0 a 16 µg de ácido gálico. A equação da reta utilizada foi:

$$y = 0,0492 \cdot x - 0,0126 \quad (5)$$

O resultado gerado pela equação descrita, em µg de equivalente de ácido gálico por grama de amostra, foi posteriormente ajustado para mg GAE/g de amostra.

3.5.4 Determinação de flavonoides totais

A determinação de flavonoides foi realizada conforme metodologia de Boateng *et al.* (2008).

Alíquotas de 125 µL de extrato adicionados a 0,5 mL de água destilada e 37 µL de solução de NaNO₂ (nitrito de sódio) a 5%, em seguida agitados em vórtex e deixados por 5 minutos em descanso. Em seguida, foram acrescentados 37 µL de AlCl₃ (cloreto de alumínio) a 10% e 0,25 mL de NaOH (hidróxido de sódio) 1 M, novamente agitados e repousados por 5 minutos. Em triplicata, as leituras das absorvâncias foram efetuadas no espectrofotômetro a 510 nm, depois de ser zerado com o tubo branco.

Uma curva padrão de catequinas foi construída e os cálculos feitos a partir da equação da reta abaixo:

$$y = 0,0175 \cdot x \quad (6)$$

Os resultados expressos em µg de equivalentes de catequinas por grama de amostra foram posteriormente ajustados para mg CAT/g de amostra.

3.5.5 Determinação de antocianinas totais

O teor de antocianinas totais foi determinado pelo método de pH diferencial (GIUSTI; WROLSTAD, 2001). Assim, foi adicionado 200 µL do extrato em 800 µL de solução tampão de KCl (cloreto de potássio) (0,025 mol/L) pH 1,0 e as mesmas proporções de extrato:solução de tampão de CH₃COONa (acetato de sódio) (04 mol/L) pH 4,5. As amostras diluídas (5 vezes)

foram acondicionadas em ausência de luz por 30 minutos, e em seguida centrifugadas por 5 minutos para diminuir a turbidez. Após este intervalo, o espectrofotômetro foi zerado com água destilada e a leitura em triplicata das absorvâncias foi aferida no comprimento de onda 520 nm e 700 nm para todas as soluções com pH 1,0 e pH 4,5. A concentração de antocianinas foi calculada através da fórmula:

$$AT = \frac{((Abs\ 520 - Abs\ 700)\ pH\ 1,0 - (Abs\ 520 - Abs\ 700))\ pH\ 4,5}{\epsilon \times 1} \times PM \times FD \quad (7)$$

Onde:

AT = antocianinas totais expressas em mg de cianidina-3-glicosídeo; Abs 520 e Abs 700 pH 1,0 e 4,5 = absorvâncias lidas da solução nos respectivos pH nos comprimentos de onda 520 nm e 700 nm, respectivamente; PM = peso molecular da cianidina-3-glicosídeo (449,2); FD = fator de diluição da amostra (5); ϵ = coeficiente de extinção molar da cianidina-3-glicosídeo em solução tampão pH 1,0 a 520 nm, cujo valor é de 26,900 L cm – 1 mol⁻¹.

Os resultados foram expressos em mg de equivalentes de cianidina-3-glicosídeo por grama de amostra (mg C3G/g).

3.5.6 Determinação do potencial antioxidante (*Scavenging DPPH Activity*)

Para mensurar a atividade antioxidante foi utilizado o método da capacidade de captura do radical DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazil) conforme descrito por Brand-Williams *et al.* (1995), com modificações propostas por Pereira e Tavano (2014). Neste método o radical de cor violeta tende-se a se tornar mais claro, esse nível de descoloração pode ser considerado como uma amplitude da atividade antioxidante presente nos extratos avaliados (JASPRICA *et al.*, 2007).

A solução de DPPH foi preparada na concentração de 0,06 mMol em solução de etanol a 80% (até o volume aproximado de 250 mL). Foi construída uma curva analítica de Trolox (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico) na faixa de concentração de 0 a 7 nmols de Trolox e sua absorvância lida até o valor máximo de 0,700 nm em espectrofotômetro no comprimento de 517 nm.

As amostras foram convenientemente diluídas com o respectivo solvente, onde 250 μ L de extrato previamente diluído foi adicionado a 1 mL da solução DPPH, e em seguida agitadas em vórtex e incubadas por 60 minutos na ausência de luz. Em seguida, foi aferido as leituras

das absorvância em espectrofotômetro a 517 nm, o qual foi previamente zerado contra o branco da reação.

Empregou-se uma curva Trolox como padrão e a equação da reta utilizada foi:

$$y = 0,0136 \cdot x + 0,006 \quad (8)$$

Os resultados foram expressos em μmols de equivalente de Trolox por grama de amostra ($\mu\text{mols TEAC/g}$).

3.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

O delineamento utilizado nesta parte do experimento foi o delineamento inteiramente casualizado (DIC). Os dados obtidos das análises dos pães, do teste piloto e dos métodos de extração, foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) seguidos do teste de Tukey, ambos a 5% de significância. Essas análises foram realizadas por meio do software R v4.3.1 (R CORE TEAM, 2023).

Na etapa de otimização foi aplicado o delineamento composto central rotacional (DCCR), e os dados avaliados através do software Protimiza Experimental Design para o teste de ANOVA e geração de superfícies de respostas do efeito do grau de substituição da farinha de trigo branca por FRSJ e temperatura de assamento, em relação as variáveis respostas estudadas, com posterior ajuste do modelo de regressão, considerando 5% de nível de significância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 RENDIMENTO DA FARINHA DO RESÍDUO DE SUCO DE JABUTICABA (FRSJ)

A proporção de 1:1 (1000 g de fruta e 1000 mL de água) foi utilizada para obtenção de 1500 mL de suco e 180 g de resíduo úmido após a filtragem em organza. Esse resíduo após a secagem em estufa (55°C/16h - umidade aproximada 5,67%) gerou 103 g de resíduo seco. Após a peneiração, chegou-se ao peso de 65 g de farinha pronta. Observa-se que para cada 1000 g de fruta inteira, obteve-se 65 g de farinha do resíduo pronta, o que corresponde em 6,5% do peso da fruta *in natura*.

A ANVISA permite um teor de umidade entre 5 e 15% (ANVISA, 2005) para o padrão de identidade e qualidade das farinhas, e em estudo anterior deste grupo de pesquisa, analisou-se a umidade da FRSJ em estufa até peso constante e chegou-se ao valor de 5,67 % (RESENDE, 2022) (dados não publicados), ou seja, este encontra-se dentro do recomendado.

Resende (2021), Duarte (2018) e Sanches *et al.* (2021) com secagem em estufa a 60°C/20h, 55°C/14h, 45°C/48h, respectivamente, de cascas ou cascas e sementes de jabuticaba, obtiveram rendimentos ligeiramente superiores a este estudo, correspondente ao peso inicial utilizado.

A variedade da fruta, a quantidade de nutriente, água que o resíduo apresenta e porcentagem de desidratação, são alguns dos fatores que podem interferir no rendimento da farinha (SOUSA *et al.*, 2011). Aliás, cada categoria de subproduto obtido a partir da fruta apresenta uma condição de secagem particular (binômio temperatura-tempo) que resulta em ótimos rendimentos do produto seco e pode minimizar a degradação dos compostos antioxidantes (LARROSA; OTERO, 2021).

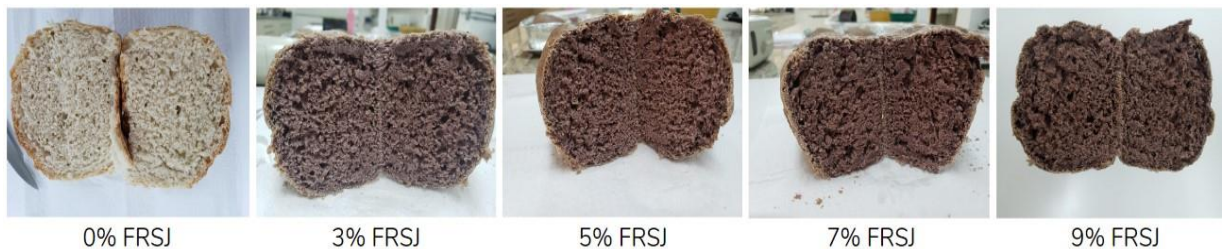
Embora não tenha ocorrido um elevado rendimento neste estudo, esse pode ser apontado como expressivo no aspecto ambiental, podendo reduzir o descarte no meio ambiente, visto que para a elaboração das farinhas será necessário um maior volume destes materiais (ALBUQUERQUE JUNIOR, 2022). Considera-se buscar outras formas de secagem para obter FRSJ, possibilitando que essa produção ocorra de maneira artesanal e seja empregada em preparações caseiras.

4.2 DETERMINAÇÃO DE FORMULAÇÕES PRELIMINARES EM PÃES EM ESCALA PILOTO

4.2.1 Análises de colorimetria e características tecnológicas de pães elaborados com diferentes concentrações de FRSJ

A figura 6 apresenta as formulações dos pães produzidos em pré-testes com diferentes concentrações de FRSJ.

Figura 6 – Formulações de pães elaborados com diferentes concentrações de FRSJ.



Fonte: A autora (2023).

Legenda: 0% = sem substituição por FRSJ; 3% = substituição por 3% de FRSJ; 5% = substituição por 5% de FRSJ; 7% = substituição por 7% de FRSJ; 9% = substituição por 9% de FRSJ.

4.2.1.1 Colorimetria da crosta dos pães

A análise colorimétrica da crosta das amostras de pães é demonstrada na Tabela 4. Em relação ao parâmetro L^* , a crosta na F0 se apresentou mais clara, e diferiu significativamente das demais formulações com FRSJ que se apresentaram mais escuras e não diferiram entre si. Este resultado mostra que em qualquer das concentrações de FRSJ utilizadas não houve diferença entre elas. Somente entre as formulações com FRSJ e F0. Essa diferença pode ocorrer pela presença considerável de antocianinas (pigmentos arroxeados/negros) na casca do fruto as quais são responsáveis pela cor escura da mesma nas formulações com FRSJ (SILVA *et al.*, 2014). Pães elaborados com pó de arroz negro rico em antocianinas obtiveram valores semelhantes ao final do processo de assamento a 200°C (SUI *et al.*, 2015), mas provavelmente, apresentaram-se mais escuros que os do presente estudo por usarem temperaturas superiores e um produto altamente rico em antocianinas como o pó de arroz negro (20% antocianinas).

Tabela 4 – Colorimetria da crosta das formulações de pães com diferentes concentrações de farinha do resíduo de suco de jabuticaba (FRSJ).

Parâmetros Crosta	Concentração de FRSJ (%)					p-valor
	F0	F3	F5	F7	F9	
L*	56,80±3,49 ^a	46,19±1,32 ^b	44,70±1,48 ^b	44,37±0,83 ^b	43,72±0,23 ^b	7,2337
a*	12,42±1,77 ^a	9,96±3,51 ^{ab}	8,00±0,33 ^b	7,76±0,33 ^b	7,96±0,23 ^b	0,0004
b*	25,01±1,33 ^a	13,62±0,78 ^b	12,09±0,66 ^c	11,42±0,44 ^c	11,55±0,16 ^c	2,4615
Hue	63,57±4,15 ^a	54,65±8,22 ^b	56,45±1,69 ^b	55,79±0,32 ^b	55,40±0,71 ^b	0,0071
Chroma	27,99±0,95 ^a	17,05±2,40 ^b	14,50±0,60 ^c	13,81±0,54 ^c	14,03±0,22 ^c	5,4561

Fonte: A autora (2023).

Legenda: Dados expressos como média ± desvio padrão (DP); Valores com letras iguais na mesma linha não diferem entre si estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\leq 0,05$); F0 = sem substituição por FRSJ; F3 = substituição por 3% de FRSJ; F5 = substituição por 5% de FRSJ; F7 = substituição por 7% de FRSJ; F9 = substituição por 9% de FRSJ.

No parâmetro a* (TABELA 4) que se refere a cores avermelhadas, a crosta de F0 atingiu maior valor em relação as demais formulações e diferiu de F5, F7, F9, ficando F3 sem apresentar diferença em relação a todas as formulações. Notou-se neste caso que a F0 e F3 (com menor quantidade de FRSJ), tenderam mais ao marrom avermelhado, e as demais com características menos avermelhadas. O a* é um indicador importante para a avaliação do escurecimento, já que a cor marrom decorrente das reações enzimáticas ou degradação dos açúcares, reproduz uma fusão do verde e vermelho (SANTOS *et al.*, 2018). Estas reações, que podem ter ocorrido na crosta podem ter promovido esta coloração menos avermelhada. Esperava-se que ficassem mais avermelhadas conforme o aumento da substituição da FRSJ por conterem mais antocianinas. Porém, como na crosta a temperatura é mais intensa, pode ter ocorrido reações de degradação mais drásticas, e mais intensas nas formulações com maior teor de antocianinas. Isto levou a uma diminuição da cor avermelhada conforme aumentou a substituição com FRSJ, não mostrando diferença significativa a partir de 3% até 9%.

Comumente observa-se uma coloração mais amarronzada e/ou marrom avermelhado na crosta de pães, especialmente aqueles com presença de ingredientes com pigmentos mais escuros, como de algumas frutas (GUIJARRO-FUERTE *et al.*, 2019). Essa desigualdade pode se dar pelo fato de que a presença destes pigmentos possa produzir uma alteração da cor característica do pão que se desenvolve por uma reação de Maillard durante o cozimento. No processo de assamento também podem ocorrer reações de caramelização, além de reações

enzimáticas de degradação de fenólicos e, principalmente, da antocianina, que pode ter ocorrido devido a altas temperaturas. No último estágio de assamento, ocorrem reações de Maillard e caramelização dos açúcares na crosta resultando em escurecimento da crosta, formando produtos da reação de Maillard como melanoidina e hidroximetilfurfural conferindo à crosta sua cor característica marrom (PURLIS, 2011; PURLIS; SALVADORI, 2007; SUI *et al.*, 2015).

A temperatura é um parâmetro crítico no processamento de alimentos, mas ao mesmo tempo é o principal fator que afeta o teor de antocianina do produto final, e mostra uma forte relação com a magnitude e duração do aquecimento e interações com outras moléculas que induzem várias alterações químicas. O comportamento térmico da antocianina pode ser diferente em matrizes alimentares mais complexas, devido às interações com alguns nutrientes (proteínas, polissacarídeos) que podem estabilizar esses compostos (OANCEA, 2021).

No parâmetro b^* da crosta (TABELA 4) foi identificado que F0 apresentou uma cor mais amarelada e diferiu das demais formulações com FRSJ que obtiveram menores valores. Todavia, F3 também diferiu de todas as formulações com FRSJ por ser mais amarelada. Provavelmente, isso ocorre devido à baixa quantidade de FRSJ nesta formulação que ainda manteve uma cor levemente amarelada. SILVA *et al.*, (2020) relatou em seu estudo um comportamento similar em pães com adição de diferentes teores de gergelim negro em que F0 mostrou maior valor e os demais tiveram seus valores reduzidos e menos amareladas em relação a ele

Sobre os valores de Hue (TABELA 4), a crosta da F0 se apresentou mais próxima da tonalidade marrom mais amarelado, e diferiu significativamente das demais formulações com FRSJ que se apresentaram com valores menores aproximando da tonalidade marrom menos amarelada e não diferiram entre si. Durante a fase posterior de assamento, as reações de caramelização de açúcares e Reação de Maillard iniciam e resultam no escurecimento da camada da crosta e conferem o aspecto característico de cor marrom para pães. Isto se deve a formação de produtos da reação de Maillard (melanoidina e hidroximetilfurfural) (PURLIS; SALVADORI, 2007).

O parâmetro Chroma (C^*) (TABELA 4) representa que valores inferiores possuem menor saturação de pigmentos, enquanto valores superiores caracterizam-se em cores com maior saturação de pigmentos, ou seja, mais intensa (SILVA *et al.*, 2020). Percebeu-se na crosta uma diminuição da saturação da cor conforme adição de FRSJ, onde F0 de cor mais forte diferiu de todas as formulações com FRSJ. A F3 diferiu de F0 e de todas as demais formulações. Não houve diferença entre F5, F7 e F9. As maiores concentrações mostraram uma cor menos intensa

do que o F0, provavelmente por degradação das antocianinas mostrando coloração marrom menos intensa. Possivelmente, houve uma atenuação destes pigmentos que levaram a essa alteração de intensidade da coloração. Sui *et al.* (2015) relataram degradação das antocianinas em pães elaborados com alto teor de antocianinas durante o assamento.

4.2.1.2 Colorimetria do miolo dos pães

A cor é um aspecto que influencia diretamente na aceitação do consumidor, por isso a importância de um produto de qualidade e com atributos sensoriais atrativos (NORA, 2021). Para o pão integral já é esperado pelo consumidor uma coloração um pouco mais escura que o pão com farinha branca (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

Em relação ao parâmetro L*, do miolo (TABELA 5) F0 mostrou-se mais clara diferindo das formulações com FRSJ. A F3 diferiu da F9 e F5 e F7 mostraram valores intermediárias. Outros estudos também revelaram uma diminuição da luminosidade e conseqüente escurecimento, pois a presença relevante de pigmentos em tom escuro desses alimentos pode influenciar para uma menor luminosidade (SUI *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2020). Da mesma forma, Ferreira *et al.* (2020) elaboraram pães de forma integral com adição de farinha de casca de jabuticaba, e mostraram uma tendência de diminuição nos valores de L* do miolo à medida que a concentração da farinha não convencional aumentou, com os níveis decrescentes seguindo a sequência de 0%, 5%, 10% e 15%. Esses resultados demonstram que as formulações com inclusão de farinhas com pigmentos conferem uma menor luminosidade para o miolo do que as F0.

No parâmetro a* do miolo, que se refere a cor avermelhada, a F0 mostrou miolos menos avermelhados que o das formulações com FRSJ que não diferiram entre si. Este resultado mostra que a cor vermelha aumenta conforme a inclusão da FRSJ, mas não é diferente entre as formulações com mais ou menos quantidade de FRSJ. Isto parece sugerir que não há diferença na quantidade de tom avermelhado pois, as antocianinas podem ser totalmente degradadas independentemente da quantidade adicionada, ao final não mantém na cor vermelha. Provavelmente, ocorre mudanças químicas que transformam a antocianina na forma chalconas que conferem cor amarela (REYES; CISNEROS-ZEVALLOS, 2007; YANG *et al.*, 2008).

Tabela 5 – Colorimetria do miolo das formulações de pães com diferentes concentrações de farinha do resíduo de suco de jabuticaba (FRSJ).

Parâmetros Miolo	Concentração de FRSJ (%)					p-valor
	F0	F3	F5	F7	F9	
L*	62,90±2,56 ^a	43,06±0,95 ^b	41,47±0,68 ^{bc}	40,52±0,68 ^{cd}	39,15±0,79 ^d	3,8730
a*	3,50±1,17 ^b	7,53±0,25 ^a	6,675±0,37 ^a	7,125±0,35 ^a	7,20±0,32 ^a	4,1866
b*	17,83±1,42 ^a	8,22±0,32 ^b	7,66±0,39 ^b	7,96±0,26 ^b	7,82±0,25 ^b	1,0882
Hue	78,85±3,77 ^a	47,50±0,49 ^b	48,95±0,55 ^b	48,20±0,51 ^b	47,39±0,65 ^b	7,4649
Chroma	18,20±1,40 ^a	11,15±0,39 ^b	10,16±0,53 ^b	10,68±0,43 ^b	10,63±0,39 ^b	3,2076

Fonte: A autora (2023).

Legenda: Dados expressos como média ± desvio padrão (DP); Valores com letras iguais na mesma linha não diferem entre si estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\leq 0,05$); F0 = sem substituição por FRSJ; F3 = substituição por 3% de FRSJ; F5 = substituição por 5% de FRSJ; F7 = substituição por 7% de FRSJ; F9 = substituição por 9% de FRSJ.

Já o parâmetro b^* do miolo (TABELA 5), constatou que F0 apresentou-se mais amarelado, e diferiu significativamente das demais formulações com FRSJ que se apresentaram com valores menores e não diferiram entre si. Esses resultados estão em consonância com pesquisas anteriores, onde valores de b^* semelhantes foram observados em estudos envolvendo pães com a inclusão de enzimas e substituição da farinha de trigo branca pelo pó da casca e sementes de jabuticaba, e em pães enriquecidos com farinha da casca de jabuticaba, onde este último não encontrou diferença em relação a F0, provavelmente por usar farinha de trigo integral e não farinha branca como o presente estudo (FALLER *et al.*, 2023; FERREIRA *et al.*, 2020).

O parâmetro Hue do miolo (TABELA 5) na F0 apontou mais próximo do amarelo puro, e diferiu significativamente das demais formulações com FRSJ que se apresentaram com valores menores, aproximando-se do vermelho e não diferiram entre si. Observa-se uma tendência de que a adição de farinha com pigmentos escuros como a FRSJ diminua esses valores ficando as formulações mais próximas do tom vermelho e a F0 próxima ao amarelo puro (GOUVEA *et al.*, 2021).

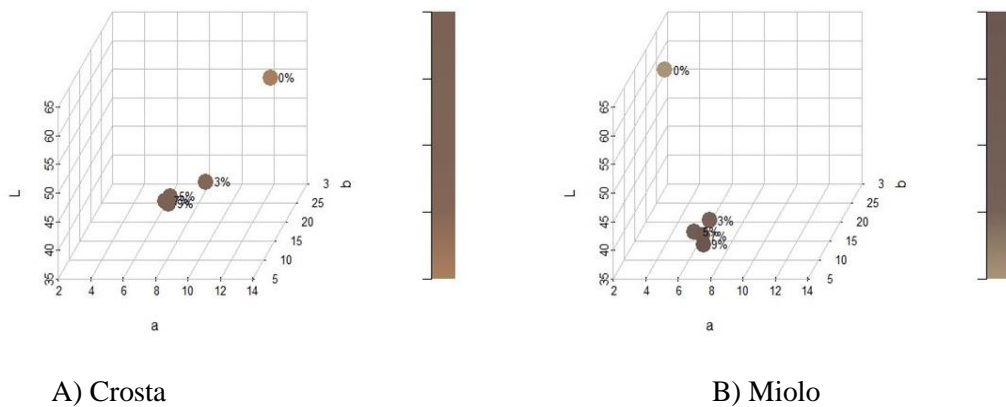
Sobre os valores de Chroma (C^*) do miolo (TABELA 5), F0 (18,20) apresentou diferença significativa em relação as formulações com FRSJ, formulações estas que não diferiram entre si e apresentaram com diminuída vivacidade da cor. A inclusão de outras farinhas diferentes da farinha de trigo pode alterar a rede de glúten. Sui *et al.* (2015) notaram uma diminuição dos valores de C^* em que conforme se prolonga o cozimento, o

desenvolvimento dessa rede conduz a uma estrutura mais dilatada, que faz com que a absorção de luz seja maior, derivando em uma menor intensidade da cor.

Miolo e crosta das formulações deste estudo demonstraram uma diminuição da saturação da cor com a presença de FRSJ nos pães, comparados a F0. Observou-se que a adição de FRSJ nos pães diminuiu os valores de Hue e Chroma, dados estes, encontrados também por Gouvea *et al.* (2020) em que a farinha de talo de beterraba contribuiu para redução da tonalidade e intensidade da cor.

Para uma melhor visualização, segue abaixo os diagramas (FIGURAS 7 e 8).

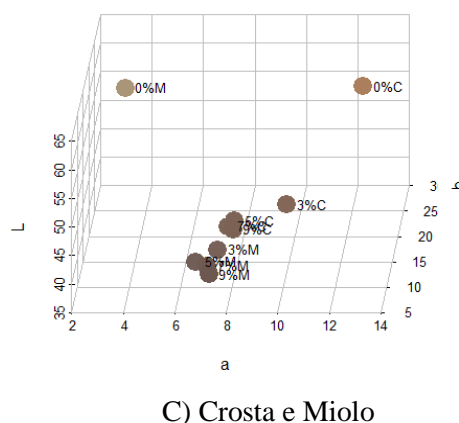
Figura 7 – Diagramas de dispersão em 3D (Sistema RGB - *Red- Green- Blue*) das formulações de pães com diferentes concentrações de farinha do resíduo de suco de jabuticaba (FRSJ).



Fonte: A autora (2023)

Legenda: L= luminosidade; a= parâmetro a*; b= parâmetro b*.

Figura 8 – Diagrama de dispersão em 3D (sistema RGB - *Red- Green- Blue*) das formulações de pães com diferentes concentrações de farinha do resíduo de suco de jabuticaba (FRSJ).



Fonte: A autora (2023).

Legenda: L= luminosidade; a= parâmetro a*; b= parâmetro b*.

Como as antocianinas são termicamente instáveis, aquelas presente no miolo parecem ser menos degradadas termicamente do que da crosta. Tomando por base que a cor vermelha se refere a presença de antocianinas, ao se comparar os valores de a^* de crosta e miolo, observa-se valores maiores na casca do que no miolo até a concentração de 3%. Depois, os valores mantêm-se similares. Talvez possa haver uma degradação da antocianina de forma lenta até essa concentração e depois já se perde essa coloração avermelhada.

4.2.1.3 Características tecnológicas e Perda de peso no forneamento

A análise dos aspectos tecnológicos dos pães e percentual de perda de peso após forneamento (% PPF) estão expressas na Tabela 6.

Em se tratando do volume específico, F3 apresentou a maior média e diferiu de F9 e F5, sendo esta última a que apresentou menor volume específico. A F0 apresentou resultados intermediários e não diferiu de nenhuma das amostras (TABELA 6). Embora com pequenas variações nas médias, o volume dos pães, incluindo F0 mantiveram-se entre 2 e 3, valores estes próximos ao encontrado por outros pães com inclusão de farinha de frutas que também diminuíram conforme a concentração de farinha não convencional (SANTOS *et al.*, 2018; ANDRADE *et al.*, 2018).

Tabela 6 – Características tecnológicas e percentual de perda de peso após forneamento das formulações de pães com diferentes concentrações de farinha do resíduo de suco de jabuticaba (FRSJ).

Parâmetros	Concentração de FRSJ (%)					p-valor
	F0	F3	F5	F7	F9	
Vol. especif.	2,76±0,30 ^{ab}	2,93±0,02 ^a	2,59±0,13 ^b	2,76±0,04 ^{ab}	2,63±0,18 ^b	0,0121
Densidade	0,36±0,04 ^{ab}	0,34±0,00 ^b	0,38±0,02 ^a	0,36±0,00 ^{ab}	0,38±0,03 ^a	0,0184
% PPF	7,67±1,25 ^b	10,30±1,39 ^a	10,53±1,78 ^a	11,54±1,15 ^a	9,72±1,24 ^{ab}	0,0010

Fonte: A autora (2023).

Legenda: Dados expressos como média ± desvio padrão (DP); Valores com letras iguais na mesma linha não diferem entre si estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\leq 0,05$); F0 = sem substituição por FRSJ; F3 = substituição por 3% de FRSJ; F5 = substituição por 5% de FRSJ; F7 = substituição por 7% de FRSJ; F9 = substituição por 9% de FRSJ.

O volume específico é um critério para a qualidade da rede de glúten e a eficácia em manter os gases formados durante o sistema de fermentação. A diminuição do volume específico

e o aumento de sua dureza estão associados à diluição do glúten com as outras farinhas, causando enfraquecimento da estrutura proteica (SEGUNDO *et al.*, 2017; CORREA *et al.*, 2017). Parece haver uma tendência a diminuição do volume com a adição de FRSJ, porém F0 que não tem FRSJ, mostra-se com valor intermediário as formulações com a presença da mesma.

Em relação a densidade, F3 obteve média de menor densidade e diferiu de F5 e F9, as maiores. A F0 apresentou valores intermediários e não diferiu de nenhuma das formulações. Resultados parecidos aconteceram com pães adicionados de farinha de sementes e cascas do mamão (SANTOS *et al.*, 2018). Já a pesquisa de Marinho *et al.* (2021) em pão integral com farinha de banana verde não obteve diferença significativa entre as formulações, mas, assim como neste estudo, densidade e volume se mostraram inversamente proporcionais.

O volume específico e a densidade expressam o elo entre o teor de sólidos e a fração de ar existente no miolo. Uma maior inclusão de farinha à formulação torna o produto mais pesado, propiciando aumento na densidade e restrição do volume específico. Os consumidores demonstram preferência por pães mais leves, logo, aqueles com menor densidade são mais aprovados (SANTOS *et al.*, 2018). Desta forma, os pães do presente estudo apresentaram valores semelhantes a F0 e isto se mostra como um resultado promissor na inclusão desta farinha com propriedades bioativas e mantendo características de qualidade importantes para este produto.

Para o percentual de perda de peso no forneamento (TABELA 6), foi visto que F3, F5, F7, F9 não obtiveram diferença entre si, entretanto, F9 não diferiu de F0, formulação esta que menos apresentou perda de peso. Dessa forma, foi observado que houve uma ascensão no valor de perda de peso das formulações, porém quando a concentração de FRSJ atingiu valor mais alto, essa perda de peso declinou.

A qualidade final dos pães é influenciada pela perda de massa que ocorre durante o processo de assamento, já que evidencia como os ingredientes podem interferir na retenção de água. As perdas durante a cocção devem-se à evaporação de líquidos, especialmente a água. Desse modo, quanto menor a perda na cocção, maior tende a ser o rendimento do pão (MOURA *et al.*, 2021; MARTINS *et al.*, 2021; ANDRADE *et al.*, 2018).

Santos *et al.* (2018) notaram que as amostras com adição de farinha mista tiveram perda significativa menores pós cocção em comparação com sua amostra controle. Essa diferença pode ter acontecido devido a inclusão da farinha mista que, provavelmente, tem maior propriedade de absorção de água e, portanto, menor quantidade de água livre disponível na massa (TEBBEN *et al.*, 2018).

Esses resultados de perda por cocção atestam a eficiência da incorporação de maiores concentrações de farinhas ou grãos em formulações de produtos de panificação, em particular de pães, promovendo maior rendimento aos produtos, pertinente a capacidade da massa em reter água durante o forneamento (TEBBEN *et al.*, 2018).

4.2.2 Determinação de extrato para compostos bioativos (fenólicos)

As matrizes vegetais e a natureza química do composto a ser recuperado são fatores que determinam o método de extração mais adequado, sendo importante salientar que devem ser adotados critérios de seleção (BELWAL *et al.*, 2018).

Uma amostra de pão produzido para o teste piloto com o maior percentual de FRSJ, ou seja, de 9%, foi utilizada. Essa escolha foi feita com a expectativa de possibilitar uma detecção mais significativa dos CB e, conseqüentemente, uma melhor visualização dos dados. A partir dessa amostra, foram avaliados os quatro métodos de extração escolhidos. Identificou-se que o método 1 (M1) apresentou a maior quantidade de fenólicos totais (1929,59 µg/g), não diferindo significativamente do método 2 (M2) (1685,53 µg/g). O M2 não diferiu do método 3 (M3) (1390,71 µg/g), mas se diferiu do método 4 (M4) (865,58 µg/g), que por sua vez apresentou a menor média diferindo de todos os demais (TABELA 7).

Tabela 7 – Média dos métodos de extração na quantificação de fenólicos totais da formulação de pão de forma com 9% de substituição de farinha de trigo branca por FRSJ.

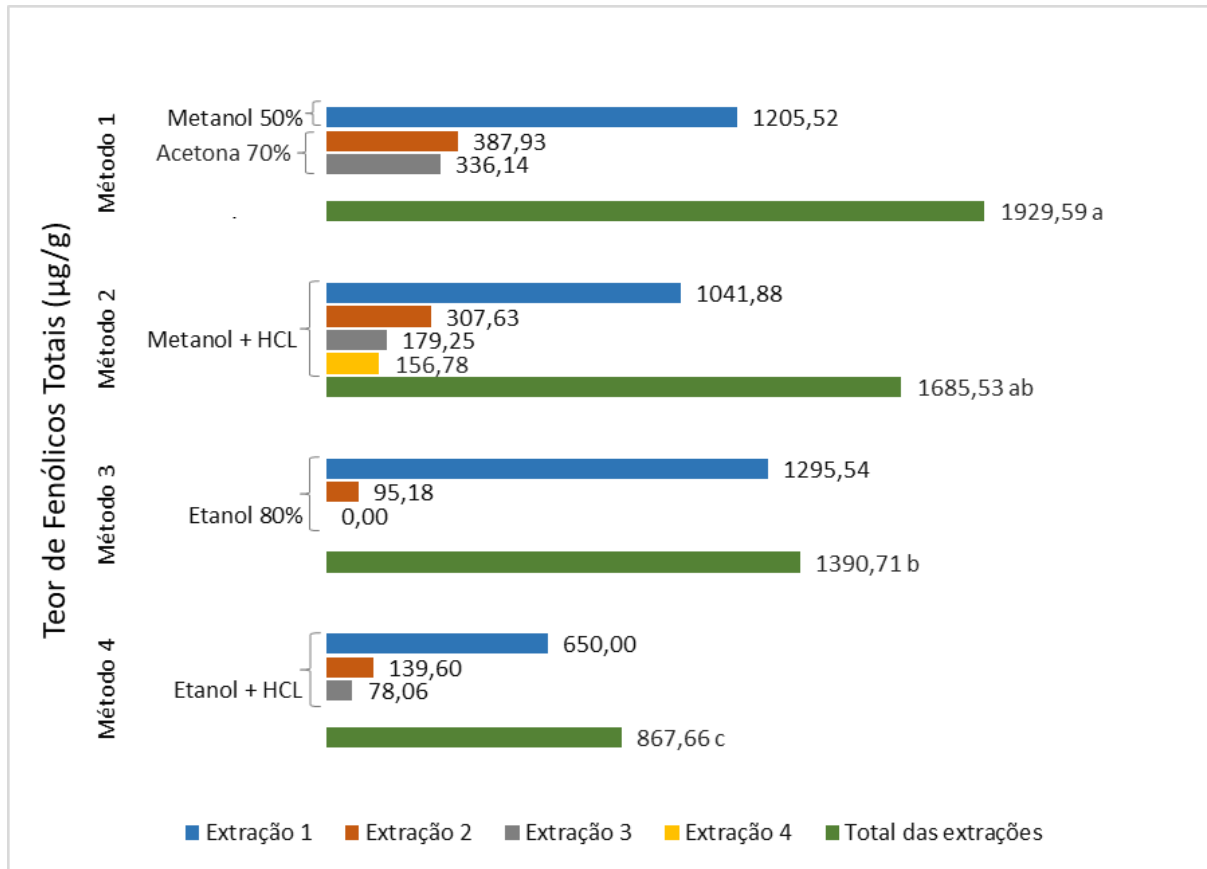
Método	Média total das extrações (µg/g)
M1	1929,59±467,87 ^a
M2	1685,53±418,97 ^{ab}
M3	1390,71±848,78 ^b
M4	865,58±313,96 ^c

Fonte: A autora (2023).

Legenda: Dados expressos como média ± desvio padrão (DP); Valores com letras iguais na mesma coluna não diferem entre si estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\leq 0,05$); M1 = metanol e acetona; M2 = metanol e HCl; M3 = etanol 80%; M4 = etanol e HCl.

O método escolhido para determinação de fenólicos totais, foi o M1, pois se diferiu de todos os demais métodos (M3 e M4) e ao analisar individualmente as três extrações realizadas, o método 1 apresentou maior quantidade de fenólicos totais que os demais e com uma etapa de extração a menos (FIGURA 9).

Figura 9 – Teor de fenólicos totais determinados nos diferentes extratos, para seleção do método de extração mais eficaz na quantificação destes compostos em formulações de pães de forma.



Fonte: A autora (2023).

Legenda: Valores com letras iguais na linha verde, não diferem entre si estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\leq 0,05$); Total das extrações = soma de todas as extrações feitas para aquele método.

Embora, o M1 ter sido selecionado devido a sua maior sensibilidade na extração de compostos fenólicos totais, este método não foi sensível para determinação de antocianinas. O que se justifica-se pela baixa acidez do extrato, dado que as antocianinas são mais estáveis em ambiente de pH baixo. Assim, é importante utilizar soluções ácidas para realizar sua extração de forma mais eficiente (ONGKOWIJOYO *et al.*, 2018; INADA *et al.*, 2021). Dessa forma, selecionou-se o M4 (Etanol + HCl) para obtenção de extratos para a determinação analítica das antocianinas, a partir do qual o etanol é parcialmente acidificado com ácido clorídrico. A adição de ácidos a solventes polares, como o etanol por exemplo, aprimora a penetração nos tecidos vegetais e aumenta a estabilidade dos extratos, prevenindo o crescimento de fungos que podem deteriorar as antocianinas (GALVÃO *et al.*, 2020).

A extração de compostos fenólicos, está sujeito a alguns fatores como parte da amostra em questão, a técnica analítica empregada, os solventes utilizados, o tempo de extração,

tamanho da partícula, presença de substâncias interferentes, e seus resultados podem sofrer variações quando uma ou outra conduta é utilizada para a mesma amostra inicial. Como efeito, é necessário ajustar os métodos descritos em estudos preexistentes ao alimento de interesse de forma a alcançar resultados mais assertivos (AMEER *et al.*, 2017; MUJICA *et al.*, 2009; MARSIGLIA *et al.*, 2023).

Na presente pesquisa, o alimento analisado foi o pão, que de forma distinta dos vegetais *in natura*, possui uma composição complexa que pode interagir com os compostos fenólicos de maneira única. Portanto, a seleção do método de extração de compostos fenólicos para produtos de panificação deve ser feita levando em consideração a composição, processamento e características intrínsecas do próprio pão, a fim de preservar sua bioatividade e estabilidade, incluindo ainda, que a escolha do solvente esteja em conformidade com a natureza química dos compostos pretendidos (BARTL *et al.*, 2015; AMEER *et al.*, 2017).

Comumente para extração de CB são empregados solventes metanol, etanol, acetona, ácido clorídrico, fórmico, acético, cítrico, dentre outros, de forma isolada ou com combinações (INADA *et al.*, 2021). Os solventes metanol e acetona (usados no M1) são de natureza polar o que os fazem altamente eficazes na dissolução de uma ampla gama de compostos orgânicos, incluindo os bioativos. Sua capacidade de solubilizar categorias como flavonoides, fenólicos e alcaloides, mais sua estabilidade e baixa volatilidade, torna-os ideais para extrações prolongadas. Além disso, após a extração, podem ser evaporados, resultando em compostos bioativos concentrados, o que os torna indicados para técnicas analíticas subsequentes como cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) e espectrofotometria (OLIVEIRA *et al.*, 2018; MOHAMMADABADI *et al.*, 2022; MARSIGLIA *et al.*, 2023).

Um método de extração adequado é fundamental para identificação dos CB, que por sua vez, serão úteis no estabelecimento das relações destes compostos para saúde humana, para determinação dos níveis de ingestão seguros e para que a comunidade científica possa descrever com mais fidedignidade a composição de bioativos de um alimento, a fim de que o ramo de alimentos funcionais avance na pesquisa e também na indústria (LUTHRIA, 2006; RAVIKUMAR *et al.*, 2022). Ademais, para complementação destas informações, recomenda-se testes *in vitro* de bioacessibilidade (que avalia as mudanças nos perfis dos CB antes da absorção) e biodigestibilidade (capacidade do corpo de digerir e absorver efetivamente os nutrientes de um alimento durante o processo digestivo).

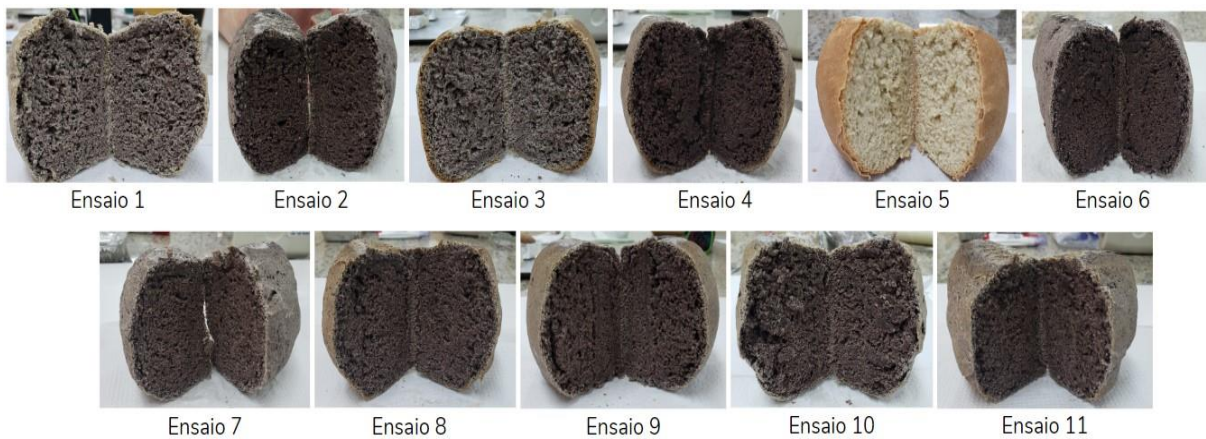
Atualmente, estão em curso pesquisas sobre novas abordagens visando combinar maior eficiência de extração, rapidez, custos reduzidos e implementação simplificada do método (BELWAL *et al.*, 2018; AMEER *et al.*, 2017).

4.3 OTIMIZAÇÃO DAS FORMULAÇÕES DOS PÃES PELO DELINEAMENTO COMPOSTO CENTRAL ROTACIONAL (DCCR)

4.3.1 Análises de colorimetria e características tecnológicas

A figura 10 apresenta os pães produzidos nos diferentes ensaios, conforme o proposto pelo planejamento experimental.

Figura 10 – Formulações de pães de forma elaborados com diferentes graus de substituição de farinha de trigo branca por FRSJ e temperatura de assamento.



Fonte: A autora (2023).

Após a coleta dos dados de colorimetria e características tecnológicas (Apêndice A) os resultados foram incluídos como variáveis respostas no programa de planejamento experimental para avaliar seus parâmetros (L^* , a^* , b^* , Hue e Chroma da crosta e do miolo, volume específico, densidade e perda de peso após o forneamento). Essa abordagem foi adotada para enriquecer as informações disponíveis, permitindo uma análise mais abrangente dos efeitos das variáveis investigadas. Além disso, esses parâmetros foram correlacionados com a presença de compostos bioativos, tais como fenólicos totais, flavonoides totais, antocianinas e potencial antioxidante, frente as superfícies de resposta geradas. Isso contribuiu para uma compreensão mais completa dos resultados, colaborando na seleção de uma ou mais formulações de pão otimizado.

A cor atraente e estável é importante propriedade sensorial dos alimentos. Alterações no processo de fabricação de pães, como tempo de mistura e fermentação, tempo e temperatura de assamento e condições de armazenamento, se relacionam aos atributos envolvidos na

qualidade dos pães, a saber: volume, textura e cor da casca e do miolo (BERWING *et al.*, 2018; SCHEUER, 2016).

Notou-se que a colorimetria seguiu o mesmo comportamento discutido no tópico 4.2, onde os dados do teste piloto foram discutidos. Os parâmetros colorimétricos demonstraram relação com o aumento do grau de substituição de FRSJ. De forma, que na crosta, o parâmetro L sofreu diminuição da luminosidade e aumento do escurecimento, já os parâmetros a^* e b^* mantiveram cores próximas do marrom avermelhado e marrom amarelado, respectivamente. O Chroma (C^*) também mostrou os mesmos resultados em relação à diminuição da saturação mostrando cor menos intensa.

Entretanto, no parâmetro Hue, a temperatura apresentou relação com o grau de substituição de FRSJ. Constatou-se que a tonalidade da cor se tornou mais próxima do amarelo puro em temperaturas mais baixas. Por outro lado, em concentrações mais elevadas de FRSJ, temperaturas mais altas foram responsáveis por essa aproximação ao amarelo puro (FIGURA 11). Sui *et al.* (2015) em seus estudos, notaram que, na crosta, as reações enzimáticas e reações de Maillard, são mais frequentes, devido a temperatura estar incidindo de forma mais direta e intensa do que no miolo. Isso leva a obtenção de uma crosta com uma tonalidade mais amarelada em temperaturas mais amenas, pois sofrerá menor impacto das reações (PURLIS; SALVADORI, 2007; SUI *et al.*, 2015).

No que diz respeito aos miolos, o parâmetro L^* continuou a apresentar diminuição da luminosidade e aumento do escurecimento, o parâmetro b^* cores próximas ao marrom amarelado, Hue e Chroma com redução da tonalidade e intensidade da cor, respectivamente.

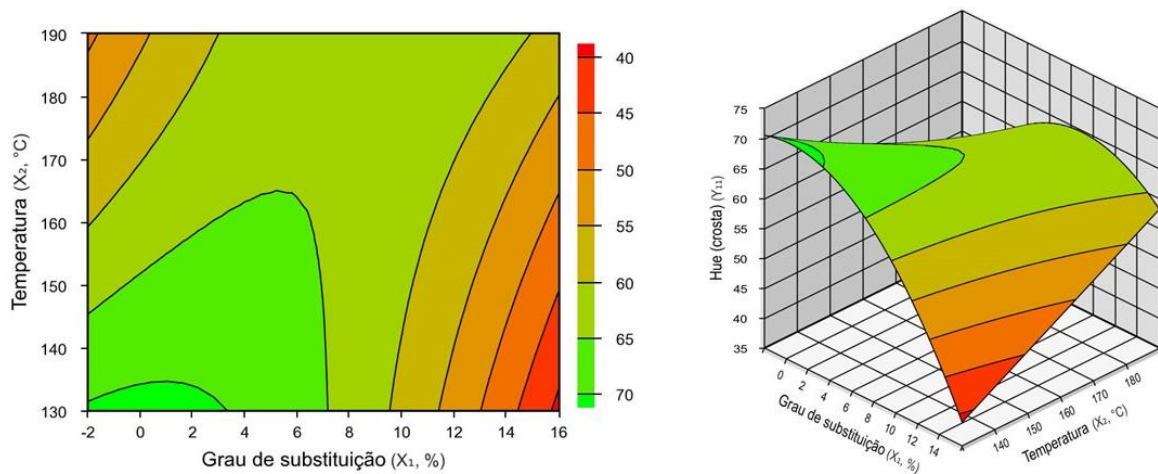
Todavia, no parâmetro a^* , a temperatura apresentou relação com o grau de substituição de FRSJ, em que os miolos dos pães com FRSJ revelaram propensão a cor mais avermelhada, conforme aumento da farinha e exposição a maiores valores de temperaturas (FIGURA 12). Apesar disso, nas concentrações mais extremas essa cor não se manteve ao final do tempo de assamento, possivelmente por um deslocamento do equilíbrio das antocianinas para a forma tautomérica aberta, conhecida como chalconas incolor, provocado por elevadas temperaturas (OANCEA, 2021).

A partir das informações experimentais das duas variáveis mencionadas que geraram superfície de resposta Hue da crosta e a^* do miolo, foram estabelecidos modelos de regressão ajustados que se relacionam com as duas condições experimentais utilizadas.

A adequação dos modelos pode ser avaliada através dos coeficientes de determinação (R^2), que explicam a variação total das respostas em 88,97% e 85,50% para Hue da crosta e a^* do miolo, respectivamente, e falta de ajuste não significativa ($p = 0,33397$ relativo ao Hue da

crosta; $p = 0,10043$ relativo ao a^* do miolo). Com base nesses desfechos, os modelos foram capazes de prever o comportamento das respostas dentro da faixa de variação investigada.

Figura 11 – Curvas de contorno e superfície de resposta de interação das variáveis grau de substituição de farinha de trigo branca por FRSJ e temperatura de assamento, em razão do parâmetro Hue da crosta em formulações de pães de forma.



A) Curvas de contorno

B) Superfície de resposta

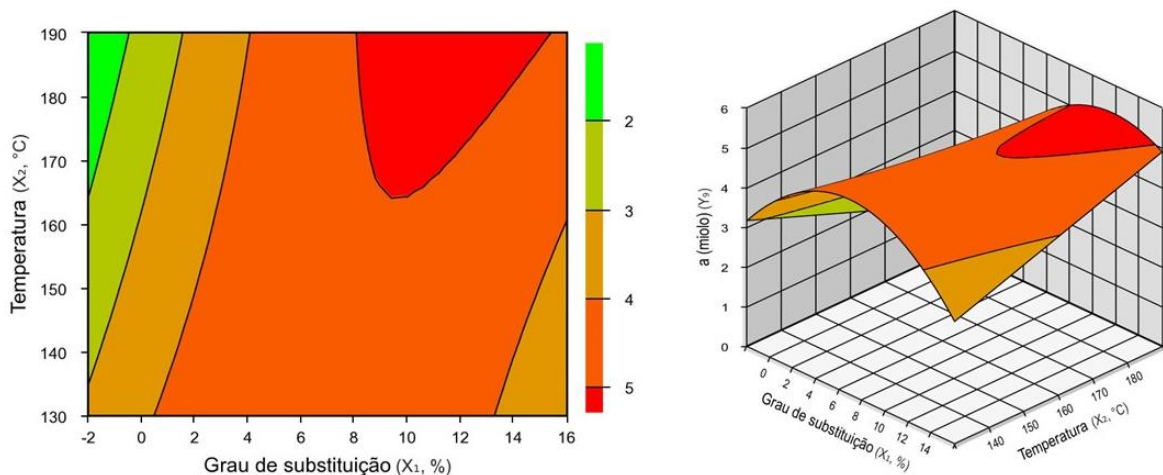
Fonte: A autora (2023).

Legenda: Função $y = 64,39 - 4,01 x_1 - 3,70 x_1^2 + 4,23 x_1 x_2$

x_1 = grau de substituição de FRSJ (%).

x_2 = temperatura de assamento (°C).

Figura 12 – Curvas de contorno e superfície de resposta de interação das variáveis grau de substituição de farinha de trigo branca por FRSJ e temperatura de assamento, em razão do parâmetro a^* do miolo em formulações de pães de forma.



A) Curvas de contorno

B) Superfície de resposta

Fonte: A autora (2023).

Legenda: Função $y = 4,90 + 0,43 x_1 - 0,63 x_1^2 + 0,40 x_1 x_2$

x_1 = grau de substituição de FRSJ (%).

x_2 = temperatura de assamento (°C).

Sui *et al.* (2015) em seus estudos, notaram que, na crosta, reações enzimáticas e reações de Maillard, devido a temperatura estar incidindo de forma mais direta e intensa, são mais frequentes que no miolo. Isso faz com que a crosta obtenha uma tonalidade mais amarelada com temperaturas mais amenas, pois sofrerá menor impacto das reações (PURLIS; SALVADORI, 2007; SUI *et al.*, 2015).

O estágio inicial do cozimento pode ser considerado uma fase de retardo, pois a superfície dos pães não terá condições suficientes e adequadas para a ocorrência das reações de escurecimento, como a temperatura ainda instável decorrente do pré-aquecimento. Entretanto, no estágio mais avançado ou prolongado, as reações de Maillard e a caramelização se iniciam levando ao escurecimento da crosta, o que também se aplica ao interior dos miolos que levam mais tempo para atingir a temperatura final (PURLIS; SALVADORI, 2009).

Neste estudo, o miolo tende a adquirir uma cor marrom avermelhada com maior concentração de FRSJ, entretanto, um estudo controlado por Oancea (2021), informa que em temperaturas elevadas, essas condições podem favorecer reações químicas que levam a degradação dos pigmentos presentes, como as antocianinas. É possível que a temperatura mais alta utilizada neste estudo, que foi de 190°C, não tenha sido suficiente para causar uma

extrema degradação, em hipótese, pois ainda se detecta antocianinas nestas temperaturas, como será mostrado na etapa a seguir. Assim, parece haver uma mistura de pigmentos relativos as antocianinas em tom avermelhado e também relativos aos compostos de reação de Maillard e caramelização.

Foi observado um comportamento distinto das antocianinas em produtos alimentícios durante o processamento térmico, devido à interação com nutrientes como proteínas e polissacarídeos, isso pode ter ocorrido em nosso estudo, o qual foi observado que nas concentrações mais extremas de FRSJ em menores temperaturas, demonstraram cor marrom menos avermelhado. Garantir as condições térmicas adequadas no processamento de alimentos ricos em antocianinas possibilitará um planejamento racional para futuros produtos estáveis, que preservam em grande parte desses compostos e suas funcionalidades, bem como retenção da cor (OANCEA, 2021).

Na maioria dos processos industriais de alimentos, é necessário utilizar altas temperaturas, especialmente para garantir a segurança alimentar e aumentar a durabilidade dos produtos. A temperatura empregada durante o processo é um fator crucial que afeta a estrutura dos alimentos, ocasionando mudanças em compostos sensíveis ao calor, como as antocianinas. Essas mudanças podem promover compostos de coloração amarelada e, juntamente com os escuros da reação de Maillard, promovem essa coloração marrom avermelhada escura. Estas modificações estão diretamente relacionadas à intensidade e à duração do aquecimento (BARTL *et al.*, 2015; OANCEA, 2021).

Já em se tratando das características tecnológicas dos pães, o volume específico manteve tendência a diminuição com o acréscimo da FRSJ e a densidade inversamente proporcional a ele.

A perda de peso após forneamento não sofreu aumento das médias registradas anteriormente, e nota-se que esse parâmetro foi influenciado somente pela variável temperatura, não apresentando relação direta com o grau de substituição de FRSJ, o que corrobora com os dados do teste piloto, em que as formulações não diferiram significativamente entre si com o aumento do percentual da FRSJ. Essa perda ocorre como o esperado, visto que em temperaturas mais elevadas, os líquidos presentes nos alimentos tendem a evaporar (MARTINS *et al.*, 2021).

4.3.2 Determinações Analíticas

4.3.2.1 Fenólicos totais e Flavonoides totais

Diante dos pães produzidos conforme o planejamento experimental empregando o DCCR, foi possível obter os seguintes resultados, conforme a Tabela 8.

Tabela 8 – Efeito do grau de substituição parcial de farinha de trigo branca por FRSJ e temperatura de assamento sobre teor de fenólicos totais e flavonoides totais em formulações de pães de forma.

Ensaio	Subst. farinha de trigo por FRSJ (%)	Temperatura (°C)	Fenólicos totais (mg GAE/g)	Flavonoides totais (mg CAT/g)
1	2,18	139	1,42	0,10
2	12,82	139	2,93	0,17
3	2,18	181	1,24	0,13
4	12,82	181	3,05	0,19
5	0,00	160	0,83	0,06
6	15,00	160	2,80	0,26
7	7,50	130	1,76	0,12
8	7,50	190	1,74	0,14
9	7,50	160	1,76	0,15
10	7,50	160	1,76	0,13
11	7,50	160	1,84	0,12

Fonte: A autora (2023).

Legenda: mg GAE/g = miligramas de equivalentes de ácido gálico por grama de amostra.

mg CAT/g = miligramas de equivalentes de catequinas por grama de amostra.

Em se tratando dos compostos fenólicos totais, os maiores valores médios foram porcentagens 15% à 160°C, 12,82% à 139°C e 12,82% à 181°C (2,80, 2,93 e 3,05 mg GAE/g, respectivamente).

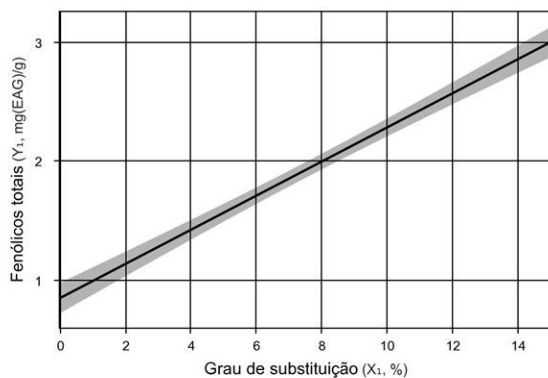
O modelo ajustado mostrou-se significativo para o grau de substituição de FRSJ (x_1 p-valor = 0,0001) relacionado a estes compostos, o que revela que a concentração de FRSJ é proporcional ao teor de fenólicos totais (FIGURA 13), bem como a significância do modelo de regressão (p-valor = 0,00001). Foi observada também uma falta de ajuste significativa (p-valor = 0,03453), sugerindo que o modelo não foi capaz de elucidar alguns aspectos, isto é, outro fator ou variável não considerada por ele, pode estar afetando.

Contudo, o coeficiente de determinação (R^2) foi de 91,61%, apontando que uma alta porcentagem das variações de fenólicos totais podem ser explicados pelo grau de substituição de farinha de trigo branca por FRSJ.

No que se refere aos flavonoides totais, a maior concentração foi detectada em ordem crescente na formulação com porcentagens de FRSJ de 12,82% (139°C) com 0,17 mg CAT/g, 12,82% (181°C) com 0,19 mg CAT/g e 15% (160°C) com 0,26 mg CAT/g. Ademais, observa-se que como esperado, o pão controle apresentou os menores valores de flavonoides totais (0,06 mg CAT/g).

O modelo ajustado indicou-se significativo para o grau de substituição de FRSJ ($x_1 = p$ -valor = 0,0002) confirmando que a concentração de FRSJ é proporcional ao teor de flavonoides totais encontrados (FIGURA 13). O modelo de regressão apresentou significância estatística com p -valor = 0,00023. A adequabilidade do modelo pode ser vista pelo coeficiente de determinação (R^2), que explica 79,44% da variância total da resposta e pela sua falta de ajuste não significativa (p -valor = 0,26622).

Figura 13 – Modelo de regressão linear da interação das variáveis grau de substituição de farinha de trigo branca por FRSJ e temperatura de assamento, em razão de fenólicos totais e flavonoides totais em formulações de pães de forma.

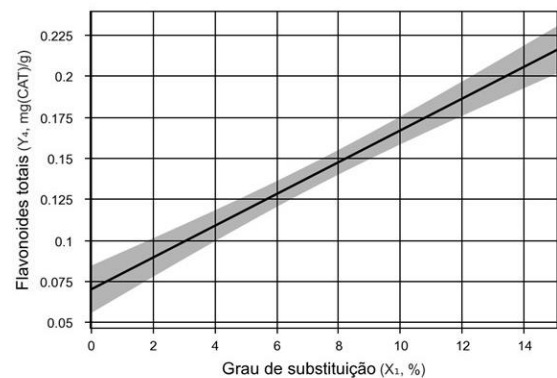


A) Fenólicos totais

Fonte: A autora (2023).

Legenda: Função $y = 1,92 + 0,76 x_1$

x_1 = grau de substituição de FRSJ (%)



B) Flavonoides totais

Fonte: A autora (2023).

Legenda: Função $y = 0,14 + 0,05 x_1$

x_1 = grau de substituição de FRSJ (%)

Um estudo que avaliou o efeito da temperatura de cozimento no conteúdo fenólico e atividade antioxidante de pão de milho preto produzido com a farinha de milho preto, água e

fermento, encontrou para fenólicos totais, um valor de 0,48 mg GAE/g no pão que foi submetido à uma temperatura de assamento de 150°C por 60 min (BLANCH; DEL CASTILHO, 2021).

Esse resultado contrasta com o da presente pesquisa, já que todos os ensaios, inclusive o pão controle, apresentaram valores superiores (0,86 a 3,05 mg GAE/g), mesmo utilizando na formulação do pão, parte de farinha de trigo convencional. Esses níveis mais elevados podem estar ligados ao processo de produção, natureza da farinha utilizada, bem como interação com outros ingredientes, tais fatores podem influenciar na quantidade dos compostos em análise (GARCÍA-LOMILLO; GONZÁLEZ-SANJOSE, 2017).

É conhecido que as condições de cozimento também podem levar a degradação de compostos termossensíveis (ELIÁŠOVÁ *et al.*, 2020). Neste estudo, alguns pães foram assados em temperaturas mais elevadas, mas ficaram expostos ao forno por um tempo menor (22 minutos) em comparação aos pães de milho preto.

Já Ferreira *et al.* (2020) encontraram em seus pães com adição de farinha da casca de jabuticaba, teores de fenólicos totais de 3,03 mg GAE/g; 4,06 mg GAE/g; 4,54 mg GAE/g a 5%, 10%, 15 %, respectivamente. Esses valores são próximos aos teores de fenólicos totais encontrados nos pães com FRSJ do presente estudo, onde nas maiores concentrações (12,82 e 15%) atingiram valores mais elevados de 3,05 e 2,80 mg GAE/g, respectivamente.

Contudo, os compostos fenólicos encontrados na formulação com 12,82% de substituição foram cerca de três vezes maiores quando comparados à formulação controle. Esse aumento significativo na concentração de compostos fenólicos pode ser atribuído a incorporação de FRSJ na formulação dos pães, evidenciando o impacto positivo dessa substituição na quantidade de fenólicos totais presentes no produto final.

Um estudo de Tolve *et al.* (2020) que substituíram parcialmente a farinha branca por farinha do bagaço de uva em pães assados a 170°C por 65 minutos, nas porcentagens de substituição de 0, 5 e 10%, encontraram respectivamente 0,29 mg GAE/g, 1,01 mg GAE/g e 2,07 mg GAE/g, valores proporcionais ao encontrado para fenólicos na presente pesquisa (0% FRSJ a 160°C = 0,83 mg GAE/g; 7,5% FRSJ a 160°C = 1,76 mg GAE/g e 15% FRSJ à 160°C = 2,80 mg GAE/g).

Já no que se diz respeito ao conteúdo de flavonoides totais, um estudo realizado com pão acrescido de farinha de pimentão vermelho, assado à 230°C por 25 minutos, encontrou no pão controle 0,13 mg/g, valor cerca de duas vezes maior do que o encontrado nessa presente pesquisa. Além disso, o pão que apresentou maior concentração dentre os níveis de substituição estudados pelos autores (2, 4, 6, 8 e 10%), foi o pão com 6% de farinha de pimentão vermelho,

com 0,45 mg/g (KAUR *et al.*, 2020), enquanto o maior valor de flavonoides totais encontrados em nosso estudo alcançou 0,26 mg/g na concentração de 15% de FRSJ.

Estes resultados, podem ser explicados, em tese, pela diferença na composição de CB nas diferentes matrizes alimentares avaliadas (jabuticaba / pimentão vermelho), pois sabe-se que o pimentão apresenta como principais componentes, os carotenoides, que são responsáveis por conferir a cor vermelha, fenóis e flavonoides, enquanto a jabuticaba, apresenta como principais CB, além dos flavonoides e polifenóis, o ácido gálico, ácido elágico e as antocianinas (KAUR *et al.*, 2020; NEVES *et al.*, 2021).

Kaur *et al.* (2020) executaram um processo de otimização com pré tratamentos e temperaturas de secagem do pimentão vermelho. Isso pode ter contribuído para uma farinha com melhor retenção bioativa e conseqüente menor perda dos CB como flavonoides, mesmo com o processamento do pão. Isso corrobora com os resultados encontrados por Seetal (2011), em que os fenóis presentes na farinha retiveram a maior parte da sua atividade após o cozimento.

Marquetti *et al.* (2018) ao utilizar farinha da casca de jabuticaba para preparação de biscoitos, em que substituiu-se parcialmente a farinha de trigo integral pela farinha da casca da fruta nas proporções de 2,5; 5 e 7,5% encontraram valores de 0,15 mg CAT/g, 0,16 mg CAT/g e 0,18 mg CAT/g respectivamente, o que se assemelha os teores encontrados por esta presente pesquisa, já que na porcentagem de 2,18% FRSJ à 181°C foi encontrado 0,13 mg CAT/g, na porcentagem de 7,5% FRSJ a 160°C foi encontrado 0,15 mg CAT/g e o de 12,82% FRSJ foi a 181°C foi encontrado 0,19 mg CAT/g.

Salienta-se que o teor de flavonoides foi proporcional à porcentagem de FRSJ nas formulações e para além disso, a formulação controle obteve 0,06 mg CAT/g, que embora seja baixo, sugere que os compostos derivados das reações de Maillard e substâncias que podem ser lidas e detectadas no mesmo comprimento de onda dos flavonoides, podem ter contribuído para este achado (MARQUETTI *et al.*, 2018).

4.3.2.2 Antocianinas totais

A determinação do teor de antocianinas apresentou relação com o grau de substituição de FRSJ e temperatura, os dados estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Efeito do grau de substituição parcial de farinha de trigo branca por FRSJ e temperatura de assamento sobre teor de antocianinas totais em formulações de pães de forma.

Ensaio	Subst. farinha de trigo por FRSJ (%)	Temperatura (°C)	Antocianinas totais (mg C3G/g)
1	2,18	139	11,68
2	12,82	139	27,27
3	2,18	181	7,11
4	12,82	181	32,99
5	0,00	160	0,00
6	15,00	160	45,88
7	7,50	130	19,21
8	7,50	190	16,85
9	7,50	160	24,33
10	7,50	160	25,88
11	7,50	160	23,94

Fonte: A autora (2023).

Legenda: mg C3G/g = miligramas de equivalentes de cianidina-3-glicosídeo por grama de amostra.

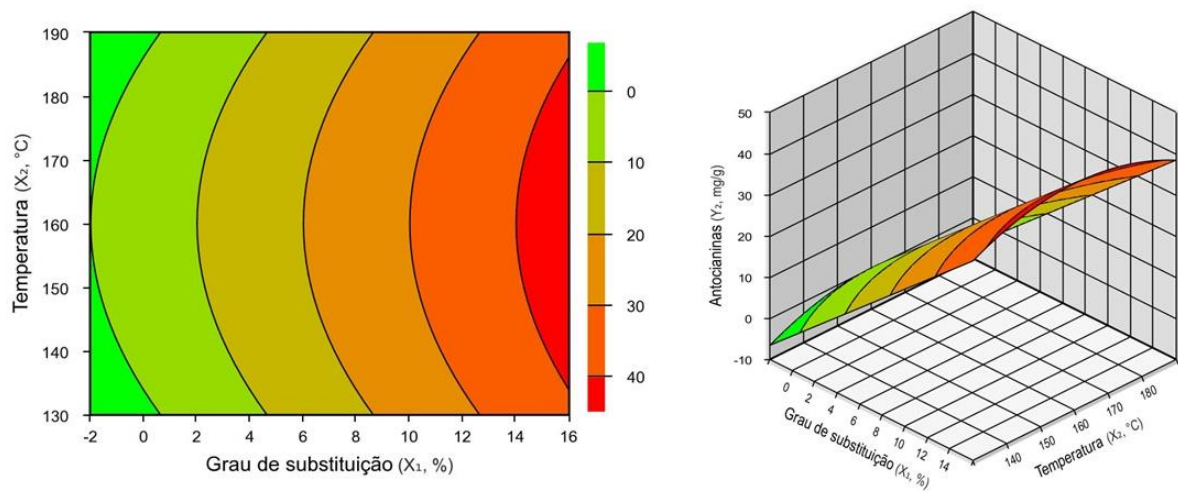
Observa-se que o teor de antocianinas sofreu influência do grau de substituição de FRSJ e da temperatura de assamento (FIGURA 14). Conforme aumentava-se a porcentagem de FRSJ, aumentava-se o teor de antocianinas, já que os maiores valores encontrados, foram em ordem crescente, 12,82% a 139°C com 27,27 mg C3G/g, 12,82% a 181°C com 32,99 mg C3G/g e 15% a 160°C com 45,88 mg C3G/g.

Contudo, essa mesma relação não foi identificada em níveis extremos de temperatura, onde foi possível observar uma redução da quantidade deste composto, como pode ser observado nos ensaios com 7,5% de FRSJ, em que na temperatura mais baixa testada (130°C) apresentou 19,21 mg C3G/g, enquanto na maior temperatura (190°C) apresentou 16,85 mg C3G/g, em comparação a mesma porcentagem de 7,5% a 160°C (média 24,72 mg C3G/g). Os resultados ainda mostraram que os níveis de temperaturas intermediárias, entre os estudados, proporcionaram uma maior estabilidade das antocianinas.

O modelo ajustado mostrou-se significativo para o grau de substituição de FRSJ e temperatura ($x_1 = p\text{-valor} = 0,0001$ e $x_2^2 = p\text{-valor} = 0,0514$, respectivamente). Além disso, o modelo de regressão também foi significativo ($p\text{-valor} = 0,00002$) com falta de ajuste não significativa ($p\text{-valor} = 0,05752$), e o seu coeficiente de determinação (R^2) de 93,21%,

demonstrou que o modelo desenvolvido é propício para estimar o teor de antocianinas totais com base na substituição parcial da farinha de trigo branca por FRSJ e na temperatura de assamento. Essa alta porcentagem de R^2 aponta que os valores estimados pelo modelo de regressão se ajustam aos valores reais dos dados observados tornando-o uma ferramenta confiável para prever os teores de antocianinas totais em diferentes condições de substituição e temperatura.

Figura 14 – Curvas de contorno e superfície de resposta de interação das variáveis grau de substituição de farinha de trigo branca por FRSJ e temperatura de assamento, em razão do teor de antocianinas totais em formulações de pães de forma.



A) Curvas de contorno

B) Superfície de resposta

Fonte: A autora (2023).

Legenda: Função $y = 23,71 + 13,29 x_1 - 3,21 x_2$

x_1 = grau de substituição de FRSJ (%).

x_2 = temperatura de assamento (°C).

Faller *et al.* (2023) substituindo 10% de farinha integral por farinha da casca de jabuticaba em pães assados a 164°C por 60 minutos em máquina automática de panificação, encontraram 0,18 mg C3G/g valor expressivamente menor ao encontrado em nosso estudo, em que foram detectados de 7,11 mg C3G/g (2,18% FRSJ à 181°C) a 45,88 mg C3G/g (15% FRSJ à 160°C). Estes resultados podem ser justificados pela escolha do equipamento de assamento, uma vez que fornos industriais, como o utilizado na presente pesquisa, oferece um maior espaço para o desenvolvimento dos pães, o que facilita a circulação de ar e uma distribuição de calor mais homogênea. Estes tendem a proporcionar um controle mais preciso de temperatura, o que pode resultar em uma cocção mais uniforme e minimizar a degradação dos compostos fenólicos,

como as antocianinas (LI *et al.*, 2011). E ademais, pelo tempo de cozimento empregado, pois em nosso estudo, os pães foram assados por apenas 22 minutos.

Alguns pesquisadores afirmaram que o tempo de aquecimento parece ter uma influência mais proeminente na perda de antocianinas do que a própria temperatura, uma observação corroborada em categorias específicas de alimentos como produtos de panificação (BARTL *et al.*, 2015), o que pode ter ocorrido no estudo de Faller *et al.* (2023).

Em geral, quando consideramos o tratamento térmico de matrizes alimentares simples, como frutas e vegetais, é observado um impacto significativo nas antocianinas, com uma variação de perda de conteúdo entre 28% e 80% (OANCEA, 2021). Contudo, o comportamento térmico das antocianinas pode manifestar-se de maneira diferenciada em matrizes alimentares mais complexas, como alimentos enriquecidos ou fortificados com esses compostos, como é o caso deste estudo, não seguindo a tendência geral de que o aquecimento reduz consideravelmente a estabilidade das antocianinas. Ainda assim, discernir claramente entre os efeitos do aquecimento e os efeitos resultantes da composição da matriz alimentar pode ser um desafio (IOANNOU *et al.*, 2012).

Para reduzir a degradação das antocianinas durante o processamento térmico de alimentos que as contendo antocianinas, é crucial estabelecer condições térmicas adequadas para preservar a qualidade do produto. Além disso, dado que a atividade antioxidante das antocianinas está ligada ao seu teor total, um processamento térmico bem controlado não apenas manterá suas propriedades antioxidantes, mas também poderá aprimorá-las por meio da geração de outros compostos antioxidantes (como as reações de Maillard entre aminoácidos e açúcares podem levar à formação de produtos de reação que possuem propriedades antioxidantes) durante as reações induzidas pelo calor (BARTL *et al.*, 2015; OANCEA, 2021; MICHALSKA *et al.*, 2008).

Um estudo realizado com pão de milho preto assado à 150°C, encontrou um valor de 5,07 mg C3G /g, valor próximo ao encontrado na presente pesquisa para o menor percentual de substituição de FRSJ (2,18%), que foi de 7,11 mg C3G /g assado a 181°C (BLANCH; DEL CASTLHO, 2021).

Tamaroh e Sudrajat (2021) em que adicionaram 10, 15, 20 e 30% de farinha de inhame roxo, com temperaturas que variaram de 170 a 180°C por 25 minutos de assamento, encontraram valores menores ao da presente pesquisa, onde o maior valor foi identificado no pão com 30% de farinha de inhame roxo (5,95 mg C3G/g) assado a 170°C. Os autores ainda, concluíram que o teor de antocianinas não reduziu com o aumento da temperatura, justificando

que a maioria das antocianinas do inhame roxo são antocianinas aciladas, que são mais resistentes ao calor.

A fruta jabuticaba, matéria-prima da farinha usada nos pães de nosso estudo também apresenta antocianinas na forma acilada. Comparando os pães com 12,82% de FRSJ em temperatura de 139°C e 181°C, foi observado que a maior temperatura não degradou significativamente os teores de antocianina, embora nos demais ensaios menores temperaturas apresentaram maiores quantidade. Pode ser, que nessa quantidade específica de FRSJ e temperaturas as antocianinas aciladas, resistiram mais a exposição ao calor.

Vários são os fatores, como a variedade da jabuticaba, as condições de cultivo e o estágio de maturação dos frutos, que podem afetar o teor de antocianinas. Além do mais as diferenças encontradas entre os estudos não se restringem apenas à espécie de jabuticaba e fatores agrícolas, mas também estão relacionadas a variações e limitações nos métodos de extração de polifenóis utilizados e nas técnicas analíticas empregadas (SERAGLIO *et al.*, 2018; QUATRIN *et al.*, 2019; INADA *et al.*, 2021). Resende (2022) (dados não publicados) encontrou valores de 0,14 mg/g (base úmida) e 0,184 mg/g (base seca) de antocianinas na fruta inteira e 0,27 mg/g (base úmida) e 0,29 mg/g (base seca) na FRSJ. Estes valores, segundo o autor, ficaram abaixo aos comumente encontrados na literatura. Embora, a jabuticaba utilizada no estudo de Resende (2022) seja da mesma variedade e pertença a mesma localidade usada na presente pesquisa, o método de extração aplicado para as antocianinas foi diferente.

4.3.2.3 Potencial Antioxidante (*Scavenging DDPH Activity*)

Em relação ao potencial antioxidante, pode-se observar, de acordo com a Tabela 10, que quanto maior a concentração de FRSJ, maior a atividade antioxidante, em que 12,82 % de FRSJ a 139°C apresentou 22,16 $\mu\text{mol TEAC/g}$; 15% de FRSJ a 160°C apresentou 23,8 $\mu\text{mol TEAC/g}$ e 12,82% de FRSJ à 181°C, apresentou 24,76 $\mu\text{mol TEAC/g}$. Salienta-se que o pão controle apresentou a menor atividade antioxidante, com 1,31 $\mu\text{mol TEAC/g}$ à 160°C.

O modelo ajustado mostrou-se significativo para o grau de substituição de FRSJ ($x_1 = p\text{-valor} = 0,0001$) o que mostra que a proporção de FRSJ está diretamente relacionada à atividade antioxidante (FIGURA 15). O modelo de regressão também foi significativo ($p\text{-valor} = 0,00001$), assim como sua falta de ajuste ($p\text{-valor} = 0,00164$). O coeficiente de determinação (R^2) alcançou 95,93%, dessa forma o modelo explica os resultados encontrados para a atividade antioxidante com base na substituição parcial da farinha de trigo branca por FRSJ.

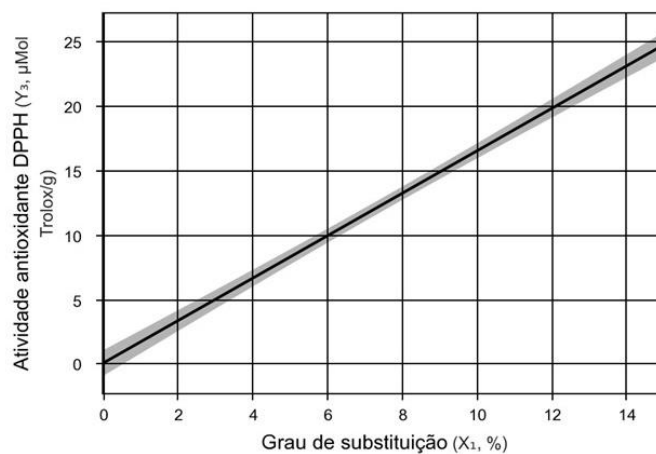
Tabela 10 – Efeito do grau de substituição parcial de farinha de trigo branca por FRSJ e temperatura de assamento sobre a atividade antioxidante em formulações de pães de forma.

Ensaio	Subst. farinha de trigo por FRSJ (%)	Temperatura (°C)	Atividade Antioxidante (μmols TEAC/g)
1	2,18	139	3,81
2	12,82	139	22,16
3	2,18	181	4,89
4	12,82	181	24,76
5	0,00	160	1,31
6	15,00	160	23,80
7	7,50	130	11,10
8	7,50	190	11,63
9	7,50	160	11,00
10	7,50	160	11,01
11	7,50	160	11,14

Fonte: A autora (2023).

Legenda: μmols TEAC/g = micromols de equivalentes de Trolox por grama de amostra.

Figura 15 – Modelo de regressão linear da interação das variáveis grau de substituição de farinha de trigo branca por FRSJ e temperatura de assamento, em razão da atividade antioxidante em formulações de pães de forma.



Fonte: A autora (2023).

Legenda: Função $y = 12,42 + 8,75 x_1$

x_1 = grau de substituição de FRSJ (%).

Ferreira *et al.* (2020) ao avaliarem a atividade antioxidante de pães de forma com adição de farinha de casca de jabuticaba pelo sequestro do radical DPPH, encontraram para adição de 5% de farinha, 23,58 $\mu\text{mol TEAC/g}$ e para 10%, 31,2 $\mu\text{mol TEAC/g}$. Esta presente pesquisa encontrou a maior atividade antioxidante, na formulação com a proporção de 12,82% de FRSJ, que apresentou 24,56 $\mu\text{mol TEAC/g}$, valor intermediário ao do estudo acima referido.

Para a maior porcentagem de farinha do estudo de Ferreira *et al.* (2020) o valor encontrado foi de 29,94 $\mu\text{mol TEAC/g}$, próximo ao encontrado na presente pesquisa (23,80 $\mu\text{mol TEAC/g}$). Entretanto, ressalta-se que em ambos os estudos, a maior concentração de farinha de jabuticaba nos pães (15%), não foram as que apresentaram maior atividade antioxidante, o que leva a conclusão de que há um limiar em que a quantidade de farinha não mais impacta na atividade antioxidante do pão. Apesar disso, tal achado pode ser interessante para a aceitação deste tipo de produto pelos consumidores, visto que quanto maior a concentração de farinhas ou pós de frutas ou vegetais em pães, mais as características sensoriais como maciez e volume, ficam comprometidas (KAUR *et al.*, 2020).

Com o intuito de avaliar o potencial funcional de pães com substituição parcial da farinha de trigo integral por 10% de pó de cascas e sementes de jabuticaba, Faller *et al.* (2023), encontraram uma atividade antioxidante de 206 $\mu\text{mol TEAC/g}$, valor 8 vezes superior ao encontrado em nosso estudo, no qual a maior atividade antioxidante foi encontrada para 12,82% de FRSJ com 24,76 $\mu\text{mol TEAC/g}$. Esse resultado pode ser explicado devido ao tipo de farinha de trigo utilizada, pois Faller *et al.* (2023) utilizaram a farinha de trigo integral, que apresenta maior teor de fibras, antioxidante e CB, que podem ter contribuído para o resultado obtido (RAGAE *et al.*, 2011; LIU *et al.*, 2020). Enquanto na presente pesquisa, foi utilizada apenas a farinha de trigo branca, que devido ao processamento, perde as propriedades da sua versão integral.

Marquetti *et al.* (2018) encontraram em seus biscoitos com farinha de casca de jabuticaba 56,9 $\mu\text{mol TEAC/g}$ na porcentagem de 2,5% de farinha, 108,34 $\mu\text{mol TEAC/g}$ na porcentagem de 5% e 147,93 $\mu\text{mol TEAC/g}$ na porcentagem de 7,5%, valores expressivamente maiores do que o encontrado em nosso estudo, já que o maior valor detectado foi de 24,76 $\mu\text{mol TEAC/g}$ na porcentagem de 12,82% FRSJ a 181°C, isto é, os autores encontraram valores de 2 a 5 vezes superiores ao nosso estudo, que pode ser explicado em partes pela interferência de outros ingredientes que fizeram parte de da composição do biscoito, como a aveia.

Assim, ao observar a farinha produzida com casca de jabuticaba por Marquetti *et al.* (2018), onde a atividade antioxidante foi de 468 $\mu\text{mol TEAC/g}$ e o encontrado por Resende (2022) (dados não publicados) de 557,22 $\mu\text{mol TEAC/g}$ na FRSJ, a mesma utilizada na presente

pesquisa, nota-se que são valores próximos, corroborando que a presença de outros ingredientes pode ter contribuído para a alta capacidade antioxidante dos biscoitos com farinha da casca de jabuticaba em relação aos pães com farinha do resíduo de suco de jabuticaba.

4.4 VALIDAÇÃO DO MODELO EXPERIMENTAL

Com base nos dados coletados e na análise dos resultados, a validação visou determinar a eficácia e qualidade da formulação de pão enriquecida com FRSJ e, conseqüentemente, maior presença de compostos bioativos e capacidade antioxidante, e com características tecnológicas desejáveis. Essa avaliação científica embasará a tomada de decisões sobre a adoção ou aperfeiçoamento da formulação em questão.

As equações dos modelos apropriados para prever as respostas (Equações a, b e c) foram verificadas utilizando a condição ótima selecionada. Esta condição foi obtida em virtude de boas propriedades alcançadas nesta faixa nas análises das superfícies de resposta (FIGURAS 7, 8 e 10) e na maioria dos parâmetros, de forma a obter um produto com bom potencial funcional e aspectos tecnológicos essenciais, além de uma boa coloração.

As equações [a] e [b] e [c] representam os modelos com os fatores significativos para os dados experimentais das variáveis grau de substituição parcial de farinha de trigo branca por FRSJ e temperatura de assamento.

- a) $y = 64,39 - 4,01 x_1 - 3,70 x_1^2 + 4,23 x_1 x_2$ (hue crosta)
 b) $y = 4,90 + 0,43 x_1 - 0,63 x_1^2 + 0,40 x_1 x_2$ (a* miolo)
 c) $y = 23,71 + 13,29 x_1 - 3,21 x_2^2$ (antocianinas)

Onde, x_1 corresponde ao valor codificado da variável ‘grau de substituição’; x_2 ao valor codificado da variável ‘temperatura de assamento’.

Apesar, de não terem sido obtidas superfícies de resposta nos modelos para as variáveis respostas fenólicos totais, flavonoides totais e potencial antioxidante, os respectivos coeficientes dos modelos obtidos foram apresentados e avaliados (FIGURAS 9 e 11), pois são relevantes para compreender a presença de componentes bioativos como um todo.

Por fim, a validação do modelo foi realizada utilizando o grau de substituição de farinha de trigo por FRSJ de 7,5% e temperatura de assamento de 144°C (condição otimizada) por meio de testes em triplicata, que resultaram em valores de 1,75 mg GAE/g, 0,12 mg CAT/g, 19,91 mg C3G/g, 11,41 μ mols TEAC/g, de amostra para fenólicos totais, flavonoides totais, antocianinas totais e potencial antioxidante, respectivamente e 62,18 para Hue da crosta e 4,68 para a* do miolo (TABELA 11).

Os resultados previstos pelo modelo (valores preditos) foram próximos aos resultados da condição otimizada (valores observados), demonstrando que nossa estratégia para desenvolver um pão enriquecido com compostos bioativos e propriedades antioxidantes foi bem-sucedida. Assim, os modelos foram considerados validados, com os desvios relativos não ultrapassando 10%.

Tabela 11 – Validação da condição otimizada em relação ao grau de substituição de farinha de trigo branca por FRSJ e temperatura de assamento, em formulação de pão de forma.

Pão otimizado – 7,5% FRSJ ; 144°C			
Parâmetros	Valores observados	Valores preditos	ER (%)
Fenólicos totais (mg GAE/g)	1,75±0,03	1,92	9,71
Flavonoides totais (mg CAT/g)	0,12±0,01	0,13	8,83
Antocianinas totais (mg C3G/g)	19,91±0,98	21,90	10,02
Potencial antioxidante (µmols TEAC/g)	11,41±0,49	12,42	8,86
Hue crosta	62,18±1,97	64,39	3,52
a* miolo	4,68±0,06	4,90	4,26

Fonte: A autora (2023).

Legenda: Valores observados expressos como média ± desvio padrão (DP).

ER = erro relativo expresso em %.

mg GAE/g = miligramas de equivalentes de ácido gálico por grama de amostra.

mg CAT/g = miligramas de equivalentes de catequinas por grama de amostra.

mg C3G/g = miligramas de equivalentes de cianidina-3-glicosídeo por grama de amostra.

µmols TEAC/g = micromols de equivalentes de trolox por grama de amostra.

Como pôde ser observado na Tabela 11, a formulação do pão otimizado proporcionou um produto com considerável teor de compostos bioativos e considerável atividade antioxidante, e ao mesmo tempo dentro de uma faixa satisfatória para as características tecnológicas e de cor.

É de extrema importância testes sensoriais para comprovar a aceitabilidade do produto e sua comercialização, uma vez que esta condição selecionada para a validação foi resultante de um protótipo de formulação de pão com 7,5% de substituição de farinha branca por FRSJ assado a uma temperatura de 144°C. A escolha por esse protótipo considerou parâmetros aceitáveis de colorimetria e também a preservação de CB com o intuito de simular uma condição mais

próxima da aceitação pelos consumidores. Variações da % de FRSJ e da temperatura de assamento próximas as deste protótipo, além de comparação com outros tipos de pães integrais já amplamente bem aceitos pelo público-alvo, podem também delinear de forma ainda melhor como seria a performance do produto no mercado consumidor.

Ressalta-se que ao considerar os aspectos funcionais, duas fatias de pão de forma (100 g) fornecem aproximadamente 175 mg de fenólicos totais, 12 mg de flavonoides totais, 1991 mg de antocianinas, e potencial antioxidante de 1141 μ mols.

Atualmente, não há diretrizes dietéticas e condições para a ingestão de polifenóis, o que adiciona mais uma camada de complexidade a essa área no esforço de estabelecer uma referência relativa ao consumo desses compostos.

É essencial levar em conta que a ingestão de compostos fenólicos está intimamente relacionada às variações no comportamento alimentar, e a escolha de diferentes fontes de alimentos nesses compostos pode influenciar o impacto geral de maneira distinta. Deste modo, pode-se direcionar a discussão mais para os padrões alimentares como um todo, em vez de se concentrar nas contribuições individuais. Dentro desse contexto, um padrão alimentar rico em polifenóis demonstra ser benéfico para a saúde e deve ser visto como uma estratégia valiosa na prevenção de inúmeras doenças crônicas.

Os pães elaborados com a farinha do resíduo de suco de jabuticaba representam uma opção de alta qualidade do ponto de vista nutricional, representando uma alternativa mais saudável em relação aos pães convencionais disponíveis no mercado. Esses pães enriquecidos com compostos bioativos são promissores da saúde e conseqüentemente da longevidade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa permitiu a produção de uma farinha alternativa, a partir do resíduo de suco de jabuticaba, bem como sua utilização para o enriquecimento de pães, um produto tradicional, de ampla aceitação no mercado.

Com base nos resultados da presente pesquisa, pode-se inferir que a produção de formulações de pães na condição otimizada de substituição parcial de farinha de trigo convencional por 7,5% de FRSJ, associada a uma temperatura de assamento de 144°C, é viável. Essa formulação apresenta um teor expressivo de compostos bioativos, assim como bom potencial antioxidante e tecnológico, além de manterem uma coloração característica satisfatória.

Nesse cenário, tais pães são considerados opções de maior valor nutricional, oferecendo uma alternativa no contexto da busca por um estilo de vida saudável com grande perspectiva de longevidade. Essa capacidade funcional deve ser integrada a um padrão alimentar equilibrado, que inclui a ingestão regular de outros alimentos com propriedades funcionais.

Ademais, a obtenção de compostos bioativos a partir de matrizes alimentares representa uma abordagem potencialmente atrativa, proporcionando vantagens econômicas e de sustentabilidade. Esse cenário é particularmente benéfico quando esses compostos são derivados de subprodutos da indústria alimentícia, os quais geralmente são descartados.

Como continuação desta pesquisa, sugere-se análises complementares para melhor caracterização da farinha produzida a partir do resíduo de suco de jabuticaba, e por sua vez, conduzir um experimento adicional utilizando as formulações otimizadas, com o propósito de realizar uma avaliação sensorial comparativa com o produto padrão, visando sua aceitabilidade no mercado. Além disso, também seria interessante realizar ensaios *in vitro* de bioacessibilidade e biodigestibilidade para avaliar mais a fundo os aspectos nutricionais e funcionais do produto.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, B. R. *et al.* Jaboticaba residues (*Myrciaria jaboticaba* (Vell.) Berg) are rich sources of valuable compounds with bioactive properties. **Food Chemistry**, v. 309, Mar. 2020.
- ALBUQUERQUE JUNIOR, N. M. **Influência da secagem convectiva do resíduo agroindustrial de acerola verde na extração e encapsulamento de compostos bioativos**. 2022. 131f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2022.
- ALEZANDRO, M. R. *et al.* Comparative study of chemical and phenolic compositions of two species of jaboticaba: *Myrciaria jaboticaba* (Vell.) Berg and *Myrciaria cauliflora* (Mart.) O. Berg. **Food Research International**, v. 54, n. 1, p. 468-477, 2013.
- ALMEIDA, R. L. J. *et al.* Determinação de compostos bioativos e composição físico-química da farinha da casca de jaboticaba obtida por secagem convectiva e liofilização. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 1, jan. 2020.
- ALVES, C. C. O. *et al.* Estabilidade da microestrutura e do teor de carotenoides de pós obtidos da polpa de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) liofilizada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas-SP, v. 28, n. 4, p. 830-839, dez. 2008.
- AMEER K; SHAHBAZ, H. M.; KWON, J-H. Green extraction methods for polyphenols from plant matrices and their byproducts: a review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 16, n. 2, p. 295-315, 2017.
- AMOAHA, I. *et al.* Plant-Based food by-products: prospects for valorisation in functional bread development. **Sustainability**, v. 12, n. 18, p. 7785, Jan. 2020.
- AMOAHA, I. *et al.* Towards improving the nutrition and health of the aged: the role of sprouted grains and encapsulation of bioactive compounds in functional bread – a review. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 54, n. 5, p. 1435-1447, 2019.
- ANDRADE, B. A. *et al.* Produção de farinha de banana verde (*Musa spp.*) para aplicação em pão de trigo integral. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, 2018.
- ANVISA. **RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005**. Dispõe sobre o Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. Brasília-DF, 2005. Disponível em: https://bvsm.sau.gov.br/bvs/sau/legis/anvisa/2005/rdc0263_22_09_2005.html. Acesso em: 08 fev. 2023.
- ARAÚJO, C. R. C. **Curso de panificação**. São Paulo: [s. n.], 2018. Cap. 2.
- ASCHERI, D. P. R., ASCHERI, J. L. R., CARVALHO, C. W. P. Caracterização da farinha de bagaço de jaboticaba e propriedades funcionais dos extrusados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 4, p. 897-905, dez. 2006.

- AXEL, C.; ZANNINI, E.; ARENDT, E. K. Mold spoilage in bread and its biopreservation: a review of current strategies to extend bread shelf life. **Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 16, p. 3528-3542, Nov. 2017.
- BABBAR, N.; OBEROI, H. S. Potential of agro-residues as sources of bioactive compounds. In: BRAR, S.; DHILLON, G.; SOCCOL, C. (ed.) **Biotransformation of waste biomass into high value biochemicals**, p. 261-295, 2014.
- BAILÃO, E. F. L. C. *et al.* Bioactive compounds found in brazilian cerrado fruits, **International Journal of Molecular Sciences**, v. 16, n. 10, p. 23760-23783, Oct. 2015.
- BALDIN, J. C. *et al.* Effect of microencapsulated jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) extract on quality and storage stability of mortadella sausage. **Food Research International**, v. 108, p. 551-557, June 2018.
- BARRERA, L. E.; HERTEL, T. Global food waste across the income spectrum: Implications for food prices, production and resource use. **Food Policy**, v. 98, p. 101874, Jan. 2021.
- BARTL, P. *et al.* Anthocyanins in purple and blue wheat grains and in resulting bread: quantity, composition, and thermal stability. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 66, n. 5, p. 514-519, July 2015.
- BELWAL, T. *et al.* A critical analysis of extraction techniques used for botanicals: trends, priorities, industrial uses and optimization strategies. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 100, p. 82-102, Mar. 2018.
- BERWIG, K. P.; MARQUES, D. R.; MONTEIRO, A. R. G. Influência do tipo de farinha, da temperatura e do tempo de fermentação na qualidade de pães de forma. **Brazilian Journal of Food Research**, v. 9, n. 4, p. 27-46, 31 dez. 2018.
- BLANCH, G. P.; DEL CASTILLO, M. L. R. Effect of baking temperature on the phenolic content and antioxidant activity of black corn (*Zea mays L.*) bread. **Foods**, v. 10, n. 6, p. 1202, June 2021.
- BOATENG, J. *et al.* Effect of processing on antioxidant contents in selected dry beans (*Phaseolus spp. L.*). **LWT - Food Science and Technology**, v. 41, p. 1541-1547, Nov. 2008.
- BOESSO, F. F. **Protocolo de produção, aceitabilidade e qualidade nutricional de geleia convencional e light de jabuticaba**. 2017. 146f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu-SP, 2017.
- BORGES, A. E. *et al.* Vinho da jabuticaba. **Revista Científica do Unisaesiano**, Lins-SP, v. 2, n. 5, 2011. Edição especial.
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT- Food Science and Technology**, v. 28, p. 25-30, 1995.
- CABRAL, B. R. P. *et al.* Improving stability of antioxidant compounds from *Plinia cauliflora* (jabuticaba) fruit peel extract by encapsulation in chitosan microparticles. **Journal of Food Engineering**, v. 238, p. 195-201, Dec. 2018.

- CALDERÓN DE LA BARCA, A. M. *et al.* Highly nutritional bread with partial replacement of wheat by amaranth and orange sweet potato. **Foods**, v. 11, n. 10, p. 1473, 2022.
- CAMPOS, D. A. *et al.* Impact of functional flours from pineapple by-products on human intestinal microbiota. **Journal of Functional Foods**, v. 67, p. 103830, Apr. 2020.
- CANGUSSU, B. L. *et al.* Profile of bioactive compounds in pequi (*Caryocar brasiliense Camb.*) peel flours. **Food Chemistry**, v. 350, p. 129221, July 2021.
- CASTELO-BRANCO, V. N. *et al.* Bread formulated with guava powder was enriched in phenolic and aroma compounds, and was highly acceptable by consumers. **Journal of Food Science and Technology**, v. 53, n. 12, p. 4168-4178, Dec. 2016.
- COELHO, E. M. *et al.* Passion fruit peel flour e technological properties and application in food products. **Food Hydrocolloids**, v. 62, p. 158-164, Jan. 2017.
- CORREA, M. J. *et al.* Technological quality of dough and breads from commercial algarroba-wheat flour blends. **Journal of Food Science and Technology**, v. 54, n. 7, p. 2104-2114, June 2017.
- DADKHAH, A. Effect of shortening replacement with nutrim oat bran on chemical and physical properties of shortened cakes. **Annals of Biological Research**, v. 3, n. 6, p. 2682-2687, 2012.
- DAI, L-P.; DONG, X-J. MA, H-H. Antioxidative and chelating properties of anthocyanins in *Azolla imbricata* induced by cadmium. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 21, n. 4, p. 837-844, 2012.
- DHALARIA, R. *et al.* Bioactive compounds of edible fruits with their anti-aging properties: a comprehensive review to prolong human life. **Antioxidants**, v. 9, n. 11, p. 1123, Nov. 2020.
- DIACONEASA, Z. *et al.* Anthocyanins from agro-industrial food waste: geographical approach and methods of recovery - a review. **Plants**, v. 12, n. 1, p. 74, Jan. 2023.
- DUARTE, P. A. **Efeito do bioprocessamento enzimático sobre os compostos fenólicos em pães adicionados de farinha de jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*)**. 2018. 123f. Dissertação (Mestrado em Nutrição) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, 2018.
- DUEÑAS, M.; GARCÍA-ESTÉVEZ, I. Agricultural and food waste: analysis, characterization and extraction of bioactive compounds and their possible utilization. **Foods**, v. 9, n. 6, p. 817, June 2020.
- DURAZZO, A. *et al.* Phenols, lignans and antioxidant properties of legume and sweet chestnut flours. **Food Chemistry**, Special Issue: Food Quality Evaluation. v. 140, p. 666-671, Oct. 2013.
- EINHORN-STOLL, U. Pectin-water interactions in foods – from powder to gel. **Food Hydrocolloids**, v. 78, p. 109-119, May 2018.

EIT FOOD. **Top five global trends that will shape the food industry in 2021**. Leuven-Bélgica: EIT FOOD, 2021. Disponível em: <https://www.eitfood.eu/blog/the-top-5-trends-for-the-agrifood-industry-in-2021>. Acesso em: 20 fev. 2023.

ELIÁŠOVÁ, M. *et al.* Influence of baking on anthocyanin content in coloured-grain wheat bread. **Plant, Soil and Environment**, v. 66, n. 8, p. 381-386, Aug. 2020.

ELKATRY, H. O. *et al.* Biological activities of grape seed by-products and their potential use as natural sources of food additives in the production of balady bread. **Foods**, v. 11, n. 13, p. 1948, 2022.

FALLER, A. L. K. *et al.* Jabuticaba (*Myrciaria jaboticaba*) peel and seed powder associated with bioprocessing improves functional and nutritional quality of whole-wheat bread. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 58, n. 3, p. 1411-1422, Jan. 2023.

FERREIRA, S. M. R.; OLIVEIRA, P. V.; PRETTO, D. Parâmetros de qualidade do pão francês. **Boletim do Centro de Pesquisas e Processamento de Alimentos**, v. 19, n. 2, p. 301-318, 2001.

FERREIRA, S. P. L. *et al.* Whole-grain pan bread with the addition of jabuticaba peel flour. **Ciência Rural**, Santa Maria-RS, v. 50, n. 8, 2020.

FERNANDES, I. D. A. A. *et al.* Bioactive compounds, health-promotion properties and technological applications of jabuticaba: a literature overview. **Measurement: Food**, v. 8, p. 100057, Nov. 2022.

FERNANDES, L. L., SILVA, B. M. Alimento funcional: propriedades da jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*). **Revista Farol**, FRM-RO, v. 6, n. 6, p. 49-60, 2018.

FRANCAVILLA, A.; JOYE, I. J. Anthocyanin content of crackers and bread made with purple and blue wheat varieties. **Molecules**, v. 27, n. 21, p. 7180, 2022.

FREITAS-SÁ, D. G. C. *et al.* Effect of jabuticaba (*Myrciaria jaboticaba* (Vell) O. Berg) and jamelão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) peel powders as colorants on color-flavor congruence and acceptability of yogurts. **LWT- Food Science and Technology**, v. 96, p. 215-221, Oct. 2018.

GALVÃO, A. C. *et al.* Capacity of solutions involving organic acids in the extraction of the anthocyanins present in jabuticaba skins (*Myrciaria cauliflora*) and red cabbage leaves (*Brassica oleracea*). **Journal of Food Science and Technology**, v. 57, n. 11, p. 3995-4002, Nov. 2020.

GARCÍA-LOMILLO, J.; GONZÁLEZ-SANJOSÉ, M. L. Applications of wine pomace in the food industry: approaches and functions. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 16, n. 1, p. 3-22, 2017.

GAWLIK-DZIKI, U. *et al.* Quality and antioxidant properties of breads enriched with dry onion (*Allium cepa* L.) skin. **Food Chemistry**, v. 138, n. 2-3, p. 1621-1628, June 2013.

- GIUSTI, M. M.; WROLSTAD, R. E. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. In: WROLSTAD, R. E. *et al.* (ed.). **Current protocols in food analytical chemistry**. New York: Wiley, 2001. p. F1.2.1- F.2.13.
- GONÇALVES, L. A.; LORENZO, J. M.; TRINDADE, M. A. Fruit and agro-industrial waste extracts as potential antimicrobials in meat products: a brief review. **Foods**, v. 10, n. 7, p. 1469, 2021.
- GOUVEA, I. F. S. *et al.* Caracterização física e química de farinha de talo de beterraba. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba-PR, v. 6, n. 3, p. 15814-15823, mar. 2020.
- GOUVEA, I. F. S. *et al.* Características físicas, químicas e sensoriais de biscoitos elaborados com mistura de farinhas. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, 2021.
- GUIJARRO-FUERTE, M. *et al.* Andean blueberry (*Vaccinium floribundum*) bread: physicochemical properties and bioaccessibility of antioxidants. **Food Science and Technology**, Campinas-SP, v. 39, n. 1, p. 56-62, June 2019.
- GUIL-GUERRERO, J. L. *et al.* Plant foods by-products as sources of health-promoting agents for animal production: a review focusing on the tropics. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 5, p. 1759-1774, 2016.
- GURAK, P. D. *et al.* Jaboticaba pomace powder obtained as a co-product of juice extraction: a comparative study of powder obtained from peel and whole fruit. **Food Research International**, v. 62, p. 786-792, Aug. 2014.
- INADA, K. O. P. *et al.* Jaboticaba berry: A comprehensive review on its polyphenol composition, health effects, metabolism, and the development of food products. **Food Research International**, v. 147, p. 110518, Sept. 2021.
- INADA, K. O. P. *et al.* Screening of the chemical composition and occurring antioxidants in jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) and jussara (*Euterpe edulis*) fruits and their fractions. **Journal of Functional Foods**, v.17, p. 422-433, Aug. 2015.
- IOANNOU, I. *et al.* Review of the effects of food processing and formulation on flavonol and anthocyanin behaviour. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n. 2, p. 208-217, July 2012.
- ISLA, M. I. *et al.* *Solanum betaceum* fruits waste: a valuable source of bioactive compounds to be used in foods and non-foods applications. **Foods**, v. 11, n. 21, p. 3363, 2022.
- JASPRICA, I. *et al.* Evaluation of antioxidative activity of croatian propolis samples using DPPH[•] and ABTS^{•+} stable free radical assays. **Molecules**, v. 12. n. 5, p. 1006-1021, 2007.
- KAJISHIMA, S.; PUMAR, M.; GERMANI, R. Elaboração de pão francês com farinha enriquecida de sulfato de cálcio. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamentos de Alimentos**, v. 19, n. 2, p. 157-168, 2001.
- KAUR, R. *et al.* Red bell pepper (*Capsicum annuum* L.): Optimization of drying conditions and preparation of functional bread. **Journal of Food Science**, v. 85, n. 8, p. 2340-2349, 2020.

KESSAS, K. *et al.* Role of bioactive compounds in the regulation of mitochondrial dysfunctions in brain and age-related neurodegenerative diseases. **Cells**, v. 11, n. 2, p. 257, Jan. 2022.

KHOOZANI, A. A.; BEKHIT, A. E-D. A.; BIRCH, J. Effects of different drying conditions on the starch content, thermal properties and some of the physicochemical parameters of whole green banana flour. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 130, p. 938-946, June 2019.

LARROSA, A. P. Q.; OTERO, D. M. Flour made from fruit by-products: characteristics, processing conditions, and applications. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 45, n. 5, 2021.

LEMOS, D. M. *et al.* Elaboração e caracterização de geleia prebiótica mista de jaboticaba e acerola. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, 2019.

LI, J.; WALKER, C. E.; FAUBION, J. M. Acidulant and oven type affect total anthocyanin content of blue corn cookies. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 91, n. 1, p. 38-43, 2011.

LIU, J.; YU, L. L.; WU, Y. Bioactive Components and Health Beneficial Properties of Whole Wheat Foods. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 68, n. 46, p. 12904-12915, 2020.

LOBO, V. *et al.* Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. **Pharmacognosy Reviews**, v. 4, n. 8, p. 118-126, July/Dec. 2010.

LUO, J. *et al.* Dietary anti-aging polyphenols and potential mechanisms. **Antioxidants**, v. 10, n. 2, p. 283, 2021.

LUTHRIA, D. L. Significance of sample preparation in developing analytical methodologies for accurate estimation of bioactive compounds in functional foods. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, p. 2266-2272, 2006.

MARK, R. *et al.* Sustainable production of natural phenolics for functional food applications. **Journal of Functional Foods**, v. 57, p. 233-254, June 2019.

MARINHO, R. M. O. Elaboração e avaliação de pão integral enriquecido com farinha de banana verde. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba-PR, v.7, n. 9, p. 89421-89434, set. 2021.

MARQUETTI, C. *et al.* Jaboticaba skin flour: analysis and sustainable alternative source to incorporate bioactive compounds and increase the nutritional value of cookies. **Food Science and Technology**, v. 38, p. 629-638, Oct. 2018.

MARSIGLIA, W. I. M. L. *et al.* Thermal stability of total phenolic compounds and antioxidant activities of jaboticaba peel: effect of solvents and extraction methods. **Journal of the Indian Chemical Society**, v. 100, n. 5, p. 100995, May 2023.

- MARTÍN, J. *et al.* Anthocyanin pigments: importance, sample preparation and extraction. *In*: SOTO-HERNANDEZ, M.; PALMA-TENANGO, M.; GARCIA-MATEOS, M. R. (ed). **Phenolic compounds: natural sources, importance and applications**. Zagrebe-Croácia: IntechOpen, 2017. 456 p.
- MARTINS, I. R. *et al.* Farinha da casca de maracujá (*Passiflora edulis f. flavicarpa*): Obtenção e caracterização da composição físico-química. *In*: MOURA, S. M. S. **Ciência & tecnologia de alimentos**. Belo Horizonte: Poisson, 2021. cap.6, p. 30-38.
- MARTINS, S. *et al.* Bioactive phenolic compounds: production and extraction by solid-state fermentation. A review. **Biotechnology Advances**, v. 29, n. 3, p. 365-373, May/June 2011.
- MECHCHATE, H. *et al.* Vegetables and their bioactive compounds as anti-aging drugs. **Molecules**, v. 27, n. 7, p. 2316, 2022.
- McGUIRE, R. G. Reporting of objective color measurements. **Horticultural Science**, v. 27, n. 12, p. 1254-1255, 1992.
- MICHALSKA, A. *et al.* Effect of bread making on formation of Maillard reaction products contributing to the overall antioxidant activity of rye bread. **Journal of Cereal Science**, v. 48, n. 1, p. 123-132, July 2008.
- MICHALAK, M. Plant-derived antioxidants: significance in skin health and the ageing. **Process International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 2, p. 585, Jan. 2022.
- MIRABELLA, N.; CASTELLANI, V.; SALA, S. Current options for the valorization of food manufacturing waste: a review. **Journal of Cleaner Production**, v. 65, p. 28-41, Feb. 2014.
- MIRANDA, B. M. **Extração de bioativos da casca de jabuticaba: pectina e antocianinas**. 2019. 100f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia-GO, 2019.
- MOHAMMADABADI, S. S.; GOLI, M.; TABASI, S. N. Optimization of bioactive compound extraction from eggplant peel by response surface methodology: ultrasound-assisted solvent qualitative and quantitative effect. **Foods**, v. 11, n. 20, p. 3263, 2022.
- MORALES, P. *et al.* Non-fermented and fermented jabuticaba (*Myrciaria cauliflora* Mart.) pomaces as valuable sources of functional ingredients. **Food Chemistry**, v. 208, p. 220-227, Oct. 2016.
- MUJICA, M. V.; GRANITO, M.; SOTO, N. Importance of the extraction method in the quantification of total phenolic compounds in *Phaseolus Vulgaris* L. **INCI**, Caracas, v. 34, n. 9, p. 650-654, Sept. 2009.
- NASSOUR, R.; AYASH A.; AL-TAMEEMI K. Anthocyanin pigments: structure and biological importance. **Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences**, v. 13, n. 4, p. 45-57, Oct./Dec. 2020.
- NETA, M. A. *et al.* Fermented dessert with whey, ingredients from the peel of jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) and an indigenous culture of *Lactobacillus plantarum*: composition,

- microbial viability, antioxidant capacity and sensory features. **Nutrients**, v. 10, n. 9, p. 1214, 2018.
- NEVES, N. A. *et al.* Flavonols and ellagic acid derivatives in peels of different species of jaboticaba (*Plinia* spp.). identified by HPLC-DAD-ESI/MSn. **Food Chemistry**, v. 252, p. 61-71, June 2018.
- NEVES, N. A. *et al.* Identification and quantification of phenolic composition from different species of Jaboticaba (*Plinia* spp.) by HPLC-DAD-ESI/MSn. **Food Chemistry**, v. 355, p. 129605, Sept. 2021.
- NING, J. *et al.* Effect of green tea powder on the quality attributes and antioxidant activity of whole-wheat flour pan bread. **LWT - Food Science and Technology**, v. 79, p. 342-348, June 2017.
- NORA, F. M. D. **Análise sensorial clássica: fundamentos e métodos**. Canoas-RS: Mérida Publishers, 2021.
- OANCEA, S. A. Review of the current knowledge of thermal stability of anthocyanins and approaches to their stabilization to heat. **Antioxidants**, v. 10, n. 9, p. 1337, 2021.
- OLAS, B. Berry phenolic antioxidants – implications for human health? **Frontiers in Pharmacology**, v. 9, Mar. 2018.
- OLIVEIRA, B. S. **Extração e purificação de biocompostos ativos da casca da fruta jaboticaba utilizando sistemas orgânicos bifásicos**. 2018. 129f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - Universidade Tiradentes, Aracaju-SE, 2018.
- OLIVEIRA, F. C. D. *et al.* Extratos da casca de jaboticaba: compostos fenólicos e atividade antibacteriana. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, maio 2018.
- OLIVEIRA, I. M. *et al.* Utilização de farinhas alternativas em produtos de panificação: uma revisão literária. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, 2020.
- ONGKOWIJOYO, P.; LUNA-VITAL, D. A.; GONZALEZ DE MEJIA, E. Extraction techniques and analysis of anthocyanins from food sources by mass spectrometry: an update. **Food Chemistry**, v. 250, p. 113-126, June 2018.
- PADAYACHEE, A. *et al.* Complexity and health functionality of plant cell wall fibers from fruits and vegetables. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 1, p. 59-81, 2017.
- PALUDO, M. C. *et al.* Extracts of peels and seeds of five varieties of brazilian jaboticaba present high capacity to deactivate reactive species of oxygen and nitrogen. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 74, n. 1, p. 135-140, 2019.
- PEREIRA, M. P.; TAVANO, O. L. Use of different spices as potential natural antioxidant additives on cooked beans (*Phaseolus vulgaris*). Increase of DPPH radical scavenging activity and total phenolic content. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 69, n. 4, p. 337-343, Sept. 2014.

PLAZA, M. *et al.* Characterization of antioxidant polyphenols from *Myrciaria jaboticaba* peel and their effects on glucose metabolism and antioxidant status: A pilot clinical study. **Food Chemistry**, v. 211, p. 185-197, Nov. 2016.

PURLIS, E. Bread baking: technological considerations based on process modelling and simulation. **Science Direct Journal of Food Engineering**, v. 103, p. 92-102, Mar. 2011.

PURLIS, E.; SALVADORI, V. O. Bread browning kinetics during baking. **Science Direct Journal of Food Engineering**, v. 80, n. 4, p. 1107-1115, June 2007.

PURLIS, E.; SALVADORI, V. O. Modelling the browning of bread during baking. **Food Research International**, v. 42, n. 7, p. 865-870, Aug. 2009.

QUATRIN, A. *et al.* Characterization and quantification of tannins, flavonols, anthocyanins and matrix-bound polyphenols from jaboticaba fruit peel: a comparison between *Myrciaria trunciflora* and *M. jaboticaba*. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 78, p. 59-74, May 2019.

RAGAE, S.; DHULL, I. G.; SEETHARAMAN, K. Effects of fiber addition on antioxidant capacity and nutritional quality of wheat bread. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, n. 10, p. 2147-2153, Dec. 2011.

RAVIKUMAR, H. *et al.* An Insight into extraction, isolation, identification and quantification of bioactive compounds from *Crataegus monogyna* plant extract. **Reviews in Agricultural Science**, v. 10, p. 304-327, 2022.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Viena-Austria, 2023. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 27 fev. 2023.

REGUENGO, L. M. *et al.* Agro-industrial by-products: valuable sources of bioactive compounds. **Food Research International**, v. 152, p. 110871, Feb. 2022.

RESENDE, L. M. **Farinhas de casca de jaboticaba: caracterização, avaliação do potencial como fonte de pectina, estudo da interação fibras – polifenóis e predição de compostos por espectroscopia FTIR**. 2021. 162f. Tese (Doutorado em Ciências de Alimentos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG, 2021.

RESENDE, L. M.; OLIVEIRA, L. S.; FRANCA, A. S. Characterization of jaboticaba (*Plinia cauliflora*) peel flours and prediction of compounds by FTIR analysis. **LWT - Food Science and Technology**, v. 133, p. 110135, Nov. 2020.

REYES, L. F.; CISNEROS-ZEVALLOS, L. Cinética de degradação e cor de antocianinas em extratos aquosos de batata roxa e vermelha (*Solanum tuberosum* L.). **Food Chemistry**, v. 100, n. 3, p. 885-894, 2007.

REZENDE, L. C. G. **Influência do processamento no teor de compostos fenólicos e na avaliação sensorial de geleia de jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba* Vell. Berg)**. 2011. 90f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG, 2011.

RIBAS-AGUSTÍ, A. *et al.* Food processing strategies to enhance phenolic compounds bioaccessibility and bioavailability in plant-based foods. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 58, n. 15, p. 2531-2548, 2018.

RODRIGUES, M. I.; COSTA, P. **Protimiza experimental design**. Campinas-SP: [s.n.], 2023. Disponível em: <https://experimental-design.protimiza.com.br/>. Acesso em: 10 ago. 2023.

RODRIGUES, M. I.; LEMMA, A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos**. 3. ed. rev. Campinas-SP: Cárita, 2017. 358 p.

ROMÃO, P. V. M. *et al.* Cardioprotective effects of *Plinia cauliflora* (Mart.) Kausel in a rabbit model of doxorubicin-induced heart failure. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 242, p. 112042, 2019.

ROMERO, J. *et al.* Valorization of berries' agro-industrial waste in the development of biodegradable pectin-based films for fresh salmon (*Salmo salar*) shelf-life monitoring. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 16, p. 8970, Aug. 2022.

ROSA, R, G. *et al.* Sustainable production of bioactive compounds from jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*): a bibliometric analysis of scientific research over the last 21 years. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, v. 27, p. 100656, June 2022.

RUFINO, M. de S.; *et al.* Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food chemistry**, v. 121, n. 4, p. 996-1002, Aug. 2010.

RUFINO, M. S. M. *et al.* Free radical scavenging behavior of ten exotic tropical fruits extracts. **Food Research International**, v. 44, p. 2072-2075, Aug. 2011.

SAITO, T. *et al.* Jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) peel extract increases bioactive compounds in petit-suisse cheese. **International Food Research Journal**, v. 26, n. 1, p. 277-285, Feb. 2019.

SANCHES, M. A. R. *et al.* Development, characterization and optimization of biopolymers films based on starch and flour from jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) peel. **Food Chemistry**, v. 343, p. 128430, May 2021.

SÁNCHEZ-MADRIGAL, M. A. *et al.* Effect of different calcium sources on the bioactive compounds stability of extruded and nixtamalized blue maize flours. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 5, p. 2701-2710, 2015.

SANTOS, C. M. *et al.* Preparação, caracterização e análise sensorial de pão integral enriquecido com farinha de subprodutos do mamão. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas-SP, v. 21, 2018.

SANTOS, F. G. *et al.* Effect of added psyllium and food enzymes on quality attributes and shelf life of chickpea-based gluten-free bread. **LWT - Food Science and Technology**, v. 134, p. 110025, Dec. 2020.

- SANTOS, M. C. P. *et al.* Profile of phenolic compounds in jaboticaba (*Myrciaria sp.*) a potential functional ingredient. **Natural Product Research**, v. 36, n. 14, p. 3717-3720, 2022.
- SANTOS, N. C. *et al.* Study on drying of black rice (*Oryza sativa L.*) grains: physical-chemical and bioactive quality. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 9, p. 203-212, 2019.
- SAVLAK, N.; TÜRKER, B.; YESILKANAT, N. Effects of particle size distribution on some physical, chemical and functional properties of unripe banana flour. **Food Chemistry**, v. 213, p. 180-186, Dec. 2016.
- SCHEUER, P. M. *et al.* Relationship between instrumental and sensory texture profile of bread loaves made with whole-wheat flour and fat replacer. **Journal of Texture Studies**, v. 47, n. 1, p. 14-23, 2016.
- SEETAL, P. Effect of baking on antioxidant activity: bakery. **South African Food Review**, v. 38, n. 8, p. 2223, Aug. 2011.
- SEGUNDO, C. *et al.* Mechanically fractionated flour isolated from green bananas (*M. cavendishii var. nanica*) as a tool to increase the dietary fiber and phytochemical bioactivity of layer and sponge cakes. **Food Chemistry**, v. 219, p. 240-248, Mar. 2017.
- SERAGLIO, S. K. T. *et al.* Nutritional and bioactive potential of Myrtaceae fruits during ripening. **Food Chemistry**, v. 239, p. 649-656, Jan. 2018.
- SHEHATA, W. A.; AKHTAR, M. S.; ALAM, T. Extraction and estimation of anthocyanin content and antioxidant activity of some common fruits. **Trends in Applied Sciences Research**, v. 15, n. 2, p. 179-186, 2020.
- SILVA, B. M. *et al.* Elaboração de creme de jaboticaba como estratégia para aproveitamento total do fruto: caracterização físico-química e avaliação de compostos bioativos. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, jul. 2020.
- SILVA, D. R. S. *et al.* Influência da incorporação da farinha de resíduo de gergelim na qualidade do pão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, 2020.
- SILVA, M. C. *et al.* Use of the jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) depulping residue to produce a natural pigment powder with functional properties. **LWT - Food Science and Technology**, v. 55, n. 1, p. 203-209, Jan. 2014.
- SOUSA, M. S. B.; VIEIRA, L. M.; LIMA, A. Fenólicos totais e capacidade antioxidante in vitro de resíduos de polpas de frutas tropicais. **Brazilian Journal Food Technology**, Campinas-SP, v. 14, n. 3, p. 202-210, jul./set. 2011.
- SUI, X.; YAP, P. Y.; ZHOU, W. Anthocyanins during baking: their degradation kinetics and impacts on color and antioxidant capacity of bread. **Food Science and Technology**, v. 8, p. 983-994, 2015.
- SUN, J. *et al.* Antioxidant and nitrite-scavenging capacities of phenolic compounds from sugarcane (*Saccharum officinarum L.*) tops. **Molecules**, v. 19, n. 9, p. 13147-13160, 2014.

SZAKÁLY, Z. *et al.* A modified model of the willingness to pay for functional foods. **Appetite**, v. 138, p. 94-101, July 2019.

TAMAROH, S.; SUDRAJAT, A. Antioxidative characteristics and sensory acceptability of bread substituted with purple yam (*Dioscorea alata L.*). **International Journal of Food Science**, v. 2021, July 2021.

TEBBEN, L.; SHEN, Y.; LI, Y. Improvers and functional ingredients in whole wheat bread: A review of their effects on dough properties and bread quality. **Trends in Food Science & Technology**, v. 81, p. 10-24, Nov. 2018.

TEDESCO, L. *et al.* Fases fenológicas da jaboticaba (*Plinia cauliflora*) e composição química do óleo essencial das folhas e atividade antioxidante. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, 2020.

TENG, H. *et al.* Red raspberry and its anthocyanins: bioactivity beyond antioxidant capacity. **Trends in Food Science & Technology**, v. 66, p. 153-165, Aug. 2017.

TOLVE, R. *et al.* Wheat bread fortification by grape pomace powder: nutritional, technological, antioxidant, and sensory properties. **Foods**, v. 10, n. 1, p. 75-75, 2021.

TRIGO, J. P. *et al.* High value-added compounds from fruit and vegetable by-products – characterization, bioactivities, and application in the development of novel food products. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 60, n. 8, p. 1388–1416, 2020.

VALENCIA-HERNANDEZ, L. J. *et al.* Procyanidins: from agro-industrial waste to food as bioactive molecules. **Foods**, v. 10, n. 12, p. 3152, Dec. 2021.

VILAS-BOAS, A. A.; PINTADO, M.; OLIVEIRA, A. L. S. Natural bioactive compounds from food waste: toxicity and safety concerns. **Foods**, v. 10, n. 7, p. 1564, 2021.

WOISKY, R. G.; SALATINO, A. Analysis of propolis: some parameters and procedures for chemical quality control. **Journal of Apicultural Research**, v. 37, n. 2, p. 99-105, 1998.

WU, S-B. *et al.* Bioactive and marker compounds from two edible dark-colored *Myrciaria* fruits and the synthesis of jaboticabin. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 17, 4035-4043, 2013.

WU, S-B.; LONG, C.; KENNELLY, E. J. Phytochemistry and health benefits of jaboticaba, an emerging fruit crop from Brazil. **Food Research International**, v. 54, n. 1, p. 148-159, Nov. 2013.

YANG, Z. Cinética de degradação térmica de antocianinas aquosas e cor visual do sabugo de milho roxo (*Zea mays L.*). **Ciência Alimentar Inovadora e Tecnologias Emergentes**, v. 9, n. 3, p. 341-347, jul. 2008.

ZHAO, Z. *et al.* Anthocyanins characterization and antioxidant activities of sugarcane (*Saccharum officinarum L.*) rind extracts. **Industrial Crops and Products**, v. 113, p. 38-45, Mar. 2018.

APÊNDICE A - Análises de colorimetria e características tecnológicas de formulações de pães de forma, derivados de um planejamento experimental utilizando DCCR com duas variáveis: grau de substituição parcial de farinha de trigo branca por FRSJ e temperatura de assamento

Ensaio	% FRJ	Temp. (°C)	L_crosta	a_crosta	b_crosta	Hue_crosta	Chroma_crosta	L_miolo	a_miolo	b_miolo	Hue_miolo	Chroma_miolo	Vol. esp. (ml/g)	Dens. (g/ml)	% PPF (g)
1	2,18	139	53,55	6,1	16,25	69,42	17,36	45,1	4,6	9,3	63,68	10,38	2,59	0,39	7,50
2	12,8	139	45,95	6,3	7,55	50,16	9,83	34,7	4,3	5,7	52,97	7,14	1,97	0,51	6,00
3	2,18	181	45,8	9,2	16,2	60,41	18,63	42,3	3,95	8	63,72	8,92	2,50	0,40	10,45
4	12,8	181	45,9	7,05	11,3	58,04	13,32	35,15	5,25	5,6	46,85	7,68	2,05	0,49	9,76
5	0	160	55,35	13,15	24,6	61,87	27,89	63,2	2,55	18,2	82,02	18,38	3,08	0,32	9,76
6	15	160	46,35	5,25	7,35	54,46	9,03	35,25	4,25	5,75	53,53	7,15	1,88	0,53	9,71
7	7,5	130	47,5	4,7	9,2	62,94	10,33	38,8	4,85	7,15	55,85	8,64	2,32	0,43	7,00
8	7,5	190	46,95	6	13,15	65,47	14,45	38,4	4,95	7,5	56,58	8,99	2,49	0,40	10,40
9	7,5	160	46,8	5,5	11,15	63,74	12,43	38,3	4,85	6,7	54,10	8,27	2,27	0,44	7,96
10	7,5	160	49,25	5,85	12,65	65,18	13,94	37,6	4,75	7,1	56,22	8,54	2,37	0,42	8,37
11	7,5	160	49,3	5,35	12,6	66,99	13,69	38,95	4,6	7,2	57,43	8,54	2,34	0,43	8,29