



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
Faculdade de Engenharia Química
Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos



THAIANNY RUTH DA SILVA

DISSERTAÇÃO:

ELABORAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE MASSA DE MACARRÃO
INTEGRAL DESENVOLVIDO COM SORGO FERMENTADO

Patos de Minas - MG

2024

THAIANNY RUTH DA SILVA

DISSERTAÇÃO:

**ELABORAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE MASSA DE MACARRÃO
INTEGRAL DESENVOLVIDO COM SORGO FERMENTADO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Alimentos, da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito para a obtenção do título de mestre em Engenharia de Alimentos.

Orientador(a): Dra. Liliane Maciel de Oliveira

Co-orientador(a): Dra. Erika Maria Marcondes Tassi

Patos de Minas – MG

2024

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

S586
2024 Silva, Thaianny Ruth da, 1998-
ELABORAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE MASSA DE MACARRÃO
INTEGRAL DESENVOLVIDO COM SORGO FERMENTADO [recurso
eletrônico] / Thaianny Ruth da Silva. - 2024.

Orientador: Liliane Maciel de Oliveira.

Coorientador: Érika Maria Marcondes Tassi.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de
Uberlândia, Pós-graduação em Engenharia de Alimentos.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2024.114>

Inclui bibliografia.

1. Alimentos - Indústria. I. Oliveira, Liliane Maciel
de ,1982-, (Orient.). II. Tassi, Érika Maria Marcondes ,
1972-, (Coorient.). III. Universidade Federal de
Uberlândia. Pós-graduação em Engenharia de Alimentos.
IV. Título.

CDU: 664

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos - Patos de Minas
Rua Vereador Chico Filgueira, 33, 3º andar, Sala 21 - Bairro Caiçaras, Patos de Minas-MG, CEP 38702-178
Telefone: (34) 3823-3714 - www.ppgea.feq.ufu.br - coordppgea@feq.ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Engenharia de Alimentos				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico n. 6/2024 - PPGEA				
Data:	Vinte e oito de fevereiro de dois mil e vinte e quatro	Hora de início:	13:30	Hora de encerramento:	15:30
Matrícula do Discente:	42212EAL016				
Nome do Discente:	Thaianny Ruth da Silva				
Título do Trabalho:	Fermentação de farinha de sorgo, caracterização e aplicação no desenvolvimento de massa de macarrão integral				
Área de concentração:	Engenharia de Alimentos				
Linha de pesquisa:	Desenvolvimento de Processos e Produtos				

Reúne-se por webconferência (RNP) a Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos, assim composta: Liliane Maciel de Oliveira (Presidente - Orientadora), Felipe Machado Trombete (Membro Externo) e Michelle Andriati Sentanin (Membro UFU).

Iniciando os trabalhos, a presidente da mesa apresentou a Comissão Examinadora e a discente, agradeceu a participação do público, e concedeu à discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação da mesma se deu em conformidade às normas do Programa.

A seguir, a senhora presidente concedeu a palavra aos examinadores, que passaram a arguir a discente. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos legais, a Banca Examinadora, em sessão reservada, atribuiu o conceito final, considerando a discente:

Aprovada.

Esta defesa de Dissertação de Mestrado Acadêmico integra os requisitos à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme será assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Liliane Maciel de Oliveira, Usuário Externo**, em 28/02/2024, às 15:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Michelle Andriati Sentanin, Membro de Comissão**, em 28/02/2024, às 15:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Felipe Machado Trombete, Usuário Externo**, em 28/02/2024, às 15:32, 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://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5153763** e o código CRC **8453C6EE**.

THAIANNY RUTH DA SILVA

**ELABORAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE MASSA DE MACARRÃO
INTEGRAL DESENVOLVIDO COM SORGO FERMENTADO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Alimentos, da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito para a obtenção do título de mestre em Engenharia de Alimentos.

Orientador(a): Dra. Liliane Maciel de Oliveira

Co-orientador(a): Dra. Erika Maria Marcondes Tassi

Banca Examinadora:

Liliane Maciel de Oliveira – Presidente (UFU)

Michelle Andriati Sentanin – Membro 1 (UFU)

Felipe Machado Trombete – Membro 2 (UFSJ)

Dedico este trabalho a minha mãe e meus irmãos, pelo estímulo, carinho e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente à Deus por ter me proporcionado essa jornada em minha vida.

A minha querida mãe, Ana Cristina e a meus irmãos, Thamara, Taissa e João por sempre me incentivarem e acreditarem em meu potencial.

Ao meu companheiro Luís Fernando, por estar do meu lado em toda essa jornada.

As minhas orientadoras Liliane e Érika, por me fazer sempre buscar o melhor de mim.

A toda comunidade acadêmica da UFU por me ajudar melhorar meus conhecimentos na área.

A pesquisadora Valéria e ao técnico de laboratório Rafael por me ajudarem a desenvolver meu trabalho.

A EMPRABA de Sete Lagoas por disponibilizar a matéria-prima para meu projeto.

Aos meus amigos de mestrado que contribuíram ao longo dessa jornada.

“Muitos são os planos no coração do homem, mas o que prevalece é o propósito do Senhor.”
(Provérbios 19,21)

RESUMO

O sorgo é um grão que tem sido utilizado como base alimentar de milhões de pessoas, alimentos como pães, bolos, massas e bebidas. Ele encontra-se entre os cereais mais produzidos no mundo e se destaca por sua alta versatilidade, ausência de glúten e vantagens agronômicas. Em países como Brasil seu cultivo é destinado principalmente para alimentação animal, porém ele é um cereal com potencial para ser empregado como ingrediente em alimentos sem glúten. Alguns tipos de grãos de sorgo são ricos em compostos fenólicos (antinutricionais), que diminuem o aproveitamento pelo organismo, a fermentação é uma alternativa de diminuir esses compostos. O objetivo desse trabalho foi elaborar uma massa de macarrão à base de farinha de sorgo submetida ao processo de fermentação láctica. Foram realizadas análise de composição centesimal, atividade antioxidante, fenólicos totais, antinutricinais, verificação de produção de açúcares de ácidos, para análises exclusivas das massas foram realizadas análises de propriedades de cozimento, textura e cor. Observou-se que a fermentação reduziu os antinutrientes, a atividade antioxidante e os compostos fenólicos, melhorou as propriedades de cozimento, aumentando o rendimento e diminuindo as perdas, alterou as características de textura diminuindo as valores de dureza, cor e composição centesimal.

Palavras-Chave: Sorgo; macarrão; fermentação; glúten-free

ABSTRACT

Sorghum is a grain that has been used as a food base for millions of people, foods such as bread, cakes, pasta and drinks. It is among the most produced cereals in the world and stands out for its high versatility, absence of gluten and agronomic advantages. In countries like Brazil, its cultivation is mainly intended for animal feed, but it is a cereal with the potential to be used as an ingredient in gluten-free foods. Some types of sorghum grains are rich in phenolic compounds (antinutritional), which reduce the body's use. Fermentation is an alternative to reduce these compounds. The objective of this work was to prepare a pasta dough based on sorghum flour subjected to the lactic fermentation process. Analyzes of proximate composition, antioxidant activity, total phenolics, antinutritionals, verification of production of acid sugars were carried out. For exclusive analyzes of the pasta, analyzes of cooking properties, texture and color were carried out. It was observed that fermentation reduced antinutrients, antioxidant activity and phenolic compounds, improved cooking properties, increasing yield and reducing losses, altered texture characteristics by decreasing hardness, color and proximate composition values.

Keywords: Sorghum; noodle; fermentation; gluten-free

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura do grão de sorgo.....	17
Figura 2 - Grãos de sorgo.....	29
Figura 3 - Curva de regressão linear entre a concentração bacteriana e absorbância	41
Figura 4 - Leitura de pH de amostras de farinhas de sorgo durante fermentação láctica.....	42
Figura 5 - Análise HPLC do processo de fermentação.....	44
Figura 6 - Parâmetros de cor das massas em diferentes tempos de fermentação	58
Figura 7- Massas de sorgo fermentadas.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Formulações das massas alimentícias frescas produzidas com farinha de sorgo.....	33
Tabela 2 - Propriedades das farinhas e massas em diferentes tempos de fermentação	49
Tabela 3 - Propriedades de cozimento das massas	52
Tabela 4 - Propriedades de textura das formulações da massa alimentícia cozida elaboradas com farinha de sorgo	53
Tabela 5 - Composição centesimal das farinhas.....	59
Tabela 6 - Composição centesimal das massas	63

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 Objetivo geral	16
2.2 Objetivos específicos	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1 Sorgo (<i>Sorghum bicolor</i> L. Moench)	16
3.1.1 Características gerais do sorgo	16
3.1.2 Sorgo na alimentação humana	20
3.2 Efeito da fermentação nas propriedades tecnológicas e nutricionais do sorgo	22
3.3 Bactérias lácticas	24
3.4 Macarrão	26
4. MATERIAIS E MÉTODOS	29
4.1 Local das análises	29
4.2 Obtenção da matéria-prima	29
4.3 Obtenção da farinha	30
4.4 Fermentação	30
4.4.1 Preparo de estoque das bactérias	30
4.4.2 Construção da curva de calibração entre a absorbância e o número de unidades formadoras de colônias	30
4.4.3 Ensaio fermentativo	31
4.5 Desenvolvimento da massa de macarrão	32
4.6 Determinação da composição centesimal	33
4.7 Atividade antioxidante	34
4.8 Compostos fenólicos	35
4.9 Antocianinas	36
4.10 Determinação de taninos	37

4.11 Determinação de açúcares, álcoois e ácidos orgânicos	38
4.12 Análises do macarrão	38
4.12.1 Propriedades de cozimento	38
4.12.2 Textura	39
4.12.3 Cor	40
4.13 Análise estatística	40
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5.1 Curva de calibração para determinação da concentração de bactérias	40
5.2 Variação de pH e das concentrações de açúcares e ácidos orgânicos ao longo da fermentação	41
5.3 Efeito da fermentação em compostos e propriedades bioativas do sorgo	44
5.3.1 Antioxidantes	44
5.3.2 Fenólicos totais	45
5.3.3 Taninos	46
5.3.4 Antocianinas	47
5.4 Propriedades de cozimento	49
5.5 Textura	52
5.6 Cor	57
5.7 Composição centesimal da farinha e do macarrão	59
5.7.1 Farinha	59
5.7.2 Macarrão	62
6. CONCLUSÃO	65
REFERÊNCIAS	67

1. INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é um grão que tem sido utilizado como base alimentar de milhões de pessoas desde que começou a ser consumido na África, entre 3.000 e 5.000 anos atrás, sendo difundido na Índia e China. Na África, os grãos de sorgo são utilizados no preparo de uma variedade de produtos alimentícios, como mingaus, cuscuz, produtos de panificação, cervejas e farinhas pré-cozidas para uso instantâneo (Rashwan *et al.*, 2021).

Esse grão é um dos cereais mais produzidos no mundo e se destaca por sua alta versatilidade e vantagens agrônômicas como maior tolerância a climas com baixa disponibilidade hídrica (Paiva; Queiroz; Garcia, 2019). Além disso, é um cereal sem glúten e uma excelente alternativa para a produção de alimentos para celíacos. As farinhas de sorgo de diferentes genótipos apresentam composição química e nutricional específicas alterando, assim, os processos tecnológicos e características sensoriais dos produtos aos quais são adicionados (Martino *et al.*, 2012).

O valor nutricional do grão de sorgo é parecido com o do grão de milho, variando de acordo com o genótipo. O carboidrato predominante é o amido, que corresponde ao principal macronutriente, com variação entre 55,6% e 75,2% do cereal. Os teores de proteínas nos grãos são em torno de 7,3% a 15,6%, os de fibras entre 1,2% e 6,6%; os de lipídeos entre 0,5% e 5,2% e os de cinzas, entre 1,1% e 2,5% (Rodrigues *et al.*, 2015).

Em alguns tipos sorgo são encontrados vários tipos de antocianinas. As 3-desoxiantocianidinas e seus derivados são as mais abundantes. Apigeninidina e luteolinidina são 3-desoxiantocianidinas que estão presentes em grandes quantidades especificamente no sorgo, mais do que em outras espécies. São encontradas na região do pericarpo ou testa, região esta que contém uma proporção relativamente grande de compostos fenólicos (Choi *et al.*, 2019).

As antocianinas monoméricas ocupam 30-50% do total de antocianinas no sorgo, sendo que a concentração e composição desses compostos variam de acordo com a variedade do cereal (Awika; Rooney; Waniska, 2005). Estudos anteriores relataram que as principais antocianinas no sorgo preto são luteolinidina e apigeninidina, e que a quantidade dessas antocianinas no sorgo

preto é maior do que no sorgo vermelho ou marrom (Awika; Rooney; Waniska, 2004). É necessário ressaltar que a cor do pericarpo e da testa parece estar relacionada aos teores de compostos fenólicos totais, mas não ao teor de antocianinas monoméricas com base em estudos mostrados por Choi et al. (2019). A variedade de sorgo de cor escura (*Banwoldang*) apresentou pequenas quantidades de antocianinas, entretanto apresentou uma atividade antioxidante relativamente alta, e é provável que outros compostos fenólicos além das antocianinas, como os taninos condensados, possam funcionar como antioxidantes com alta atividade em grãos de sorgo (Choi et al., 2019).

Em alguns tipos de sorgo é comum encontrar um composto fenólico conhecido como tanino do tipo condensado. Este fenólico é responsável pelo sabor amargo e adstringente de alguns alimentos. Além das características sensoriais, os taninos podem, ainda, se ligar às moléculas proteicas reduzindo a taxa de digestão de proteínas. Como resultado, o tanino presente no sorgo reduz o valor nutricional e calórico dos alimentos, levando a uma baixa eficiência alimentar (Mohapatra et al., 2018).

Na literatura já se encontram métodos de processamento que ajudam a reduzir a quantidade de taninos nos grãos, e um deles é o processo de fermentação, como cita Mohapatra et al. (Mohapatra et al., 2018), verificaram que o processo de fermentação diminuiu em 30% o conteúdo de taninos presentes no grão. A fermentação é considerada um dos processos alimentares mais antigos, e está relacionado com melhoria da qualidade nutricional, reológica e sensorial de massas devido à atividade enzimática causada por ações microbianas na redução do tamanho das moléculas e produção de novos compostos. A fermentação láctica é uma das formas mais antigas de fermentar o sorgo, inibe outros microrganismos através da utilização de carboidratos disponíveis e produção de ácidos orgânicos, principalmente ácido láctico, e outros metabólitos na matriz alimentar principalmente através da glicólise, lipólise e proteólise (Puntigam et al., 2021).

Devido ao teor elevado em amido, o sorgo pode ser utilizado para produção de massas alimentícias, como o macarrão, que é um produto alimentar consumido em todo o mundo. Atualmente, o macarrão de trigo é o tipo mais encontrado no mercado. Em países como a China, 30 a 40% do trigo produzido vem sendo utilizado para fazer diferentes tipos de macarrão, sendo a grande

maioria dos macarrões finos e secos (Johnson *et al.*, 2021). O uso do sorgo também pode ser usado como uma alternativa em substituição ao trigo ajudando a suprir a demanda de um nicho específico de mercado, formado pelos consumidores celíacos. A doença celíaca é uma doença autoimune induzida pela ingestão de alimentos contendo certas proteínas encontradas apenas em cereais como trigo, cevada, centeio, kamut, espelta e triticale. Para atender a estes consumidores, a indústria tem o desafio de produzir alimentos sem glúten de boa qualidade, como massas, biscoitos e pães os quais ainda sofrem preconceito no que diz respeito aos aspectos sensoriais (Palavecino *et al.*, 2017).

Diante da demanda por produtos sem glúten, muitas pesquisas de desenvolvimento de produtos utilizando o sorgo em substituição ao trigo foram ou estão sendo realizadas. Souza, (2017) destaca que o consumo no Brasil de alimentos sem glúten vem crescendo e se tornando cada vez mais comum, evidenciando que “o desafio das empresas é oferecer alimentos de qualidade para a substituição dos derivados que contém a proteína em questão”, ressaltando que esse grupo está em ascensão, sendo uma boa opção de investimento para empreendedores.

Devido às propriedades nutricionais do sorgo, um cereal rico em amido, sem glúten e com significativa atividade antioxidante, este estudo visa desenvolver uma massa alimentícia a base deste cereal a partir de duas variedades de sorgo submetidos ao processo de fermentação. A fermentação tem como objetivo alterar a composição das farinhas de sorgo, visando obter materiais com diferentes características. Os produtos foram avaliados em relação às suas propriedades tecnológicas. Ao final, foi proposta uma formulação de um macarrão que seja agradável sensorialmente e nutritivo, de forma a atender aos consumidores que preferem ou necessitam consumir produtos sem glúten.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Elaborar uma massa fresca de macarrão integral à base de farinha de sorgo fermentada analisando os parâmetros tecnológicos, que seja nutritiva e sensorialmente agradável

2.2 Objetivos específicos

- Desenvolver formulações de massas de macarrão sem glúten, à base das farinhas de sorgo;
- Avaliar o efeito de duas variedades de sorgo e da fermentação nas características tecnológicas das massas;
- Obter farinhas de sorgo fermentadas por bactérias lácticas;
- Avaliar o efeito das farinhas de sorgo fermentadas nas características tecnológicas e nutricionais das massas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench)

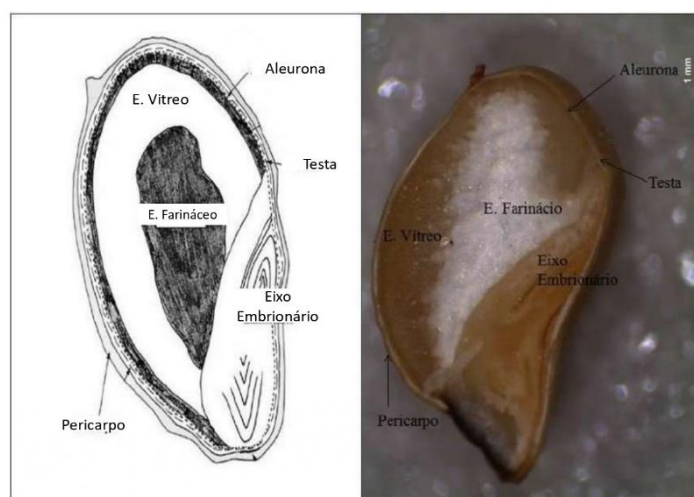
3.1.1 Características gerais do sorgo

O sorgo é uma cultura C4 anual, que diferente da C3 ela se torna mais produtiva em condições de temperaturas mais elevadas, é uma planta diplóide, principalmente endogâmica, que pertence à tribo Andropogonae (Braga *et al.*, 2021). Sendo considerado o quinto cereal mais importante do mundo é amplamente consumido como alimento básico na Nigéria e nas regiões áridas da África, bem como na Ásia e na América Latina (Adedugba *et al.*, 2023). A cultura foi inicialmente domesticada por volta de 4.000 a 6.000 anos atrás na África. O sorgo domesticado deriva de cinco raças, sendo elas, *bicolor*, *guinea*, *durra*, *caudatum* e *kafir*, com diferentes origens geográficas e diferenciação morfológica simplificada (Wu *et al.*, 2022). É um grão considerado altamente produzido em vários países, devido à sua capacidade de se adaptar em

circunstâncias ecológicas e climáticas nos trópicos semiáridos do mundo (Mamo *et al.*, 2023).

O grão de sorgo é constituído principalmente pelo pericarpo, endosperma e gérmen, podendo ser adicionada uma estrutura denominada de testa pigmentada. A testa é encontrada em apenas algumas variedades, localizada entre o pericarpo e o endosperma, a qual apresenta taninos pigmentados. A Figura 1 mostra estrutura do grão. Os compostos fenólicos e os carotenoides estão localizados no pericarpo. O endosperma é constituído por amido, proteínas e sais minerais, e no gérmen encontram-se lipídeos, vitaminas lipossolúveis e do complexo B e sais minerais (Junior, 2017).

Figura 1 - Estrutura do grão de sorgo



E.: Endosperma

Fonte: Silva, 2015

A presença do tanino no grão de sorgo depende da constituição genética do material. Tais características fenotípicas são controladas pelos genes B1 e B2, pelo gene propagador S e por diferentes alelos naturais do gene Tan1 (Wu *et al.*, 2012). Outro gene que afeta o conteúdo de tanino no sorgo, Tan2, foi identificado recentemente (Wu *et al.*, 2019). Cultivares de sorgo sem testa pigmentada apresentam baixos teores de fenóis e ausência de taninos (Wu *et al.*, 2012). A testa é um tecido altamente pigmentado e sua presença é fator

determinante para o conteúdo de tanino em sorgo. Os taninos podem ser classificados em duas categorias: hidrolisável e condensados. Os taninos hidrolisáveis não são encontrados em grandes quantidades no sorgo, possuem efeitos positivos na nutrição animal, como anti-inflamatório e cicatrizante. O tanino condensado é aquele que é encontrado na maioria dos grãos de sorgo tipo granífero, possui características negativas em animais monogástricos, provocando lesões no trato intestinal, reduzindo a absorção de nutrientes (Rodrigues *et al.*, 2015; Vázquez-Flores. *et al.*, 2012).

A relação entre a cor do grão de sorgo e o teor de tanino não é simples. Pigmentos tanto no pericarpo quanto na testa têm influência na cor dos grãos. presença de tanino é avaliado visualmente pela presença/ausência de uma testa pigmentada, e não pela cor do pericarpo. Enquanto os genes B1, B2 e S afetam o conteúdo de tanino e a presença de uma testa pigmentada, a pigmentação do pericarpo é controlada por outros genes além do B1, B2, e S. De acordo com o respectivo teor de tanino, três grupos de cultivares de sorgo são reconhecidos: a) grupo I: baixo teor de tanino, 0–1,8 mg equivalentes de catequina (CE) g⁻¹ massa seca (dm); b) grupo II: tanino de nível médio, 6,4–15,5 mg CE g⁻¹ dm; c) grupo III: alto nível de tanino, 15,5–56,3 mg CE g⁻¹ dm. (Palacios *et al.*, 2021).

Em países asiáticos o cultivo deste cereal é de extrema importância, pois é utilizado na alimentação humana. Entretanto, em países como Brasil, Austrália e Estados Unidos seu cultivo é destinado principalmente para alimentação animal. Ultimamente o grão vem ganhando destaque dentre os cereais cultivados, sendo usado como uma fonte alternativa para substituir o milho e a soja na produção de grãos, além de apresentar grande potencial na substituição do trigo para elaboração de produtos alimentícios (Junior, 2017). É considerada uma cultura de boa adaptação nos mais variados extremos de condições ambientais, incluindo áreas áridas, semiáridas e tropicais do mundo, e é o cereal mais importante das zonas áridas, sendo usado para ração animal, alimentação humana, produção de fibra e combustível (Albuquerque; Menezes; Freitas, 2021).

O sorgo é uma matéria-prima versátil, atende vários segmentos do mercado agrícola mundial, tornando-se uma cultura especial. Acredita-se que o

sorgo é pouco consumido na alimentação humana por motivos sensoriais. Entretanto ele apresenta um elevado valor nutritivo, possuindo características tecnológicas favoráveis para o desenvolvimento de novos produtos, em preparações alimentícias que usualmente são elaboradas com o trigo e o milho (Pereira *et al.*, 2017).

Agronomicamente, o sorgo é dividido em quatro grupos: a) granífero, b) forrageiro para silagem e/ou sacarino, c) forrageiro para pastejo/corte verde/fenação/cobertura morta e d) vassoura. Dos quatro grupos, o sorgo granífero é o que mais tem uma expressão econômica e está entre os cinco cereais mais produzidos em todo o mundo, perdendo apenas para o trigo, arroz, milho e cevada. Destacam-se como maiores produtores no mundo os Estados Unidos, Nigéria, México, Etiópia e Índia (Lima, 2020).

O Brasil encontra-se como o oitavo maior produtor global. De acordo com os dados de estimativa de produção da CONAB, na safra 2023/2024, a área de cultivo terá um aumento chegando a 1.417,6 mil de hectares, e a produção poderá chegar até 4.357,2 mil toneladas (CONAB, 2023). É importante destacar que as estatísticas com relação à cultura do sorgo são veiculadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) e pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), correspondem exclusivamente a cultura do sorgo granífero, unicamente para produção de grãos, caracterizando como uma cultura industrial (Tabosa, 2020).

Em termos mercadológicos, o cultivo de sorgo granífero em sucessão às culturas de verão, principalmente a soja, tem contribuído para a oferta sustentável de grãos de baixo custo para a agroindústria de rações. Atualmente, em toda a região produtora de grãos de sorgo do Brasil Central, o produto mostra boa liquidez para o agricultor e preços competitivos para a indústria que, cada vez mais, procura alternativas para compor suas rações com qualidade e menor custo (Torres, 2022).

O grão de sorgo pode ser utilizado de várias formas na alimentação animal através de grãos secos, moídos ou silagem de grão úmido. Setores da suinocultura e avicultura, que são os principais consumidores, apresentam uma

margem de lucro muito limitado devido aos altos custos de produção, que podem ser reduzidos utilizando o sorgo como matéria-prima 20 a 30% mais barata que o milho (Lima, 2020).

3.1.2 Sorgo na alimentação humana

O sorgo é um cereal fonte de vários nutrientes, especialmente carboidratos, fibras, amido resistente e minerais, como o zinco (Queiroz *et al.*, 2015). Sua composição química pode variar de acordo com a espécie, época de colheita, fatores genéticos e outros. Além dos macronutrientes e minerais, ele também é rico em compostos bioativos, como os fenólicos poliflavanóis, antocianinas e ácidos fenólicos (Awika; Rooney; Waniska, 2004).

Em alguns países asiáticos e africanos o sorgo é consumido em uma grande quantidade na alimentação humana, por ser um alimento difundido nesses locais e também pelas condições climáticas favoráveis para a produção do grão. No continente africano, os grãos de sorgo são utilizados no preparo de uma grande variedade de produtos alimentícios como mingaus, cuscuz, produtos de panificação, cervejas e farinhas pré-cozidas para uso instantâneo” (Mocellin; Marquezi, 2021).

Na literatura é possível encontrar estudos que observam os efeitos benéficos do sorgo para a saúde humana, tais como redução de dislipidemias, inflamações, obesidade, câncer e doença cardiovascular. Dentre os compostos fenólicos do sorgo estão as 3-deoxiantocianidinas e taninos. Estes fitoquímicos são responsáveis pela atividade antioxidante do grão, prevenindo oxidações no nosso organismo e promovendo à saúde humana (Carneiro; Queiroz; Porto, 2019).

Do ponto de vista nutricional, os taninos são considerados um fator antinutricional pois interagem com proteínas e carboidratos tornando-os indisponíveis para o organismo. Pessoas com desnutrição devem evitar o consumo de alimentos que contêm esse composto, uma vez que eles diminuem o aproveitamento dos nutrientes pelo organismo. Este efeito é indesejável para pessoas com desnutrição e problemas de absorção de nutrientes, entretanto, para pessoas com diabetes e obesidade, essa é uma característica que pode ser

benéfica na dieta desses indivíduos, pois auxilia na redução do consumo de calorias (Duarte, 2015).

O interesse no uso do sorgo na alimentação humana é crescente sob novo ponto de vista. O consumo de sorgo com taninos em países com problemas de obesidade e diabetes pode contribuir no combate a estas doenças, ao reduzir a digestibilidade na dieta, reduzindo a quantidade de calorias absorvidas. Assim o uso do grão é uma opção atraente para o desenvolvimento de alimentos saudáveis de menor teor calórico. Além disso, pesquisas sugerem um efeito protetor dos seus nutrientes e fitoquímicos na saúde humana (Pereira *et al.*, 2017). Um estudo realizado por Park *et al.*, (2012) mostrou que camundongos que eram alimentados com extrato de sorgo a uma porcentagem de 0,5 e 1% tiveram uma redução significativa no teor de gordura, níveis de lipoproteína total e de baixa densidade, colesterol, triglicerídeos, glicose e AUC (área sob a curva) para glicose em comparação com o grupo de dieta hiperlipídica. Essa atividade antiobesidade e antidiabética está intimamente relacionada com a cor dos grãos, devido ao alto teor de bioativos (Ironi *et al.*, 2019).

No geral, o sorgo vem se apresentando como uma alternativa altamente viável para uso na alimentação humana em razão principalmente de quatro fatores: 1) Não possui glúten, por isso é totalmente seguro para o desenvolvimento de produtos para os celíacos. 2) Apresenta valor nutricional semelhante ao milho. 3) Apresenta menor custo de produção para o produtor, vislumbrando a possibilidade de redução de custos na indústria alimentícia. 4) Apresenta uma variedade de compostos bioativos com elevada capacidade antioxidante, com potencial para utilização em produtos com característica funcional (Mocellin; Marquezi, 2021).

Na literatura é possível encontrar uma gama de produtos feitos à base de farinha de sorgo, alimentos como bolos, biscoitos, pães, muffins, barra de cereal, massas e vários outros produtos (Queiroz *et al.*, 2020). Um estudo realizado por Benhur *et al.*, (2015) demonstrou que massas produzidas a partir de diferentes proporções de sorgo e sêmola de trigo (50% à 100%) mostraram uma maior aceitabilidade em relação a massa tradicional. Os autores constataram que a massa de sorgo produzida a partir da combinação de sorgo e trigo melhorou as características nutricionais com maiores valores de proteínas, fibras, carboidratos e calorias. Outro estudo realizado por Rashwan *et al.*, (2017)

desenvolveu um macarrão à base de farinha de sorgo branco e vermelho e verificou que essa massa de macarrão apresentou uma maior absorção de água em comparação a massa controle, enquanto as perdas durante o cozimento foram inferiores a 10%, apresentando também uma aceitação sensorial geral de 70,1 a 80,15%.

3.2 Efeito da fermentação nas propriedades tecnológicas e nutricionais do sorgo

A fermentação é uma tecnologia de processamento de alimentos comumente usada, sendo a fermentação láctica provavelmente o meio mais simples e seguro de preservar alimentos. Este método possui grandes benefícios na melhoria do conteúdo nutricional dos alimentos e na sua conservação. Além de auxiliar na preservação de produtos alimentícios, a fermentação pode promover melhorias no sabor, na cor e, contribuir nas características dos nutrientes. (Chinenye; Ayodeji; Baba, 2017). Muitos alimentos básicos africanos são fermentados com bactérias ácido lácticas (BAL), e os alimentos fermentados com essas bactérias constituem uma porção significativa nas dietas e em muitos países de baixa renda (Otunba *et al.*, 2021).

O sorgo é uma cultura que contém uma grande quantidade de compostos nutricionais, como proteínas, ácidos graxos, vitaminas e bioativos (derivados de ácidos hidroxibenzóicos e hidroxicinâmicos). É nos compostos bioativos que se encontram os fatores antinutricionais, que podem afetar a digestibilidade das proteínas, amido e ocasionar alterações de cor durante o processamento, principalmente as antocianinas (Girard; Awika, 2018; Gong *et al.*, 2018).

Durante a fermentação do sorgo, são observadas algumas alterações na composição dos grãos. No estudo de Simwaka *et al.* (2017) os carboidratos foram as principais fontes de nutrientes que diminuíram com a fermentação, por via da glicólise. Porém, observou-se um aumento na biodisponibilidade e a digestibilidade do amido devido à redução de fatores antinutricionais. Da mesma forma, uma diminuição significativa no teor de gordura foi observada devido ao aumento da atividade de enzimas lipolíticas, que hidrolisam triglicerídeos a ácidos graxos e glicerol (Simwaka *et al.*, 2017).

Modificações nos compostos fenólicos também são observadas. De acordo com Adebo *et al.* (2018) estes compostos fenólicos são metabolizados e modificados em outros conjugados, glicosídeos e formas relacionadas. Neste mesmo estudo, os compostos fenólicos como catequina, ácido gálico e quercetina aumentaram após a fermentação. No entanto, o conteúdo de flavonoides, taninos totais e fitatos diminuíram (Adebo; Njobeh; Kayitesi, 2018). Essa reação se dá devido às tanases e taninos acil hidrolases que quebram os complexos de taninos e à atividade da fitase que degrada o fitato. Outros compostos como oxalato e dhurrin também são significativamente reduzidos e suas reduções foram associadas à hidrólise de certos compostos, baixo pH e atividade microbiana (Rodríguez-España *et al.*, 2022).

Além das alterações nutricionais no grão de sorgo realizado pelo processo de fermentação, foram relatadas algumas mudanças nas propriedades reológicas, tecnológicas e sensoriais. Como as proteínas aumentaram sua solubilidade durante o processo de fermentação devido ao baixo pH, surge uma repulsão eletrostática intramolecular, tornando os grupos proteicos mais reativos. As proteínas na fase líquida da massa de sorgo durante o cozimento podem resultar em estrutura mais fraca e estrutura irregular das massas atribuída à repulsão no nível molecular e interferência na gelatinização do amido. O resultado contribuiu para a alta resistência à deformação do gel de amido resultando em uma textura mais desejada dos produtos de sorgo (Olojede; Sanni; Banwo, 2020).

Algumas cepas de BAL, como *Leuconostoc mesenteroides*, têm um efeito positivo nas propriedades viscoelásticas das massas devido à produção de exopolissacarídeos (EPS) como dextrano, que melhora as propriedades de cozimento, como textura e volume de massas de pão. Consequentemente esses benefícios melhoram a estabilidade da massa, textura e aceitabilidade do pão. A fermentação permite a síntese de EPS aumentando o componente elástico da massa de sorgo (Edema, 2011).

A caracterização química de farinhas de sorgo fermentadas é relatada por Marengo *et al.* (2015) nas quais a fermentação causou uma diminuição no pH e um aumento na acidez titulável, que foi quatro vezes maior em relação a farinha de referência de grãos não tratados. O teor de amido diminuiu na farinha fermentada, uma vez que o amido é a fonte primária de carbono para o

crescimento microbiano durante a fermentação. Nesse mesmo estudo foi verificado que as propriedades de massas das farinhas de sorgo fermentadas exigiam temperaturas mais altas para atingir inchaço granular completo, devido ao aumento da degradação hidrolítica do amido. Conseqüentemente, a fermentação resultou em uma diminuição na viscosidade, com os menores valores de viscosidade no final do ciclo amilográfico de aquecimento e resfriamento. A fermentação também ajudou na diminuição da retrogradação.

Para a fermentação do grão de sorgo tem sido tradicionalmente usada a cultura de bactérias lácticas de ocorrência natural, seja através do método *backsloping*, no qual um inóculo já preparado de um lote anterior de alimento fermentado é adicionado ao meio para fermentação, ou pelo processo natural de fermentação (Dlamini; Taylor; Rooney, 2007). Estas bactérias promovem efeitos positivos no sorgo, pois hidrolisam peptídeos alergênicos, polissacarídeos e lipídios, contribuindo positivamente para a biodisponibilidade de nutrientes, digestibilidade dos alimentos e vida útil, além de melhorar características como textura, cor e sabor do produto final (Mohapatra *et al.*, 2018).

Fermentações espontâneas podem acarretar variações na qualidade do produto e, em alguns casos, permitir o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis, como patógenos. Portanto, substituir os microrganismos naturais por culturas iniciadoras torna a fermentação reprodutível, estável e confiável. Um estudo realizado por Mohapatra *et al.* (2018) relata a utilização BAL à base de soro de leite para fermentar grão de sorgo granífero e foi verificado que houve um aumento no teor de proteínas e carboidratos, enquanto diminuiu o teor de gordura e fatores antinutricionais, como o inibidor de tripsina. Na fermentação, houve aumento das atividades antioxidantes do sorgo integral e dos aminoácidos totais.

3.3 Bactérias lácticas

As bactérias ácido lácticas possuem formatos de bastonetes ou cocos, são Gram-positivos, catalase-negativas, não formadoras de esporos e produtoras de ácido láctico como um dos principais produtos finais metabólicos da fermentação de carboidratos (Mokoena, Mduduzi; Omatola; Olaniran, 2021).

Microrganismos

como

Pediococcus, *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc* e *Streptococcus* são as espécies LAB mais comuns associadas à fermentação de alimentos. Elas apresentam como características uma grande capacidade de realizar fermentação anaeróbica e boas propriedades fisiológicas, como regulação da microbiota intestinal, aumento do peristaltismo intestinal, manutenção do equilíbrio microecológico intestinal, redução da inflamação e melhora da função intestinal (Yang *et al.*, 2023). Algumas BAL melhoram a estabilidade das matérias-primas, valores nutricionais e propriedades sensoriais dos alimentos (Mgomi *et al.*, 2023).

Atualmente, os produtos fermentados por BAL derivados de frutas, vegetais, grãos e chá vem tornando gradualmente as bebidas e alimentos populares devido às suas propriedades sensoriais e nutritivas (Vasilean *et al.*, 2021). Notavelmente, o sabor apetitoso dos alimentos fermentados é resultado do acúmulo de compostos aromáticos voláteis substanciais, essa característica é atribuída aos metabólitos primários e secundários das BAL (Di Cagno; Filannino; Gobbetti, 2017). Substâncias funcionais produzidas pelas BAL incluem ácidos graxos de cadeia curta, polissacarídeos extracelulares, vitaminas e peptídeos bioativos (Li, Ruili *et al.*, 2022).

No caso do sorgo, a fermentação láctica é uma das formas mais comuns de fermentar o cereal. Essa fermentação ajuda a inibir outros microrganismos através da utilização de carboidratos disponíveis e acúmulo de ácidos orgânicos, principalmente o ácido lático, e outros metabólitos, como bacteriocinas, na matriz alimentar, principalmente através da glicólise, lipólise e proteólise. As BAL contribuem para o enriquecimento de nutrientes como vitaminas do complexo B, além de melhoria do sabor e textura devido à síntese de exopolissacarídeos (EPS), lipídios e proteínas e redução de fatores antinutricionais (Rodríguez-España *et al.*, 2022).

Correia *et al.* (2010) cita que proteínas solúveis e aminoácidos livres da amostra de farinha de sorgo fermentada com *Lactocacillus brevis* aumentou 23,91% e 57,20%, respectivamente. Esse aumento se deu devido à hidrólise de proteínas insolúveis por proteases. Os grânulos de amido de sorgo são completamente fechados em uma matriz de proteína muito compacta, que pode restringir os grânulos de amido à gelatinização completa e a utilização de LAB ajuda a tornar o amido mais acessível (Correia *et al.*, 2010).

Em um estudo realizado por Marengo *et al.* (2015), em que adicionou-se uma farinha de sorgo fermentada com bactérias lácticas a uma formulação de massa de macarrão à base arroz, verificou-se que a adição de farinha de sorgo fermentado promoveu uma melhora na qualidade do cozimento e aumentou significativamente a viscosidade das massas, destacando uma maior capacidade de inchamento dos grânulos de amido.

O *Lactobacillus plantarum* é uma das espécies BAL mais importantes, pois é um dos maiores genomas entre BAL e possui uma alta proporção de genes reguladores (Zhai *et al.*, 2020), e, portanto, é amplamente encontrado em produtos lácteos, vegetais, carne, vinho, trato gastrointestinal e trato urogenital. Sua diversidade indica a incrível adaptabilidade de *L. plantarum* e sua gama diversificada de vias metabólicas. Além disso *L. plantarum* é um microrganismo com uma longa história de uso em alimentos. A esse microrganismo foi concedido o status de Presunção de Segurança Qualificada (QPS) pela Autoridade Europeia de Segurança Alimentar (EFSA) e Segurança Geralmente Reconhecida (GRAS) da Administração de Alimentos e Medicamentos dos EUA (FDA) (Wang *et al.*, 2023).

3.4 Macarrão

O macarrão é conhecido como alimento básico tradicional, sendo amplamente consumido em muitos países asiáticos devido à sua variedade, conveniência e palatabilidade (Fu, 2008). Ele é um alimento de conveniência popular em todo o mundo, preparado principalmente a partir de trigo duro ou arroz por cozedura e por extrusão. A massa tradicional italiana é feita a partir de sêmola de trigo duro que, graças à emigração europeia, tornou-se popular em todo o mundo e é consumida quase diariamente em muitas culturas (Benhur *et al.*, 2015).

De acordo com BRASIL (2022) massa alimentícia é o produto obtido da farinha de trigo (gênero *Triticum*), de derivados de trigo durum (*Triticum durum* L.) ou de derivados de outros cereais, leguminosas, raízes ou tubérculos, resultante do processo de empasto e amassamento mecânico, sem fermentação, podendo ser apresentado seco, fresco, pré-cozido, instantâneo ou pronto para o consumo, em diferentes formatos e recheios.

A produção de massas consiste relativamente em algumas etapas simples como: mistura, modelagem e secagem (para produtos secos). A etapa de mistura visa hidratar os diferentes ingredientes secos para atingir aproximadamente 30% de teor de água e homogeneizar o material. Posteriormente essa mistura é moldada através de um dos três métodos principais: laminação, extrusão e cozimento por extrusão. Durante esta etapa, os ingredientes são transformados química e fisicamente em função das condições de tratamento. Por fim, o produto é seco em várias etapas para prolongar sua vida útil, mantendo suas características tecnológicas e nutricionais (Palavecino *et al.*, 2020).

No Brasil são encontrados mais de 60 tipos de macarrão sendo divididos em categorias. O espagete se encontra no topo do ranking de tipo de macarrão mais consumido. As massas frescas possuem características artesanais, passam por processo parcial de secagem e são comercializadas refrigeradas, podendo ser recheadas com vários ingredientes, como o ravióli, canelone e capelete, entre outras. As massas instantâneas, de origem japonesa, são pré-cozidas durante o processo de fabricação e ficam prontas em poucos minutos. O macarrão com ovos, além de farinha e água são adicionados de ovos. O macarrão de sêmola é elaborado a partir do trigo duro, utilizando a semolina, que é uma fração de tamanho maior de partícula, sendo obtido pelo endosperma do grão. O macarrão integral é preparado com farinha de trigo integral, possuindo propriedades nutricionais. Outro tipo muito consumido no exterior, o grano duro, está presente nas gôndolas brasileiras, mas ainda apresenta baixo consumo. É feito com um tipo especial de trigo denominado *Triticum durum* e água. Após o cozimento, resulta em massa mais solta e al dente (Zanão; Madi, 2021).

Dependendo dos ingredientes que são utilizados na formulação, o macarrão pode possuir propriedades nutricionais, como, fonte de energia e fibras e baixo índice glicêmico. Para atender às exigências dos consumidores por alimentos mais saudáveis, têm sido adicionados produtos como vitaminas, farinhas e grãos integrais, minerais e ingredientes orgânicos. Atendendo à questões como nutrição, saúde e bem-estar, a indústria vem se adaptando aos termos de compromisso assinados com o Ministério da Saúde para reduzir quantidades de gorduras, sódio e açúcar nos alimentos processados (Zanão; Madi, 2021).

Massas produzidas a partir de farinhas que possuem glúten apresentam alta qualidade de cozimento e mantêm boa textura, são resistentes à desintegração da superfície, com reduzida perda de sólidos na água de cozimento, conservando uma estrutura firme, além de não apresentar superfície pegajosa. Essas características estão relacionadas à constituição da principal proteína formadora de estrutura, o glúten. Deste modo, sua ausência em massas sem glúten resulta em problemas tecnológicos e de qualidade (Larrosa *et al.*, 2016).

Na tentativa de imitar a coesão e elasticidade de uma massa contendo glúten, uma ampla gama de ingredientes e/ou aditivos alternativos foi testada. Os mais promissores na substituição do glúten incluem amidos, farinhas de cereais/pseudocereais, hidrocolóides e proteínas. Os ingredientes adicionados selecionados para ajudar a construir e fortalecer a massa sem glúten são enzimas e emulsificantes. Tais combinações são frequentemente usadas para melhorar as características reológicas do produto sem glúten (Palavecino *et al.*, 2020).

Para o melhoramento das propriedades tecnológicas de massas sem glúten, pode-se adicionar hidrocolóides às formulações. Estes, por sua vez, são polissacarídeos não amiláceos, tais como a goma de xantana, a goma de alfarroba, os alginatos e a carboximetilcelulose (CMC), que são estabilizadores sendo alguns utilizados na tecnologia alimentar para proporcionar viscosidade, melhorar a firmeza, dando corpo e melhorando sensação na boca ao produto final. Através da capacidade de se ligarem à água, estes podem aumentar a taxa de reidratação da massa ao cozinhar. Estes hidrocolóides possuem propriedades viscoelásticas muito expressivas e podem ser usadas para imitar as propriedades do glúten e contribuir para formação da textura elástica da massa, contribuindo para a redução de problemas tecnológicos e de qualidade de massas e outros alimentos sem glúten (Martins, 2017).

A incorporação do sorgo a massas alimentícias tem sido testada em alguns estudos, com a finalidade de melhorar o valor nutricional do alimento. Um estudo desenvolvido por Johnson *et al.* (2021) verificou que ao adicionar farinha de sorgo preto a uma formulação de macarrão tipo-soba a diferentes concentrações e verificou que houve um aumento na capacidade antioxidante das massas e a amostra que continha 50% da farinha de sorgo em sua

formulação apresentou resultados excelentes no que diz respeito a aceitação sensorial.

Farinha de batata (10-40%) foi usada em macarrão de sorgo com bons resultados em indicadores de qualidade, como tempo de cozimento e perda de cozimento (Ferreira *et al.*, 2016) e a adição de farinha de milho (50%) a uma formulação de sorgo aumentou absorção de água, produzindo uma mudança significativa na massa estrutura (Paiva; Queiroz; Garcia, 2019).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Local das análises

Os experimentos foram conduzidos nos laboratórios da Universidade Federal de Uberlândia – *Campus* Patos de Minas e na Universidade Federal de São João del-Rei – *Campus* Sete Lagoas.

4.2 Obtenção da matéria-prima

Foram utilizados grãos de sorgo do tipo granífero com presença de taninos de coloração vermelha (CMSXS 3019) e sem taninos de coloração branca (BR 501) como mostra a Figura 2 abaixo, eles foram doados pela Embrapa Milho e Sorgo, localizada em Sete Lagoas, Minas Gerais.

Figura 2 - Grãos de sorgo



Fonte: autor (2023)

4.3 Obtenção da farinha

Os grãos foram moídos em um moinho de facas modelo Marconi (MA680) e a farinha separada em peneiras de 600 µm. As frações que passaram pela peneira foram embaladas em sacos de polipropileno e armazenadas à 4°C para uso posterior.

4.4 Fermentação

4.4.1 Preparo de estoque das bactérias

Nesse projeto foi utilizada a bactéria *Lactobacillus plantarum* B7, doada pela Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais. As bactérias, que estavam armazenadas em placas de Petri contendo agar MRS, passaram por um processo de reativação em duas etapas para posterior congelamento. Inicialmente algumas colônias foram transferidas para tubos de ensaio de 10 mL contendo 9 mL de caldo MRS e incubadas por 24 horas à 37°C em estufa bacteriológica SL - 101. Posteriormente foram transferidos 100µl do caldo fermentado para outro tubo de 10 mL contendo 9 mL de caldo MRS, que foram armazenados por mais 24 horas à 37°C. Adicionou-se glicerol ao conteúdo de caldo MRS já fermentado de forma a atingir uma concentração de 20% de glicerol, e transferiu-se 1 mL dessa mistura para microtubos de 1,5 mL, que foram armazenados à -80°C.

4.4.2 Construção da curva de calibração entre a absorbância e o número de unidades formadoras de colônias

Nos ensaios de fermentação da farinha, foi necessário transferir quantidades fixas e conhecidas no inóculo. A determinação da concentração de células na suspensão de inóculo foi feita pela medida de absorbância a 600 nm, por ser um método rápido e de fácil execução. Assim, para conhecer a relação entre a absorbância e a concentração de células, ou o número de unidade formadoras de colônias por volume (UFC/mL), foi feita uma curva de calibração.

Primeiramente foi feita a reativação da bactéria previamente congelada em meio MRS, onde o conteúdo do microtubo foi transferido para um tubo de 10 mL contendo 9 mL de caldo MRS e incubado por 24 horas à 37°C. Depois do meio fermentado foram realizadas dez diluições com água destilada, que variou de 50% à 1% do caldo fermentado. Também com o meio fermentado foram feitas diluições seriadas com água peptonada para a contagem de colônias em placas. O plaqueamento foi feito pelo método *pour plate* em meio de cultura ágar MRS. As placas foram incubadas por 24 h à 37 °C, e em seguida realizou-se a contagem das placas. A partir das diluições do meio fermentado com água destilada foram feitas as leituras de absorbância à 600 nm para cada diluição. Com os dados obtidos, foi feita a regressão linear no Excel para a construção da curva de calibração de UFC/mL versus absorbância.

4.4.3 Ensaios fermentativos

Inicialmente foi feito a reativação da bactéria congelada em meio MRS, onde o conteúdo do microtubo foi transferido para um tubo de 10 mL contendo 9 mL de caldo MRS e incubado por 24 horas à 37°C. Após esse período o tubo fermentado foi centrifugado à 3000 RPM, à 10°C por 5 minutos. O sobrenadante foi descartado e adicionado água peptonada 1% estéril até aproximadamente o volume anterior. As células foram ressuspensas e centrifugadas novamente, nas mesmas condições anteriores, esse processo de lavagem foi realizado duas vezes. Ao final as células foram ressuspensas em água peptonada 1%. Foi medida a absorbância à 600 nm da suspensão celular, usando água peptonada 1% como branco. Com o valor da absorbância, foi calculado a concentração de células, em UFC/mL, da suspensão de inóculo, utilizando a curva de calibração obtida anteriormente.

Padronizou-se uma concentração de inóculo nos ensaios de fermentação de 10^5 UFC/mL (Adebisi *et al.*, 2021). Assim, por meio de cálculos de diluição, foi determinado o volume de inóculo a ser adicionado em cada fermentação, de acordo com a Equação 1:

$$V_1 = \frac{C_2 * V_2}{C_1} \quad (1)$$

V1= volume da suspensão de inóculo que foi adicionado em cada frasco da fermentação;

V2= volume correspondente à farinha mais a água em cada frasco de fermentação

C1= concentração bacteriana na suspensão contendo o inóculo, em UFC/mL;

C2= concentração celular desejada na farinha e água, de 10^5 UFC/mL (Adebiyi *et al.*, 2021).

Adicionou-se 40g de farinha de sorgo em frascos Erlenmeyers de 250 mL, que foram autoclavados a 121°C por 15 min. Adicionou-se água destilada estéril aos frascos, de forma a manter uma proporção 1:2 (farinha:água; m:v), e o inóculo, no volume determinado pela Equação 1. Os frascos foram tampados com tampões de algodão e gaze, homogeneizados e embalados com papel filme para reduzir a troca gasosa com o ambiente externo, numa tentativa de evitar a entrada de oxigênio. A fermentação foi realizada dentro de incubadora BOD à 37°C por 4, 8, 12 e 24 horas. Os experimentos foram feitos em duplicata.

No tempo inicial (0 h) e ao final de cada tempo de fermentação, foram verificados os valores de pH do caldo fermentado com um medidor de pH (MPA 210). Uma amostra da fração líquida foi retirada, centrifugada a 5000 RPM, por 5 min à 10°C, e o sobrenadante foi coletado e armazenado à -80°C para determinação de açúcares e ácidos orgânicos. Nos tempos determinados, o conteúdo de cada frasco foi seco em estufa convectiva à 60°C por 10 horas, tempo suficiente para as farinhas atingirem sua umidade inicial. Em seguida, as farinhas foram moídas, peneiradas, acondicionadas em sacos de polipropileno e armazenadas à 4°C para uso posterior.

4.5 Desenvolvimento da massa de macarrão

Para obtenção das massas foram realizados testes preliminares a partir da formulação desenvolvida por Palavecino *et al.* (2017) com modificações, para a padronização dos seguintes ingredientes: farinha de sorgo com e sem tanino, farinha de ora-pro-nóbis, albumina do ovo, ovo em pó, amido pré-gelatinizado e água. Condições ideais foram verificadas para o desenvolvimento das formulações da massa, de forma que a mesma pudesse ser aberta sem quebrar e que obtivesse o formato mais adequado ao talharim. Foram desenvolvidas 04

formulações do produto final macarrão de sorgo branco não fermentado (MB), macarrão de sorgo vermelho não fermentado (MV), macarrão de sorgo branco fermentado (MBF) e macarrão de sorgo vermelho fermentado (MVF), como mostra a Tabela 1.

Os ingredientes secos foram pesados, peneirados e em seguida homogeneizados em um refratário. Posteriormente, foi adicionada a quantidade de água necessária sovando até atingir o ponto de uma massa lisa e uniforme. A massa resultante passou por um cortador de massas (HERCULES/MUNDIAL SA), obtendo um formato de talharim. O macarrão foi embalado em embalagens de polipropileno e armazenados à 4°C para posteriores análises.

Tabela 1 - Formulações das massas alimentícias frescas produzidas com farinha de sorgo

INGREDIENTES (g)	Formulações			
	MB	MV	MBF	MVF
Sorgo Branco	50	-	50	-
Sorgo Vermelho	-	50	-	50
Ora-pró-nobis	2,5	2,5	2,5	2,5
Albumina do ovo	11	11	11	11
Ovo em pó	9	9	9	9
Amido pré-gelatinizado	30	30	30	30
Água (mL)	60	60	60	60

MB: macarrão de sorgo branco não fermentado; MV: macarrão de sorgo vermelho não fermentado; MBF: macarrão de sorgo branco fermentado; MVF: macarrão de sorgo vermelho fermentado

Fonte: autor (2023)

4.6 Determinação da composição centesimal

Para as análises físico-químicas das farinhas não fermentadas e fermentadas e das massas produzidas a partir dessas farinhas, foi feita a composição centesimal. Foram determinados os teores de umidade, cinzas, lipídeos, proteínas, fibras e carboidrato. Todas as análises foram feitas em triplicata. Foi utilizado apenas um tempo de fermentação para a caracterização das massas fermentadas, usando o tempo de 4 horas de fermentação. Os dados sobre caracterização das farinhas de sorgo e das massas apresentados nas

seções seguintes sugerem que modificações proteicas, do amido e das propriedades funcionais e nutricionais das farinhas induzidas pela fermentação ocorrem de maneira mais favorável às 4h, e que não há necessidade de tempos de fermentação mais longos (Marengo *et al.*, 2015).

A umidade das amostras foi determinada por secagem em estufa a 105° C, até atingir um peso constante (AOAC, 2005). O teor de cinzas foi determinado por incineração em mufla com temperatura de 550° C (AOAC, 2005). O teor de lipídeos foi determinado pela metodologia de Soxhlet (AOAC, 2005). Para o teor de nitrogênio, foi realizado o método de Kjeldahl clássico sendo utilizado o fator de correção de 5,83 para a farinha e 5,70 para o macarrão (AOAC, 2005). O conteúdo de fibra bruta foi determinado pelo equipamento determinador de fibras (TE-149). E por fim o teor de carboidratos na amostra foi obtido pelo método de diferença.

4.7 Atividade antioxidante

Para determinação de atividade antioxidante das farinhas e massas foi usado o método ABTS de acordo com a metodologia de Awika *et al.* (2003). Onde 1,0g de amostra foram depositadas em erlenmeyer de 125 mL, foi adicionado 25 mL de solução de extração de metanol 1% Ácido Clorídrico no erlenmeyer e tampado com plástico filme. A extração ocorreu em 2 horas sob agitação de 200 rpm em mesa rotativa, logo após as amostras foram centrifugadas à 3000 rpm por 10 min. 100 µL do extrato foi transferido para um tubo de centrifuga de 15 mL. No mesmo tubo foi adicionado 100 µL de Metanol 1% HCl, em seguida adicionou-se 2,9 mL da solução de trabalho do radical ABTS com absorbância ajustada para 1,5. Depois de tampados e levemente agitados, eles foram armazenados sob a ausência de luz por 30 min com finalidade de completar a reação. Em seguida foi feita a leitura das amostras e do branco (Metanol PA) sobre comprimento de onda de 734 nm.

A atividade antioxidante foi determinada usando o cálculo abaixo:

$$C_{abts} = (\%inibição - b) * V_{ext} * F_d * \left(1 + \frac{\left(\frac{U}{100}\right)}{a * M_a * 1000}\right) \quad (2)$$

C_{ABTS} = Atividade antioxidante (µmol TE/g)

$$\% \text{ inibição} = (ABS_{\text{controle}} - ABS_{\text{amostra}}) * \frac{100}{ABS_{\text{controle}}} \quad (3)$$

B= Coeficiente linear da equação da reta

V_{ext} = Volume de solução usada na extração da amostra (mL)

A= Coeficiente angular da equação da reta

Ma= Massa da amostra pesada (g)

Fd= Fator de diluição da amostra

U= Umidade da amostra (%)

ABS_{controle}= absorvância do Metanol 1% HCl

4.8 Compostos fenólicos

Para a determinação de compostos fenólicos das amostras de farinha e macarrão, foi usada a metodologia de Dykes et al. (2005). Primeiramente foi preparado a solução padrão de Ácido Gálico dissolvido em Metanol PA em concentrações de 25, 50, 100, 150 e 200 µg/mL. Com a solução pronta foram adicionados água deionizada, solução reagente Folin-Ciocalteu 0,02 N e solução de Etanolamona 0,5 M aguardou 20 min para completar a reação e foi feita a leitura em comprimento de 600 nm .Posteriormente 1,0g de amostra foram depositadas em erlrmeyer de 125 mL, foi adicionado 25 mL de solução de extração de metanol 1% Ácido Clorídrico no erlrmeyer e tampado com plástico filme. A extração se deu em 2 horas sob agitação de 200rpm em shaker, logo após as amostras foram centrifugadas à 3000 rpm por 10 min. Após a extração 100 µL foi retirado do sobrenadante e transferido para um tubo de centrifuga de 15 mL. Com o auxilio de uma micropipeta foi adicionado 1,1 mL de água deionizada, 0,4 mL de solução reagente Folin-Ciocalteu 0,02 N e 0,9 mL de solução de Etanolamona 0,5 M. Os tubos foram tampados e agitados e se esperou mais 20 min para completar a etapa de reação. Após foi feita a leitura com comprimento de onde de 600 nm onde também foi feita a leitura do branco (Metanol PA) para a correção das absorvâncias. O procedimento foi realizado em duplicata. O total em fenólicos de cada amostra foi mensurado como equivalente ao ácido gálico (EAG) baseado na curva de calibração de ácido gálico de 25 a 200 µg/mL.

O cálculo da concentração de fenólicos totais foram realizadas utilizando a fórmula abaixo:

$$C_{fen} = ((ABS_{amostra} - ABS_{branco}) - b * V_{ext} * Fd * \frac{1 + (\frac{U}{100})}{a * Ma}) \quad (4)$$

C_{fen} = Concentração de fenólicos totais (mg GA/g)

$ABS_{amostra}$ = Absorbância encontrada na amostra

ABS_{branco} = Absorbância encontrada no branco da amostra

b = Coeficiente linear da equação da reta

V_{ext} = Volume de solução usada na extração da amostra (mL)

a = Coeficiente angular da equação da reta

Ma = Massa da amostra pesada (g)

Fd = Fator de diluição da amostra

U = Umidade da amostra (%)

4.9 Antocianinas

As antocianinas das amostras de farinha e macarrão foram determinadas pelo método cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) baseada na metodologia Yang et al. (2009) e Yang et al. (2012). Onde 1,0g de amostra foram depositadas em erlrmeyer de 125 mL, foi adicionado 20 mL de solução de extração de metanol 1% Ácido Clorídrico no erlrmeyer e tampado com plástico filme. A extração se deu em 2 horas sob agitação de 200 rpm em shaker, logo após as amostras foram centrifugadas à 3000 rpm por 10 min. A amostra foi filtrada em filtro de 0,22 µm PTFE hidrofílico e injetado no sistema de cromatografia líquida, equipado com um detector de PDA. Foram utilizadas as seguintes condições: coluna C-18 fase reversa (150 x 4,6 mm) equipada com uma coluna guarda C-18 (10 mm x 3,9 mm), temperatura de forno a 35°C, volume de injeção de 10 µL, detecção a 480 nm. A fase móvel teve fluxo de 1ml/min, composta de 4% de ácido fórmico em água ultrapura (linha A) e acetonitrila PA (linha B). O gradiente de eluição para B foi de 0-3 min, 10% isocrático; 3-4 min , 10-12%, 4-5 min, 12% isocrático; 5-8 min, 12-18%, 8-10 min, 28% isocrático; 10-12 min, 18-19%, 12-14 min, 19% isocrático; 14-18 min, 19-

21%, 18-22min, 21-26%, 22-28 min, 26-28%, 28-32 min, 28-40%, 32-34 min, 20-60%, 34-36 min, 60% isocrático; 36-38 min, 60-10%, 38-45 min, 10% isocrático. Todo o procedimento foi realizado em duplicatas.

4.10 Determinação de taninos

As análises de taninos foram determinadas pelo método de Price et al. (1978) com pequenas modificações. Primeiramente foi preparado a solução padrão de Catequina dissolvido em Metanol PA em concentrações de 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 e 1,0 mg/mL. Com a solução pronta adicionou-se 5 mL de solução Vanilina Reagente e esperou 20 min para completar a reação e fazer a leitura com comprimento de onda ajustado para 500nm, a partir desses valores foi construído a curva de calibração. Posteriormente 0,3 g de amostra de farinha e macarrão (não fermentados e fermentados) foram depositadas em tubos de centrifuga de 50 mL e feita a adição de 8 mL de solução extração de metanol 1% Ácido Clorídrico no tubo. O tubo ficou sob agitação por 20 min à 200 rpm, logo após as amostras foram centrifugadas por 10 min à 3000 rpm. Foi pipetado 1 mL do sobrenadante e transferidos para tubos de centrifuga de 15 mL, essa etapa foi realizada em duplicatas. Na primeira repetição adicionar 5 mL de solução de Vanilina Reagente e agitar. Na segunda repetição, adicionar 5 mL de solução de 4% HCl em metanol e agitar, nessa etapa faz-se o branco da amostra (solução sem o conteúdo da amostra). Foi-se necessário aguardar 20 min para completar a reação, logo após foi feita a leitura em espectrofotômetro em 500 nm.

O cálculo da concentração de taninos das amostras foi realizado usando a fórmula abaixo:

$$C_{tan} = ((ABS_{amostra} - ABS_{branco}) - b) * V_{ext} * \frac{1 + \left(\frac{U}{100}\right)}{a * M_a} \quad (5)$$

C_{tan} = Concentração de taninos (mg CE/g)

$ABS_{amostra}$ = Absorbância encontrada na amostra

ABS_{branco} = Absorbância encontrada no branco da amostra

B = Coeficiente linear da equação da reta

V_{ext} = Volume de solução usada na extração da amostra (mL)

A= coeficiente angular da equação da reta

Ma= Massa da amostra pesada (g)

U= Umidade da amostra (%)

4.11 Determinação de açúcares, álcoois e ácidos orgânicos

A concentração de açúcares (sacarose, glicose e frutose), álcoois (glicerol e etanol) e ácidos orgânicos (cítrico, málico, succínico, láctico, acético, propiônico e butírico) foram analisadas utilizando um sistema de cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), com um detector de UV em 210 nm para ácidos orgânicos, segundo metodologia de Silva et al. (2013) e Evangelista et al. (2014). A amostra foi filtrada em filtro de nylon de 0,20 micron e injetada no sistema cromatográfico, (Shimadzu Corp., Japão®), modelo LC-20A Prominence, coluna SUPELCOGEL C610H, na qual os componentes foram separados e detectados por refração de luz. Foi utilizada Ácido fosfórico 0,1% como solução de arraste, o fluxo da bomba de foi 0,5 mL/min, a temperatura do forno foi 32°C e o volume de injeção foi 20 microlitros.

4.12 Análises do macarrão

4.12.1 Propriedades de cozimento

O tempo ótimo de cozimento (TOC) foi determinado após realização de testes preliminares, quando as amostras se apresentaram altamente flexíveis e com a parte central macia (Borges *et al.*, 2003). Não foi possível realizar o teste determinado pela AACC 16-50 (AACC, 1999), onde a massa de macarrão é comprimida entre duas superfícies de vidro até a parte central desaparecer, pois a massa não apresentou coloração esbranquiçada na parte central em nenhum momento durante o cozimento.

O parâmetro de rendimento de cozimento foi determinado a partir da metodologia citada por Xu et al. (2021). Para medição do rendimento de cozimento (RC), 10 fios de macarrão cru foram pesados e, em seguida, fervidos em 400 mL de água destilada no tempo de cozimento ideal de cada amostra com

ligeira agitação. Posteriormente o macarrão foi lavado em água fria por 30 segundos e drenado por 5 minutos para pesagem. O rendimento de cozimento do macarrão cozido foi calculado como equação abaixo:

$$\text{Rendimento de Cozimento (\%)} = \left(\frac{Ma}{Mb} \right) * 100 \quad (6)$$

Ma=massa do macarrão após o cozimento (g)

Mb= massa do macarrão antes de cozinhar (g)

A perda de cozimento (PC) foi determinada pelo método 16-50 AACC (1999) depois de cozido a um tempo de cozimento ideal. As amostras de macarrão (20g) foram submetidas ao cozimento com um volume de 500 mL de água. A amostra da água após cozimento foi coletada, e foi transferida para um béquer seco e pesado. O béquer com a água do cozimento foi colocado em um forno convencional à 100°C para evaporação da água e posteriormente em estufa de ar a 105°C até atingir peso constante. A taxa de perda de matéria seca foi dada em g/100g e transformada em porcentagem.

4.12.2 Textura

Para análise do perfil de textura das massas não fermentadas e fermentadas foi utilizado analisador de textura (Texture Analyser, TA.XT Plus). Foram analisados os parâmetros dureza, adesividade, elasticidade, coesividade e mastigabilidade.

As massas cozidas foram cortadas com 5 cm de comprimento para cada fio de macarrão. Utilizou-se uma *probe* de alumínio (P/20) e os parâmetros do equipamento foram ajustados para os seguintes valores: velocidade de pré-teste de 1,0 mm/s, velocidade de teste de 0,5 mm/s, velocidade de pós-teste de 10 mm/s, força de 100% e tempo de compressão de 3 s. As amostras foram

comprimidas duas vezes para a obtenção dos parâmetros citados acima. As análises foram realizadas em triplicatas a uma temperatura de 25°C. Todas as leituras foram feitas pelo software Exponent versão 6.

4.12.3 Cor

A cor das massas não fermentadas e fermentadas foi medida com os fios de macarrão usando um CHROMA METER CR-400/410. Os resultados foram expressos no CIE Espaço de cores com os parâmetros L*, a* e b*, que correspondem à luminosidade, faixa do vermelho/verde e faixa do amarelo/azul, respectivamente.

4.13 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância (ANOVA), para saber se havia diferença significativa entre as amostras, e caso houvesse diferença, essas amostras eram submetidas ao teste de Tukey a nível de significância 5%. Todos os dados foram computados utilizando o programa MiniTab Statistic (versão 21.4.2). Resultados feitos em triplicatas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Curva de calibração para determinação da concentração de bactérias

A curva de calibração para a determinação da concentração bactérias no caldo fermentado (Figura 3) foi construída através da correlação dos valores de absorbância das diluições e os valores de concentrações obtidos pela contagem das unidades formadoras de colônias (UFC) do plaqueamento do *Lactobacillus plantarum*. A regressão linear resultou na equação 7.

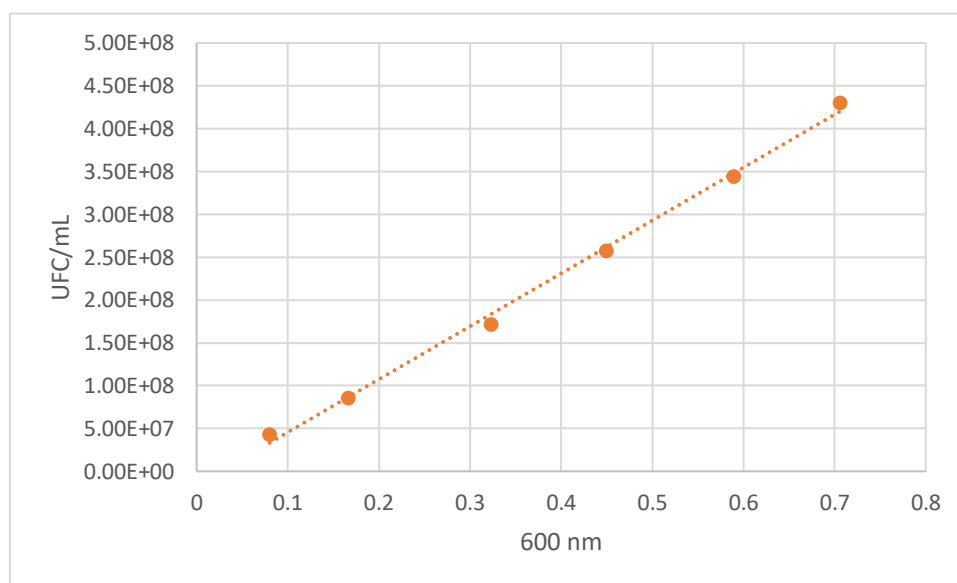
$$Y = 6 * 10^8 X - 2 * 10^7 \quad (7)$$

Y= Concentração celular em UFC/mL;

X= Absorbância medida em 600nm

Os dados se ajustaram de forma adequada, uma vez que o valor do coeficiente de determinação R^2 foi maior que = 0,99. A curva foi utilizada nos ensaios de fermentação para determinação da concentração de células presente no inóculo e cálculo do volume de inóculo a ser adicionado em cada fermentação.

Figura 3 - Curva de regressão linear entre a concentração bacteriana e absorbância



Fonte: autor (2023)

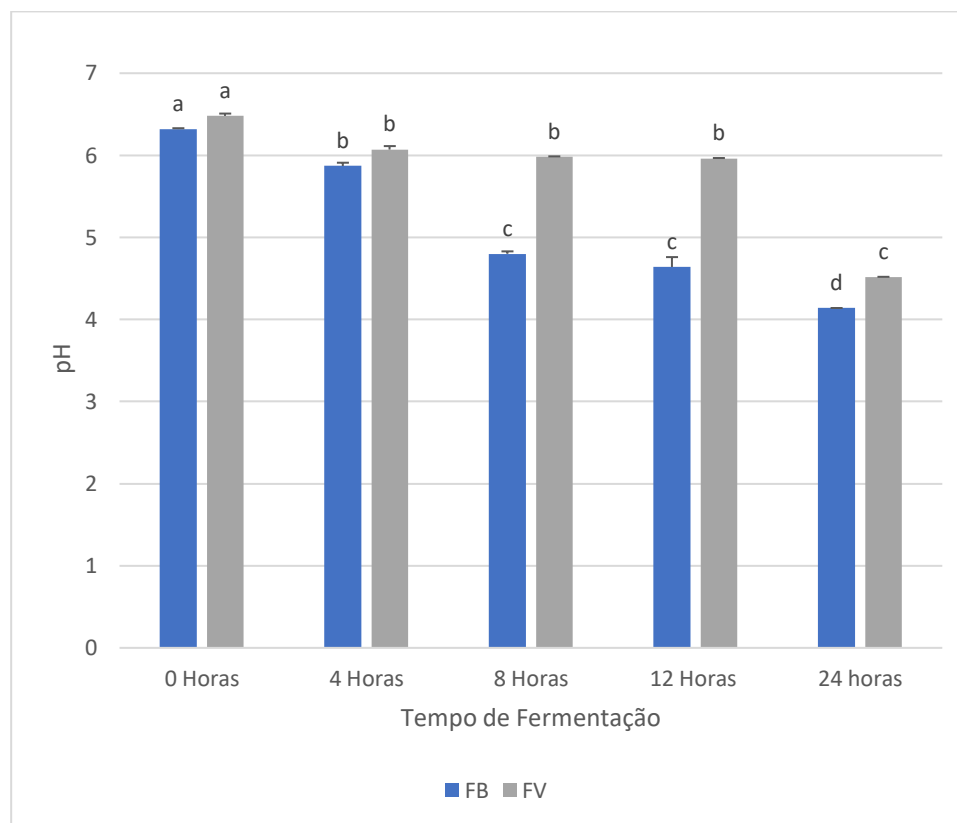
5.2 Variação de pH e das concentrações de açúcares e ácidos orgânicos ao longo da fermentação

À medida que a fermentação progredia verificou-se a redução do pH (Figura 4), sendo o período de 24 horas que apresentou o menor valor dentre todos. Observou-se que a variedade FV teve mais resistência de redução do pH em comparação com FB, essa característica é explicada pela presença de antocianinas e taninos na variedade de FV que ajudam na inibição de microrganismos (Rodríguez-España *et al.*, 2022).

Os autores Awe *et al.* (2023) também verificaram a redução do pH de amostras de sorgo vermelho (R-960) em fermentação espontânea em um período de 5 dias, obtendo valor aproximado de 2,70. O aumento do ácido lático

produzido pelas bactérias foi associado a queda do pH e aumento do tempo de fermentação.

Figura 4 - Leitura de pH de amostras de farinhas de sorgo durante fermentação láctica



Médias seguidas por desvio padrão, letras diferentes da mesma farinha diferem estatisticamente ao nível de 5% pelo teste de Tukey; FB= Farinha branca; FV= Farinha vermelha

Fonte: autor (2023)

Durante a fermentação é comum a redução do teor de açúcares e produção de ácidos, devido a reprodução dos microrganismos, onde os mesmos são responsáveis pelo consumo desses açúcares no meio.

A Figura 5 mostra os teores de açúcares e ácidos orgânicos formados durante a fermentação das farinhas usando o método CLAE. O método foi capaz de quantificar diferentes tipos de açúcares (sacarose, glicose e frutose) e de ácidos (cítrico, málico, láctico, acético e propiônico). Os açúcares foram encontrados em todos os diferentes tempos de fermentação para os dois tipos de farinhas utilizados, sendo a sacarose em maior quantidade para o tempo de

12 h (2,95 g/L) da variedade FB e frutose para o tempo de 24 h (2,52 g/L) para a variedade FV. A sacarose teve um comportamento semelhante em ambas as farinhas, ela teve um aumento nas primeiras horas de fermentação, logo após um declínio. Enquanto a glicose e frutose tiveram um comportamento um pouco inesperado, onde ao decorrer da fermentação elas obtiveram um aumento em comparação com o tempo inicial.

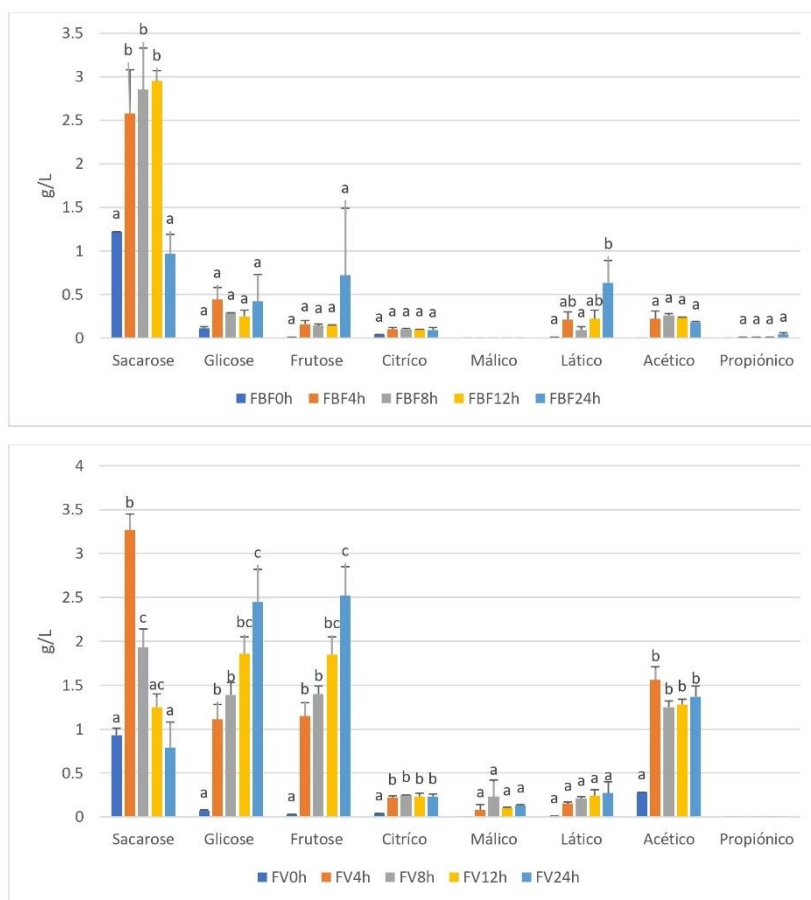
A fermentação do ácido láctico é uma das formas mais comuns de fermentação no sorgo. Esta fermentação é realizada pelas bactérias lácticas que inibe microrganismos através da utilização de carboidratos disponíveis e acúmulo de ácidos orgânicos principalmente ácido láctico e outros metabólitos na matriz alimentar principalmente através de glicólise, lipólise e proteólise (Adebo, 2020). Os carboidratos diminuem com a fermentação, uma vez que são a principal fonte de nutrientes necessários para a via da glicólise (Simwaka *et al.*, 2017).

Ácidos como, cítrico, láctico e acético também foram encontrados em todas as amostras. A formação do ácido cítrico se deu pela presença da sacarose fermentada no meio, ou seja, a produção de ácido cítrico está altamente correlacionada com a presença de sacarose (Ajala *et al.*, 2020). A produção de ácido láctico já era esperada, uma vez que, usou-se de bactérias lácticas para a fermentação, a tabela mostras que houve um aumento desse composto deste o tempo de 4 h até 24 h, mostrando que o tempo de 24 h foi o que mais apresentou conteúdo láctico para ambas as variedades de farinha. O ácido láctico e o ácido acético são os principais ácidos orgânicos do vinagre, seus conteúdos e proporção afetam muito o sabor do produto final (Li, Wen Long *et al.*, 2022).

Um trabalho realizado por Zhao *et al.* (2020) verificou a redução significativa de ácido acético em sorgo fermentado por 10 dias em diferentes caldos. Quantidades insignificantes também foram encontrados por Weiss *et al.* (2022) em 72 h de fermentação de sorgo em três variedades. Enquanto o ácido málico, ele só foi encontrado na fermentação da farinha vermelha (FV) que variou de 0,08 à 0,13 g/L, e o ácido propionico na fermentação da farinha branca (FB) com variação de 0,01 à 0,04 g/L, ambos em pequenas proporções. O ácido málico é decomposto por LAB em metabólitos menores, incluindo diacetil, ácido láctico e ácido acético. O *L. plantarum* pode biotransformar ácido málico e ácido

pirúvico em ácido láctico ou outro produtos através de fermentação homolática, fermentação heterolática, e outras vias metabólicas (Zhang *et al.*, 2023). As LAB são uma importante fonte de compostos antimicrobianos incluindo ácido propionico que é um importante ácido orgânico C-3 com aplicações em alimentos e rações, produtos farmacêuticos e plásticos, sintetizados a partir de diferentes açúcares ou glicerol (Cavero-Olguin *et al.*, 2021).

Figura 5 - Análise HPLC do processo de fermentação



Para um mesmo composto químico, barras seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente a um nível de significância de 5%.

Fonte: autor (2023)

5.3 Efeito da fermentação em compostos e propriedades bioativas do sorgo

5.3.1 Antioxidantes

Ao contrário da maioria dos cereais convencionais como trigo, milho e arroz, os grãos de sorgo são fonte de antioxidantes devido aos compostos,

principalmente taninos condensados e antocianinas em alguns acessos de sorgo (Oliveira *et al.*, 2022). Porém o uso da fermentação pode causar a diminuição dessas propriedades, causando assim a diminuição da atividade antioxidante (Rodríguez-España *et al.*, 2022). Foi observado nesse trabalho que a atividade antioxidante reduziu para os todos os tratamentos a medida do aumento do tempo de fermentação, para a FBF diminuiu de 5,27 para 2,57 $\mu\text{mol TE/g}$, para a FVF houve uma redução de 371,09 para 203,65 $\mu\text{mol TE/g}$, o mesmo se deu para as massas, MBF (5,62 para 4,16 $\mu\text{mol TE/g}$) e MVF (133,34 para 79,10 $\mu\text{mol TE/g}$) (Tabela 2) essa redução é explicada pela redução das antocianinas também durante a fermentação nesse estudo, sendo elas as principais responsáveis pela atividade antioxidante do grão (Awe; Aransiola; Irondi, 2023). Também já foi relatado que os taninos conferem atividade antioxidante em alguns grãos, por isso a redução desse composto também causa a diminuição da atividade antioxidante (Awika, 2017). Os resultados dessa pesquisa mostram que a farinhas vermelhas possui maior atividade antioxidante que a farinha branca com valores maiores, estudo de Oliveira *et al.* (2022) também verificou essa mesma situação em farinhas de sorgo branca e vermelha, chegando a uma capacidade de 2 vezes maior com atividade antioxidante da farinha vermelha em comparação com branca.

Porém é observado em alguns trabalhos com fermentação de sorgo, que há um aumento nas propriedades antioxidantes do grão. Como mostra Mohapatra *et al.* (2018), que verificou um aumento de 41% em comparação com o grupo controle do sorgo fermentado com BAL por 8h. O mesmo se deu para Ofosu *et al.* (2022) que também observou o aumento antioxidante de variedades de três genótipos de sorgo após de submetido ao processo de fermentação láctica em 2,4 vezes maior. Sendo explicado na literatura pela presença de compostos bioativos que contribuem para as propriedades dos radicais livres que são regenerados e liberados após fermentação com cepas de *Lactobacillus* (Adebo; Njobeh; Kayitesi, 2018).

5.3.2 Fenólicos totais

Para o conteúdo de fenólicos totais foi observado a diminuição em todas as amostras à medida que o tempo de fermentação aumentou, mostrando que o

tempo de fermentação de 24h foi o que mais apresentou diferença significativa ($<0,05$) para as amostras FVF, MBF e MVF. Com uma redução de 1,69 para 0,99 mg GEA/g, 21,58 para 12,19 mg GEA/g, 1,56 para 1,14 mg GEA/g e 7,94 para 5,02 mg GEA/g das amostras FBF, FVF, MBF e MVF respectivamente, todos os resultados são expressos na Tabela 2. Essa redução ocorre devido a transformação estrutural do composto através de descarboxilação, hidrólise, oxidação microbiana e reações de esterificação que ocorrem durante o período de fermentação (Svensson *et al.*, 2010; Taylor; Duodu, 2015).

Em um estudo realizado por Mohapatra *et al.* (2018), também verificou a redução dos fenólicos em farinha de sorgo após de submeter a fermentação láctica por 8h com uma redução de 8,81 para 6,62 mg/g. Adebo *et al.* (2018) também observou a redução dos compostos fenólicos em dois genótipos de sorgo com alto e baixo teor de tanino após de submeter à fermentação láctica isolada e combinada, verificando uma redução de 46,09 para 34,89 mg GAE/mg para o grão com alto teor de tanino e de 15,48 para 9,01 mg GAE/mg para o grão com baixo teor de tanino. Observou-se que a FVF é mais rica em compostos fenólicos que a FBF, essa característica se dá devido a variedade do grão vermelho (CMSXS 3019) por suas características estruturais (Oliveira *et al.*, 2022). Observações foram relatadas por Mohammed *et al.* (2011), que constatou uma diminuição dos fenólicos totais de 8,81 para 6,64 mg/100g para farinha de sorgo fermentada utilizando uma cultura starter de uma massa de sorgo (injera) previamente fermentada.

5.3.3 Taninos

O tanino é uma molécula orgânica que se liga a proteínas e outras substâncias orgânicas, como alcalóides e aminoácidos, e os precipita. Os taninos podem reduzir a digestibilidade das proteínas em animais e humanos, inibindo as enzimas digestivas ou aumentando o nitrogênio fecal, tornando a proteína parcialmente acessível ou inibindo as enzimas digestivas (Gunawan *et al.*, 2022).

Na Tabela 2 podemos observar que apenas na FVF e na MVF foram encontrado taninos, resultados esses já esperados, uma vez que a variedade do grão usado para a produção de FB não possui uma estrutura em seu grão

denominada de testa pigmentada, sendo nessa testa que são encontrados os taninos e outros compostos antinutricionais (Correia *et al.*, 2022). Pode-se observar que as características da FVF foram transmitidas para MVF, tendo em vista que a massa também apresentou conteúdo de taninos. Entretanto observou que a fermentação ajudou na redução desse composto, mostrando que os tempos de 12 e 24h apresentaram os menores teores e não diferiram estatisticamente ($<0,05$). Autores relatam que durante a fermentação láctica há produção de enzimas como tanase que hidrolisam o taninos, causando a diminuição desse composto no meio (Ojha *et al.*, 2018; Simwaka *et al.*, 2017).

O autor Osman, (2004) também verificou a diminuição dos taninos em três variedades de sorgo (Hamra, Shahla e Baidha) após submeter o sorgo a fermentação por um período de 24h, com porcentagens de 31, 15 e 35% respectivamente. Simwaka *et al.* (2017) uma ligeira diminuição nos taninos em amostras de farinha de sorgo com fermentação espontânea com valores que variaram de 0,05 à 0,16% de redução. O mesmo se deu ao estudo de Olawele *et al.* (2019) que também submeteu o grão de sorgo do tipo (*Sorghum bicolor*) à fermentação e observou a redução dos conteúdos de taninos à aproximadamente de 3,8 para 3,0 mg. Gunawan *et al.* (2022) também observou a diminuição significativa no conteúdo de taninos em sorgo fermentado com LAB por 56h com uma redução de 6,73 para 0,36%.

5.3.4 Antocianinas

As características dos padrões de antocianinas são encontrados na Tabela 2, esses compostos foram encontrados apenas na variedade da FVF e da MVF, já que a variedade do grão da FBF não possui antocianinas (Akogou *et al.*, 2018). A apigeninidina e 7-apigeninidina foram encontrados em maior quantidade em ambas as amostras de FVF e MVF, foi verificado que a fermentação diminuiu quantitativamente o conteúdo de apigeninidina e 7-apigeninidina sendo o tempo de 4h de fermentação tempo suficiente para reduzir esses compostos, uma vez que não houve diferença estatística ($<0,05$) entre os tempos 4 e 24h. No que se trata de Luteolinidina e 5- Luteolinidina também foram encontrados nas duas amostras citadas anteriormente porém, em menor quantidade variando de 5,74 à 0,06 $\mu\text{g/g}$ de Luteolinidina para amostra FVF

havendo uma redução significativa até o tempo de 8h e 0,53 à 0,31 µg/g de Luteolinidina para amostra MVF não sendo mais detectado presença desse composto a partir do tempo 8h. Para o conteúdo de 5- Luteolinidina, ele se mostrou mais resistente comparado com Luteolinidina, tendo em vista que ele foi encontrado em todos os tempo de fermentação, porém verificado que a fermentação reduziu esse composto, mostrando diferença estatística até o tempo de 4h, certificando que 4h de fermentação láctica é tempo suficiente para redução considerável das antocianinas.

Em estudo realizado por Scibisz *et al.* (2012) ficou demonstrado que os microorganismos probióticos do gênero *Lactobacillus* que foram empregados na fermentação de iogurte de “blueberry” atuaram sobre as antocianinas levando a perda de sua estrutura característica pela liberação dos glicosídeos e formas relacionadas resultando na ativação do metabolismo de cepas de LAB. Os autores Akogou *et al.* (2019) verificaram a degradação de 69% do conteúdo de apigeninidina em uma massa de milho com biocolorante de sorgo vermelho fermentada por 3 dias com *Pichia kudriavzevii* e *Lactobacillus fermentum*.

Tabela 2 - Propriedades das farinhas e massas em diferentes tempos de fermentação

TRATAMENTOS	ABTS μmol TE/g	Fenólicos Totais mg GAE/g	Taninos mg CE/g	Antocianinas HPLC μg/g				
				Lut	5 -Lut	Api	7 - Api	Total
FB	5,27 ^a ± 0,12	1,69 ^a ± 0,01	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
FBF0h	5,36 ^a ± 0,17	1,43 ^b ± 0,02	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
FBF4h	3,33 ^b ± 0,14	0,98 ^{bc} ± 0,02	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
FBF8h	2,51 ^{bc} ± 0,16	1,01 ^{bc} ± 0,04	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
FBF12h	2,65 ^{bc} ± 0,13	1,14 ^{bc} ± 0,08	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
FBF24h	2,57 ^{bc} ± 0,05	0,99 ^{bc} ± 0,04	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
FV	371,09 ^d ±3,36	21,58 ^d ± 0,19	48,69 ^d ± 0,21	5,74 ^d ±0,17	5,13 ^d ±0,19	50,51 ^d ±0,24	50,79 ^d ±1,16	112,17
FVF0h	370,78 ^d ±0,51	20,66 ^e ± 0,19	46,39 ^e ± 0,15	4,87 ^e ±0,21	6,08 ^d ±0,73	41,27 ^e ±0,88	45,24 ^e ±0,99	97,47
FVF4h	192,80 ^e ±5,33	12,5 ^f ± 0,07	18,96 ^f ± 0,24	0,12 ^f ± 0,17	0,73 ^e ±0,14	5,14 ^f ± 0,12	7,84 ^f ± 0,35	13,83
FVF8h	225,30 ^{ef} ±2,71	12,44 ^f ± 0,08	17,06 ^g ± 0,04	0,06 ^g ±0,08	0,63 ^e ±0,04	5,06 ^f ± 0,25	7,33 ^f ± 0,22	13,08
FVF12h	220,50 ^{ef} ±0,82	12,68 ^f ± 0,00	16,12 ^h ± 0,38	N.A	0,55 ^e ± 0,00	4,12 ^f ± 0,11	6,8 ^f ± 0,11	11,47
FVF24h	203,65 ^e ±1,25	12,19 ^g ± 0,06	15,61 ^h ± 0,16	N.A	0,62 ^e ± 0,14	3,91 ^f ± 0,17	6,4 ^f ± 0,18	10,93
MBF0h	5,62 ^A ± 0,16	1,56 ^A ± 0,04	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
MBF4h	5,65 ^A ± 0,21	1,33 ^B ± 0,00	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
MBF8h	5,16 ^{AC} ± 0,10	1,21 ^B ± 0,05	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
MBF12h	4,60 ^{BC} ± 0,14	1,43 ^{AB} ± 0,00	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
MBF24h	4,16 ^B ± 0,04	1,14 ^{BC} ± 0,02	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
MVF0h	133,34 ^D ±1,23	7,94 ^D ± 0,02	13,13 ^D ±0,05	0,53 ^D ± 0,13	1,14 ^D ±0,12	12,72 ^D ±0,21	14,75 ^D ±0,51	29,14
MVF4h	92,22 ^E ± 0,24	5,54 ^E ± 0,00	4,29 ^E ± 0,00	0,31 ^D ±0,43	0,15 ^E ±0,00	2,37 ^E ± 0,32	3,74 ^E ± 0,03	6,57
MVF8h	89,24 ^F ± 0,84	5,27 ^F ± 0,07	4,41 ^E ± 0,07	N.A	0,16 ^E ±0,00	1,85 ^E ± 0,30	3,79 ^E ± 0,27	5,8
MVF12h	80,55 ^G ± 0,20	5,25 ^F ± 0,02	3,79 ^F ± 0,12	N.A	0,13 ^E ±0,02	1,98 ^E ± 0,15	3,57 ^E ± 0,00	5,57
MVF24h	79,10 ^G ± 0,32	5,02 ^G ± 0,09	3,71 ^F ± 0,14	N.A	0,13 ^E ±0,05	2,35 ^E ± 0,03	2,85 ^E ± 0,04	5,32

Médias seguidas do desvio padrão, letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05), FBF= farinha branca fermentada; FVF= farinha vermelha fermentada; MBF= macarrão de sorgo branco fermentado; MVF= macarrão de sorgo vermelho fermentado

Fonte: autor (2023)

5.4 Propriedades de cozimento

O processo de cozimento da massa envolve uma complexa transformação molecular: o amido presente incha por causa do contato com a água quente, alguns grânulos gelatinizam na estrutura da massa, mas outros são lixiviados ao meio junto com as cadeias de amilose, causando uma indesejável superfície pegajosa da massa e água de cozedura turva (Larrosa *et al.*, 2016).

Massas sem glúten normalmente são caracterizadas por mau cozimento e de baixa qualidade em comparação com massas normais, apresentando características de alto cozimento, perda e baixa firmeza. Nas massas sem glúten, os polímeros de amido são menos eficientemente aprisionados na matriz devido à falta de uma rede de proteínas (Marengo *et al.*, 2015). Os parâmetros de qualidade e cocção avaliados para as massas de sorgo não fermentada e fermentada foram tempo ótimo de cozimento (TOC), rendimento (RC) e perda de cozimento (PC), como mostra a Tabela 5.

Foi observado que a massa de sorgo vermelha necessitou de uma maior quantidade de tempo para atingir seu cozimento ideal, porém foi verificado que a fermentação ajudou a reduzir esse parâmetro apesar disso a massa vermelha continuou com um maior tempo em comparação com a massa branca. O tratamento MBF24h apresentou o menor TOC em comparação com as outras massas feitas do mesmo grão em diferentes tempos de fermentação, já para a massa feita a partir do outro genótipo de sorgo foi verificado que o menor TOC foi para o tempo inicial da fermentação MVF0h, apesar de não deferir estatisticamente com os outros tempos.

O tempo de cozimento de uma massa se dá principalmente pela quantidade de carboidratos, pois a maioria dos grãos contém uma grande quantidade de amido, demorando assim mais tempo para cozinhar (Benhur *et al.*, 2015). Como o grão de coloração vermelho é mais rico em carboidratos devido a sua estrutura, conseqüentemente o produto precisou de um maior tempo de cozimento. Onde as massas MBF24h e MVF0h apresentaram os menores tempo de cozimento com 7 e 10 min, respectivamente.

Tempo semelhante ao das amostras MBF4h e MBF8h, foi encontrado por Benhur *et al.* (2015), que precisou de 9 minutos para cozinhar completamente sua massa de macarrão feita com 100% de farinha de sorgo de uma cultivar M35-1.

Conforme os dados de porcentagem de rendimento das massas apresentadas na Tabela 3 observamos que a fermentação influenciou positivamente, uma vez que aumentou o rendimento das massas ao longo dos tempos. As amostras MBF0h e MVF24h apresentaram os melhores resultados com maiores valores de rendimento. Para as amostras não fermentadas MB

apresentou maior índice de absorção de água (226%), resultado esse um pouco controverso, já que a amostra MV é composta de mais carboidratos, ressaltando que o amido durante o processo de cozimento absorve água e sofre gelatinização (Palavecino *et al.*, 2019, 2017).

Em comparação com a literatura os resultados obtidos nesse estudo foram mais elevados que os já citados, como por exemplo Palavecino *et al.* (2017), que cita valores de 166,17 à 172,08% para massas de sorgo branco e marrom, respectivamente. Em outro trabalho dos autores Xu *et al.* (2021) encontraram valor de 138,29% para massa composta de sorgo e trigo. Benhur *et al.* (2015) citam um valor de 86,2% para massa feitas com 100% de sorgo. Observações semelhantes foram feitas por Morengo *et al.* (2015) que verificou que a fermentação do sorgo em um tempo de 4h aumentou o índice de rendimento de 70,7 para 75,7 g/100g. Esses resultados só enfatizam que o macarrão desenvolvido neste estudo possui um alto rendimento. As amostras MBF0h e MVF24h apresentaram os maiores valores de rendimento com valores de 255,88% e 270,96% respectivamente, em comparação as outras maotras.

A perda de cozimento indica a capacidade da massa de se manter estruturalmente durante todo o processo de cozimento, sendo considerado indesejável a alta capacidade de perda, pois representa água de cozimento turva, baixa tolerância ao cozimento e massa pegajosa. Não há padrões nacionais de identidade e qualidade de massas alimentícias integrais (Scarton *et al.*, 2016), Neste estudo a perda de sólido foi acima de 8% que segundo Hummel (1996) seria o recomendável para massas de qualidade ótima.

Neste trabalho os maiores valores para PC foram para as massas não fermentadas 9% e 13% para MB e MV, respectivamente (Tabela 3). As amostras de macarrão de farinha vermelha apresentaram um valor mais elevado em comparação com as amostras de macarrão branco, porém esse resultado já era esperado, já que as massas vermelhas necessitaram de um tempo maior de cozimento e maior quantidade de carboidrato. Palavecino *et al.* (2017) encontrou valores parecidos para uma massa com uma formulação bem semelhante ao desse estudo, com uma porcentagem de 4 a 10,77% de perda. Marengo *et al.* (2015) também verificou que a massa de sorgo fermentada por 4h reduziu seus

valores de perda, com uma redução de 11,5 para 7,6 g/100g. Normalmente, massas sem glúten apresentam altos valores de perda, devido à ausência de um retículo proteico bem estruturado, o que promove um inchaço excessivo dos grânulos de amido e sua consequente exsudação na água de cozimento (Paiva; Queiroz; Garcia, 2019).

Tabela 3 - Propriedades de cozimento das massas

Trat	MB	MBF0h	MBF4h	MBF8h	MBF12h	MBF24h
TOC (min)	10 ^a ±1	10 ^a ±1	9 ^{ab} ±1	9 ^{ab} ±0	8 ^{ab} ±0	7 ^b ±0
RC (%)	226 ^a ±1,60	255,885 ^b ±1,64	223,18 ^a ±3,16	254,58 ^b ±2,09	248,305 ^b ±3,33	232,39 ^a ±2,95
PC (%)	9 ^a ±0,0	9 ^a ±0	8 ^a ±0	7 ^a ±0	7 ^a ±0	7 ^a ±0

Trat	MV	MVF0h	MVF4h	MVF8h	MVF12h	MVF24h
TOC (min)	12 ^A ±1,52	10 ^A ±1	11 ^A ±0	11 ^A ±0	11 ^A ±0	11 ^A ±0
RC (%)	197 ^A ±1,15	202,16 ^A ±6,26	221,22 ^B ±0,72	251,235 ^C ±2,31	216,095 ^B ±0,03	270,965 ^D ±1,36
PC (%)	13 ^A ±0,02	11 ^{AB} ±0	9 ^B ±0	9 ^B ±0	9 ^B ±0	9 ^B ±0

Médias seguidas do desvio padrão, letras na mesma linha diferentes diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), TOC: tempo ótimo de cozimento, RC: rendimento de cozimento, PC: perda de cozimento, MB: macarrão branco não fermentado, MV: macarrão vermelho não fermentado, MBF: macarrão branco fermentado, MVF: macarrão vermelho fermentado

5.5 Textura

As propriedades texturais de massas alimentícias são umas das qualidades mais importantes que os consumidores buscam (Alam *et al.*, 2019). A Tabela 4 apresenta os dados obtidos em relação às propriedades de textura das massas alimentícias cozidas elaboradas com as variedades de farinhas de sorgo não fermentadas e fermentadas em diferentes tempos de fermentação.

Tabela 4 - Propriedades de textura das formulações da massa alimentícia cozida elaboradas com farinha de sorgo

AMOSTRA	DUREZA (g)	ADESIVIDADE (g/sec)	ELASTICIDADE	COESIVIDADE	MASTIGABILIDADE
MB	2643,09 ^a ± 0,86	-26,85 ^a ± 1,41	0,241 ^a ± 0,00	0,141 ^a ± 0,00	66,35 ^a ± 5,39
MBF0h	3482,14 ^b ± 11,86	-9,55 ^b ± 0,15	0,580 ^b ± 0,08	0,148 ^a ± 0,01	358,23 ^b ± 1,52
MBF4h	3058,03 ^c ± 13,10	-5,57 ^c ± 0,24	0,584 ^b ± 0,07	0,15 ^a ± 0,01	322,78 ^c ± 1,11
MBF8h	3130,63 ^d ± 18,01	-4,68 ^c ± 0,23	0,516 ^b ± 0,00	0,149 ^a ± 0,01	296,75 ^d ± 2,52
MBF12h	2566,09 ^e ± 0,74	-3,32 ^e ± 0,20	0,596 ^b ± 0,05	0,151 ^a ± 0,00	239,81 ^e ± 6,72
MBF24h	2471,09 ^f ± 16,99	-3,08 ^e ± 0,03	0,482 ^b ± 0,01	0,157 ^a ± 0,02	147,31 ^f ± 5,76

AMOSTRA	DUREZA (g)	ADESIVIDADE (g/sec)	ELASTICIDADE	COESIVIDADE	MASTIGABILIDADE
MV	3113,64 ^A ± 0,21	-21,93 ^A ± 2,12	0,487 ^{AC} ± 0,00	0,125 ^{AD} ± 0,00	186,40 ^A ± 6,53
MVF0h	2773,59 ^B ± 14,85	-9,60 ^B ± 0,37	0,736 ^B ± 0,00	0,153 ^B ± 0,00	266,56 ^B ± 2,06
MVF4h	2664,86 ^C ± 3,52	-7,61 ^{BC} ± 0,11	0,647 ^{AB} ± 0,03	0,144 ^{BC} ± 0,00	224,24 ^C ± 2,13
MVF8h	2469,86 ^D ± 13,96	-6,69 ^{CD} ± 0,03	0,628 ^{ABC} ± 0,03	0,142 ^C ± 0,00	223,11 ^C ± 0,38
MVF12h	2573,68 ^E ± 10,06	-5,24 ^D ± 0,09	0,544 ^{ABC} ± 0,02	0,135 ^{CA} ± 0,00	222,47 ^C ± 0,50
MVF24h	1324,51 ^F ± 10,51	-15,14 ^E ± 0,55	0,519 ^C ± 0,22	0,120 ^D ± 0,00	87,85 ^D ± 7,99

médias seguidas de desvio padrão; letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), MB= macarrão de sorgo branco não fermentado; MV= macarrão de sorgo vermelho não fermentado; MBF: macarrão branco fermentado, MVF: macarrão vermelho fermentado

A dureza é um parâmetro que simula a força necessária para comprimir a amostra entre os dentes molares para alimentos sólidos ou entre a língua e a parte superior da boca para alimentos semi-sólidos (Barros *et al.*, 2021). Foi verificado que a fermentação influenciou fortemente nesse parâmetro, os resultados mostram que todas as amostras diferiam estatisticamente para ambas as variedades das massas. Observou que em apenas submeter as farinhas ao processo de esterilização já influencia bastante no parâmetro de dureza, pois para ambas as massas branca e vermelha o tempo inicial de 0h apresentou uma diferença significativa ($>0,05$) no valor de dureza, para a MBF aumentou bastante em comparação com a MB, e para MVF houve uma redução em comparação com MV.

Ao decorrer do tempo inicial de fermentação houve uma redução dos valores de dureza, para ambas as massas fermentadas o tempo de 24h foi o que apresentou o menor valor com 2471,09 e 1324,01 para MBF e MVF. Esses resultados também mostraram que a massa MBF é mais dura que a massa MVF,

obtendo valores superiores. Essa característica acontece devido a estrutura do grão branco, pois ele é um grão em que seu endosperma é mais vítreo, conferindo maior dureza ao grão (Prado *et al.*, 2019).

Li *et al.* (2019) observou que a fermentação combinada com lactobacilos e *Candida* aumentou os valores de dureza em macarrão de arroz fermentado por 24 horas à 30°C. O mesmo foi observado por Yi *et al.* (2017) que verificou um aumento significativo nos valores de dureza para amostras de macarrão de arroz fermentado com LAB por 24, 48 e 72h. Os autores Ahmad *et al.* (2023) desenvolverem uma massa de macarrão de com combinação de sorgo, grama verde, milho e trigo fermentados com *Cryptococcus laurentii*, *Lactobacillus amylovorus* e *Leuconostoc* sp também verificaram o aumento da dureza.

Normalmente massa sem glúten são mais duras, Bouasla *et al.* (2017) descreve que os altos valores de dureza na massa está relacionado com a quantidade de proteínas existente na farinha. Um alimento que contém proteínas, ao ser aquecido, sofre perda das interações intramoleculares nas cadeias polipeptídicas modificando a estrutura tridimensional, fazendo com que as proteínas ganhem mais energias e, assim, o alimento, submetido à temperatura fica com aspecto mais duro (Gasparre; Betoret; Rosell, 2019).

O parâmetro da adesividade está relacionado à pegajosidade, parâmetro referente à quantidade de amido solto durante o cozimento, que depois de soltar da massa pode vir a recobri-la. Estudos afirmam que quanto maior adesividade, maior a pegajosidade (Gasparre; Betoret; Rosell, 2019). Neste trabalho foi observado um aumento no parâmetro de adesividade, implicando que a fermentação deixou a massa com um aspecto mais pegajoso, para a massa branca o maior valor foi para o tempo de 24h de -3,08 e para a massa vermelha foi para o tempo de 12h de -5,24. Os autores Yi *et al.* (2017) também observaram o aumento da adesividade em macarrão de arroz fermentado com LAB. Purwadi *et al.* (2021) foram outros autores que também observaram o aumento da pegajosidade em massa de macarrão fermentada combinada como farinhas de mandioca, milho e arroz, com um aumento de -0,16 para -0,06 em comparação com a amostra não fermentada. Boonfueng *et al.* (2022) verificaram o aumento significativo da adesividade em macarrão de arroz fermentado naturalmente por 3 dias, com valores 10 vezes maiores comprado com a amostra controle. As amostras não fermentadas foram as que apresentaram os melhores valores com

26,85 e 21,93 para MB e MV. Pesquisadores relataram que a pegajosidade é influenciada pela granulação de matérias-primas, pelo teor de fibra e pela falta de uniformidade no tamanho da partícula da farinha, causando a formulação irregular (Carvalho *et al.*, 2012).

A elasticidade está relacionada à capacidade do alimento em retornar a sua forma original depois de sofrer uma deformação. Este parâmetro está associado com a resiliência, sendo definido como uma massa resistente com a finalidade de reconstruir a forma original e, também com a qualidade do produto, uma vez que, massas mais elásticas conferem mais qualidade ao produto, mostrando quando maior o valor melhor a elasticidade (Barros *et al.*, 2021). Neste trabalho mostra que a fermentação aumentou a capacidade de elasticidade das massas para ambas as amostras, para a massa branca vemos que houve um aumento significativo de MB para o tempo inicial da fermentação MBF0h, porém a partir do tempo de 0h até 24h não houve diferença. Já para a massa vermelha também foi observado que houve um aumento em comparação com a amostra não fermentada, entretanto a amostra com o tempo inicial 0h foi o que apresentou o melhor resultado, mostrando que apenas o processo de esterilização é o suficiente para melhorar esse parâmetro.

Essa característica pode ser explicada pela quantidade de proteínas na farinha, onde a estrutura da rede amido presente no grão interfere e reforça a elasticidade e palatabilidade. Os autores Satmalee *et al.* (2017) verificaram que ao submeter o arroz ao processo de fermentação *backsloping* puderam observar o aumento da elasticidade da massa fermentada de 11,57 para 16,29 em comparação com a massa não fermentada. Yi *et al.* (2017) observou o aumento da elasticidade em uma massa de macarrão fermentado com LAB's (*Lactobacillus fermentum* e *L. delbrueckii*) por 3 dias à 40°C com valores duas vezes maior que a amostra não fermentada.

A coesividade é definida pela força que mantém a massa íntegra ou coesa. As amostras da massa branca comportaram-se de maneira semelhante, mostrando que nessa propriedade a fermentação não interferiu significativamente. Diferente da massa vermelha, onde o tempo inicial de fermentação 0h mostrou-se o maior valor, indicando que apenas o processo de esterilização foi o suficiente para melhoria desse parâmetro. Comparando as

massas fermentadas com a não fermentada podemos ver que houve um ligeiro aumento, porém no decorrer da fermentação observamos a redução desse valor. O mesmo comportamento se observou no trabalho de Yi *et al.* (2017), que verificou o aumento da coesão em uma massa de macarrão fermentada por LAB's em comparação com o macarrão não fermentado, porém os valores foram reduzindo ao decorrer das horas de fermentação. Li *et al.* (2019) foram outros autores que observaram um ligeiro aumento da coesão em massa de macarrão de arroz fermentada com *Lactobacillus fermentum strain* e *Candida santamariae strain*.

A mastigabilidade é indicada como uma energia necessária para mastigar uma amostra em velocidade constante e reduzi-la a uma consistência até que possa ser engolida (Barros *et al.*, 2021). Para as amostras MBF observou que a fermentação aumentou significativamente em comparação com a massa MB, implicando que se faz necessário o uso de uma força maior no momento de mastigar o alimento, todas as amostras se mostraram estatisticamente diferentes, sendo o tempo 0h de maior valor. Já para as massas MVF também houve um aumento significativo ($<0,05$) em comparação com a amostra não fermentada, porém tanto para a massa branca como para a vermelha observou o decréscimo nos valores ao decorrer da fermentação. Enquanto MVF24h apresentou o menor valor de mastigabilidade dentre todas as amostras da massa vermelha. A mastigabilidade está altamente relacionada com a quantidade de fibras presente no alimento, uma vez que, as fibras conferem o aspecto de maior firmeza nos alimentos, conferindo até uma certa resistência (Souza; Hernandez Ogeda, 2022). Os autores Li *et al.* (2019) observaram o aumento gradual da mastigabilidade de uma massa de arroz fermentada com *Lactobacillus fermentum strain* e *Candida santamariae strain*. Boonfueng *et al.* (2022), também observou o aumento da mastigabilidade em macarrão de arroz fermentado naturalmente durante 3 dias. Esses resultados mostram que a fermentação influencia negativamente no parâmetro de mastigabilidade, fazendo com que se necessite de maior força durante a mastigação. Esse resultado está muito associado com o rendimento da massa, pois uma vez que quanto maior for o inchaço dos grânulos do amido mais força será necessário para trituração o alimento (Li *et al.*, 2019).

5.6 Cor

A cor é o principal atributo sensorial avaliado em massas alimentícias, pois é aquele que o consumidor avalia primeiro em relação ao produto (Bustos; Perez; Leon, 2015). A cor do macarrão depende muito da coloração da farinha e dos ingredientes que são utilizados na sua produção.

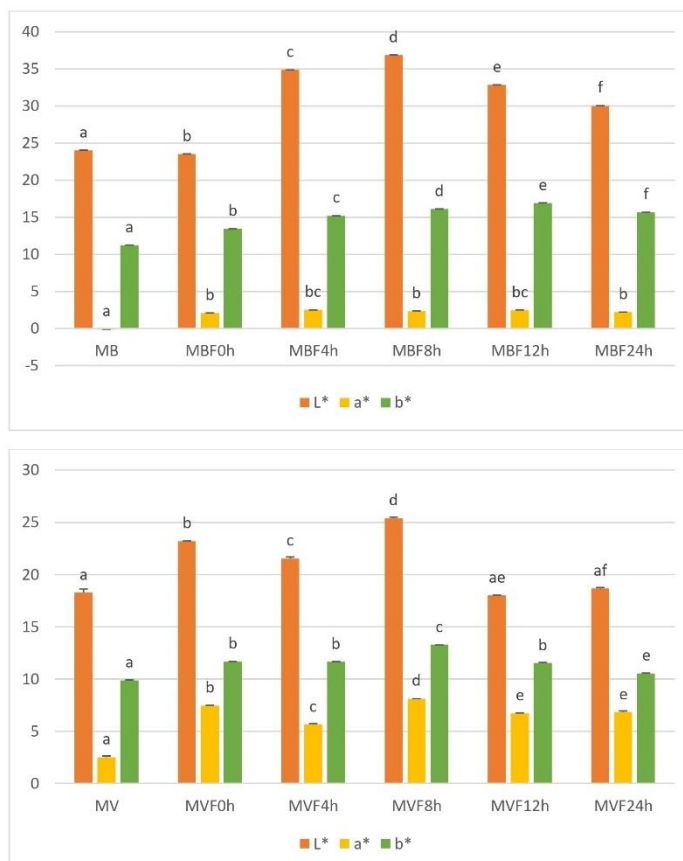
De acordo com calorimetria na Figura 6, as massas mostram que a fermentação contribuiu para a alteração dos valores de L^* , a^* e b^* . Para as duas variedades o tempo de 8 horas de fermentação foi o que apresentou uma maior mudança para coloração branca, com um aumento de 24 para 36,84 e 18,25 para 25,39 para as farinhas MB e MV respectivamente, após esse tempo houve uma redução, o aumento desses valores podem ser associados a lixiviação de fitoquímicos durante a fermentação das farinhas (Olamiti *et al.*, 2020).

Para o valor de a^* verificou uma variação de aumento e redução, os tempos 4h e 12h apresentaram a tonalidade avermelhada mais forte com valores de 2,50 e 2,45 para as MBF. Já para a MVF os tempos 0h e 8h foram o que se destacaram no valores de a^* , com 7,46 e 8,10, essa mudança de cor se dá devido à presença ou ausência de compostos fenólicos, principalmente dos taninos que podem variar durante a fermentação pelos polifenóis oxidase (Olamiti *et al.*, 2020). Para os valores de b^* , onde houve um aumento significativo para as duas variedades, porém em determinado momento um declínio para o tempo 24 h para MBF e o tempo de 12 h para MVF, os resultados positivos indicam as ambas as massas possuem coloração amarelada, porém, MBF com tonalidade mais fortes. Foi constatado que se comparado com as massas não fermentadas é comprovado que houve uma alteração significativa dos parâmetros para ambas as massas.

Resultados foram observados por Olamiti *et al.* (2020) que verificou o aumento desses parâmetros aos submeter os grãos de sorgo à diferentes tempos de fermentação (24, 48 e 72h), com valores de L^* (73,20 - 72,47 e 73,77), para a^* (2,60 - 2,70 e 2,54) e b^* (13,75 - 13,39 e 14,05). Os autores Marengo *et al.* (2015), também observou o efeito da fermentação nas cores em uma massa de macarrão de sorgo branco tipo (Tabat) fermentado por 4 horas com valores de 79,0 - 2,5 - 16,9 para L^* , a^* e b^* , comparando esses mesmo valores com o

tempo de fermentação de 4 horas para este trabalho, podemos observar que o valor de L^* foi o que mais diferiu estatisticamente mostrando alteração na luminosidade. Enquanto isso Correia et al. (2022) verificou a alteração da cor em farinhas de sorgo (BRS 305) extrusada obtendo valores de $L^* = 62,20$, $a^* = 9,18$ e $b^* = 17,26$.

Figura 6 - Parâmetros de cor das massas em diferentes tempos de fermentação



Médias seguidas do desvio padrão, letras diferentes diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), MB: macarrão branco não fermentado, MV: macarrão vermelho não fermentado, MBF: macarrão branco fermentado, MVF: macarrão vermelho fermentado.

5.7 Composição centesimal da farinha e do macarrão

5.7.1 Farinha

A composição em macronutrientes das farinhas das duas variedades de sorgo fermentadas e não fermentadas nesse estudo são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Composição centesimal das farinhas

NUTRIENTES (%)	TRATAMENTOS			
	FB	FV	FBF4h	FVF4h
Umidade	10,5 ^a ±0,02	11,5 ^b ±0,02	9,6 ^c ±0,05	9,3 ^d ±0,10
Carboidratos	69,8 ^a ±1	72,0 ^b ±1	70,7 ^{ab} ±0,35	76,2 ^c ±0,51
Lipídeos	3,1 ^{ab} ±0,15	3,2 ^a ±0,49	2,8 ^b ±0,10	4,1 ^c ±0,10
Proteínas	11,9 ^a ±0,11	9,6 ^b ±1,89	11,9 ^a ±0,25	4,1 ^c ±0,35
Cinzas	1,2 ^a ±0,01	1,1 ^{ab} ±0,0	1,0 ^b ±0,05	1,6 ^c ±0,10
Fibras	3,0 ^a ± 2,21	4,1 ^a ± 2,86	3,6 ^a ± 0,36	4,6 ^a ±0,47

médias seguidas de desvio padrão; letras diferentes na mesma linha diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), FB= farinha branca; FV= farinha vermelha, FBF=farinha branca fermentada, FVF=farinha vermelha fermentada

A resolução RDC nº 263 da ANVISA (Brasil, 2005) preconiza que o máximo de umidade permitida em farinhas é de 15%. Neste trabalho os valores de umidade estão abaixo dos valores máximos permitidos, mostrando que as farinhas estavam bem armazenadas e em boas condições para este estudo. Todavia o estudo mostra que houve uma diferença estatística entre todos os tratamentos. A fermentação influenciou positivamente nesse parâmetro, pois ajudou a reduzir a umidade, proporcionando melhor proteção contra microorganismos deteriorantes. Os autores Gunawan *et al.* (2022) também verificaram a redução do teor de umidade em farinha de sorgo fermentada com culturas LAB (*Bulgaricus*, *L. casei* e *L. brevis*) por diferentes tempos de fermentação.

Para as amostras das farinhas não fermentadas e fermentadas em relação ao conteúdo de carboidratos obtiveram-se os valores de 69,8, 72, 70,7 e 76,2% para MB, MV, MBF e MVF respectivamente. Pode-se observar que a fermentação não influenciou na variedade da farinha branca, porém para a

farinha vermelha verifica-se que houve um aumento no teor de carboidrato. Os resultados acima corroboram com o trabalho de Mohapatra *et al.* (2018) que também verificou um leve aumento de carboidratos em farinha de sorgo fermentada com BAL. A mesma observação foi feita por Gunawan *et al.* (2022) o aumento do conteúdo de carboidratos em farinha de sorgo fermentada com BAL. Oliveira *et al.* (2022), relata que farinha de sorgo vermelha é mais rica em carboidrato devido a estrutura do grão por possuir uma estrutura mais farinácea em seu estudo as farinhas de sorgo branca e vermelha apresentaram resultados inferiores, de 69,3 e 69,9%, respectivamente. Apesar de apresentarem valores diferentes, a concentração de carboidratos mostrados nesses estudos encontra-se na faixa citada pela literatura (Rashwan *et al.*, 2021). É importante ressaltar que na maioria dos grãos, a maior parte dos carboidratos é composto por amido, essa característica também se aplica ao sorgo. O amido do sorgo tem uma alta temperatura de gelatinização e baixo nível de atividade β -amilase, como resultado o amido do sorgo possui grande potencial no mercado na indústria alimentícia e farmacêutica (Palavecino *et al.*, 2019).

Para os teores de lipídeos as amostras da farinha não fermentada apresentaram concentrações 3,1% para FB e 3,2% para FV, não havendo diferença significativa ($p < 0,05$), indicando que apesar de serem compostas de variedades de grãos diferentes, as concentrações lipídicas são semelhantes. Valores próximos também foram encontrados por Ujoh *et al.* (2023), que constatou que a farinha de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) possuía cerca de 3,1% de conteúdo lipídico. Outro estudo realizado por Oliveira *et al.* (2022) observou o conteúdo de gorduras em quatro variedades de sorgo variando de 2,49 à 5,43 g/100g. Porém para as farinhas fermentadas foi verificado uma redução para a variedade branca (2,8%) e um aumento para a variedade vermelha (4,1%), esse aumento pode ocorrer através de atividades enzimáticas que promovem a síntese de lipídeos através da produção de enzimas (Rodríguez-España *et al.*, 2022). Os resultados da redução de lipídeos corroboram com trabalho de Mohapatra *et al.* (2018) que verificou a redução do teor de gordura de 4,7 para 3,6% em farinha sorgo do tipo (*c.v. Dadar*) fermentada. O mesmo comportamento de redução se deu o trabalho de

Gunawan (2022) que observou a redução do conteúdo de gordura em farinha de sorgo fermentada com BAL de 2,97 para 0,92.

O grão de sorgo é umas das principais fontes proteicas em países da África (Cardoso *et al.*, 2017). Quanto ao teor de proteínas as amostras de farinha os valores variaram de 4,1 à 11,9%. Para a variedade da farinha branca observou que a fermentação não influenciou com valores de 11,9% para a farinha não fermentada e 11,9% para a farinha fermentada, porém para a farinha vermelha podemos ver que houve uma redução significativa após o tempo de fermentação com uma redução de 9,6% para 4,1% essa redução significa que a amostra FVF possui uma quantidade de proteína solúvel em água inferior à quantidade de proteína insolúvel em água (Gunawan *et al.*, 2022). Uma pesquisa realizada por Pezzali *et al.* (2020) verificou a concentração proteica em farinhas de sorgo branca e vermelha com valores de 9,95 e 8,22% respectivamente, que apesar de apresentar valores inferiores ao encontrado neste estudo confirma que a farinha vermelha possui uma concentração menor de proteínas. Já para a variedade da farinha branca fermentada, resultado semelhante foi encontrado por Xu *et al.* (2021) que observou o efeito da fermentação combinada com cultura de bióticos e do iogurte em um dia de fermentação e verificou que não houve alteração no conteúdo de proteínas. Estudos de solubilidade de proteínas em diferentes meios fornecem informações sobre a natureza das interações interproteicas em cereais e de suas modificações em processamento (Iametti *et al.*, 2006). Após a fermentação ocorrem mudanças na solubilidade das proteínas. Em um estudo verificou que a quantidade de proteínas em farinha de sorgo detectadas através de um ensaio de ligação de corante diminuiu após a fermentação de uma forma independente do tempo. Proteínas solúveis em tampão (albuminas e globulinas) foram os mais afetados, mas também foi observada uma diminuição (Marengo *et al.*, 2015).

Nas farinhas foi encontrada uma diferença significativa ($p < 0,05$) no teor de cinzas entre para a amostra FVF. As amostras FB, FV e FBF apresentaram comportamentos semelhantes com valores de (1,2% – 1,1% – 1,0%). Valores aproximados também foram encontrados por Oliveira *et al.* (2022) em farinha vermelha e branca (1,5 e 1,1% respectivamente). Outro estudo verificou o conteúdo de cinzas em farinha de macarrão de arroz fermentado naturalmente

por 3 dias observou a redução de 1,36 para 1,06% em comparação com a farinha não fermentada (Boonfueng *et al.*, 2022). As cinzas representam minerais que compõem os alimentos, sendo eles sódio, potássio, magnésio e cálcio, além de outros micronutrientes. Esses elementos são essenciais e devem ser consumidos diariamente para manutenção do organismo (Becker *et al.*, 2018). A amostra FVF apresentou um comportamento diferente, tendo em vista que o esperado era que a fermentação diminuísse o conteúdo de cinzas, devido a lixiviação dos minerais no meio de fermentação, normalmente a literatura relata a redução de cinzas em meio a fermentação. Esse aumento da amostra FVF pode ser devido a contaminação externa durante o preparo da amostra.

Para o conteúdo de fibra bruta pode-se observar que a não houve influência da fermentação para este conteúdo. Resultado esse positivo, uma vez que os autores Guanwan *et al.* (2022) citam que houve redução do conteúdo de fibra bruta em sua farinha de sorgo fermentada com uma redução de 3,61 para 1,96%. As fibras não são digeridas no intestino delgado porem são facilmente fermentadas por bactérias (Bernaud; Rodrigues, 2013)

5.7.2 Macarrão

A composição em macronutrientes das massas das duas variedades de sorgo fermentadas e não fermentadas nesse estudo são apresentadas na Tabela 6. E a Figura 7 abaixo mostra as massas produzidas em 4h de fermentação.

Figura 7- Massas de sorgo fermentadas



Tabela 6 - Composição centesimal das massas

NUTRIENTES (%)	TRATAMENTOS			
	MB	MV	MBF4h	MVF4h
Umidade	31,3 ^{ab} ±9,91	28,9 ^a ±7,67	35,4 ^b ±0,40	35,3 ^b ±0,51
Carboidratos	49,2 ^a ±2	53 ^a ±1	51,2 ^a ±3,9	47,4 ^a ±0,83
Lipídeos	2,6 ^{ab} ±0,5	3,2 ^a ±0,45	1,7 ^b ±0,07	2,4 ^{ab} ±0,0
Proteínas	14,6 ^a ±0,65	13,1 ^{ac} ±0,28	14,2 ^{ab} ±0,25	12,1 ^c ±0,35
Cinzas	1,3 ^a ±0,01	1,3 ^a ±0,01	1,2 ^a ±0,10	1,3 ^a ±0,10
Fibras	0,74 ^a ±0,21	1,31 ^{bc} ±0,24	0,83 ^{ab} ±0,10	1,36 ^c ±0,16

médias seguidas de desvio padrão; letras diferentes na mesma linha diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), MB= macarrão branco; MV= macarrão vermelho, MBF=macarrão branco fermentado, MVF=macarrão vermelho fermentado

Em relação ao teor de umidade, a resolução RDC n° 93/00 da ANVISA (Brasil, 2004) determina no máximo, para massas úmidas ou frescas, o valor de 35%. Portanto, os resultados obtidos para MB e MV estão de acordo com a legislação brasileira (Tabela 6). Já para os resultados das massas fermentadas os valores estão um pouco acima do determinado, com 35,4% e 35,3% para MBF e MVF, entrando acredita-se que esses valores não alteram a qualidade do produto. O percentual de umidade está altamente relacionado com a sua estabilidade e composição do produto, podendo afetar a estocagem, embalagem, processamento e principalmente a qualidade do alimento. Marengo *et al.* (2015) foram autores que verificaram o aumento da umidade em massa de macarrão de sorgo fermentado por 4h, com um aumento de 9,17 para 12,51 g/100g.

O conteúdo de carboidrato das massas de macarrão desenvolvido neste estudo variou de 47,4 à 53% não deferindo estatisticamente ($< 0,05$), ou seja, a fermentação não influenciou nesse parâmetro. Um trabalho realizado por Benhur *et al.* (2015), que desenvolveu uma massa totalmente de farinha de sorgo, verificou uma quantidade de 74,7% de carboidrato, mostrando que a massa

desenvolvida neste projeto possui menor conteúdo de carboidratos que o citado na literatura.

Para os valores de lipídeos, nota-se que a massa alimentícia desenvolvida com farinha de sorgo vermelho (MV) apresentou um teor acima de 3%. Assim, de acordo com a RDC 54/ 2012, esse macarrão não pode ser considerado como alimento de baixo teor lipídico, uma vez que tal classificação se restringe a alimentos com no máximo 3% de lipídeos (Brasil, 2012). Apenas as amostras de MB, MBF e MVF se encaixa nesse padrão. Os valores encontrados foram próximos aos dados citados pelo autor Xu *et al.* (2021) com 3,44%. Foi possível observar que a fermentação ajudou a reduzir o conteúdo de gordura das massas. Entretanto o conteúdo de lipídeos se faz importante para as massa pois eles fazem parte de interações entre proteínas, amido e lipídios ajudando na formação das propriedades viscoelásticas da massa (Rodríguez-España *et al.*, 2022).

Quanto aos teores de proteínas das massas produzidas (Tabela 6), vale ressaltar que o maior valor ($p < 0,05$) da formulação MB e MBF pode estar relacionado à quantidade de proteína existente na amostra FB. A massa MB apresentou semelhança com MV e MBF. No geral ambas as amostras apresentaram comportamento semelhantes com uma pequena redução de 14,6 para 14,4 e 13,1 para 12,1 para as massas MB e MV, respectivamente. Essa característica de não alteração também foi encontrada por Marengo *et al.* (2015) que verificou que massas de sorgo fermentadas não obtiveram diferença significativa em seu conteúdo de proteínas em comparação com a massa não fermentada

Os valores de cinzas não diferiram estatisticamente para todas as amostras ($< 0,05$), ou seja, a fermentação não influenciou no conteúdo de cinzas das massas. Barros *et al.* (2021) relatam que quanto menor os valores presentes nas cinzas em produtos de panificação melhor é a qualidade tecnológica do produto final. Ou seja, o valor de 1,3% foi superior ao encontrado normalmente em massas frescas, de 0,59%, podendo interferir em uma melhor consistência nas massas alimentícias. Porém, em um estudo desenvolvido por Xu *et al.* (2021), verificou-se que uma massa desenvolvida com farinha de sorgo

apresentou 1,7 % de cinzas. Ganuwan *et al.* (2022) foram alguns autores que observaram a redução do conteúdo de cinzas. Outro estudo verificou o conteúdo de cinzas já relata o aumento das cinzas em massa de macarrão sem glúten desenvolvida com farinha de grão de bico fermentado com *L. plantarum* T0A10 à 30^o C durante 24h com um aumento de 0,95 para 1,01% (Pasquale *et al.*, 2021).

A amostra de MV apresentou o maior conteúdo de fibras, com maior porcentagem antes após a fermentação com uma taxa de 1,36% antes da fermentação e 1,36% pós fermentação, resultado esse esperado já que a amostra da FV também apresentou maior quantidade de fibras. Porém pode-se observar que a fermentação também não influenciou nesse parâmetro, uma vez que MB foi semelhante a MBF e MV foi semelhante a MVF. Esse valor encontrado foi maior que os dos autores (Akajiaku *et al.*, 2017; Benhur *et al.*, 2015), que relataram 1,14% e 0,90%, respectivamente, em massa desenvolvidas com 100% de farinha de sorgo não fermentadas.

6. CONCLUSÃO

Conclui-se que, as propriedades das farinhas de sorgo contribuíram para a elaboração das massas de macarrão. A fermentação influenciou nos parâmetros nutricionais das farinhas e das massas com redução do conteúdo de umidade das farinhas e aumento para as massas.

A fermentação reduziu a atividade antioxidante das farinhas e das massas, assim como os conteúdos de fenólicos totais, e as fatores antinutricinais como taninos e antocianinas, sendo o tempo de 4h de fermentação suficiente para reduzir esses compostos

Durante a fermentação foi observada a produção de açúcares com destaque para a sacarose, glicose e frutose. Enquanto aos ácidos pode observar a produção de ácidos léticos e acéticos em maiores quantidades.

Os resultados dos parâmetros de cozimentos foram positivos, uma vez que as massas mostraram que a fermentação influenciou em altos valores de rendimento e reduziu os tempos de cozimento e os teores de perda, características essas bastante procuradas na indústria de alimentos.

Para os parâmetros de textura a fermentação ajudou a reduzir os valores de dureza e aumentou os valores de adesividade, elasticidade e coesividade.

O macarrão de farinha branca mostrou coloração amarelada/esverdeada, enquanto o macarrão da farinha vermelha apresentou coloração avermelhada.

De maneira geral o tempo de 4h de fermentação é o mais viável para o desenvolvimento da massa alimentícia fermentada, pois de acordo com os resultados foi o que apresentou alterações significativas suficientes em redução dos antinutrientes, atividade antioxidante, propriedades de cozimento e textura.

REFERÊNCIAS

AACC. **Method 66-50. Semolina, Pasta, and Noodle Quality**. [S. l.: s. n.], 1999.

ADEBIYI, Janet Adeyinka *et al.* GC-HRTOF-MS dataset of metabolites extracted from sorghum and ting (a fermented product) produced using two strains of *Lactobacillus fermentum* (singly and in combination). **Data in Brief**, [s. l.], v. 36, p. 107102, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.107102>.

ADEBO, Oluwafemi Ayodeji. African sorghum-based fermented foods: Past, current and future prospects. **Nutrients**, [s. l.], v. 12, n. 4, 2020.

ADEBO, Oluwafemi Ayodeji; NJOBEH, Patrick Berka; KAYITESI, Eugenie. Fermentation by *Lactobacillus fermentum* strains (singly and in combination) enhances the properties of ting from two whole grain sorghum types. **Journal of Cereal Science**, [s. l.], v. 82, 2018.

ADEDUGBA, Adeyemi Adewumi *et al.* Evaluation of genetic variability for major agro-morphological and stalk sugar traits in African sorghum genotypes. **Heliyon**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. e14622, 2023. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405844023018297>. Acesso em: 23 mar. 2023.

AHMAD, Sameer *et al.* Formulation and Optimization of Multigrain Fermented Noodles: A Healthy and Palatable Convenience Food Option. **Journal of Food Processing and Preservation**, [s. l.], p. 1–13, 2023.

AJALA, A. S. *et al.* A study on effect of fermentation conditions on citric acid production from cassava peels. **Scientific African**, [s. l.], v. 8, 2020.

AKAJIAKU, L.O *et al.* Using Sorghum Flour as Part Substitute of Wheat Flour in Noodles Making. **MOJ Food Processing & Technology**, [s. l.], v. 5, n. 2, 2017.

AKOGO, Folachodé U.G. *et al.* Application of apigeninidin-rich red sorghum biocolorant in a fermented food improves product quality. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [s. l.], v. 99, n. 4, 2019.

AKOGO, Folachodé U.G. *et al.* Extraction methods and food uses of a natural red colorant from dye sorghum. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [s. l.], v. 98, n. 1, p. 361–368, 2018. Disponível em:

<https://onlinelibrary->

[wiley.ez34.periodicos.capes.gov.br/doi/full/10.1002/jsfa.8479](https://onlinelibrary-wiley.ez34.periodicos.capes.gov.br/doi/full/10.1002/jsfa.8479). Acesso em: 16 out. 2022.

ALAM, Syed Ariful *et al.* The effect of structure and texture on the breakdown pattern during mastication and impacts on in vitro starch digestibility of high fibre rye extrudates. **Food and Function**, [s. l.], v. 10, n. 4, 2019.

ALBUQUERQUE, Carlos Juliano Brant; MENEZES, Cícero Beserra; FREITAS, Rogério Soares. Origem, evolução e domesticação do sorgo. *In*: MELHORAMENTO GENÉTICO DE SORGO. [S. l.]: EMBRAPA, 2021. p. 60–80. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/229659/1/Cap-2-Origem-evolucao-domesticacao-sorgo.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2023.

AOAC. Official methods of analysis of the Association. *In*: IN AOAC INTERNATIONAL. 18th eded. [S. l.: s. n.], 2005. Disponível em: [https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Official methods of analysis&author=AOAC&publication_year=2005](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Official+methods+of+analysis&author=AOAC&publication_year=2005). Acesso em: 27 nov. 2023.

AWE, Sunday; ARANSIOLA, Dorcas Morolayo; IRONDI, Emmanuel Anyachukwu. Microbial succession and anthocyanin concentration during sorghum fermentation. **Measurement: Food**, [s. l.], v. 12, 2023.

AWIKA, Joseph M *et al.* Screening Methods To Measure Antioxidant Activity of Sorghum (*Sorghum bicolor*) and Sorghum Products. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], v. 51, n. 23, p. 6657–6662, 2003. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf034790i>. Acesso em: 28 nov. 2023.

AWIKA, Joseph M. Sorghum: Its Unique Nutritional and Health-Promoting Attributes. *In*: GLUTEN-FREE ANCIENT GRAINS: CEREALS, PSEUDOCEREALS, AND LEGUMES: SUSTAINABLE, NUTRITIOUS, AND HEALTH-PROMOTING FOODS FOR THE 21ST CENTURY. [S. l.: s. n.], 2017.

AWIKA, Joseph M.; ROONEY, Lloyd W.; WANISKA, Ralph D. Anthocyanins from black sorghum and their antioxidant properties. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 90, n. 1–2, 2005.

AWIKA, Joseph M.; ROONEY, Lloyd W.; WANISKA, Ralph D. Properties of 3-deoxyanthocyanins from sorghum. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], v. 52, n. 14, 2004.

BARROS, Samara Kelly Amaral *et al.* Elaboração de massa alimentícia fresca sem glúten enriquecida com farinha de resíduo de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) e bacaba (*Oenocarpus bacaba* Mart.). **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 10, n. 6, 2021.

BECKER, Magda Márcia *et al.* Mineral and bromatological assessment and determination of the antioxidant capacity and bioactive compounds in native Amazon fruits. **Brazilian Journal of Food Technology**, [s. l.], v. 21, 2018.

BENHUR, Dayakar Rao *et al.* Development and standardization of sorghum pasta using extrusion technology. **Journal of Food Science and Technology**, [s. l.], v. 52, n. 10, p. 6828–6833, 2015. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s13197-015-1801-8>.

BERNAUD, Fernanda Sarmiento Rolla; RODRIGUES, Ticiana C. Fibra alimentar - Ingestão adequada e efeitos sobre a saúde do metabolismo. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia e Metabologia**, [s. l.], v. 57, n. 6, 2013.

BOONFUENG, Kanitta *et al.* Physical Properties of Dried Fermented Noodle (Kanom-Jeen) Made from Organic. **Journal of Food Science and Agricultural Technology**, [s. l.], v. 6, p. 140–144, 2022.

BORGES, João Tomaz Silva *et al.* Propriedades de cozimento e caracterização físico-química de macarrão pré-cozido à base de farinha integral de quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) e de farinha de arroz (*Oryza sativa*, L) polido por Eextrusão termoplástica. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 21, n. 2, p. 303–322, 2003.

BOUASLA, Abdallah; WÓJTOWICZ, Agnieszka; ZIDOUNE, Mohammed Nasereddine. Gluten-free precooked rice pasta enriched with legumes flours: Physical properties, texture, sensory attributes and microstructure. **LWT**, [s. l.], v. 75, 2017.

BRAGA, Fabíola Mendes *et al.* Revisão: Crescimento de plantas C3 e C4 em resposta a diferentes concentrações de CO₂. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 10, n. 7, p. e33810716701, 2021.

BRASIL. **Ministério da Saúde - MS Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA - RDC Nº 711, DE 1º DE JULHO DE 2022**. [S. l.: s. n.], 2022.

BRASIL. **Resolução da Diretoria Colegiada - RDC Nº 54, DE 12 DE**

NOVEMBRO DE 2012. ANVISA,2012. [S. /], 2012. Disponível em: http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/630a98804d7065b981f1e1c116238c3b/Resolucao+RDC+n.+54_2012.pdf?MOD=AJPERES. Acesso em: 10 ago. 2023.

BRASIL. **Resolução RDC nº 216, de 15 de setembro de 2004 ANVISA.** [S. /], 2004. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2004/res0216_15_09_2004.html. Acesso em: 8 jul. 2023.

BRASIL. **Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005. REGULAMENTO TÉCNICO PARA PRODUTOS DE CEREAIS, AMIDOS, FARINHAS E FARELOS.** [S. /], 2005. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2005/rdc0263_22_09_2005.html. Acesso em: 20 jul. 2023.

BUSTOS, M. C.; PEREZ, G. T.; LEON, A. E. Structure and quality of pasta enriched with functional ingredients. **RSC Advances**, [s. /], v. 5, n. 39, 2015.

CARDOSO, Leandro Morais *et al.* Sorghum (*Sorghum bicolor* L.): Nutrients, bioactive compounds, and potential impact on human health. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [s. /], v. 57, n. 2, 2017.

CARNEIRO, Heliete Lopes; QUEIROZ, Valéria Aparecida Vieira; PORTO, Fernanda L. Utilização do sorgo para alimentação humana. **Revista Científica Intelletto**, [s. /], v. 4, n. 2525–9075, p. 1–10, 2019.

CARVALHO, Ana Vânia *et al.* Processamento e caracterização de snack extrudado a partir de farinhas de quirera de arroz e de bandinha de feijão. **Brazilian Journal of Food Technology**, [s. /], v. 15, n. 1, 2012.

CAVERO-OLGUIN, Victor Hugo *et al.* Propionic acid production from glycerol in immobilized cell bioreactor using an acid-tolerant strain of *Propionibacterium acidipropionici* obtained by adaptive evolution. **Process Biochemistry**, [s. /], v. 110, 2021.

CHINENYE, Onuoha Elizabeth; AYODEJI, Orukotan Abimbola; BABA, Ameh Joseph. Effect of Fermentation (Natural and Starter) on the Physicochemical, Anti-nutritional and Proximate Composition of Pearl Millet Used for Flour Production. **American Journal of Bioscience and Bioengineering**, [s. /], v. 5, n. 1, 2017.

CHOI, S. C. *et al.* Antioxidant Activity and Contents of Total Phenolic

Compounds and Anthocyanins According to Grain Colour in Several Varieties of Sorghum bicolor (L.) Moench. **Cereal Research Communications**, [s. l.], v. 47, n. 2, 2019.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira - Safra 2023/2024**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>. Acesso em: 13 ago. 2023.

CORREIA, Isabel *et al.* Screening of lactic acid bacteria potentially useful for sorghum fermentation. **Journal of Cereal Science**, [s. l.], v. 52, n. 1, p. 9–15, 2010.

CORREIA, Vinícius Tadeu Veiga *et al.* Tannin-sorghum flours in cream cheese: Physicochemical, antioxidant and sensory characterization. **LWT**, [s. l.], v. 154, n. September 2021, 2022.

DI CAGNO, Raffaella; FILANNINO, Pasquale; GOBBETTI, Marco. Lactic acid fermentation drives the optimal volatile flavor-aroma profile of pomegranate juice. **International Journal of Food Microbiology**, [s. l.], v. 248, p. 56–62, 2017.

DLAMINI, Nomusa R.; TAYLOR, John R.N.; ROONEY, Lloyd W. The effect of sorghum type and processing on the antioxidant properties of African sorghum-based foods. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 105, n. 4, p. 1412–1419, 2007. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030881460700461X>.

DUARTE, Jason de Oliveira. **Cultivo do Sorgo: Mercado e comercialização**. 9. ed. Brasília: EMBRAPA, 2015.

DYKES, Linda *et al.* Phenolic compounds and antioxidant activity of sorghum grains of varying genotypes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], v. 53, n. 17, p. 6813–6818, 2005.

EDEMA, Mojisola O. A Modified Sourdough Procedure for Non-Wheat Bread from Maize Meal. **Food and Bioprocess Technology**, [s. l.], v. 4, n. 7, 2011.

EVANGELISTA, Suzana Reis *et al.* Inoculation of starter cultures in a semi-dry coffee (*Coffea arabica*) fermentation process. **Food Microbiology**, [s. l.], v. 44, 2014.

FERREIRA, Sila Mary Rodrigues *et al.* Utilization of sorghum, rice, corn flours with potato starch for the preparation of gluten-free pasta. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 191, p. 147–151, 2016.

FU, Bin Xiao. Asian noodles: History, classification, raw materials, and processing. **Food Research International**, [s. l.], v. 41, n. 9, p. 888–902, 2008.

GASPARRE, N.; BETORET, E.; ROSELL, C. M. Quality Indicators and Heat Damage of Dried and Cooked Gluten Free Spaghetti. **Plant Foods for Human Nutrition**, [s. l.], v. 74, n. 4, 2019.

GIRARD, Audrey L.; AWIKA, Joseph M. Sorghum polyphenols and other bioactive components as functional and health promoting food ingredients. **Journal of Cereal Science**, [s. l.], v. 84, p. 112–124, 2018.

GONG, Lingxiao *et al.* Whole cereal grains and potential health effects: Involvement of the gut microbiota. **Food Research International**, [s. l.], v. 103, p. 84–102, 2018.

GUNAWAN, Setiyo *et al.* Effect of process production on antinutritional, nutrition, and physicochemical properties of modified sorghum flour. **Arabian Journal of Chemistry**, [s. l.], v. 15, n. 10, p. 104134, 2022.

HUMMEL, C. **Macaroni products: manufacture, processing and packing**. [S. l.], 1996. Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=Hummel%2C+C.+%281966%29.+Macaroni+products%3A+manufacture%2C+processing+and+packing.+London%3A+Food+Trade%2C+287&btnG=. Acesso em: 1 nov. 2023.

IAMETTI, Stefania *et al.* Properties of the protein and carbohydrate fractions in immature wheat kernels. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], v. 54, n. 26, 2006.

IRONDI, Emmanuel Anyachukwu *et al.* Enzymes inhibitory property, antioxidant activity and phenolics profile of raw and roasted red sorghum grains in vitro. **Food Science and Human Wellness**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 142–148, 2019.

JOHNSON, Stuart K. *et al.* Replacement of buckwheat by black sorghum flour on soba-type noodles. **International Journal of Food Science & Technology**, [s. l.], v. 56, n. 11, p. 5861–5870, 2021. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ijfs.15326>.

JUNIOR, Marcelo Gava. **Aplicação de sorgo (Sorghum bicolor (L.) Moench) e efeito nas propriedades tecnológicas de pães isentos de glúten**. 2017. - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2017. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/12658>.

LARROSA, Virginia *et al.* Improvement of the texture and quality of cooked gluten-free pasta. **LWT**, [s. l.], v. 70, p. 96–103, 2016. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0023643816301189>.

LI, Nannan *et al.* Influence of Lactobacillus/Candida fermentation on the starch structure of rice and the related noodle features. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. 121, 2019.

LI, Wen Long *et al.* The dynamics of microbial community and flavor metabolites during the acetic acid fermentation of Hongqu aromatic vinegar. **Current Research in Food Science**, [s. l.], v. 5, 2022.

LI, Ruili *et al.* The investigation on the characteristic metabolites of Lactobacillus plantarum RLL68 during fermentation of beverage from by-products of black tea manufacture. **Current Research in Food Science**, [s. l.], v. 5, 2022.

LIMA, Francisco das Chagas. **Potencial produtivo de diferentes genótipos de Sorgo**. 2020. 1–47 f. - Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/18816>. Acesso em: 24 mar. 2023.

MAMO, Wubshet *et al.* Genetic diversity and population structure of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] genotypes in Ethiopia as revealed by microsatellite markers. **Heliyon**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. e12830, 2023.

MARENCO, Mauro *et al.* Molecular features of fermented and sprouted sorghum flours relate to their suitability as components of enriched gluten-free pasta. **Lwt**, [s. l.], v. 63, n. 1, p. 511–518, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.070>.

MARTINO, Hércia Stampini Duarte *et al.* Chemical characterization and size distribution of sorghum genotypes for human consumption. **Artigo Original/Original Article Rev Inst Adolfo Lutz**, [s. l.], v. 71, n. 2, 2012.

MARTINS, Keyla Rezende Barcelos. **Efeito de dois genótipos de grãos integrais de sorgo (*Sorghum bicolor* L.) e arroz (*Oriza sativa* L.) sobre as propriedades funcionais e tecnológicas de macarrão sem glúten de massa seca**. 2017. 127 f. - Instituto Federal Goiano, [s. l.], 2017. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/37/1/2017-10-19-08-49-15Dissertação Keyla.pdf>.

MGOMI, Fedrick C. *et al.* Lactic acid bacteria biofilms and their antimicrobial potential against pathogenic microorganisms. **Biofilm**, [s. l.], v. 5,

n. March, p. 100118, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bioflm.2023.100118>.

MOCELLIN, Kérli Daiana; MARQUEZI, Milene. **SORGO GRANÍFERO (“Sorghum bicolor L. Moench”): UMA REVISÃO SOBRE AS PROPRIEDADES FUNCIONAIS E UTILIZAÇÃO DO GRÃO NA ALIMENTAÇÃO HUMANA**. Xanrerê: Instituto Federal de Santa Catarina, 2021.

MOHAMMED, Noha A.; AHMED, Isam A. Mohamed; BABIKER, Elfadil E. Nutritional evaluation of sorghum flour (*Sorghum bicolor* L. Moench) during processing of injera. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, [s. l.], v. 75, 2011.

MOHAPATRA, Debabandya *et al.* Effect of different processing conditions on proximate composition, anti-oxidants, anti-nutrients and amino acid profile of grain sorghum. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 271, p. 129–135, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.196>.

MOKOENA, MDUDUZI, P.; OMATOLA, Cornelius A.; OLANIRAN, Ademola O. Applications of lactic acid bacteria and their bacteriocins against food spoilage microorganisms and foodborne pathogens. **Molecules**, [s. l.], v. 26, n. 22, 2021.

OFOFU, Fred Kwame *et al.* Impact of thermal treatment and fermentation by lactic acid bacteria on sorghum metabolite changes, their antioxidant and antidiabetic activities. **Food Bioscience**, [s. l.], v. 45, 2022.

OJHA, Pravin *et al.* Malting and fermentation effects on antinutritional components and functional characteristics of sorghum flour. **Food Science & Nutrition**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 47–53, 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fsn3.525>. Acesso em: 19 dez. 2023.

OLAMITI, G. *et al.* Effect of malting and fermentation on colour, thermal properties, functional groups and crystallinity level of flours from pearl millet (*Pennisetum glaucum*) and sorghum (*Sorghum bicolor*). **Heliyon**, [s. l.], v. 6, n. 12, p. e05467, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05467>.

OLAWOLE, Tolulope Dorcas *et al.* Tannin and Antioxidant Status of Fermented and Dried Sorghum bicolor. **Rasayan Journal of Chemistry**, [s. l.], v. 12, n. 02, p. 523–530, 2019. Disponível em:

http://rasayanjournal.co.in/admin/php/upload/610_pdf.pdf.

OLIVEIRA, Livia Lacerda *et al.* Physical, chemical, and antioxidant analysis of sorghum grain and flour from five hybrids to determine the drivers of liking of gluten-free sorghum breads. **LWT**, [s. l.], v. 153, p. 112407, 2022.

OLOJEDE, A O; SANNI, A I; BANWO, K. Rheological, textural and nutritional properties of gluten-free sourdough made with functionally important lactic acid bacteria and yeast from Nigerian sorghum. **LWT**, [s. l.], v. 120, n. August 2019, p. 108875, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0023643819312174>.

OSMAN, Magdi A. Changes in sorghum enzyme inhibitors, phytic acid, tannins and in vitro protein digestibility occurring during Khamir (local bread) fermentation. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 88, n. 1, p. 129–134, 2004. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814604000858>.

OTUNBA, Ahmed Adebisi *et al.* Genomic, biochemical and microbial evaluation of probiotic potentials of bacterial isolates from fermented sorghum products. **Heliyon**, [s. l.], v. 7, n. 12, p. e08536, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08536>.

PAIVA, Caroline Liboreiro; QUEIROZ, Valéria Aparecida Vieira; GARCIA, Maria Aparecida Vieira Teixeira. Technological, sensory and chemical characteristics of gluten-free pasta made from sorghum and corn flours. **Brazilian Journal of Food Technology**, [s. l.], v. 22, 2019.

PALACIOS, Carmen E. *et al.* Contents of tannins of cultivars of sorghum cultivated in Brazil, as determined by four quantification methods. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 337, n. July 2020, p. 127970, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127970>.

PALAVECINO, Pablo Martín *et al.* Effect of Ingredients on the Quality of Gluten-Free Sorghum Pasta. **Journal of Food Science**, [s. l.], v. 82, n. 9, p. 2085–2093, 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1750-3841.13821>.

PALAVECINO, Pablo M. *et al.* Gluten-free sorghum pasta: starch digestibility and antioxidant capacity compared with commercial products. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [s. l.], v. 99, n. 3, p. 1351–1357, 2019. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsfa.9310>.

PALAVECINO, Pablo Martín *et al.* Sorghum Pasta and Noodles:

Technological and Nutritional Aspects. **Plant Foods for Human Nutrition**, [s. l.], v. 75, n. 3, p. 326–336, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s11130-020-00829-9>.

PARK, Ji Heon *et al.* Sorghum extract exerts an anti-diabetic effect by improving insulin sensitivity via PPAR- γ in mice fed a high-fat diet. **Nutrition Research and Practice**, [s. l.], v. 6, p. 322–327, 2012. Disponível em: <https://synapse.koreamed.org/articles/1051233>. Acesso em: 29 mar. 2023.

PASQUALE, Ilaria *et al.* Nutritional and functional advantages of the use of fermented black chickpea flour for semolina-pasta fortification. **Foods**, [s. l.], v. 10, n. 1, 2021.

PEREIRA, Emiliano Nascimento *et al.* Aceitação sensorial de pão de forma a base de farinha de sorgo. **Revista Inova Ciência & Tecnologia**, Uberaba, p. 49–55, 2017. Disponível em: <https://periodicos.iftm.edu.br/index.php/inova/article/view/438>. Acesso em: 24 mar. 2023.

PEZZALI, Julia Guazzelli *et al.* Characterization of white and red sorghum flour and their potential use for production of extrudate crisps. **PLOS ONE**, [s. l.], v. 15, n. 6, p. e0234940, 2020. Disponível em: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0234940>.

PRADO, Maria Emília Araújo *et al.* Physicochemical and sensorial characteristics of beef burgers with added tannin and tannin-free whole sorghum flours as isolated soy protein replacer. **Meat Science**, [s. l.], v. 150, 2019.

PRICE, Martin L.; SCOYOC, Steve Van; BUTLER, Larry G. A Critical Evaluation of the Vanillin Reaction as an Assay for Tannin in Sorghum Grain. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], v. 26, n. 5, p. 1214–1218, 1978.

PUNTIGAM, Reinhard *et al.* Fermentation of whole grain sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) moench) with different dry matter concentrations: Effect on the apparent total tract digestibility of energy, crude nutrients and minerals in growing pigs. **Animals**, [s. l.], v. 11, n. 5, 2021.

PURWADI, R; TEGUH, C F; MAZAYA, D. Fermented cassava as an alternative flour for pasta noodle. **Materials Science and Engineering**, [s. l.], v. 1143, n. 1, 2021.

QUEIROZ, Valéria A.Vieira *et al.* Nutritional composition of sorghum

[sorghum bicolor (L.) Moench] genotypes cultivated without and with water stress. **Journal of Cereal Science**, [s. l.], v. 65, p. 103–111, 2015.

QUEIROZ, Valéria Aparecida Vieira *et al.* **Sorgo: cereal ancestral bem atual**. 1. ed. Brasília: EMBRAPA MILHO E SORGO, 2020. Disponível em: www.embrapa.br/fale-conosco/sac.

RASHWAN, Ahmed K *et al.* **Biochemical and technological studies on some sorghum varieties grown in upper Egypt**. [S. l.: s. n.], 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/346962531_Biochemical_and_technological_studies_on_some_sorghum_varieties_grown_in_upper_Egypt. Acesso em: 30 mar. 2023.

RASHWAN, Ahmed K. *et al.* Potential processing technologies for developing sorghum-based food products: An update and comprehensive review. **Trends in Food Science and Technology**, [s. l.], v. 110, n. November 2020, p. 168–182, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.087>.

RODRIGUES, José Avelino Santos *et al.* **Cultivo do Sorgo**. [S. l.], 2015. Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_76293187_sistemaProducaold=8301&p_r_p_996514994_topicold=9. Acesso em: 21 mar. 2023.

RODRÍGUEZ-ESPAÑA, Melissa *et al.* Effects of germination and lactic acid fermentation on nutritional and rheological properties of sorghum: A graphical review. **Current Research in Food Science**, [s. l.], v. 5, n. December 2021, p. 807–812, 2022. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2665927122000727>.

SATMALEE, Prajongwate *et al.* Removal of soluble proteins during fermentation process for improving textural properties of traditional Thai rice noodles, Kanom-jeen. **Japan Agricultural Research Quarterly**, [s. l.], v. 51, n. 4, 2017.

SCARTON, Michele *et al.* QUALIDADE TECNOLÓGICA DE MASSAS ALIMENTÍCIAS INTEGRAIS À BASE DE TRIGO COMUM COM DIFERENTES PROPORÇÕES DE FARINHA INTEGRAL. **CONSEA**, [s. l.], p. 1–5, 2016.

Disponível em: <file:///C:/Users/thayr/Downloads/16-Qualidade-tecnologica-de-massas-alimenticias-integrais-a-base-de-trigo-comum-com-diferentes-proporcoes-de-farinha-integral.pdf>.

ŚCIBISZ, Iwona *et al.* Effect of probiotic cultures on the stability of anthocyanins in blueberry yoghurts. **LWT**, [s. l.], v. 49, n. 2, 2012.

SILVA, Cristina Ferreira *et al.* Evaluation of a potential starter culture for enhance quality of coffee fermentation. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, [s. l.], v. 29, n. 2, 2013.

SIMWAKA, J. E. *et al.* Effect of fermentation on physicochemical and antinutritional factors of complementary foods from millet, sorghum, pumpkin and amaranth seed flours. **International Food Research Journal**, [s. l.], v. 24, n. 5, 2017.

SOUZA, Amanda Moreira. **Bolo sem glúten e sem lactose: análise de custo, elaboração e caracterização do produto**. 2017. 78 f. - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, [s. l.], 2017. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/handle/1/16546>. Acesso em: 13 abr. 2023.

SOUZA, Andressa; HERNANDES OGEDA, Claudia. Elaboração de massa fresca enriquecida com mix de farinhas da fração foliar de hortaliças. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, [s. l.], v. 12, n. 2, 2022.

SVENSSON, Louise *et al.* Phenolic acids and flavonoids in nonfermented and fermented red sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], v. 58, n. 16, p. 9214–9220, 2010. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf101504v>. Acesso em: 11 jan. 2024.

TABOSA, José Nildo. **Cadernos do Semiárido riquezas & oportunidades**. 15. ed. Recife: Bibliotecária Conceição Martins, 2020.

TAYLOR, John Rn; DUODU, Kwaku G. Effects of processing sorghum and millets on their phenolic phytochemicals and the implications of this to the health-enhancing properties of sorghum and millet food and beverage products. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [s. l.], v. 95, n. 2, p. 225–237, 2015. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsfa.6713>.

TORRES, Marina. **Sorgo tem crescimento como alternativa para produção de grãos com segurança**. [S. l.], 2022. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/73414945/sorgo-tem-crescimento-como-alternativa-para-producao-de-graos-com-seguranca>. Acesso em: 24 mar. 2023.

UJOH, John Adole; YUSUFU, Mohammed Ikagu; AHURE, Dinnah. Evaluation of proximate composition and sensory characteristics of instant sorghum-carrot agidi enriched with defatted and non-defatted tropical almond seed flour. **Measurement: Food**, [s. l.], v. 10, p. 100093, 2023. Disponível em: www.elsevier.com/locate/meafoo. Acesso em: 11 jul. 2023.

VASILEAN, Ina *et al.* Preliminary investigations into the use of amylases and lactic acid bacteria to obtain fermented vegetable products. **Foods**, [s. l.], v. 10, n. 7, 2021.

VÁZQUEZ-FLORES., Alma A. *et al.* Taninos hidrolizables y condensados: naturaleza química, ventajas y desventajas de su consumo:. **TECNOCIENCIA Chihuahua**, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 84–93, 2012.

WANG, Ting *et al.* Food-grade expression system of *Lactobacillus plantarum* using β -galactosidase small subunit as selection marker and lactose as screening condition. **Lwt**, [s. l.], v. 182, n. December 2022, p. 114922, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114922>.

WEISS, Thomas *et al.* Production of distilled spirits using grain sorghum through liquid fermentation. **Journal of Agriculture and Food Research**, [s. l.], v. 9, n. May, p. 100314, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100314>.

WU, Yuye *et al.* Allelochemicals targeted to balance competing selections in African agroecosystems. **Nature Plants**, [s. l.], v. 5, n. 12, p. 1229–1236, 2019. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41477-019-0563-0>. Acesso em: 24 out. 2022.

WU, Xiaoyuan *et al.* Genomic footprints of sorghum domestication and breeding selection for multiple end uses. **Molecular Plant**, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 537–551, 2022.

WU, Yuye *et al.* Presence of tannins in sorghum grains is conditioned by different natural alleles of Tannin1. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, [s. l.], v. 109, n. 26, p. 10281–10286, 2012. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.1201700109>. Acesso em: 24 out. 2022.

XU, Ximing *et al.* A study on Australian sorghum grain fermentation performance and the changes in Zaopei major composition during solid-state fermentation. **Journal of Cereal Science**, [s. l.], v. 98, n. January, p. 103160, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2021.103160>.

XU, Fei *et al.* The effect of Zimbabwean tannin-free sorghum flour substitution on fine dried noodles quality characteristics. **Journal of Cereal Science**, [s. l.], v. 102, n. October, p. 103320, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2021.103320>.

YANG, Shuo *et al.* Exopolysaccharides from lactic acid bacteria, as an alternative to antibiotics, on regulation of intestinal health and the immune system. **Animal Nutrition**, [s. l.], v. 13, p. 78–89, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.02.004>.

YANG, Liyi *et al.* Sorghum phenolics demonstrate estrogenic action and induce apoptosis in nonmalignant colonocytes. **Nutrition and Cancer**, [s. l.], v. 64, n. 3, p. 419–427, 2012.

YANG, Liyi; BROWNING, Jimmy D.; AWIKA, Joseph M. Sorghum 3-deoxyanthocyanins possess strong phase II enzyme inducer activity and cancer cell growth inhibition properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], v. 57, n. 5, p. 1797–1804, 2009.

YI, Cuiping *et al.* Role of lactic acid bacteria in the eating qualities of fermented rice noodles. **Cereal Chemistry**, [s. l.], v. 94, n. 2, 2017.

ZANÃO, Claudio; MADI, Luis. **Massas alimentícias industrializadas: nutrição com praticidade e sabor**. 1. ed. São Paulo: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 2021. Disponível em: <https://ital.agricultura.sp.gov.br/massas/16/>. Acesso em: 31 mar. 2023.

ZHAI, Zhengyuan *et al.* Global transcriptomic analysis of *Lactobacillus plantarum* CAUH2 in response to hydrogen peroxide stress. **Food Microbiology**, [s. l.], v. 87, n. 103389, 2020.

ZHANG, Chao *et al.* A novel strategy for improving the antioxidant, iridoid, and flavor properties of Noni (*Morinda citrifolia* L.) fruit juice by lactic acid bacteria fermentation. **LWT**, [s. l.], v. 184, 2023.

ZHAO, Guozhong *et al.* Effect of steam explosion on physicochemical properties and fermentation characteristics of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **LWT**, [s. l.], v. 129, 2020.

