

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHA DE SORGO
VERMELHO: PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS,
PROXIMAIS E SENSORIAIS

Autora: Janaina Lacerda de Oliveira

Orientadora: Dr.^a Mayra C. Peixoto Martins Lima

RIO VERDE - GO

Agosto - 2017

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

CARACTERÍSTICAS DE PÃES SEM GLÚTEN COM
FARINHA DE SORGO VERMELHO

Autora: Janaina Lacerda de Oliveira

Orientadora: Dr.^a Mayra C. Peixoto Martins Lima

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, no Programa de Pós-Graduação Profissional em Tecnologia de Alimentos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – Área de pesquisa em pós-colheita e processamento de grãos e vegetais.

RIO VERDE - GO
Agosto - 2017

Oliveira, Janaina Lacerda

O48p Pães sem glúten com farinha de sorgo vermelho: propriedades tecnológicas, proximais e sensoriais / Janaina Lacerda de Oliveira. – Rio Verde. – 2017.
85 f.: il.

Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde, 2017.
Orientador: Doutora. Mayra Conceição Peixoto Martins Lima.

Bibliografia

1. *Sorghum bicolor* L. Moench 2. *Oryza sativa* 3. *Manihot esculent*. I. Título.
- II. Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde.

CDD: 664

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

**PÃES SEM GLÚTEN COM FARINHA DE SORGO
VERMELHO: PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS,
PROXIMAIS E SENSORIAIS**

Autora: Janaina Lacerda de Oliveira
Orientadora: Mayra Conceição Peixoto Martins Lima

TITULAÇÃO: Mestre em Tecnologia de Alimentos – Área de Concentração
em Tecnologia e Processamento de Alimentos.

APROVADA em 31 de agosto de 2017.



Dr. Celso Martins Belisário
Avaliador interno
IF Goiano/Rio Verde



Dr. Márcio Caliari
Avaliador externo
UFG/Goiania



Dr.ª Mayra Conceição Peixoto Martins Lima
Presidente da banca
IF Goiano/Rio Verde

AGRADECIMENTO

Agradeço imensamente a Deus, primeiramente pela vida e saúde concedida a mim, para que conseguisse realizar este projeto.

Ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, por toda a estrutura e dedicação de todos os seus profissionais para a realização e concretização deste programa de pós-graduação.

À coordenação e secretária do PPG – Tecnologia de Alimentos, em especial a servidora Angélica.

À Coorientadora deste projeto, Professora Dr.^a Mariana Egea, por todo ensinamento e dedicação.

À orientadora deste projeto, Professora Dr.^a Mayra Martins, primeiramente por ter acreditado na minha capacidade para a realização deste projeto e também por todo acompanhamento, ensinamento e dedicação ao longo do tempo.

Às colegas Keyla Rezende, Janaina Letícia, Rafaiane, pelo apoio para a realização de várias etapas.

À minha querida família, por todo apoio durante a ausência para a realização de mais uma etapa em minha vida acadêmica.

À minha equipe de trabalho na empresa Bernardes e Sene LTDA, por estarem sempre dispostos e colaborarem durante a minha ausência.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Nascida na cidade de Uberaba – MG, no dia 20 do mês de fevereiro do ano de 1991.

Filha de Sinval Fortunato de Oliveira e Valdirene Lacerda Bailão de Oliveira, irmã de João Vitor Lacerda de Oliveira, casada com Danilo Bernardes de Sene.

Graduada em Licenciatura e Bacharelado em Química, pelo Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde no ano de 2012.

“Um erro é a coisa mais valiosa que se pode fazer não se aprende nada sendo perfeito”

Adam Osborne

ÍNDICE

	Página
RESUMO -----	13
ABSTRACT -----	14
1 INTRODUÇÃO-----	15
2 Revisão Bibliográfica -----	16
2.1 Produtos “Free Glúten” -----	16
2.2 Pães-----	18
2.3 Panificação sem Glúten -----	20
2.4 Sorgo -----	21
3 Metodologias-----	23
3.1 Obtenção das farinhas-----	23
3.3 Caracterização física das farinhas e pães -----	26
3.4 Composição química da farinha de sorgo e dos pães desenvolvidos -----	27
3.5 Morfologia do amido por microscopia de varredura eletrônica (MEV)-----	28
3.6 Propriedades funcionais tecnológicas da farinha de sorgo vermelho-----	28
3.7 Análise Sensorial -----	29
3.8 Análises estatísticas -----	30
4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	32
OBJETIVOS -----	38
Objetivo geral -----	38
Objetivos específicos -----	38
ARTIGO I-----	39
RESUMO -----	40
ABSTRACT -----	41

1.1 INTRODUÇÃO -----	42
1.2 MATERIAIS E METODOS -----	43
1.3 RESULTADOS E DISCUSÃO -----	48
1.3.1 Caracterização da farinha de sorgo vermelho-----	48
1.3.2 Screening das formulações de pães sem glúten-----	54
1.3.3 Caracterização dos pães sem glúten-----	65
1.4 CONCLUSÕES-----	71
1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	72

ÍNDICE DE TABELAS

	Página
Tabela 1- Ingredientes e percentuais utilizados no desenvolvimento de pães sem glúten.-----	24
Tabela 2- Planejamento fatorial de misturas utilizando MFF. -----	29
Tabela 3- Classificação da Qualidade do pão. -----	30
Tabela 1- Ingredientes e percentuais utilizados no desenvolvimento de pães sem glúten. -----	43
Tabela 2- Planejamento fatorial de misturas utilizando MFF. -----	44
Tabela 3- Avaliação da granulometria da farinha de sorgo vermelho.-----	48
Tabela 4- Composição proximal e características físicas da farinha de sorgo vermelho.-----	49
Tabela 5- Propriedades funcionais da farinha de sorgo vermelho. -----	52
Tabela 6- Cor da crosta, Cor do miolo e volume específico dos pães sem glúten.-----	55
Tabela 7- Modelagem matemáticas dos atributos que se apresentaram significativos para pães sem glúten.-----	56
Tabela 9- Características químicas do pão sem glúten com farinha de sorgo vermelho.-----	66
Tabela 10- Percentual de minerais disponíveis no PSG sobre o valo IDR. -----	69
Tabela 11- Ensaios microbiológicos do pão sem glúten com farinha de sorgo vermelho.-----	69

ÍNDICE DE FIGURA

	Página
RESUMO -----	13
ABSTRACT -----	14
1 INTRODUÇÃO-----	15
2 Revisão Bibliográfica -----	16
2.1 Produtos sem glúten-----	16
2.2 Pães -----	18
2.3 Panificação sem Glúten -----	20
2.4 Sorgo -----	21
3 Metodologias -----	23
3.1 Obtenções das farinhas-----	23
Tabela 1 – Ingredientes e percentuais utilizadas no desenvolvimento de pães sem glúten. -----	24
Tabela 2 - Planejamento fatorial de misturas utilizando MFF. -----	25
3.3 Caracterização física das farinhas e pães -----	26
3.4 Composição centesimal da farinha de sorgo e dos pães desenvolvidos -----	27
3.5 Morfologia do amido por microscopia de varredura eletrônica (MEV)-----	28
3.6 Propriedades funcionais tecnológicas da farinha de sorgo vermelho -----	28
3.7 Análise Sensorial -----	29
Tabela 3– Classificação da Qualidade do pão. -----	30
3.8 Análises estatísticas -----	30
4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	32
OBJETIVOS-----	38
Objetivo geral -----	38
Objetivos específicos -----	38
ARTIGO I-----	39
RESUMO -----	40
ABSTRACT -----	41

1.1 INTRODUÇÃO -----	42
1.2 MATERIAL E METODOS -----	43
Tabela 1 – Ingredientes e percentuais utilizadas no desenvolvimento de pães sem glúten. -----	43
Tabela 2 - Planejamento fatorial de misturas utilizando MFF. -----	44
Figura 1 – Fluxograma de processamento de pães utilizando farinhas mistas -----	45
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO -----	48
1.3.1 Caracterização da farinha de sorgo vermelho -----	48
Tabela 3 – Avaliação da granulometria da farinha de sorgo vermelho. -----	48
As análises físico-químicas da farinha de sorgo vermelho estão apresentadas na Tabela 4. -----	49
Tabela 4 – Composição proximal e características físicas da farinha de sorgo vermelho. -----	49
Tabela 5 - Propriedades funcionais da farinha de sorgo vermelho. -----	52
Figura 2 – Imagens da farinha de sorgo vermelho tipo Buster-----	54
1.3.2 Screening das formulações de pães sem glúten -----	54
Tabela 6 – Cor da crosta, Cor do miolo e volume específico dos pães sem glúten. -----	55
Tabela 7 – Modelagem matemáticas dos atributos que se apresentaram significativos para pães sem glúten. -----	56
Figura 3 – Gráfico de superfície de contorno das variáveis L*crosta (A), b*crosta (B), b* miolo (C) e volume específico (D). -----	58
Tabela 8 - Perfil de textura e qualidade sensorial das formulações de pães sem glúten. -----	60
Figura 4 – Gráfico de superfície de contorno das variáveis significativas ($p < 0,05$) do perfil de textura: coesividade (A), elasticidade (B), mastigabilidade (C) e qualidade sensorial (D). -----	62
Figura 5 – Imagem para avaliação da aparência dos pães estudados. -----	63
1.3.3 Caracterização dos pães sem glúten -----	65
Tabela 9- Características químicas do pão sem glúten com farinha de sorgo vermelho. 66 O valor encontrado para o teor lipídico no pão estudado ($4,97 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$) corrobora com o valor apresentado por Angioloni; Collar (2012) que estudou os efeitos do tratamento de pressão de farinha de aveia hidratada, farelo de painço e sorgo na qualidade e	

propriedades nutricionais dos pães de trigo compostos. Apesar dos baixos níveis, têm um papel importante na qualidade do pão, em particular, o volume do pão é sensível à composição, estabilidade e teor global de lipídeos (SROAN; RITCHIE, 2009). -----67

Tabela 10 – Percentual de minerais disponíveis no PSG sobre o valo IDR. -----69

Tabela 11- Ensaio microbiológicos do pão sem glúten com farinha de sorgo vermelho. -----69

-----69

1.4 CONCLUSÕES-----71

1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS-----72

Apêndice A-----81

ÍNDICE DE APÊNDICES

Página

Apêndice A -----81

LISTA SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIações E UNIDADES

°C	Graus célsius
µm	Micrómetro
a*	Conteúdo de vermelho a verde
AACC	American association of cereal chemistry
ADL	Amido de digestão lenta
ADR	Amido de digestão rápida
AE	Atividade emulsificante
AG	Ataxia de glúten
ANVISA	Agência nacional de vigilância sanitária Official methods of analysis of the association of official analytical chemists
AOAC	chemists
AR	Amido resistente
AS	Somatória por atributo
b*	Conteúdo de amarelo a azul
CAA	Capacidade de absorção em água
CAO	Capacidade de absorção de óleo
CC	Cor da crosta
CEP	Comitê de ética em pesquisa
CEP/IF	
Goiano	Instituto federal de educação, ciência e tecnologia goiano
CESV	Coesividade
CIELab	Espaço psicométrico
CM	Cor miolo
CONAB	Companhia nacional de abastecimento
DC	Doença celíaca
DC1	Dureza no ciclo 1
DC2	Dureza no ciclo 2
DRI	Deitar reference intakes
EE	Estabilidade da emulsão
ELT	Elasticidade
FA	Farinha de arroz
FEM	Fécula de mandioca
FSV	Farinha de sorgo vermelho
FZEA	Faculdade de zootecnia e engenharia de alimentos
g	Gramas
g/dia	Gramas por dia
g/g	Gramas por gramas
GF	Glúten free
HPMC	Hidroxipropilmetilcelulose
IDR	Ingestão diária recomendada
ISO	Organização internacional de normalização

K	Resolução vertical em quantidade de linhas (pixels) das imagens	1024 pixels
Kcal	Quilocaloria	
L*	Luminosidade	
MAPA	Ministério de agricultura e agropecuária	
MET	Microscopia eletrônica de transmissão	
MEV	Microscopia eletrônica de varredura	
MF	Mix farinhas e féculas	
mg/dia	Miligramas por dia	
mL	Mililitro	
mm	Milímetro	
MSTG	Mastigabilidade	
OMS	Organização mundial da saúde	
p	Probabilidade de significância	
PSG	Pão sem glúten	
QPS	Qualidade pães sem glúten	
R ²	Coefficiente de determinação	
R _{aj} ²	Coefficiente ajustado de determinação	
RDC	Resolução da diretoria colegiada	
TACO	Tabela brasileira de composição de alimentos	
USP	Universidade de são Paulo	
Ve	Volume específico	

RESUMO

OLIVEIRA, JANAINA LACERDA. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, agosto de 2017. **Pães sem glúten com farinha de sorgo vermelho: propriedades tecnológicas, proximais e sensoriais.** Orientadora: Mayra C. Peixoto Martins Lima, Coorientadora: Mariana Buranelo Egea.

O atual crescimento econômico e a mudança no estilo de vida e hábitos alimentares vieram acompanhados por aumento gradual de casos de alergia e intolerância alimentares. A ingestão de glúten, por pessoas com a doença celíaca pode trazer inúmeros males à saúde. A dieta livre de glúten implica em restringir o consumo de pão, este que é um dos produtos alimentares mais importantes na dieta diária humana. É tradicionalmente baseado em farinha de trigo, embora também possam ser utilizadas farinhas de outros cereais, como centeio, arroz, sorgo ou milho. Apesar de já existir no mercado de alimentos sem glúten algumas opções de pães, estes são conhecidos por serem de baixo valor nutricional e pouca qualidade tecnológica e sensorial, resultado da utilização de farinhas refinadas e não fortificadas. Atualmente, cresce o interesse pela utilização do sorgo na alimentação humana, por promover benefícios à saúde quando utilizado como ingredientes na produção de alimentos. O presente trabalho utilizou o planejamento de mistura para utilizar diferentes proporções de farinha de sorgo vermelho, farinha de arroz e fécula de mandioca como ingredientes de formulação de pão sem glúten, com a utilização do *screening* de superfície de resposta para as variáveis independentes pesquisadas que foram significativas nas variáveis dependentes (respostas) avaliadas e realizou-se a escolha de uma formulação respeitando os seguintes parâmetros de desejabilidade: maior valor de L*, b* na crosta e b* no miolo dos pães, maiores valores de elasticidade, mastigabilidade, volume específico e qualidade sensorial e por fim, menor valor de coesividade. Desta forma, a formulação que atendeu a estes parâmetros foi a F7, contendo 33,33% de cada componente, então realizou-se a caracterização desta formulação que apresentou um produto que pode ser considerado de acordo com os padrões exigidos pela legislação como rico em fibras e minerais, alto teor de Fe e Mg, estrutura de miolo e volume específico satisfatórios, característica de cor similar outras formulações de pães ricos em fibras e integrais, bons parâmetros de textura para um produto da panificação sem glúten e uma boa aceitação sensorial. Assim, concluiu-se que a utilização de farinha de sorgo resultou em um pão sem glúten com ótimas características para que seja apresentado como uma nova opção para o mercado alimentício sem glúten, com alta qualidade tecnológica funcional, sensorial e nutricional.

PALAVRAS-CHAVE: *Sorghum bicolor* L. Moench, *Oryza sativa*, *Manihot esculenta*.

ABSTRACT

OLIVEIRA, JANAINA LACERDA. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, August of 2017. **Gluten-free breads with red sorghum flour: technological, proximal and sensory properties.** Adviser: Mayra C. Peixoto Martins Lima, Co-Adviser: Mariana Buranelo Egea.

The current economic growth and change in lifestyle and eating habits have been accompanied by a gradual increase in food allergy and intolerance. Intake of gluten by people with celiac disease can bring innumerable ills to health. The gluten-free diet implies in restricting the consumption of bread, which is one of the most important food products in the daily human diet. It is traditionally based on wheat flour, although flours of other cereals such as rye, rice, sorghum or corn can also be used. Although there are already in the gluten-free food market some bread options, these are known to be of low nutritional value, and little technological and sensorial quality because usually they are resulting from the use of refined and non-fortified flours. There is growing interest in the use of sorghum in human food, because it promotes health benefits when used as ingredients in food production. The present work used the mixing planning to use different proportions of red sorghum flour, rice flour and cassava starch as gluten-free bread formulation ingredients, with the use of surface response screening for the independent variables surveyed that were significant in the dependent variables (responses) evaluated then a formulation was chosen, respecting the following parameters of desirability: higher value of L^* , b^* in the crust and b^* in the bread crumbs, higher values of elasticity, chewability, specific volume and sensorial quality and, finally, less value of cohesiveness. Thus, the formulation that met these parameters was F7, containing 33.33% of each component, then the characterization of this formulation was performed, which presented a product that can be considered according to the standards required by the legislation as rich in fiber and minerals, high content of Fe and Mg, satisfactory kernel and volume structure, similar color characteristic to others formulations of fiber-rich and whole-grain breads, good texture parameters for a gluten-free bakery product, and good sensory acceptance. Thus, it was concluded that the use of sorghum flour resulted in a gluten-free bread with great characteristics to be presented as a new option for the gluten free food market, with high functional, sensorial and nutritional technological quality.

KEY WORDS: Sorghum, gluten free, bread.

1 INTRODUÇÃO

O pão é um ingrediente importante da dieta diária humana em quase todos os países do mundo. É uma fonte de nutrientes, especialmente carboidratos, fibras, proteínas e alguns minerais (magnésio, fósforo, ferro) (KOPÉC et al., 2011). Uma das matrizes naturais em que as necessidades de fibras alimentares podem ser atendidas é o pão (LEQUART et al., 2017).

Atualmente, a mudança no estilo de vida e hábitos alimentares vieram acompanhados por um aumento gradual de casos de alergia e intolerância alimentares em todo o mundo (GILISSEN; VAN DER MEER; SMULDERS, 2014). Assim existe uma crescente tendência para eliminar qualquer proteína potencialmente alergênica em uma dieta (WITCZAK et al., 2016).

Ainda sobre o pão, para que este alimento se torne mais saudável para pessoas que apresentem algum tipo de intolerância e/ou alergia deve-se proceder a remoção do glúten de sua formulação. A remoção de glúten de produtos alimentares tradicionalmente à base de trigo como o pão, tem um impacto significativo na sua estrutura e textura (WITCZAK et al., 2016). Assim percebe-se que a remoção do glúten de produtos de panificação é um dos maiores desafios da ciência e tecnologia de alimentos (PERESSINI; PIN; SENSIDONI, 2011).

Oyango e colaboradores (2011) relataram que os amidos de diferentes origens botânicas podem ser usados para modificar a qualidade do pão de sorgo sem glúten. O amido faz com que a gelatinização ocorra mais prontamente e completamente. Isso facilita o desenvolvimento de uma coesão da rede formada no miolo que aprisiona bolhas de gás e evita a perda do dióxido de carbono e o colapso da crosta. Além disso, o amido dilui o endosperma e partículas de farelo em farinha de sorgo que perturbam a uniformidade do gel de amido e interferem nos filmes líquidos formados ao redor das células de gás (TAYLOR; SCHOBBER; BEAN, 2006).

Existe crescente interesse em usar sorgo em alimentos em todo o mundo pela promoção de saúde para alimentação sem glúten, com propriedades tais como anti-

inflamatórios, anticancerígenos e baixa digestibilidade do amido que reduz o colesterol. (PAIVA et al., 2015). Yousif; Nhepera; Johnson (2012) relata que a baixa digestibilidade do amido de sorgo contribui para diminuição do risco ao longo prazo de diabetes tipo 2 em indivíduos que adotam o consumo de novos produtos contendo sorgo em suas formulações.

Além disso, o sorgo é um cereal promissor, pois é fácil de produzir e pode crescer sob condições ambientais adversas, como áreas muito secas, salinas e quentes, onde a produção de outros cereais não é viável economicamente. O sorgo também é avaliado como um potencial cereal fonte de fibras, minerais (cálcio, ferro e potássio), proteínas e alguns compostos bioativos. Corroborando com o crescente interesse em usar sorgo na alimentação humana em todo o mundo, também relacionada à promoção de saúde, principalmente para dietas sem glúten (PAIVA et al., 2015).

Apesar de já existir no mercado pães sem glúten (PSG), em geral eles apresentam qualidade inferior em comparação com pães de trigo (MOHAMMADI et al., 2015). O valor nutricional dos produtos alimentícios sem glúten costuma ser também limitado, comumente os alimentos sem glúten são desenvolvidos a partir de farinhas refinadas e amidos, que não são enriquecidos ou fortificados e, portanto, não possuem a mesma quantidade de nutrientes disponíveis em alimentos correspondentes que contêm glúten (GALLAGHER, 2009). Dentre os nutrientes pode-se citar o ferro, o ácido fólico, o cálcio e as vitaminas lipossolúveis (PERES, 2011).

Considerando que a adição de sorgo em produtos sem glúten pode melhorar suas propriedades funcionais e nutricionais, este estudo busca encontrar a melhor proporção de farinha de sorgo em formulações de pão com base de outros amidos, caracterizando as propriedades sensoriais e tecnológicas para criação de novos produtos para o mercado de panificação sem glúten.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Produtos sem glúten

Nas últimas décadas o crescimento econômico e a mudança no estilo de vida e hábitos alimentares vieram acompanhados por aumento gradual de casos de alergia e

intolerância alimentares em todo o mundo (GILISSEN; VAN DER MEER; SMULDERS, 2014).

De acordo com Watson (2014), 65% dos consumidores compram produtos sem glúten porque são considerados mais saudáveis, 27% porque podem ajudar na perda de peso, 11% por razões de saúde (inflamação, depressão) e 20% por outros motivos. O valor global do mercado *Gluten Free* (GF) é estimado em 6,2 bilhões de dólares em 2018, em que 59% nos EUA, entre os produtos do mercado GF, 46% consistirá em produtos de padaria e confeitaria (WITCZAK et al., 2016)

A ingestão de glúten, por pessoas com a doença celíaca (DC) pode trazer inúmeros males à saúde, como é o caso da má absorção de nutrientes que são essenciais para a manutenção fisiológica do organismo. Dentre os nutrientes, pode-se citar o ferro, o ácido fólico, o cálcio e as vitaminas lipossolúveis (PERES, 2011). A DC é uma enfermidade intestinal crônica, causada pela intolerância ao glúten. É uma condição patológica que ocorre em indivíduos geneticamente predispostos (GALLAGHER, 2009). A DC clássica possui sintomas gastrointestinais variáveis, sendo os mais comuns: a diminuição do peso corporal sem motivo, falta de apetite, diarreia, constipação, dores abdominais, esteatorreia, vômitos, inchaço e dores abdominais (STRAUCH; COTTER, 2011).

Doenças causadas pela ingestão do glúten também podem ocorrer em pacientes não celíacos, tal transtorno é descrito então como sensibilidade mediada pelo glúten (KOEHLER; WIESER; KONITZER, 2014). A DC não é a única doença causada pela ingestão de glúten, as intolerâncias que também se enquadram na categoria apresentam-se com o termo "transtornos relacionados ao glúten" (SAPONE et al., 2012).

Entre as doenças relacionadas ao glúten, apresenta-se a alergia ao trigo que é definida como uma resposta imunológica mediada pelas proteínas do trigo e cereais relacionados que afetam o trato gastrointestinal, o trato respiratório ou a pele (KEET et al., 2009). A alergia ao trigo também é conhecida como asma de padeiro e é causada principalmente por inalação de farinhas de cereais, particularmente farinha de trigo (SALCEDO; QUIRCE; DIAZ-PERALES, 2011).

Kárpáti (2015), também cita a Dermatite Herpetiforme como uma doença relacionada à ingestão de glúten, que é também conhecida como doença de Duhring-Broczy, e, às vezes, referida como doença celíaca da pele. A dermatite herpetiforme caracteriza-se por placas urticárias e bolhas nos cotovelos, nádegas e joelhos e outras áreas do corpo (CAPRONI et al., 2012).

A ataxia de glúten (AG) é uma das manifestações neurológicas mais comuns atribuídas a DC. É como os outros transtornos relacionados ao glúten, uma doença imunomediada desencadeada pela ingestão de produtos contendo glúten em indivíduos que são geneticamente suscetíveis a ele (FOSCHIA et al., 2016). Esta ataxia não tem características únicas, que a distinguem dos outros tipos de ataxia, portanto são mais difíceis de identificar do que outras doenças celíacas. A identificação atual é realizada por um exame sorológico para os anticorpos AGA, TGA e anti-TG6. Uma dieta sem glúten é recomendada para pessoas que sofrem de AG.

Nicolae; Radu & Belc, (2015) relata o aumento da demanda por produtos sem glúten em decorrência da intolerância ao glúten ou outras reações alérgicas/ intolerâncias ligadas ao consumo do glúten. Dependendo da duração da doença antes do tratamento, sabe-se que a adesão estrita a dieta sem glúten estabilizará ou até melhorará o bem-estar dos pacientes (FOSCHIA et al., 2016).

No entanto, é preciso ter clareza que esta dieta possui caráter complexo e restritivo, além de possuir um custo financeiro muito elevado, quando comparado ao que se considera uma dieta convencional. O valor nutricional dos produtos alimentícios sem glúten costuma ser também uma limitação enfrentada por indivíduos com intolerância. Comumente, os alimentos sem glúten são desenvolvidos a partir de farinhas refinadas e amidos, que não são enriquecidos ou fortificados e, portanto, não possuem a mesma quantidade de nutrientes disponíveis em alimentos correspondentes que contêm glúten (GALLAGHER, 2009).

Na panificação isenta de glúten, também são utilizados produtos amiláceos, amidos ou féculas, para promover a consistência dos alimentos. A diferença entre o amido e a fécula está na parte da planta da qual os produtos amiláceos são extraídos. O amido é extraído da parte aérea da planta enquanto a fécula é retirada da parte subterrânea (MATOS & ROSELL, 2013).

2.2 Pães

Um dos produtos alimentares mais importantes é o pão. É tradicionalmente baseado em farinha de trigo, embora também possam ser utilizadas farinhas de outros cereais, como centeio, arroz, sorgo ou milho (BUKSA et al., 2016). Os produtos de panificação estão presentes no dia a dia dos brasileiros e representam um consumo expressivo no país, da ordem de 33,5 kg por ano por pessoa, segundo dados da Associação

Brasileira da Indústria de Panificação e Confeitaria (ABIP). Essa quantidade representa um pouco mais da metade da porção recomendada pela Organização Mundial da Saúde (OMS), que é de 60 kg/capita/ano (SCHAMNE, 2007).

O pão é um alimento tradicional geralmente preparado a partir de farinha de trigo, em sua preparação sempre a mistura de água e farinha de trigo, ocasionada para produzir a rede de glúten. O glúten é constituído pelas frações proteicas de glutenina e gliadina após hidratação e aplicação de energia mecânica, a gliadina proporciona viscosidade e capacidade de expansão à massa, enquanto glutenina é responsável pelas propriedades de elasticidade e coesão da massa (DEMIRKESEN et al., 2010). O glúten também envolve os grânulos de amido e fragmentos de fibras, por isso, os produtos de panificação são produzidos, principalmente, a partir da farinha de trigo. Essa propriedade proporciona uma massa com melhor estrutura e propriedades visco elástica adequadas para o aprisionamento das bolhas de ar resultantes da fermentação durante o cozimento. A ausência de glúten produz problemas tecnológicos na produção de produtos de panificação (SCIARINI et al., 2012).

A preparação do pão sem glúten difere dos produtos padrão à base de trigo. Na ausência de proteínas de glúten, a massa não requer uma mistura prolongada, que normalmente é necessária para construir uma rede de proteínas, por este motivo, a quantidade de água adicionada pode ser maior na produção de padaria sem glúten (M. WITCZAK et al., 2012). A reologia exata da massa é determinada pela escolha de farinha/amido e ambos esses fatores têm um impacto sobre o processamento mecânico e o comportamento da fermentação (DEMIRKESEN et al., 2010).

Assim, as indústrias alimentícias mantem-se em constante procura por matérias-primas, que não contenham glúten e que possam resultar em produtos que apresentem boa aceitação pelo consumidor, principalmente os portadores da doença celíaca (STORCK et al., 2009).

Apesar de já existir no mercado pães sem glúten (PSG), em geral eles apresentam qualidade inferior em comparação com pães de trigo (MOHAMMADI et al., 2015). Além disso, apesar da crescente incidência na taxa da doença celíaca, com conseqüente aumento na demanda por produtos alimentícios sem glúten, estudos demonstram que a disponibilidade destes alimentos no mercado é limitada, e pode prejudicar na adesão à dieta (ARAÚJO et al., 2011).

Segundo Lazaridou e colaboradores (2007), há necessidade de se encontrar substâncias que possam atuar de forma similar às proteínas do glúten, formando a rede

de glúten, bem como suas características a fim de melhorar a qualidade sensorial e tecnológica dos pães sem glúten e apresentar variedade de opção no mercado GF apresentando produtos inovadores e com qualidade nutricional.

2.3 Panificação sem Glúten

Gallagher (2008) definiu farinhas como qualquer pó fino e macio de origem vegetal, no entanto, apenas as farinhas contendo amido podem ser usadas como uma substituição da farinha de trigo em produtos GF. O amido é o principal componente da farinha e tem um impacto direto nas propriedades físicas da farinha, juntamente com componentes (proteínas de armazenamento, carboidratos não amiláceos, lipídios, minerais, vitaminas, enzimas) podem ter efeito sobre as características dos sistemas físicos das farinhas, afetando significativamente as características nutricionais dos produtos sem glúten.

Os amidos e féculas mais utilizados na panificação sem de glúten são principalmente obtidos a partir de arroz, mandioca, batata, milho e trigo sarraceno. O tipo de amido (amilose/amilopectina) pode influenciar a consistência da massa e a taxa de gelatinização/retrogradação, ambos os parâmetros fortemente relacionados com a qualidade do pão. A aparência física dos produtos assados depende principalmente da sua estrutura interna, constituída da distribuição das células do gás, a força e a continuidade das paredes. O amido utilizado desempenha um papel importante no fornecimento de matriz extensível, que pode reter o dióxido de carbono, permitir a expansão da célula crescente, evitar a coalescência com células vizinhas durante o crescimento, assim estabilizar a estrutura final no resfriamento (HOUBEN; HOCHST; BECKER, 2012).

A adição de água também tem um efeito expressivo sobre os produtos de panificação provenientes de amido, pois os grânulos de amido podem ser conectados através de suas moléculas, formando uma estrutura contínua com propriedades viscoelásticas e, em maior nível de adição, uma suspensão de grânulos de sedimentação lenta. O comportamento exato de tal sistema depende muito da origem do amido, mas também de substâncias não amiláceas, que podem estar envolvidas na sua estabilização (WITCZAK et al., 2016).

Dentre os cereais, o arroz tem sido o mais adequado para a elaboração de pães sem glúten pelo sabor suave, cor branca, alta digestibilidade, propriedades hipoalérgica,

baixo teor de sódio e de gordura, e alta quantidade de hidratos de carbono facilmente digeríveis (SCIARINI et al., 2012). Mas, a farinha de arroz possui baixa capacidade de retenção de gás e por isso, pães elaborados com base apenas nesse ingrediente possuem alguns problemas de qualidade, tais como baixo volume, textura e estrutura do miolo não adequado, assim acaba sendo necessária a adição de outras farinhas para diminuir estes fatores (TURABI; SUMNU; SAHIN, 2010). Outros amidos e féculas mais utilizados na panificação sem de glúten são principalmente obtidos a partir de mandioca, batata, milho e trigo sarraceno (MATOS; ROSELL, 2013).

O sorgo é um cereal seguro para celíacos e uma alternativa interessante para a substituição da farinha de trigo, pois apresenta sabor neutro e produz uma farinha com a aparência e cor semelhantes à farinha de trigo, tornando-se uma boa opção na fabricação de alimentos sem glúten como pães, bolos, biscoitos e espaguete (BEAN; STONESTREET; ALAVI, 2010).

Este grão também se apresenta como alternativa economicamente importante ao uso do trigo. Muitos países em desenvolvimento não têm um bom acesso ao trigo, o principal ingrediente no pão, que é consumida na maioria das áreas urbanas. O sorgo é um dos grãos que tem sido utilizado como alternativa e possui certas vantagens em que farinhas de sorgo de alta qualidade são neutras em sabor e de cor clara. Além de o cultivo ser favorecido em regiões semiáridas e tropical do mundo (MORGAN et al., 2012).

2.4 Sorgo

O sorgo foi domesticado para consumo humano e animal na África, entre 3.000 e 5.000 anos atrás e, posteriormente, difundido para a Índia e a China. Mais de 35 % do sorgo é cultivado diretamente para consumo humano e o restante é usado, principalmente, na alimentação animal (AWIKA; ROONEY, 2004). Segundo levantamento do IBGE (2016), a produção do sorgo no Brasil em 2016 alcançou 1.168.904 toneladas, onde a região Centro-Oeste contribuiu com 48,6% da produção, e o estado de Goiás com 30,1% do total do valor. Dados da CONAB (2017) para a produção de sorgo em Goiás apresentam o valor de produção anual 552.000 toneladas de sorgo na safra 2015/2016, com uma previsão de 646.000 toneladas para a safra 2016/2017.

No Brasil, praticamente não há consumo de sorgo na alimentação humana, o cereal é cultivado, principalmente, visando à produção de grãos para suprir a demanda das indústrias de ração animal (TABOSA et al., 1993; DYKES et al., 2005). Na maioria

dos outros países, o sorgo também é utilizado basicamente na alimentação animal. Porém, o interesse no uso do cereal como alimento humano tem crescido, em virtude do mesmo ser considerado fonte potencial de alimentos, além de não possuir glúten.

Rooney (2007) relatou que sorgo pode ser uma alternativa para o trigo na alimentação de boa qualidade para celíacos. O sorgo quando utilizado na produção de alimentos, apresenta produtos palatáveis de boa aparência e qualidade (QUEIROZ et al., 2009). Como é desprovido de glúten, o sorgo é importante na nutrição humana. Assim, a farinha de sorgo pode ser substituída por farinha de trigo em produtos sem glúten, como bolos, cereais matinais, pães, biscoitos e macarrão (TAYLOR; SCHOBBER; BEAN, 2006).

O amido é um dos principais componentes do grão de sorgo, no entanto a digestibilidade parece menor do que amidos de outros cereais, tais como o milho; uma característica atribuída principalmente à interação entre o amido de sorgo e da matriz proteica (TAYLOR; EMMAMBUX, 2010). Yousif; Nhepera; Johnson (2012) correlacionaram a baixa digestibilidade do amido encontrado no sorgo como fator eficiente para a alimentação humana, sendo este de grande valia para o desenvolvimento de alimentos apresentando baixo teor de amido de digestão rápida, e consequentemente de baixo índice glicêmico.

Buyken e colaboradores (2010) relataram que a baixa digestibilidade do amido encontrado no sorgo quando empregado a novos produtos alimentícios, reduzem a elevação de níveis de glicose no sangue pelo baixo índice glicêmico dos produtos, contribuindo para diminuição do risco ao longo prazo de diabetes tipo 2 a indivíduos que adotam uma dieta contendo sorgo em suas formulações. Dietas com baixo índice glicêmico são atribuídas à boa saúde, especialmente durante o processo de envelhecimento (CHIU et al., 2011).

Recentemente, o sorgo pela baixa digestibilidade do amido, altos níveis de compostos polifenólicos e capacidade antioxidante, apresenta potencial para o desenvolvimento de alimentos em que a diminuição do risco de doenças crônicas tem sido reconhecida (TAYLOR; EMMAMBUX, 2010). Modelos *in vitro* de digestão humana de hidratos de carbono podem ser utilizados para medir os níveis fisiologicamente importantes de frações de amido, tais como amido de digestão rápida (ADR), amido de digestão lenta (ADL), e amido resistente (AR) em alimentos (GERMAINE et al., 2008).

A adição do sorgo, em produtos sem glúten pode melhorar as propriedades funcionais e tecnológicas da massa, pois o sorgo contém uma combinação de componentes benéficos, incluindo amidos resistentes e antioxidantes polifenólicos (KHAN et al., 2014). Assim a utilização de farinha de sorgo para fabricações de pão sem glúten pode oferecer variabilidade de produtos GF no mercado de panificação, além de promover a inserção do sorgo como um novo produto com funcionalidades nutricionais na alimentação humana.

3 Metodologias

3.1 Obtenções das farinhas

Os grãos integrais de sorgo granífero (*Sorghum Bicolor* L. Moench) *Buster*, com pericarpos vermelho sem tanino foram produzidos no campo experimental da empresa Atlântica cereais, nas proximidades de Rio Verde – GO, e colhidas em agosto de 2016 e doadas pela mesma. A padronização da umidade dos grãos foi efetivada pela própria empresa, realizada em câmara climatizada, utilizando temperatura de 40 °C por 72 horas. Os grãos de sorgo foram limpos manualmente, a fim de remover todas as sujidades presentes nos grãos. Foram moídos em Moinho Tipo Willye, Modelo Te-650/1, 730 RPM, 1/2 CV (Tecnal, Piracicaba, Brasil). As farinhas obtidas foram acondicionadas em sacos plásticos de polipropileno, embaladas a vácuo, armazenadas a -4 °C em B.O.D. até o momento das análises (KHAN et al. 2013). Todo o procedimento foi realizado no Laboratório de cereais e panificação do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO.

A farinha de arroz sem glúten de marca Kodilar®, a fécula de mandioca de marca Maniva®, o fermento biológico de marca Saf-instant®, óleo de soja Comigo®, açúcar Cristal Vale®, sal refinado Dunas® utilizados foram adquiridas em mercado varejista de Aparecida do Rio Doce, Goiás.

3.2 Obtenção de pães sem glúten adicionado de farinha de sorgo

A farinha de sorgo vermelho e os pães sem glúten foram produzidos obedecendo às normas de Boas Práticas de Fabricação, de acordo com a RDC nº275 (ANVISA, 2002) com a finalidade de atestar condições higiênico-sanitárias desejáveis à produção de alimentos.

A Tabela 1 apresenta os ingredientes e suas respectivas quantidades que foram utilizados na formulação dos pães. Nesta formulação, desenvolvida pelo próprio autor a partir de testes preliminares, foi levado em consideração a viabilidade financeira quanto a aquisição dos ingredientes, bem como características do produto obtido e apresentação de um produto que apresente o mínimo de ingredientes considerados alergênicos.

Tabela 1 – Ingredientes e percentuais utilizadas no desenvolvimento de pães sem glúten.

Ingredientes	Percentuais (%)
Mix farinhas e féculas	48,76
Óleo	1,46
Fermento biológico	0,98
Água	41,89
Açúcar	5,84
Sal	0,74

O mix de farinhas e fécula (MFF) foi escolhido baseado nos resultados apresentados por Elkhalfa; El-Tinay (2002), Cesar e colaboradores (2006) e Sciarini; Pérez; Lamballerie (2012), e optou-se pela farinha de arroz e a fécula de mandioca para comporem a mistura juntamente com a farinha de sorgo vermelho.

O percentual de cada farinha para compor a mistura de farinhas foi estabelecido por um delineamento de misturas simplex-centroide com 3 fatores ampliando com 3 pontos internos, totalizando 10 formulações (BARROS NETO; SCARNINIO; BRUNS, 2010). A Tabela 2 apresenta o planejamento experimental de mistura e os teores das farinhas determinados em diferentes concentrações.

Tabela 2 - Planejamento fatorial de misturas utilizando MFF.

Ensaio	FSV (%)	FA (%)	FEM (%)
1	100	0	0
2	0	100	0
3	0	0	100
4	50	50	0
5	50	0	50
6	0	50	50
7	33,33	33,33	33,33
8	66,66	16,66	16,66
9	16,66	66,66	16,66
10	16,66	16,66	66,66

MFF: Mescla de farinhas e fécula, FA: Farinha de arroz, FEM: Fécula de Mandioca, FSV: Farinha de Sorgo Vermelho

Quanto às melhores condições de processo de mistura dos ingredientes e amassamento, após realização de testes prévios, o método esponja (ativação do fermento) e manual, mostraram-se melhores para o desenvolvimento do produto final. O tempo de fermentação e tempo de cozadura também foram determinados pela realização de testes prévios e padronizados para todas as formulações assumindo o seguinte processo:

- Etapa 1: homogeneização das mesclas de farinhas e féculas (apenas para ensaios 4-10) em batedeira Cadense (600W modelo BAT601) por 5 minutos;

- Etapa 2: preparação da esponja homogeneizou-se os seguintes ingredientes com suas proporções referente a preparação de um ensaio:

- 20% de água;
- 100% de fermento biológico;
- 10% de açúcar;
- Repouso para formação da esponja durante 15 minutos.

Para a preparação da massa, adicionou-se em um bowl (tigela) de alumínio os seguintes ingrediente:

- Todos os ingredientes secos;
- Mistura formadora da esponja;
- Todos os ingredientes líquidos;

- Homogeneização durante 10 minutos.

- Etapa 3: após preparação da massa a mesma foi acondicionada em formas de alumínio (medidas aproximadas de 10x10x5) para a etapa de fermentação, a massa permaneceu em repouso por 30 minutos.

- Etapa 4: O forneamento foi iniciado imediatamente após o tempo de repouso para a fermentação, em forno elétrico fischer (modelo gratinato 220v/1750W) durante 30 minutos a 200 °C.

A padronização do processo descrito teve como objetivo de diminuir o erro por fatores adaptativos de aparelhos como câmaras de crescimento e forno disponíveis no laboratório.

3.3 Caracterização física das farinhas e pães

Para determinação da granulometria e a distribuição do tamanho das partículas da farinha de sorgo, realizou-se o peneiramento de 100 g de farinha, em triplicado, durante 10 minutos, em peneiras vibratórias, padrão ABNT, com as malhas de aberturas de 1,0; 0,5; 0,297; 0,25; 0,125 μM , através de um tamisador vibratório eletromagnético (BERTEL[®], Caieiras, SP, BR). A amostra retida em cada peneira foi pesada e expressa em porcentagem (MARTINO et al., 2012).

A análise de cor foi realizada conforme Khan e colaboradores (2013), com adaptações. Para avaliar a cor da farinha de sorgo vermelho utilizou-se do colorímetro Color Flex EZ, modelo EZ CLFX 45/0 LAV (Hunterlab, Reston, VA, EUA), com o sistema CIELab (L * de preto para branco: 0 a 100; + a * para vermelho e - a* para verde; + b * para amarelo e - b* azul) e se realizou a leitura diretamente no aparelho, farinha de sorgo vermelha foi analisada em 3 repetições em uma única amostra, para os pães sem glúten foram analisadas as 10 formulações com 3 repetições por amostra.

A textura instrumental dos pães foi determinada segundo o método 74-09.01 da AACC (2009), utilizando aparelho texturômetro (Brookfield, CT3, Middleboro-MA, USA) com ponta de prova cilíndrica em acrílico com 38.1 mm de diâmetro, 20 mm de comprimento (TA4/1000) e base retangular (TA-BT-KIT). Foi realizado o Perfil de Textura (TPA) nas seguintes condições de operação: medida de força em compressão, velocidade de pré-teste: 1,0 mm/s, velocidade de teste: 1,0 mm/s, velocidade de pós-teste: 10,0 mm/s e distância de penetração de 40%, e os resultados expressos em Newton (N). As amostras fatiadas foram retiradas da embalagem individual, para evitar o ressecamento

da crosta e do miolo quando expostos ao ambiente. A avaliação foi realizada em três repetições, pela compressão do probe cilíndrica de 25 mm em fatias centrais dispostas horizontalmente na plataforma com espessura de 2,5 cm, medido em paquímetro. Desta forma, o perfil de textura dos pães foi determinado pelos resultados dos parâmetros de dureza, coesividade, elasticidade, mastigabilidade.

O volume específico foi medido por deslocamento de semente de painço das formulações de pães. Um béquer de 250 mL foi preenchido com sementes de painço, as sementes foram retiradas, os pães foram colocados no béquer e ele foi preenchido pelas sementes de painço até completar o volume. As sementes de painço não utilizadas foram medidas em proveta e o volume específico do pão foi calculado pela Equação 1 (AACC, 2000).

$$\text{Volume específico dos pães} = \frac{\text{Volume do pão (mL)}}{\text{Peso do pão (g)}} = \frac{\text{mL}}{\text{g}} \quad (\text{Eq. 1})$$

A avaliação da aparência da estrutura interna dos pães foi efetuada através da visualização de fotografias do miolo dos pães. As imagens capturadas com câmera digital Sony (Cyber-Shot DSC W610, 14.1MP), a distância de 30 cm do corte da seção transversal dos pães foram analisadas empiricamente. As dez amostras foram comparadas a fim de obter um resultado de melhor aparência da estrutura interna de cada pão.

3.4 Composição centesimal da farinha de sorgo e dos pães desenvolvidos

A umidade das farinhas e dos pães foi determinada através de secagem em estufa com ventilação forçada de ar a 130 °C durante 1 hora (método 44-15^a, AACC, 2000). As cinzas foram determinadas utilizando-se o método de incineração a 550 °C por 4 horas (método n° 08-01, AACC, 2000). A quantificação de proteínas foi realizada pelo método de Kjeldahl (método 46-13, AACC, 2000) e o teor de gordura pelo método de Soxhlet, (método 30-20, AACC, 2000). O conteúdo de carboidratos foi calculado pela diferença usando a equação: 100 - (umidade + proteína lipídica + cinzas + fibra dietética). Amido, por titulação com soluções de Fehling (043/ IV, método IAL). O valor calórico foi calculado utilizando os fatores de conversão de 9 kcal por grama de lipídios, 4 kcal por grama de carboidratos e 4 calorias por grama de proteína (FRARY; JOHNSON, 2005).

Fibras dietéticas solúvel e insolúveis foram realizadas de acordo com o método gravimétrico enzimático (AOAC, 2005). Fibra dietética total foi obtida pela soma da fibra dietética solúvel e insolúvel.

O perfil mineral foi descrito quanto a macro e micronutrientes pelo método de digestão ácida nitro-perclórica nº 965.9 (AOAC, 2000). Teores de Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn foram analisados em espectrofotômetro de absorção atômica (GBC[®]); as leituras de B e P foram realizadas em espectrofotômetro ultravioleta visível (BEL[®]) e de K em fotômetro de chama (B462/Micronal[®]).

3.5 Morfologia do amido por microscopia de varredura eletrônica (MEV)

A análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi realizada em aparelho TM3000, HITACHI (Japão), por técnico responsável no Laboratório de Tecnologia de Alimentos, localizado na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA) da Universidade de São Paulo (USP). As amostras de farinha de sorgo foram previamente liofilizadas por 48h e fixadas em um stub (suporte) por fita de carbono dupla face condutiva, com tensão de aceleração foi de 15Kv.

3.6 Propriedades funcionais tecnológicas da farinha de sorgo vermelho

A capacidade de absorção em água (CAA) da amostra da farinha foi determinada de acordo com Elmoneim e colaboradores (2010) com adaptações. Homogeneizou-se 0,2 g de farinha em 10 ml de água em tubos de centrífuga com tampa. Os tubos foram agitados por 1 minuto em agitador e em seguida centrifugados a 5300 rpm por 20 minutos em centrífuga. O líquido sobrenadante foi separado cuidadosamente, e pesou-se o material remanescente (farinha úmida) e a diferença entre o peso da amostra antes e após a absorção de água representou a quantidade de água absorvida. A medida da capacidade de absorção de água foi calculada utilizando a Equação 2.

$$\text{Capacidade de absorção em água (CAA)} = \frac{\text{água absorvida pela amostra (g)}}{\text{Peso da amostra (g) base seca}} \quad (\text{Eq. 2})$$

Para determinar a atividade emulsificante e estabilidade da emulsão, emulsionou-se 1 g de amostra, 10 ml de água e 10 ml de óleo de soja em agitador, e

distribuídos em tubos Falcon graduados de 15 ml, em seguida, os tubos foram centrifugados a 3000 rpm por 5 minutos (Yasumatsu et al., 1972). A atividade emulsificante (AE) foi calculada de acordo com a Equação 3. A estabilidade da emulsão (EE) foi determinada utilizando os tubos sob aquecimento em banho-maria a 80°C por 30 minutos e em seguida resfriados por 20 minutos em água corrente e centrifugados a 3000 rpm por 5 minutos. Para o cálculo do EE utilizou-se a Equação 4.

$$\text{Atividade emulsificante (AE)} = \frac{\text{Camada emulsificada (mL)} \times 100}{\text{Volume total no tubo (mL)}} \quad (\text{Eq.3})$$

$$\text{Estabilidade da emulsão (EE)} = \frac{\text{Camada emulsificada remanescente (mL)} \times 100}{\text{Camada emulsificada no tubo (mL)}} \quad (\text{Eq.4})$$

A determinação da capacidade de absorção de óleo (CAO) foi realizada adicionando-se 10 ml de óleo de soja a 1 g de amostra de farinha de sorgo em tubo Falcon de 25 ml. O tubo foi agitado em misturador tipo vortex durante 2 min e, em seguida foi centrifugado a 4000 rpm durante 20 min. O sobrenadante foi retirado e pesou-se o sedimento do tubo, e determinou-se capacidade de absorção de óleo (CAO) de acordo com a Equação 5 (ELMONEIM; ELKHALIFA; BERNHARDT, 2010).

$$\text{Capacidade de absorção de óleo (CAO)} = \frac{\text{Óleo absorvido pela amostra (g)}}{\text{Peso da amostra (g) base seca}} \quad (\text{Eq.5})$$

3.7 Análise Sensorial

Para avaliar a qualidade sensorial dos pães desenvolvidos, realizou-se o Teste de Panificação. Este método utiliza o sistema de pontuação global empregado por EL-DASH (1978). Nele os pães são avaliados pelos julgadores treinados mediante escore de pontos dos atributos, sendo eles: aroma, sabor, textura do miolo, estrutura da célula do miolo, volume, cor da crosta, características da crosta, quebra e simetria. Para cada um destes atributos é atribuída uma escala conforme pode ser visto no Quadro 1 do apêndice A.

Tabela 3– Classificação da Qualidade do pão.

TOTAL DE PONTOS DOS ATRIBUTOS	QUALIDADE DO PÃO
>90	Muito boa
80-90	Boa
70-80	Regular
<70	Sofrível

Fonte: Camargo e Camargo (1987)

Para segurança dos julgadores as análises microbiológicas foram realizadas anteriormente a realização da análise sensorial. Os parâmetros microbiológicos foram determinados de acordo metodologias ISO e foram: coliformes totais, bolores e leveduras e *Salmonella ssp* determinada pela resolução RDC 12/2001 da Anvisa. As análises realizaram-se para cada micro-organismo em questão, de acordo com a metodologia preconizada pelo Ministério de Agricultura e Agropecuária-MAPA (BRASIL, 2003). A amostra de pão sem glúten analisada foi o ensaio F7 que corresponde a frações iguais entre farinha de sorgo vermelho, farinha de arroz e fécula de mandioca, para representação global de todos os ensaios analisados, devido a situação atual da economia procurando diminuir custos e reagentes. Todos os ensaios foram realizados segundo os parâmetros estabelecidos pela RDC n. 12 de 02 de janeiro de 2001, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária–ANVISA. (BRASIL, 2001)

3.8 Análises estatísticas

Para as análises físico-químicas e tecnológicas da farinha de sorgo vermelho, os resultados foram analisados por médias e desvio padrão utilizando o programa Excel®. Para formulação de pães, utilizou-se da ferramenta de planejamento de mistura aplicada em três diferentes fontes de amido (farinha de sorgo vermelho, farinha de arroz, fécula de mandioca), conforme delineamento, estabeleceu-se 10 ensaios com diferentes frações de amido. O planejamento experimental de misturas foi utilizado como ferramenta de seleção para encontrar a formulação que melhor atendesse aos parâmetros sensoriais e tecnológicos, para pães sem glúten com farinha de sorgo vermelho. Os dados obtidos nas análises tecnológicas e sensoriais foram submetidos a análise de regressão múltipla realizada para se ajustar ao modelo de segunda ordem para variáveis dependentes,

estabelecendo-se a determinação experimental (R^2) e determinação ajustada do (R_{aj}^2) para modelos matemáticos gerados para cada variável resposta.

Os modelos matemáticos gerados resultaram em diagramas triangulares de resposta do delineamento de mistura conforme BARROS NETO; SCARNINIO; BRUNS (2010). A representação gráfica da superfície de resposta elucida o comportamento experimental tecnológico e sensorial para as variáveis: Cor da costa e miolo (L^* , a^* e b^*); Textura (dureza, coesividade, elasticidade e mastigabilidade); Volume específico; Qualidade sensorial.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC. American Association of Cereal Chemists. Approved Methods, 10th ed., 44-15A, 02-52, 76-21, 10-90, 10-91, 10-05 Methods, St. Paul, vol. II, 2000.

AACC. AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. Approved Methods, 11th ed., St. Paul: AACC, 2009.

ANVISA. Resolução de diretoria colegiada – RDC Nº 275, de 21 de outubro de 2002. <http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RDC_275_2002_COMP.pdf/fce9dac0-ae57-4de2-8cf9-e286a383f254>. Acessado em 13 de março de 2017.

AOAC. Association of Official Analytical Chemists Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th. v. II., 2000.

AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 18th ed., 920.39, 942.05, 990.03 Methods, Gaithersburg, 2005.

ARAÚJO, H.M.C., ARAÚJO, W.M.C. Coeliac disease. Following the diet and eating habits of participating individuals in the Federal District, Brazil. *Appetite*, v. 57, n.1, p. 105-109, 2011.

AWIKA, J. M.; ROONEY, L. W. Sorghum phytochemicals and their potential aspects on human health. *Phytochemistry*, Elmsford, v. 65, p. 1199-1221, 2004.

BARROS NETO, B.; SCARNINIO, I. S.; BRUNS, R. E. Como fazer experimentos: Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria. Porto Alegre: Editora Bookman, 4ª Ed., 2010.

BEAN, S. R; DE MESA-STONESTREET, N. J; ALAVI, S. Sorghum proteins: the concentration, isolation, modification, and food applications of kafirins. *Journal of Food Science*, v. 75, n. 5, p. R90-R104, 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução normativa n.62, de 26 de agosto de 2003. Oficializa os métodos analíticos oficiais para análises microbiológicas para controle de produtos de origem animal e água. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 18 set.2003. Seção 1, p.14

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC n. 12 de 02 de janeiro de 2001. Regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 10 jan. 2011. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br>. Acesso em: 22 jun.2015.

BUKSA K. Application of model bread baking in the examination of arabinoxylan-protein complexes in rye bread. *Carbohydrate Polymers* 148, 281–289, 2016.

BUYKEN, A. E., MITCHELL, P., CERIELLO, A., & BRAND-MILLER, J.. Optimal dietary approaches for prevention of type 2 diabetes: A life-course perspective. *Diabetologia*, 53(3), 406–418, 2010.

CAPRONI, M., BONCIOLINI, V., D'ERRICO, A., ANTIGA, E., FABBRI, P. Celiac disease and dermatologic manifestations: many skin clue to unfold gluten-sensitive enteropathy. *Gastroenterol. Res. Pract.* 2012, 1–12, 2012.

CESAR, A. S., GOMES J. C., STALIANO C. D., FANNI M. L., BORGES M. C. Elaboração de pão sem glúten. *Revista Ceres*. V 53, p. 150-155, 2006.

CHIU, C. J., LIU, S. M., WILLETT, W. C., WOLEVER, T. M. S., BRAND-MILLER, J. C., BARCLAY, A. W., et al. Informing food choices and health outcomes by use of the dietary glycemic index. *Nutrition Reviews*, 69(4), 231–242, 2011.

CONAB. Observatório Agrícola - ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA-GRÃOS. V. 4 - SAFRA 2016/17 - N.4 - Quarto levantamento JANEIRO 2017. Monitoramento agrícola – Safra 2016/17. ISSN 2318-6852 Acomp. Safra bras. grãos, v. 4 Safra 2016/17 - Quarto levantamento, Brasília, p. 1-160 Janeiro 2017. <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_01_11_11_30_39_boletim_graos_janeiro_2017.pdf>. Acessado em: 22 de julho de 2017

DEMIRKESEN, L., B. MERT, G. SUMNU, E S. SAHIN. Rheological properties of gluten-free bread formulations: *Journal of Food Engineering*, v. 96, p. 295-303, 2010.

DYKES, L.; ROONEY, L. W.; WANISKA, R. D; ROONEY, W. L. Phenolic compounds and antioxidant activity of sorghum grains of varying genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Washington, v. 53, n. 17, p. 6813-6818, 2005.

EL-DASH, A.A. Standardized mixing and fermentation procedure for experimental baking test. *Cereal Chemistry*, Saint Paul, v.55, n.4, p.436-446, 1978.

ELKHALIFA, A. E. O., & EL-TINAY, A. H. Effect of cysteine on bakery products from wheat–sorghum blends. *Food Chemistry*, 77(2), 133–137, 2002.

ELMONEIM. A., O. ELKHALIFA, R. BERNHARDT. Influence of grain germination on functional properties of sorghum flour. *Food Chemistry* 121,387–392, 2010.

FOSCHIA M, HORSTMANN S., ARENDT K. E., ZANNINI E. Nutritional therapy – Facing the gap between coeliac disease and gluten-free food. Original research article *International Journal of Food Microbiology*, Volume 239, 19, Pages 113-124 December 2016.

FRARY, C. D., JOHNSON, R. K. Energia In: Alimentos, Nutrição e Dietoterapia MAHAN, L. K. e ESCOTT-STUMP (Ed). Energia, p.20-34. São Paulo: Rocca, 2005.

GALLAGHER, E. Formulation and nutritional aspects of gluten-free cereal products and infant foods. *Gluten-free cereal products and beverages*. P. 321-341, 2008.

GALLAGHER, E., Coeliac disease and gluten-free research: what does the future hold for the physician, the patient and the scientist? In: Gallagher E (ed) *Gluten-free food science and technology*. Wiley-Blackwell, London, p. 225–232, 2009.

GERMAINE, K. A., SAMMAN, S., FRYIRS, C. G., GRIFFITHS, P. J., JOHNSON, S. K., & QUAIL, K. J. Comparison of in vitro starch digestibility methods for predicting the glycaemic index of grain foods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(4), 652–658, 2008.

GILISSEN, L. J. W. J.; VAN DER MEER, I. M.; SMULDERS, M. J. M. Reducing the incidence of allergy and intolerance to cereals. *Journal of Cereal Science*. v. 59, p.337353, 2014.

HOUBEN, A., HOCHST O., A., BECKER, T. Possibilities to increase the quality in gluten-free bread production: an overview. *Eur. Food Res. Technol.* 235 (2), 195e208, 2012.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos físico-químicos para análise de alimento. 4.ed. São Paulo, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Produção agrícola- Levantamento sistêmico 2016- <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_\[mensal\]/Fasciculo/2016/lspa_201612_20170222_133000.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo/2016/lspa_201612_20170222_133000.pdf)>. Acessado em: 22 de julho de 2017.

KÁRPÁTI, S. Dermatitis herpetiformis. In: Murrell, D.F. (Ed.), *Blistering Diseases*. Springer Verlag GmbH, Vienna, pp. 441–447, 2015.

KEET, C.A., MATSUI, E.C., DHILLON, G., LENEHAN, P., PATERAKIS, M., WOOD, R.A. The natural history of wheat allergy. *Ann. Allergy Asthma Immunol.* 102, 410–415, 2009.

KHAN, I.; YOUSIF, A. M.; JOHNSON, S. K.; GAMLATH, S. Sorghum flour addition the effect on in vitro digestibility of starch, baking quality and acceptability of durum wheat consumer, pasta. *Journal of Food Science*, v. 79, n. 8, p. 1560-1567, Ag., 2014.

KHAN, I.; YOUSIF, A.; JOHNSON, K. S.; GAMLATH, S. Effect of sorghum flour addition on resistant starch content, phenolic profile and antioxidant capacity of durum wheat pasta. *Food Research International*, Vol. 54, p. 578–586, 2013.

KOEHLER, P., WIESER, H., KONITZER, K. Celiac Disease and Gluten: Multidisciplinary Challenges and Opportunities. Academic Press, Elsevier Inc., Burlington, 2014.

KOPÉC A., PYSZ M., BORCZAK B., SIKORA E., ROSELL C.M., COLLAR C., SIKORA M. Effects of sourdough and dietary fibers on the nutritional quality of breads produced by bake-off technology, *Journal of Cereal Science* 54, 499 e 505, 2011.

KORUS, J., M. WITCZAK, R. ZIOBRO, E.L. JUSZCZAK. The impact of resistant starch on characteristics of gluten-free dough and bread: *Food Hydrocolloids*, v. 23, p. 988-995, 2009.

LAZARIDOU, A., D. DUTA, M. PAPAGEORGIOU, N. BELC, AND C. G. BILIADERIS. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations: *Journal of Food Engineering*, v. 79, p. 1033-1047, 2007.

LEQUART S.C., LEHMANN U., ROSS A. B., ROGER O., AL ELDRIDGE A. L., ANANTA E., ROBIN F. Whole grain in manufactured foods: current use, challenges and the way forward. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, Vol. 5, Iss. 8, 2017.

MARTINO, H. S. D.; TOMAZ, P. A.; MORAES, E. A.; CONCEIÇÃO, L. S.; OLIVEIRA, D. da. S.; QUEIROZ, V. A. V.; RODRIGUES, J. A. S.; PIROZI, M. R.; PINHEIRO SANT'ANA, H. M.; RIBEIRO, S. M. R. Chemical characterization and size distribution of sorghum genotypes for human consumption. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, v. 71, n. 2, p. 337-344, 2012.

MATOS, M., ROSELL, C. Quality Indicators of Rice-Based Gluten-Free BreadLikeProducts: Relationships Between Dough Rheology and Quality Characteristics. *Food Bioprocess Technol.* 6: 2331–2341, 2013.

MOHAMMADI, M., AZIZI, M., NEYESTANI T. R., HEDAYAT H.I D, MORTAZAVIAN A. A., Development of gluten-free bread using guar gum and Transglutaminase. *Journal of industrial and Engineering Chemistry* 21, 1398–1402, 2015.

MORGAN A. G, CAMPANELLA O.H., EJETA G., HAMAKER B. R., Grain of high digestible, high lysine (HDHL) sorghum contains kafirins which enhance the protein network of composite dough and bread. *Journal of Cereal Science* 56, 352-357, 2012.

NASCIMENTO K.O.; BARBOSA M.I.M.J.; TAKEITI C.Y. Doença Celíaca: Sintomas, Diagnósticos e Tratamento Nutricional. *Saúde em Revista*.2012.

NICOLAE, A., RADU, G-L., BELC, N., Effect of sodium carboxymethyl cellulose on glutenfree dough rheology, *Journal of Food Engineering*, 2015.

ONYANGO, C.; MUTUNGI, C.; UNBEHEND, G.; LINDHAUER, M. G. Rheological and textural properties of sorghum-based formulations modified with variable amounts

of native or pregelatinised cassava starch. *LWT - Food Science and Technology*, Volume 44, Issue 3, Pages 687-693, April 2011.

PAIVA C. L., EVANGELISTA W. P., QUEIROZ V. A. V, GLÓRIA M. B. A., Bioactive amines in sorghum: Method optimisation and influence of line, tannin and hydric stress, *Food Chemistry*, Volume 173, Pages 224-230, 15 April 2015.

PERES, A.M. An electronic tongue for gliadins semi-quantitative detection in foodstuffs. *Talanta*, v.83, n.3, p857-864, 2011.

PERESSINI, D.; PIN, M.; SENSIDONI, A. Rheology and breadmaking performance of rice-buckwheat batters supplemented with hydrocolloids. *Food Hydrocolloids*, v. 25, n. 3, p. 340-349, 2011.

QUEIROZ, V. A. V.; VIZZOTTO, M.; CARVALHO, C.W.P.; MARTINO, H. S. D.; O Sorgo na Alimentação Humana. Circular técnica 133- Embrapa Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento - ISSN 0100-9915 Sete Lagoas-MG, Dezembro, 2009.

ROONEY, L. W. Food and nutritional quality of sorghum and millet. *INTSORMIL Annual 2153*, 1995. Report, Lincoln, p. 91-93, 2007.

SALCEDO, G., QUIRCE, S., DIAZ-PERALES, A., Wheat Allergens Associated With Baker's Asthma. *J. Investig. Allergol. Clin. Immunol.* 21, 81-92, 2011.

SAPONE, A., BAI, J.C., CIACCI, C., DOLINSEK, J., GREEN, P.H.R., HADJIVASSILIOU, M., KAUKINEN, K., ROSTAMI, K., SANDERS, D.S., SCHUMANN, M., ULLRICH, R., VILLALTA, D., VOLTA, U., CATASSI, C., FASANO, A., Spectrum of gluten-related disorders: consensus on new nomenclature and classification. *BMC Medicine* 10, 13, 2012.

SCHAMNE C. Obtenção e caracterização de produtos panificados livres de glúten. [dissertação]. Ponta Grossa: Universidade Estadual de Ponta Grossa; 2007.

SCIARINI, L., PÉREZ, G., LAMBALLERIE, M. Incorporation of several additives into gluten free breads: Effect on dough properties and bread quality. *Food Bioprocess Technol.* 5: 1724-1732, 2012.

STORCK, C.R.; PEREIRA, J.M.; PEREIRA, G.W.; RODRIGUES, A.O.; GULARTE, M.R.; DIAS, A.R.G. Características tecnológicas de pães elaborados com farinha de arroz e transglutaminase. *Brazilian journal of food technology*, 2009.

STRAUCH, K.A.; COTTER, V.T. Celiac Disease: An Overview and Management for Primary Care Nurse Practitioners. *The Journal for Nurse Practitioners*, v.7, n.7, p.588-599, 2011.

TABOSA, J. N.; FRANÇA, J. G. E. de; SANTOS, J. P. O.; MACIEL, G. A.; LIRA, M. de A.; ARAÚJO, M. R. A. de; GUERRA, N. B. Teste em sorgo no semi-árido de

Pernambuco para consumo humano. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 28, n. 12, p. 1385-1390, 1993.

TAYLOR J. R. N., EMMAMBUX M. N. Developments in our understanding of sorghum polysaccharides and their health benefits. *Cereal Chemistry* 87:263–71, 2010.

TAYLOR, J. R. N., SCHOBBER, T. J., & BEAN, S. R. Novel food and non-food uses for sorghum and millets. *Journal of Cereal Science*, 44, 252e271, 2006.

TURABI, E.; SUMNU, G.; SAHIN, S. Quantitative analysis of macro and micro-structure of gluten – free rice cakes containing diferente types of gums baked in diferente oven. *Food hydrocolloids*. v 24, p.755-762, 2010.

WATSON, E., 2014. What's the Size of the US Gluten-free Prize? \$490m, \$5bn, or \$10bn? (Acessado 18.09.16.). < <http://www.foodnavigator-usa.com/Markets/What-s-the-size-of-the-US-gluten-free-prize-490m-5bn-or-10bn>.>

Código de campo alterado

WITCZAK M., ZIOBRO R., JUSZCZAK L., KORUS J., 2016, Starch and starch derivatives in gluten-free systems e: A review. **Journal of Cereal Science** 67, 46-57, 2016.

YASUMATSU, K.; SAWADA, K.; MORITAKA, S.; MISAKI, M.; TODA, J.; WADA, T.; ISHII, K. Whipping and emulsifying properties of soybean products. *Agricultural and Biological Chemistry*, Tóquio, v. 36, p. 719-727, 1972.

YOUSIF, A.; NHEPERA, D.; JOHNSON, S. Influence of sorghum flour addition on flat bread in vitro starch digestibility, antioxidant capacity and consumer acceptability. *Food Chemistry*, v.134, n.2, p.880-887, 2012.

OBJETIVOS

Objetivo geral

Desenvolver pães sem glúten com farinha de sorgo vermelho, farinha de arroz e fécula de mandioca com melhores características sensoriais e tecnológicas em comparação com os produtos já existentes no mercado de produtos de panificação sem glúten.

Objetivos específicos

- ✓ Avaliar a farinha de sorgo vermelho quanto a composição proximal e características tecnológicas;
- ✓ Elaborar formulações de pães sem glúten com diferentes proporções entre farinha de sorgo vermelho, farinha de arroz e fécula mandioca, utilizando planejamento de misturas;
- ✓ Caracterizar proximal, sensorial e tecnologicamente as formulações elaboradas;
- ✓ Escolher a formulação com melhor proporção de entre as farinhas considerando cor, textura, volume e qualidades tecnológicos e sensoriais, de acordo com análise de superfície de resposta;
- ✓ Caracterizar o pão produzido com a formulação escolhida quanto à composição proximal, características físicas e microestrutura eletrônica de varredura (MEV).

ARTIGO I

**PÃES SEM GLÚTEN COM ALTO TEOR DE FIBRAS E MINERAIS:
PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS, MICROESTRUTURAIS, PROXIMAL E
SENSORIAL RESULTANTES DO USO DA FARINHA DE SORGO**

RESUMO

O pão é uma das principais matrizes alimentares, fonte de nutrientes como carboidratos, fibras, proteínas e alguns minerais. Pessoas portadoras de doenças relacionadas a ingestão de glúten devem seguir uma dieta restritiva com relação a este complexo proteico. Para produção de pães, o glúten mostra-se como componente importante, promovendo qualidade como viscosidade e elasticidade a massa, resultando em produtos com qualidade tecnológicas e sensoriais. No mercado de alimentos sem glúten, encontra-se pães sem glúten (PSG) porém com baixa qualidade nutricional e tecnológica, com aparência pálida e pouca qualidade sensorial, isso ocorre principalmente pelas usuais matérias-primas das farinhas utilizadas para produção de produtos sem glúten. O sorgo apresenta-se como um cereal alternativo para sua utilização como matéria-prima de farinha sem glúten. Assim o objetivo deste trabalho foi desenvolver PSG com farinha de sorgo vermelho com melhores características sensoriais e tecnológicas em comparação com os produtos já existentes no mercado de produtos de panificação sem glúten. No presente trabalho, produziu-se a farinha de sorgo vermelho, realizou-se a caracterização proximal e tecnológica, e propriedades tecnológicas desta farinha. Utilizou-se do planejamento de mistura para obter as proporções das mesclas de farinhas e fécula (MFF) entre farinha de sorgo, farinha de arroz e fécula de mandioca, possibilitando a utilização do mesmo como ferramenta aplicando o *screening* para a escolha da formulação que melhor atendeu os parâmetros de qualidade sensoriais, volume específico, cor e perfil de textura, os melhores valores para os parâmetros avaliados foram encontrados para a formulação F7, contendo 33,33% de cada componente MFF. A caracterização da formulação F7 apresentou um produto que pode ser considerado como rico em fibras e minerais; alto teor de Fe e Mg; estrutura de miolo e volume específico satisfatório; característica de cor similar outras formulações de pães ricos em fibras e integrais; bons parâmetros de textura para um novo produto da panificação sem glúten; uma boa aceitação sensorial. Assim conclui-se que a utilização de farinha de sorgo, farinha de arroz e fécula de mandioca resultou em um pão sem glúten com ótimas características para que seja apresentado como nova opção para o mercado alimentício sem glúten, com alta qualidade funcional, sensorial e visual.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor* L. Moench, *Oryza sativa*, *Manihot esculenta*.

ABSTRACT

Bread is one of the main food and a source-fed nutrients such as carbohydrates, fibers, proteins and some minerals. People with diseases related to gluten intake should feed a restrictive diet in relation to this protein complex. For bread production, gluten is shown as an important component, promoting quality as viscosity and elasticity to the mass, resulting in products with technological and sensorial quality. In the gluten-free food market there are gluten-free breads but with low nutritional and technological quality, pale appearance and poor sensory quality, mainly by the kind of raw materials from the flour. Sorghum is presented as an alternative cereal for its use as a gluten-free flour raw material. Thus, the objective of this work is to develop gluten free breads with red sorghum flour with better sensory and technological characteristics in comparison with the existing products in the gluten-free bakery products. In the present work a red sorghum flour was produced, and performed the proximal and technological characterization, and technological properties of this flour. It was used the mixing planning to get the proportion of flour and starch mixes (MFF) between sorghum flour, rice flour and cassava starch, making it possible to use as an applied tool to choose the best formulation. Using the screening technique to choose the best parameters of sensorial quality, specific volume, profile and texture profile, the best values found were for the F7 formulation, containing 33.33% of each MFF component. The characterization of the formulation F7 presented a product which can be considered as rich in fibers and minerals; high Fe and Mg content; core structure and specific volume satisfactory; similar in color to other formulations of fiber-rich and whole-grain breads; good texture parameters for a new gluten-free bakery product; a good sense of acceptance. Thus, it was concluded that the use of sorghum flour, rice flour and cassava starch results in a gluten-free bread with great characteristics so that it is a new option for the gluten-free food market with high functional, sensorial and visual quality.

Key words: *Sorghum bicolor* L. Moench, *Oryza sativa*, *Manihot esculenta*.

1.1 INTRODUÇÃO

O pão é um ingrediente importante da dieta diária humana em quase todos os países do mundo. É uma fonte de nutrientes, especialmente carboidratos, fibras, proteínas e alguns minerais (magnésio, fósforo, ferro) (KOPÉC et al., 2011). É o favorito de crianças e adultos, independentemente da sua classe socioeconômica. Existem diferentes variedades de pão, dependendo da forma, peso, dureza da crosta, estrutura celular da migalha, suavidade e cor. O pão é um alimento de alta energia, rico em carboidratos e gorduras, mas baixo conteúdo em outros nutrientes, como proteínas, vitaminas (BOLARINWA; ARUNA; RAJI, 2017).

Witczak e colaboradores (2016) relataram a crescente tendência para eliminar qualquer proteína potencialmente alergênica em uma dieta. A remoção de glúten de produtos alimentares tradicionalmente à base de trigo tem um impacto significativo na sua estrutura e textura. As principais matérias-primas envolvidas em tais formulações são amidos e farinhas de várias origens botânicas nas quais o amido é o componente principal. Estas matérias-primas comumente não são enriquecidas ou fortificadas e, portanto, não possuem a mesma quantidade de nutrientes disponíveis em alimentos correspondentes que contêm glúten (GALLAGHER, 2009).

O amido é um dos principais componentes do grão de sorgo, no entanto a sua digestibilidade é menor do que amidos de outros cereais, tais como o milho; uma característica atribuída principalmente a interação entre o amido de sorgo e da matriz proteica (TAYLOR; EMMAMBUX, 2010). A baixa digestibilidade do amido de sorgo é um fator eficiente para a alimentação humana contribuindo para diminuição do risco ao longo prazo de diabetes tipo 2 a indivíduos que adotam o consumo de novos produtos contendo sorgo em suas formulações (BUYKEN et al., 2010; CHIU et al., 2011; YOUSIF; NHEPERA; JOHSON, 2012). O sorgo também é avaliado como um potencial cereal fonte de fibras, minerais (cálcio, ferro e potássio), proteínas e alguns compostos bioativos (PAIVA et al., 2015).

Neste contexto, na medida em que a demanda por alimentos sem glúten cresce, a ingestão de alimentos ricos em fibras está em ascensão com consumidores conscientes de seus benefícios para a saúde. Uma das matrizes naturais em que as necessidades de fibras alimentares podem ser atendidas é o pão, quando os consumidores são convidados

a indicar os benefícios alimentares do pão integral, referem-se principalmente à fibra dietética (LEQUART et al., 2017).

Considerando as novas tendências do mercado de produtos com propriedades que atendam necessidades de portadores de doenças e intolerâncias relacionadas ao glúten, e apresentem benefícios para a saúde, este trabalho foi realizado com o objetivo de estudar a melhor formulação de pão sem glúten a partir da mistura da farinha de sorgo vermelho, farinha de arroz e fécula de mandioca para produzir um produto com melhores características nutricionais e caracterizá-lo em função de propriedades tecnológicas, químicas e sensoriais.

1.2 MATERIAL E METODOS

Os grãos integrais de sorgo granífero (*Sorghum Bicolor* L. Moench) *Buster*, com pericarpos vermelho sem tanino foram produzidos no campo experimental da empresa Atlântica Cereais, nas proximidades de Rio Verde – GO e doados pela mesma. Os grãos foram limpos manualmente, e moídos em Moinho Tipo Willye. As farinhas obtidas foram armazenadas a -4 °C em B.O.D. até o momento das análises (KHAN et al. 2013). A farinha de arroz sem glúten de marca Kodilar® e fécula de mandioca de marca Maniva® utilizadas foram adquiridas em mercado varejista de Aparecida do Rio Doce, Goiás.

A Tabela 1 apresenta os ingredientes e suas respectivas quantidade que foram utilizados na formulação dos pães. As normas de Boas Práticas de Fabricação, de acordo com a RDC nº275 (ANVISA, 2002) foram utilizadas na produção das farinhas e dos pães, com a finalidade de atestar condições higiênico-sanitárias desejáveis à produção de alimentos.

Tabela 1 – Ingredientes e percentuais utilizadas no desenvolvimento de pães sem glúten.

Ingredientes	Percentuais (%)
Mix farinhas e féculas	48,76
Óleo	1,46
Fermento biológico	0,98
Água	41,89
Açúcar	5,84
Sal	0,74

O mix de farinhas e féculas (MFF) foi escolhido baseado nos resultados apresentados por Elkhalfa; El-Tinay (2002), Cesar e colaboradores (2006) e Sciarini; Pérez; Lamballerie (2012), empregou-se o planejamento experimental de misturas (Tabela 2), utilizando de um delineamento simplex-centroide com 3 fatores ampliando com 3 pontos internos, totalizando 10 formulações (BARROS NETO; SCARNINIO; BRUNS, 2010), para verificar o desempenho da adição de farinha de sorgo em um mix de farinha de arroz e fécula de mandioca.

Tabela 2 - Planejamento fatorial de misturas utilizando MFF.

Ensaio	FSV (%)	FEM (%)	FA (%)
1	100	0	0
2	0	100	0
3	0	0	100
4	50	50	0
5	50	0	50
6	0	50	50
7	33,33	33,33	33,33
8	66,66	16,66	16,66
9	16,66	66,66	16,66
10	16,66	16,66	66,66

MFF: Mescla de farinhas e fécula, FA: Farinha de arroz, FEM: Fécula de Mandioca, FSV: Farinha de Sorgo Vermelho. * Fonte: Statistica 7.0 (Statsoft, Oklahoma, Tulsa, EUA).

As condições de processo de mistura dos ingredientes, amassamento, tempo de fermentação e tempo de cozadura foram determinados pela realização de testes prévios e padronizado para todas as formulações assumindo o processo detalhado descrito na Figura 1, para diminuir o erro por fatores adaptativos de aparelhos como câmaras de crescimento e forno disponíveis no laboratório.

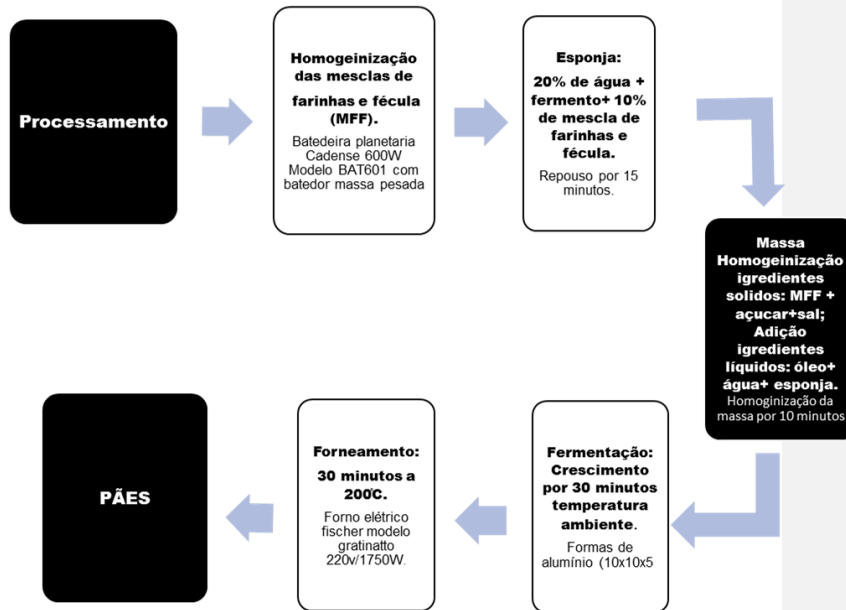


Figura 1 – Fluxograma de processamento de pães utilizando farinhas mistas

Para as características físicas, tecnológicas e químicas da farinha de sorgo vermelho foram realizadas as seguintes análises, com valores determinados em triplicata:

A determinação da granulométrica e a distribuição do tamanho das partículas da farinha de sorgo foram realizadas em peneiras vibratórias, padrão ABNT, com as malhas de aberturas de 1,0; 0,5; 0,297; 0,25; 0,125 μM , através de um tamizador vibratório eletromagnético (BERTEL[®], Caieiras, SP, BR), 100g de farinha foram peneiradas, durante 10 minutos. A amostra retida em cada peneira foi pesada e expressa em porcentagem (MARTINO et al., 2012).

A cor da farinha de sorgo foi determinada usando aparelho Color Flex EZ, modelo EZ CLFX 45/0 LAV. O instrumento foi calibrado usando placa de calibração padrão branca e a cor foi expressa no espaço CIELab (L^* de preto para branco: 0 a 100; $+a^*$ para vermelho e $-a^*$ para verde; $+b^*$ para amarelo e $-b^*$ azul) (Khan et al., 2013). Foram realizadas três medições e média para cada amostra.

A análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi realizada em aparelho TM3000, HITACHI (Japão), por técnico responsável no Laboratório de Tecnologia de Alimentos, localizado na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA) da Universidade de São Paulo (USP). As amostras de farinha de sorgo

foram previamente liofilizadas por 48 horas e fixadas em um stub (suporte) por fita de carbono dupla face condutiva, com tensão de aceleração de 15Kv.

A capacidade de absorção em água (CAA) da amostra da farinha foi determinada de acordo com Elmoneim e colaboradores (2010). Para determinar a atividade emulsificante (AE) e estabilidade da emulsão (EE) utilizou-se do método citado por Yasumatsu e colaboradores (1972). A determinação da capacidade de absorção de óleo (CAO) foi realizada pelo método citado por Elmoneim e colaboradores (2010).

A umidade das farinhas e dos pães foi determinada através do método 44-15^a, (AACC, 2000). As cinzas foram determinadas utilizando o método nº 08-01, (AACC, 2000). A quantificação de proteínas foi realizada pelo método 46-13 (AACC, 2000) e o teor de gordura pelo método 30-20 (AACC, 2000). O conteúdo de carboidratos foi calculado pela diferença. O valor calórico foi calculado utilizando os fatores de conversão de 9 kcal por grama de lipídios, 4 kcal por grama de carboidratos e 4 calorias por grama de proteína (FRARY; JOHNSON, 2005). Fibras dietéticas solúveis e insolúveis foram realizadas de acordo com o método gravimétrico enzimático (AOAC, 2005). Fibra dietética total foi obtida pela soma da fibra dietética solúvel e insolúvel. A quantificação de amido foi determinada por titulação com soluções de Fehling (043/ IV, método IAL). O perfil mineral foi descrito quanto a macro e micronutrientes pelo método de digestão ácida nitro-perclórica nº 965.9 (AOAC, 2000).

Os pães sem glúten foram analisados em suas características tecnológicas, químicas e sensoriais. Para os parâmetros de cor submeteu-se as 10 formulações em 3 repetições por amostra em triplicata para a análise, realizada conforme Khan e colaboradores (2013), com a leitura diretamente no aparelho calorímetro Color Flex EZ, modelo EZ CLFX 45/0 LAV.

O volume específico foi medido por deslocamento de semente de painço das formulações de pães (AACC, 2000).

O Perfil de Textura (TPA) foi determinado pelos resultados dos parâmetros de dureza, coesividade, elasticidade, mastigabilidade, determinada segundo o método 74-09.01 da AACC (2009). A avaliação foi realizada em três repetições, pela compressão do probe cilíndrica de 25 mm em fatias centrais dispostas horizontalmente na plataforma com espessura de 2,5 cm, medido em paquímetro.

A avaliação da aparência da estrutura interna dos pães foi efetuada de forma empírica através da visualização de fotografias do miolo dos pães. As imagens foram capturadas com câmera digital Sony (Cyber-Shot DSC W610, 14.1MP), a distância de 30

em do corte da seção transversal. As dez amostras foram comparadas a fim de obter um resultado de melhor aparência da estrutura interna de cada pão.

As características químicas dos pães produzidos foram avaliadas utilizando das mesmas metodologias aplicadas a farinhas de sorgo vermelho.

Os parâmetros microbiológicos foram determinados de acordo metodologias ISO e foram: coliformes totais, bolores e leveduras e *Salmonella ssp* determinada pela resolução RDC 12/2001 da Anvisa. As análises foram realizadas para cada micro-organismo em questão, de acordo com a metodologia preconizada pelo Ministério de Agricultura e Agropecuária-MAPA (BRASIL, 2003).

Para avaliar a qualidade sensorial dos pães desenvolvidos, realizou-se o Teste de Panificação. Este método utiliza o sistema de pontuação global empregado por El-Dash (1978). Realizou-se o teste com dez julgadores que receberam um treinamento básico quanto as definições de cada atributo no Laboratório de Análises Sensorial do Instituto Federal Goiano e com parecer prévio autorização do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (CEP/IF Goiano) com nº CAAE: 59451216.8.0000.0036. Cada julgador recebeu uma fatia de pão proveniente das formulações, codificada com número de três dígitos aleatórios e água. Anterior a realização da análise sensorial, os julgadores preencheram o Termo Consentimento Livre e Esclarecido. Após isso, realizou-se a somatória de cada ficha sensorial e a média dos julgadores foi utilizada para classificar cada formulação.

Para as análises físico-químicas e tecnológicas da farinha de sorgo vermelho, os resultados foram analisados por médias e desvio padrão utilizando o programa Excel®. Para formulação de pães, utilizou-se da ferramenta de planejamento de mistura aplicada em três diferentes fontes de amido (farinha de sorgo vermelho, farinha de arroz, fécula de mandioca), conforme delineamento estabeleceu-se 10 ensaios com diferentes frações de amido. O planejamento experimental de misturas foi utilizado como ferramenta de seleção para encontrar a formulação que melhor atendesse aos parâmetros sensoriais e tecnológicos para pães sem glúten com farinha de sorgo vermelho. Os dados obtidos nas análises tecnológicas e sensoriais foram submetidos a análise de regressão múltipla realizada para se ajustar ao modelo de segunda ordem para variáveis dependentes, estabelecendo-se a determinação experimental (R^2) e determinação ajustada do (R_{aj}^2) para modelos matemáticos gerados para cada variável resposta. Os modelos matemáticos gerados resultaram em diagramas triangulares de resposta do delineamento de mistura conforme BARROS NETO; SCARNINIO; BRUNS (2010). A representação gráfica da

superfície de resposta elucidada o comportamento experimental tecnológico e sensorial para as variáveis significativas.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1 Caracterização da farinha de sorgo vermelho

O percentual de retenção de farinha de sorgo em cada abertura das peneiras na avaliação da granulometria foi apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Avaliação da granulometria da farinha de sorgo vermelho.

Abertura (mm)	Percentual de retenção (%)
0,500	43,30
0,425	32,75
0,297	16,11
0,25	05,75
0,125	01,44

Em produtos de panificação, a granulometria é fator importante na elaboração de produtos por afetar características reológicas da massa e textura do produto final. Sabe-se que o tamanho de partícula afeta o escoamento da farinha e está negativamente correlacionado com a coesividade das massas de pães. A uniformidade do tamanho de partícula também é relevante, de partículas de 250 μm aumenta a quantidade de amido acessível que promove alto grau de gelatinização e retrogradação de amido, facilitando a formação da rede tridimensional substituindo as propriedades viscoelásticas do glúten, contribuindo para a estrutura final do produto (MARIOTTI, et al., 2011; FERREIRA et al., 2016).

Observou-se maior percentual de retenção na peneira com abertura entre 0,500 mm e 0,297 mm. Martino e colaboradores (2012) analisaram a granulometria de diferentes farinhas de sorgo e também obtiveram resultados similares, com maior retenção das farinhas nas peneiras com abertura de malha de 0,420 mm.

Assim, os resultados obtidos neste trabalho demonstram que na moagem dos grãos de sorgo obteve-se uma farinha com partículas granulométricas superior à estabelecida para uma farinha de trigo comercial. Para maior uniformidade das partículas

dos grânulos da farinha de sorgo e maior proximidade com a farinha comercial optou-se por utilizar a peneira com abertura de 0,297 mm para padronização das partículas da farinha de sorgo.

As análises físico-químicas da farinha de sorgo vermelho estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Composição proximal e características físicas da farinha de sorgo vermelho.

Análises (g/100g)	Média ± Desvio Padrão		
Umidade	8,21	±	0,02
Cinzas	2,31	±	0,03
Proteínas	8,22	±	0,16
Lipídeos	7,94	±	0,09
Fibras solúvel	1,26	±	0,03
Fibras insolúveis	14,34	±	0,32
Fibras totais	15,60	±	0,35
Amido	57,72	±	0,57
Carboidratos (por diferença)	57,72	±	-
Valor calórico (Kcal/100g)	335,24	±	-
Cor			
L*	70,74	±	0,35
a*	7,58	±	0,06
b*	14,86	±	0,09
Mínerais			
P (g/100g)	0,43	±	0,00
K	0,08	±	0,00
Ca	0,03	±	0,01
Mg	0,21	±	0,00
Fe (mg/100g)	7,80	±	0,06
Mn	1,90	±	0,02
Cu	0,48	±	0,00
Zn	2,25	±	0,04

Conceição e colaboradores (2009) estudaram oito diferentes genótipos de sorgo e encontraram os seguintes valores para farinha: umidade 11,25-12,85%; proteína 8,5-11,97%; lipídeos 1,24-3,07%; cinzas 1,23-1,93%. Waniska; Rooney (2000) encontraram

os seguintes valores para farinha de sorgo: proteína 11,3%, lipídeos 3,4%, cinzas 1,7%, amido total 71,8%. Ferreira e colaboradores (2009) estudaram cookies sem glúten a partir da farinha de sorgo sem tanino e encontraram os valores percentuais de: umidade 12,64, proteínas 6,94, lipídeos 2,02, carboidratos 69,67, cinzas 1,28, fibra alimentar 7,46, valor energético (K/cal) 326 para farinha de sorgo. Srichuwong e colaboradores (2017) em estudo das propriedades físico-químicas e digestibilidade de amido de farinhas de sorgo, milho, quinoa e amaranto, obtiveram os seguintes resultados de composição proximal para sorgo vermelho expressos em g/100g: umidade 7,5, proteína 9,8, lipídeos 3,7, fibras insolúveis 8,1, fibras solúveis 1,9, fibra alimentar total 10, amido 73,4.

Os valores de proteína, fibra total e insolúvel neste trabalho destacam-se comparados aos trabalhos relatados. As proteínas mais abundantes no sorgo são as prolaminas, denominadas kafirinas, esta proteína de sorgo é deficiente em lisina, aminoácido essencial, e possui baixa digestibilidade. Estas propriedades únicas das proteínas de sorgo também podem influenciar na digestão do amido do sorgo e poderiam desempenhar um papel no desenvolvimento de baixo índice glicêmico nos alimentos, e como estratégia para controle da obesidade (BEAN; STONESTREET; ALAVI, 2010). A busca por produtos de panificação sem glúten que contribuam para a saúde dos consumidores celíacos ou não é crescente, assim os valores apresentados na farinha de sorgo vermelho atestam que esta farinha pode ser um promissor substituto do trigo e outras farinhas na panificação sem glúten.

A cor é visualmente um dos atributos de qualidade mais atraentes para consumidores e influencia diretamente a aceitação alimentar (SALDAÑA et al., 2013). Na Tabela 4, são apresentados os valores de cor da farinha de sorgo vermelho analisadas.

Para os resultados da farinha de sorgo notou-se que as variáveis analisadas tem seus valores correspondentes a cor do pericarpo vermelha do sorgo utilizado na sua produção, a farinha apresentou valor de L* positivo para mais clara, mesmo sendo uma farinha integral de um grão com pericarpo de cor vermelha, tal valor pode ser relacionado com o tamanho da partícula da farinha peneirada, pois sabe-se que as partículas maiores apresentam maior fração das partes externas dos grãos, enquanto partículas menores apresentam maior quantidade de amidos, proteínas e lipídeos dos grãos, que estão localizados na região do endosperma do grão que apresenta cor creme (OLIVEIRA, N. et al., 2017).

Os valores positivos de a* (7,58) caracterizaram a farinha de sorgo como sendo mais vermelha que verde (valor de a* negativo), e b* (14,86) como mais amarela que azul

(valor de a^* negativo), os quais concordam com valores relatados por Oliveira, K., e colaboradores (2017) em estudo com dois genótipos de sorgo vermelho SC319 (grãos e farinha) e TX430 (farelo e farinha), Jafari; Koochekia; Milanib (2017) em estudo com a farinha de sorgo extrudida com controle de umidade e temperatura e Dykes e colaboradores (2013) estudaram sorgo com pericarpo vermelho, roxo e preto fatores físicos e químicos.

No sentido nutricional, os minerais são substâncias inorgânicas necessárias na forma iônica ou como elemento livre, para os processos da vida. Os valores de Ingestão Diária Recomendada (IDR) preconizados para mulheres e homens adultos (19 a 50 anos), respectivamente são de P (0,58 g / dia), K (4,7 g / dia), Ca (0,8 g / dia), Mg (0,26-0,35 mg / dia), Fe (6 – 8,1 mg / dia), Mn (1,8 – 2,3 mg / dia), Cu (0,70 mg / dia) e Zn (6,8 – 9,4 mg / dia) (INSTITUTE OF MEDICINE US, 2003).

A composição mineral da farinha de sorgo vermelho estudada apresentou quantidades de macro e micro minerais satisfatórias a IDR, com destaque para os macrominerais P (0,43 g/100g) e Mg (0,21 g/100g), e microminerais Fe (7,8 mg/100g) e Mn (1,90 mg/100g), os valores de minerais também corroboram com Paiva e colaboradores (2017) estudou o estresse hídrico em sorgo (*Shorgum bicolor L.*) e seus efeitos em aminos e Badigannavar e colaboradores (2016) estudaram 112 genótipos de sorgo nativos do sul e do centro da Índia como fonte de micronutrientes suplementares.

A farinha de sorgo apresentou bons resultados para composição proximal e mineral, mas para o uso da farinha como um novo ingrediente alimentar faz-se necessária a investigação quanto a sua propriedade funcional. A propriedade funcional de um ingrediente alimentar caracteriza-se como qualquer propriedade físico-química que afeta o comportamento das biomoléculas de um alimento (MIZUBUTI et al., 2000).

A Tabela 5 apresenta as propriedades funcionais da farinha de sorgo vermelho. A farinha de sorgo vermelho apresentou uma capacidade de absorção de água de 2,72g/g, maior do que havia sido apresentado para cultivar *Buster* por Elhassan e colaboradores (2015) (2,58 g/g) e menor do que relatado por Jafari; Koochekia; Milanib (2017) (3,21 g/g) para sorgo nativo da Nigéria, esta variação entre os valores pode ser atribuída às condições do ambiente em que o sorgo foi cultivado, como condições climáticas e as diferentes características do solo.

Tabela 5 - Propriedades funcionais da farinha de sorgo vermelho.

Análises	Média ± Desvio Padrão
Capacidade de absorção de óleo	2,49 ± 0,18
Capacidade de absorção de água	2,72 ± 0,16
Atividade Emulsificante/100	0,30 ± 0,00
Estabilidade da emulsão/100	1,17 ± 0,00

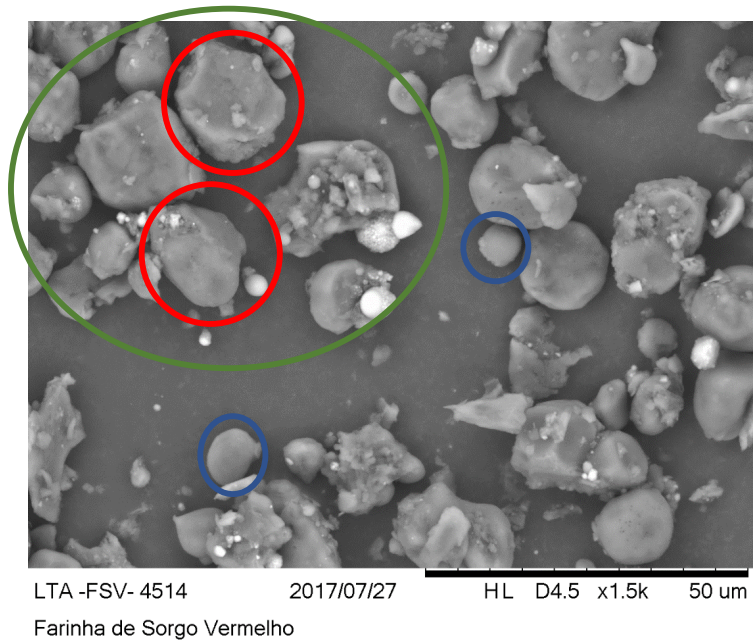
A capacidade de ligação do óleo a farinha de sorgo (2,49 g/g) sugere que esta farinha seria útil na formulação de alimentos em que a propriedade de retenção de óleo é uma consideração importante (ELKHALIFA; SCHIFFLER; BERNHARDT, 2005). Na literatura, foram relatados valores de 0,9 – 1,08 g/g (ELKHALIFA; BERNHARDT, 2010), 0,8 – 1,05 g/g (SINGH; SHARMA; SINGH, 2017a), menores do que o valor de CAO encontrado neste trabalho, considerando a CAO uma característica dependente direta da disponibilidade de aminoácidos hidrofóbicos, pode-se atribuir a diferença entre o valor encontrado neste trabalho e os valores relatados na literatura pela diferença da cultivar e do tipo de cultivo de cada sorgo estudado. Farinhas com alta capacidade de ligação de óleo podem ser usadas na indústria alimentícia para a formulação de produtos na alimentação infantil e esta propriedade é importante para proporcionar ganho de nutrientes e maiores densidades energética em alimentos (SINGH; SHARMA, 2017). CAO é atribuído ao aprisionamento físico do óleo pela farinha, que é importante, pois a gordura age como retentor de sabor e aumenta a sensação bucal dos alimentos (KINSELLA, 1976).

O percentual da atividade e a estabilidade da emulsão têm sua eficiência variada com o tipo de farinha, bem como concentração e solubilidade das suas proteínas. As propriedades da emulsão desempenham um papel significativo em muitos sistemas alimentares, e a proteína tem a capacidade de ligar-se a gordura, como em produtos de confecção de massa, maionese e molho de salada (ACHINEWHU, 1983; ADELEKE et al., 2010). Os valores encontrados para o percentual de emulsão da farinha de sorgo apresentaram-se menores que os apresentados por Singh, A.; Sharma; Singh, B. (2017) e Elkhalfifa; Bernhardt (2010), porém o percentual da estabilidade da emulsão apresentou-se significativamente maior, esta diferença pode estar relacionada com a utilização do banho-maria, em que a emulsão foi exposta a alta temperatura. Singh; Sharma (2017) relataram aumento de até 6% do valor percentual da estabilidade da emulsão entre a

farinha de sorgo nativa e a farinha de sorgo germinada com variação de temperatura (10 °C), isso ocorre pela alta interação entre proteínas e gorduras devido à ruptura de cadeias de polipeptídios, causando a exposição de sítios hidrofóbicos de proteínas, que se tornam acessíveis para se ligarem com micelas lipídicas resultando em melhora nas propriedades emulsionantes das farinhas. Além disso, o aumento da temperatura aumenta a solubilidade da proteína, que se apresentam como agentes tensoativos e promove boa emulsão óleo-em-água, resultando em melhor estabilidade da emulsão (CHINMA, ADEWUYI, ABU, 2009; ELKHALIFA; BERNHARDT 2010).

Realizou-se a análise de Microscopia Eletrônica de Varredura na farinha de sorgo vermelho para verificar a estrutura dos grânulos de amido presente na mesma. A Figura 1 apresenta as imagens obtidas para identificação dos grânulos.

Os grânulos do amido da farinha de sorgo vermelho apresentaram estruturas de acordo com a literatura. Jafari; Koochekia; Milanib (2017) em estudo sobre efeitos da extrusão em farinha de sorgo encontraram grânulos com aparência intacta, esféricos e em forma de aglomerados, ele também citou a variedade de tamanho dos grânulos. Sun e colaboradores (2014) em estudo das propriedades físico-químicas do amido e da farinha de sorgo modificado pelo calor e umidade, também obtiveram imagens de grânulos de amido nativos com formas redondas ou ovais sem evidências de fissuras ou rachaduras. A estrutura apresentada na Figura 2 também corrobora com estudos de Liu e colaboradores (2016) e Błaszczak e colaboradores (2013).



*Círculos azuis e vermelhos: grânulos de amido de sorgo de diferentes tamanhos;

* Círculo verde: Aglomerados de grânulos de amido de sorgo.

Figura 2 – Imagens da farinha de sorgo vermelho tipo Buster

1.3.2 *Screening* das formulações de pães sem glúten

As propriedades tecnológicas de cor das formulações de pães sem glúten estão apresentadas nas Tabelas 6.

O planejamento experimental de misturas foi utilizado como ferramenta de *screening* para encontrar a formulação que melhor atendesse aos parâmetros sensoriais e tecnológicos para pães sem glúten com farinha de sorgo vermelho.

Para os parâmetros de cor, a modelagem do L* da crosta e do b* da crosta e do miolo foram significativos (Tabela 7), a Figura 3 apresenta a superfície de contorno para estas variáveis.

Tabela 6 – Cor da crosta, Cor do miolo e volume específico dos pães sem glúten.

Ensaio	Cor da crosta			Cor do miolo			Volume específico (ml/g)
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	
F1	26,23 ± 2,58	11,53 ± 1,23	16,08 ± 2,03	36,31 ± 1,02	10,71 ± 0,44	16,29 ± 0,89	1,49 ± 0,12
F2	37,09 ± 4,96	13,95 ± 2,51	25,71 ± 3,89	60,42 ± 2,62	4,88 ± 0,58	22,91 ± 0,91	2,06 ± 0,12
F3	53,72 ± 3,88	1,07 ± 2,07	14,70 ± 4,32	53,50 ± 3,61	0,61 ± 0,59	12,26 ± 1,26	1,19 ± 0,04
F4	39,94 ± 1,72	14,16 ± 1,01	24,45 ± 1,39	38,28 ± 2,02	11,69 ± 0,99	19,45 ± 1,32	1,92 ± 0,07
F5	42,26 ± 4,32	16,33 ± 1,17	29,56 ± 3,17	34,82 ± 1,51	13,17 ± 0,99	20,37 ± 1,60	2,36 ± 0,20
F6	77,19 ± 3,02	1,95 ± 0,60	16,23 ± 2,30	71,65 ± 1,37	2,31 ± 0,34	20,75 ± 0,93	2,66 ± 0,23
F7	46,65 ± 4,56	14,00 ± 1,85	25,77 ± 2,40	42,11 ± 1,91	12,28 ± 0,79	20,13 ± 2,10	2,38 ± 0,15
F8	42,47 ± 2,99	13,07 ± 1,11	23,24 ± 2,27	36,35 ± 1,47	11,23 ± 0,50	17,20 ± 0,61	2,18 ± 0,10
F9	43,38 ± 2,78	14,26 ± 0,88	24,19 ± 1,72	38,25 ± 4,34	11,44 ± 0,48	18,64 ± 0,61	1,96 ± 0,06
F10	62,26 ± 3,88	9,88 ± 1,26	26,05 ± 2,71	51,34 ± 2,42	11,11 ± 0,79	21,01 ± 0,68	2,35 ± 0,21

*Valores expressos em: Média ± Desvio padrão; **CC**= Cor da crosta; **CM**= Cor do miolo; **Ve**= Volume específico.

Tabela 7 – Modelagem matemáticas dos atributos que se apresentaram significativos para pães sem glúten.

Modelagem	R² (%)	R²_{adj} (%)	p
$L^{*}crosta = 29,68FSV + 36,87FA + 55,03FEM + 107,91FA \times FEM$	89,62	84,43	0,00
$b^{*}crosta = 16,93FSV + 25,81FA + 14,20FEM + 59,22FSV \times FEM$	84,72	77,09	0,00
$b^{*}miolo = 15,31FSV + 22,87FA + 14,33FEM + 22,80FSV \times FM$	70,21	55,31	0,04
$V_{esp} = 1,54SV + 1,98FA + 1,25FM + 3,91 FSV \times FM + 3,66 FA \times FEM$	89,24	80,63	0,01
$Coesividade = 0,53FSV + 0,50FA + 0,83FEM - 1,02SV \times FA - 1,05FSV \times FEM$	93,74	88,74	0,00
$Elasticidade = 3,93FSV + 4,07FA + 4,89FEM + 11,09FSV \times FA + 16,69FSV \times FEM + 17,59FA \times FEM$	98,16	95,86	0,00
$Mastigabilidade = 132,59FSV + 42,86FA + 257,97FEM - 593,74FSV \times FEM - 448,26 FA \times FEM$	91,06	83,91	0,00
$Qualidade\ sensorial = 59,90FSV + 71,32FA + 54,20FEM = 64,02FSV \times FEM$	71,39	57,08	0,04

SV*= farinha de sorgo vermelho; *FA= farinha de arroz; *FEM= fécula de mandioca.

Os valores apresentados na tabela 6 de L^* (26,23-62,26) da crosta e do b^* (14,70-26,05) da crosta e b^* (12,26-22,91) do miolo que se apresentaram significativos corroboram com valores encontrados na literatura para pães sem glúten e também mostra que alguns dos pães estudados, no parâmetro de cor, apresentaram características satisfatórias ao mercado de produtos sem glúten, e o escurecimento da crosta foi relatado como desejável em pães sem glúten, pois tendem a ter uma cor de crosta mais leve que às vezes parece artificial (GALLAGHER; GORMLEY; ARENDT, 2003).

Enquanto isso, a modelagem de superfície de resposta apresentada na tabela 7 não foi significativa para os atributos de cor L^* do miolo e a^* da crosta e do miolo. Os valores de L^* do miolo dos pães variaram de 34,82 a 71,65 para as formulações estudadas. Marston; Houryieh; Aramouni (2016) estudaram o efeito do tratamento térmico da farinha de sorgo nas propriedades de pães e bolo e encontraram os valores de L^* variando de 94,53 a 99,6. Valores de L^* variando entre 63,99 a 69,99 quando encontrado em pães tais valores são relacionados a pães classificados com cores de pães integrais e pães enriquecidos com fibras de acordo com Wang; Zhou; Isabelle (2007). Os valores de a^* do miolo dos pães variaram de 0,61 a 13,17 para as formulações estudadas neste trabalho, enquanto os valores de a^* da crosta dos pães variaram de 1,07 a 16,33.

Os valores de $a^*(>0)$ tanto para crosta quanto para o miolo mostram que todos os pães estudados apresentaram uma cor avermelhada, características desejadas quando os valores apresentados, Cappa; Lucisano; Mariott (2013) consideram estes valores positivos pois não eram muito "pálidos", e a maioria dos pães GF realmente disponíveis no mercado, apresentam cor do miolo sempre branco com a crosta de com cor mais dourada.

Os gráficos de superfície de contorno apresentados na figura 3, mostram a importância das farinhas e fécula utilizada para os parâmetros L^* e b^* da crosta, b^* do miolo e volume específico.

Para o parâmetro L^* da crosta (figura 3 A) as melhores respostas foram encontradas para a interação a farinha de sorgo vermelho e a fécula de mandioca, em que maiores percentuais destes na formulação, resultaram em pães sem glúten com coloração da crosta mais escura, característica desejada para pães sem glúten.

O parâmetro b^* da crosta (figura 3 B) a superfície de contorno apresenta melhor resposta para a interação da fécula de mandioca com a farinha de arroz, a desejabilidade deste parâmetro e que a crosta apresente coloração mais amarela caracterizando uma

crosta dourada, assim o maior percentual destes componentes na formulação apresentou pães sem glúten com cor da crosta mais satisfatória quanto ao parâmetro analisado.

Para o parâmetro b^* do miolo (figura 3-C) cujo desejabilidade deste é apresentar coloração de miolo mais amarela e menos opaca para pães sem glúten, a superfície de contorno apresentou que a interação entre a farinha de sorgo vermelho, farinha de arroz e fécula de mandioca, com percentual maior para a farinha de sorgo vermelho apresentou formulações com valores maiores para b^* do miolo, resultando em pães sem glúten com miolos menos opacos.

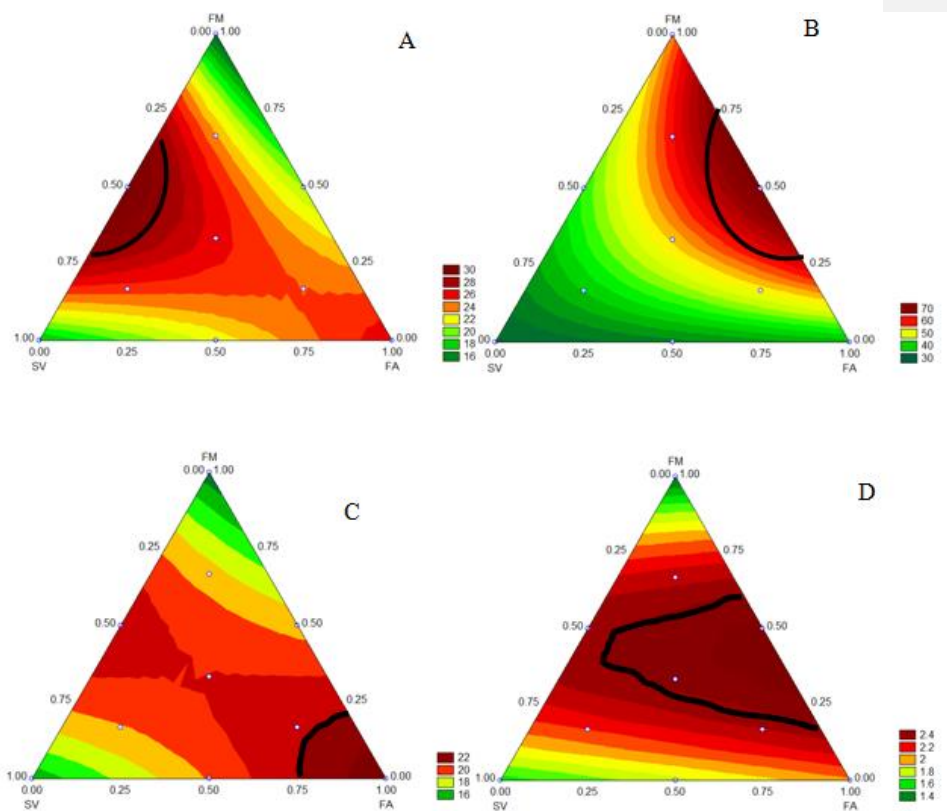


Figura 3 – Gráfico de superfície de contorno das variáveis L^* crosta (A), b^* crosta (B), b^* miolo (C) e volume específico (D).

Os volumes específicos das amostras estudadas variaram entre 1,19 a 2,66 mL/g, estes valores corroboram com outros valores para pães sem glúten como pão Bicos em fibras (1,92 a 2,96 mL/g) (HUANG et al. 2016).

O gráfico de superfície de contorno (figura 3-D) mostra que a farinha de sorgo vermelho não teve influência significativa quanto a este parâmetro.

Este fato, devido à massa de sorgo não apresentar consistência e elasticidade associadas à massa de farinha de trigo (HART et al., 1970). Isso significa que ele mantém pouco o gás de fermentação produzido durante a prova e nos estágios iniciais do cozimento.

Diferente das proteínas da farinha de trigo as proteínas presentes na farinha de sorgo não promovem elasticidade na fase líquida da massa e durante o cozimento as proteínas são agregadas formando crostas e protuberâncias que interferem com o gel de amido resultando em um pão com uma parte superior plana e buraco no miolo (SCHOBER; BEAN; BOYLE, 2007). À medida que o gás escapa das bolhas, ele força o seu caminho através de canais fracamente conectados formados por gás, pressionando as partículas separadas (SCHOBER, 2009). O resultado é um pão rígido semelhante a uma massa com baixo volume que foi apresentado no ensaio F1 apresentado na Tabela 6, e Figura 5.

Assim, a utilização da farinha de arroz e fécula de mandioca é de grande importância para encontrar a formulação de pães sem glúten com farinha de sorgo, Schober (2009) cita que diferentes origens botânicas de amidos podem ser usadas para modificar a qualidade do pão sorgo sem glúten. O amido faz com que a gelatinização ocorra mais prontamente e completamente, isso facilita o desenvolvimento da rede coesiva que envolve as bolhas de gás e evita a perda do dióxido de carbono e do colapso da crosta. Além disso, o amido dilui as partículas de endosperma na farinha de sorgo que perturbam a uniformidade do gel de amido e interferem ao redor das células do gás (TAYLOR; SCHOBER; BEAN, 2006).

Os valores para o perfil de textura e qualidade sensorial das formulações estudadas estão apresentados na tabela 8.

Tabela 8 - Perfil de textura e qualidade sensorial das formulações de pães sem glúten.

Ensaio	PERFIL DE TEXTURA					SENSORIAL
	DC1	DC2	CESV	ELT	MSTG	QPS SA
F1	144,51± 48,97	63,79± 40,73	0,54± 0,04	3,86± 0,03	148,27±0,05	63,6 ± 12,55
F2	20,32±10,59	18,37± 9,83	0,54±0,04	4,07±0,05	45,13±0,04	70,2 ± 9,77
F3	66,76± 27,84	63,77± 26,36	0,86± 0,03	4,71± 0,03	269,85± 0,08	50,7 ± 17,24
F4	26,6± 7,33	17,9± 5,39	0,27± 0,06	7,11± 0,04	50,73± 0,04	58,5 ± 13,93
F5	11,67± 3,66	9,94± 3,29	0,43± 0,04	8,74± 0,02	55,22± 0,03	71,1 ± 9,29
F6	6,02± 1,88	5,16± 1,55	0,61± 0,04	9,05± 0,03	33,33± 0,04	65,5 ± 15,09
F7	11,64± 2,75	9,67± 1,74	0,46± 0,06	8,85± 0,03	46,64± 0,06	73,9 ± 12,42
F8	20,1± 5,07	15,25± 3,26	0,3± 0,04	7,33± 0,08	50,11± 0,04	63,5 ± 14,92
F9	21,26±3,77	17,06± 1,95	0,36± 0,05	7,62± 0,04	57,58± 0,04	69,6 ± 10,47
F10	10,31±1,34	8,86±1,92	0,55±0,04	9,06±0,02	51,09±0,03	68,7 ± 11,27

*Dureza no Ciclo 1 (DC1); *Dureza no Ciclo 2 (DC2); *Coesividade (CESV); *Elasticidade (ELT); *Mastigabilidade (MSTG); *Qualidade de pães sem glúten (QPS); * Somatória por atributo (AS)

Para os parâmetros de perfil de textura, a modelagem da coesividade, elasticidade e mastigabilidade foram significativas (Tabela 7) e a Figura 4 apresenta o gráfico de superfície de contorno para estas variáveis.

Coesividade é a propriedade que está relacionada com a força das ligações internas, define a extensão a que um material pode ser deformado antes da ruptura. Uma vez que isso reflete a coesão interna do material, isso significa que o pão com alta coesão é desejável porque ele forma um bolo, ao invés de se desintegrar durante a mastigação, enquanto baixa coesão indica maior suscetibilidade do pão a fraturar ou desintegrar (ONYANGO et al., 2011). A coesão também pode ser afetada pelo tipo de amido, pães de sorgo que contêm fécula de mandioca ou amido de arroz tendem a ser mais coesos. Taylor; Belton (2002) argumentaram que o amido de mandioca forma géis mais coesivos do que os amidos de cereais por causa de sua maior proporção de amilopectina e amilose. Neste trabalho, foi possível perceber que com a fécula de mandioca foi a farinha que mais influenciou a coesividade (efeito de 0,86 na formulação F3 demonstrado na equação da Tabela 8), sendo que o aumento da FM (fécula de mandioca) pode aumentar o valor da coesividade nos pães (efeito positivo), efeito ilustrado na figura 4-A.

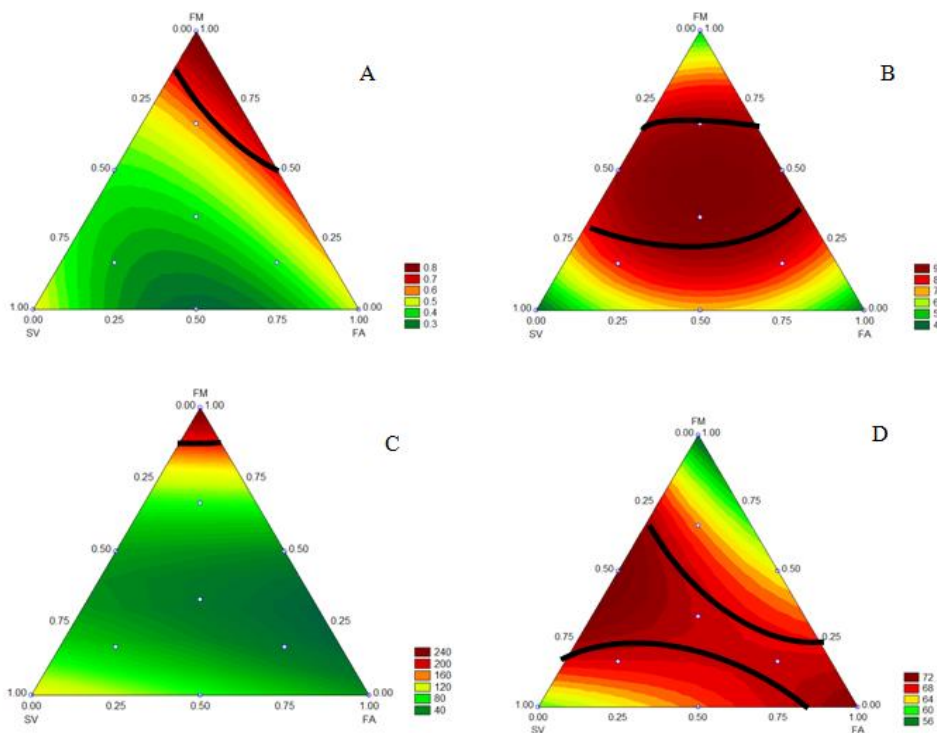
Onyango e colaboradores (2011) definem elasticidade como a velocidade na qual um material deformado volta à condição não deformada, depois que a força de deformação é removida, portanto elasticidade do miolo é descrita por sua elasticidade e resiliência, uma redução na resiliência ou na elasticidade caracteriza a perda de elasticidade. Também relataram que a elasticidade e a resiliência aumentaram com o aumento da concentração de fécula de mandioca e para formulações de pães de sorgo. Este relato corrobora com os dados obtidos neste trabalho e demonstrados pelo planejamento experimental, em que foi possível perceber que o efeito da farinha de sorgo vermelho e da farinha de mandioca no parâmetro elasticidade foram superiores ao efeito demonstrado pela farinha de arroz (figura 4-B). Ainda, estes efeitos, mostraram-se positivos, indicando que um aumento destas farinhas na formulação aumentaria a elasticidade dos pães (Tabela 7).

Mastigabilidade é a propriedade que verifica a energia requerida para mastigar um alimento sólido até a deglutição, sabe-se que seu resultado é o produto da firmeza, coesão e flexibilidade (BOURNE, 2002). Em pães de sorgo, a mastigabilidade é sempre afetada pela proporção amido-sorgo, que proporciona maior flexibilidade com o aumento do conteúdo de amido (ONYANGO et al., 2011). Neste trabalho observou-se que a interação fécula de mandioca resultou em um pão com alto valor de mastigabilidade derivado de um produto do alto valor de coesão, características não desejáveis para pães. Assim, para mastigabilidade a interação entre farinha de sorgo vermelho- farinha de arroz, e farinha de sorgo vermelho- farinha de arroz- fécula de mandioca apresentaram produtos melhores resultados (figura 4-C).

Enquanto isso, a modelagem de superfície de resposta não foi significativa para os atributos de perfil de textura de dureza (Ciclo 1 e 2). Os valores de dureza do Ciclo 1 dos pães variaram de 6,02 a 144,51 para as formulações estudadas, enquanto os valores de dureza do ciclo 2 do miolo dos pães, variaram de 5,16 a 63,79 para as formulações estudadas. A utilização dos dois ciclos de dureza na análise de perfil de textura produz uma curva de força versus tempo, em que se registra de acordo com a geometria usada no teste a variação da textura do material, simulando assim a ação de duas dentadas no material estudado. A dureza dos pães de sorgo estudados foi diminuída com a interação sorgo-arroz ou sorgo-mandioca ou sorgo-arroz-mandioca, o maior valor encontrado para dureza foi na formulação apresentada com 100% de sorgo, e valores mais baixos foram encontrados nas formulações com variações de 33,33% a 16,16% de sorgo. Schober (2009), relatou que pães de sorgo pela alta temperatura de gelatinização pode causar uma

gelatinização inadequada durante o cozimento, resultando em pães com baixo volume e alta rigidez, isso pode ser observado no ensaio F1 que apresentou alto grau de dureza. Miñarro e colaboradores (2012) também relataram correlação negativa de firmeza e volume específico em pães sem glúten.

Figura 4 – Gráfico de superfície de contorno das variáveis significativas ($p < 0,05$) do perfil de textura: coesividade (A), elasticidade (B), mastigabilidade (C) e qualidade sensorial (D).



A avaliação de textura e volume foram apresentados nas Tabelas 8 e 6, respectivamente, podem ser correlacionadas com a imagem dos pães (Figura 5). Os pães dos ensaios F1, F4, F5 e F8, que possuíam maior fração de farinha de sorgo, apresentaram com menor volume e com aparência compactada, estrutura interna comprometida apresentando poucas bolhas resultadas de um mau aprisionamento do gás formado durante a fermentação, pelo rompimento das células de gás. A massa de sorgo não tem consistência e elasticidade que é apresentada na massa de farinha de trigo, Schober (2009)

relata que isso significa que o pão mantém pouco os gases de fermentação produzidos durante o estágio de descanso para a fermentação e nos estágios iniciais do cozimento. Além disso, as partículas de endosperma e farelo deformam e perfuram as bolhas de gás na massa, causando vazamentos.

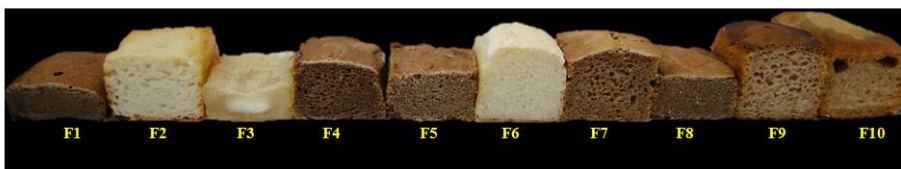


Figura 5 – Imagem para avaliação da aparência dos pães estudados.

O sorgo tem certas propriedades físico-químicas que afetam negativamente suas propriedades tecnológicas, sabe-se que as proteínas de sorgo na fase líquida da massa agregada durante o cozimento para formar costas e protuberâncias que interferem com o gel de amido resultando em pão com a parte superior plana e buraco na migalha (SCHOBER; BEAN; BOYLE, 2007). Isso foi observado principalmente no ensaio F10.

Os pães com alta concentração de arroz F2, F6 e F9 apresentaram maior volume específico e aparência de cor de acordo com a maioria dos pães sem glúten de cor clara do miolo com pouco aspecto dourado na crosta. Estes também apresentaram boa quantidade de células de aprisionamento de gases mostrando que a interação sorgo-arroz proporciona melhor estrutura do miolo dos pães. Onyango e colaboradores (2010) relataram a adição da farinha de arroz em formulações de pães sem glúten com farinha de sorgo, e houve melhorias das propriedades de gelatinização do amido após a cozedura, conferindo melhor estruturação e forma dos alvéolos dos pães.

O ensaio F3 apresentou baixo volume e alto valor de dureza, elasticidade e mastigabilidade, e baixo valor do teste de panificação sensorial, uma formulação com 100% de fécula de mandioca não foi satisfatória em parâmetros físicos e sensoriais.

A formulação F7 apresentou melhor volume e os parâmetros de textura também se mostraram favoráveis, maior uniformidade dos alvéolos do miolo além de cor dourada e uniforme. Justificando que a mistura de sorgo-arroz-mandioca em proporções iguais mostra-se como boa opção e como uma variação de pães sem glúten. O teste de

panificação é muito utilizado para avaliar a qualidade sensorial de pães. As médias obtidas pelos avaliadores para cada atributo estão apresentadas na Figura 6.

As melhores médias totais observadas foram nos ensaios F2 (70,2), F5 (71,1) e F7 (73,9), sendo que estes ensaios apresentaram bons valores nos testes tecnológicos, e também melhor aparência visuais.

A importância de cada atributo avaliado em relação ao total da média encontrada para os ensaios conduzidos está representada na Figura 6. Valores similares de médias para a avaliação em testes de panificação pode ser observado em trabalhos que utilizaram a farinha de trigo. Formulações com farinha de trigo contêm a rede de glúten que favorece tecnologicamente sua estrutura e aparência.

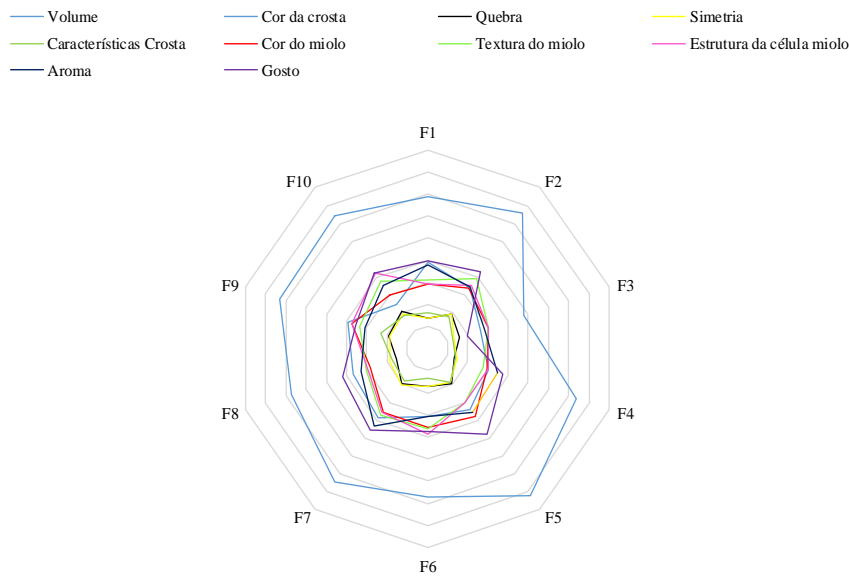


Figura 6 – Gráfico aranha dos atributos da qualidade sensorial das formulações sem glúten avaliadas.

Gutkoski & Neto (2002) utilizaram do teste de qualidade de pães para analisar o potencial de diferentes farinhas de trigo em teste laboratorial de procedimentos de panificação, eles obtiveram notas de 70,1 e 64,1 das médias avaliadas por atributo. Soares e colaboradores (2006) estudaram a otimização de formulações de pães de forma com diferentes proporções de farinha de trigo, fécula de mandioca e okara, as notas das médias

da avaliação sensorial da qualidade dos pães variaram de acordo com as proporções entre as farinhas e féculas, sendo a melhor nota 83,45 para a formulação contendo 82% de farinha de trigo. Também foi relatado valores de média dos atributos próximos aos encontrados neste trabalho como o valor de 74,63 para a formulação com 64% de farinha de trigo.

É preciso destacar a importância das misturas nas formulações de pães sem glúten. Enquanto as farinhas de mandioca e sorgo vermelho são importantes pelas características tecnológicas do produto, a farinha de arroz mostrou-se importante variável que aumenta a qualidade sensorial dos pães. Assim, os valores observados neste trabalho foram satisfatórios considerando o fator de todos os ensaios realizados são de formulações sem glúten, assim confirmando que o sorgo, arroz e a mandioca como base para pães sem glúten apresenta uma nova alternativa promissora para o mercado Glúten Free.

Utilizando o *screening* de superfície de resposta para as variáveis independentes pesquisadas que foram significativas nas variáveis dependentes (respostas) avaliadas, realizou-se a escolha de uma formulação respeitando os seguintes parâmetros de desejabilidade: maior valor de L*, b* na crosta e b* no miolo dos pães, maiores valores de elasticidade, mastigabilidade, volume específico e qualidade sensorial e por fim, menor valor de coesividade. Desta forma, a formulação que atendeu a estes parâmetros foi a F7, contendo 33,33% de cada componente. Assim, realizou-se a caracterização desta formulação.

1.3.3 Caracterização dos pães sem glúten

Após testes tecnológicos e sensoriais com os ensaios derivados do planejamento experimental, o ensaio F7 apresentou as melhores características tecnológicas e sensoriais, assim a Tabela 9 apresenta os resultados para as análises químicas do pão sem glúten.

A umidade em pães apresenta-se como avaliação importante, a avaliação deste parâmetro é correlacionada à atividade microbiana no produto. Um teor elevado de umidade em pães aumenta a atividade microbiana, deixa o produto “grudento e borrachudo”, alterando sua textura, sendo este um dos fatores responsáveis pela perda da qualidade do produto (OLIVEIRA, N., et al., 2011). Com relação à legislação brasileira, durante muitos anos (1978-2005) a umidade dos pães foi controlada, sendo estabelecido inicialmente um limite máximo de 30% (BRASIL, 1978). Posteriormente, esse valor foi alterado para 38%, a partir de 22 de setembro de 2005, porém essa característica e

restringida a pães preparados, exclusivamente, com farinha de trigo comum e ou farinha de trigo especial (sêmola/semolina de trigo) (BRASIL, 2005). O baixo teor de umidade também é relacionado com o maior tempo de prateleira para os produtos de panificação por diminuir o desenvolvimento microbiológico (ABDUALRAHMAN et al., 2017).

Tabela 9- Características químicas do pão sem glúten com farinha de sorgo vermelho.

Análises (g/100g)	Média ± Desvio Padrão		
Umidade	29,82	±	0,38
Cinzas	0,71	±	0,04
Proteínas	4,12	±	0,21
Lipídeos	4,97	±	0,38
Fibras solúveis	0,53	±	0,01
Fibras insolúveis	5,78	±	0,23
Fibras totais	6,31	±	0,22
Carboidratos (por diferença)	54,07	±	-
Valor calórico (Kcal/100g)	277,47	±	-
Minerais			
Na	4,10	±	0,01
P	1,15	±	0,04
K	0,25	±	0,00
Ca	1,72	±	0,03
Mg	0,54	±	0,01
Fe	23,62	±	0,64
Mn	6,42	±	0,08
Cu	mg/100g	1,60	± 0,05
Zn	11,07	±	0,08
B	9,14	±	0,32

O teor de umidade apresentado no presente estudo mostrou-se satisfatório quando relacionado à atividade microbiológica, apresentando abaixo do apresentado por Oliveira, N., e colaboradores (2011), menor também que o apresentado por Kurek e colaboradores (2017) em estudo com pães de trigo com alto teor de fibras. Neste estudo obtiveram valores de umidades variando entre 41,6-66,6%. Angioloni; Collar (2012) estudaram a qualidade e as propriedades nutricionais dos pães de trigo compostos das

farinhas de aveia hidratada, painço de milho e sorgo e encontraram para a formulação trigo-sorgo (60:40) um valor de umidade para o pão de 33,6%. Bolarinwa; Aruna; Raji (2017) encontraram menores valores para umidade de pães de trigo fortificados com farinha da semente de moringa, os quais variaram entre 20,01%-22,9%.

O teor de cinzas do pão analisado teve valor inferior ao verificado por Yousif; Nhepera; Johnson (2012) em estudo sobre a influência da adição de farinha de sorgo em pão de trigo sobre a digestibilidade de amido *in vitro*, capacidade antioxidante e aceitação do consumidor, obtiveram o valor de cinzas de 2,44% para pães com adição da farinha de sorgo vermelho, este valor corrobora com encontrado por Abdualrahman e colaboradores (2017). Um valor mais próximo do que foi relatado neste trabalho foi encontrado por Angioloni; Collar (2012).

O teor de proteínas para o pão foi maior do que o apresentado na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos da USP para pão de forma integral clássico que é de 1,45 g. (100 g)⁻¹ (TACO, 2011). Estudos de pães contendo farinhas mistas trigo-sorgo, sorgo-amendoim e sorgo-aveia-milheto apresentaram valores de teor de proteína superiores ao exposto neste trabalho (15,8 g. (100)⁻¹; 13,5 g. (100)⁻¹; 13,37 g. (100)⁻¹) (ANGIOLONI; COLLAR, 2012; YOUSIF; NHEPERA; JOHNSON, 2012; ABDUALRAHMAN et al., 2017). O baixo teor de proteína no pão estudado deve-se também pela escolha de se utilizar de uma formulação isenta de leite e ovos, a fim de disponibilizar uma opção com menos riscos de irritações/alergias alimentares.

O valor encontrado para o teor lipídico no pão estudado (4,97 g.100g⁻¹) corrobora com o valor apresentado por Angioloni; Collar (2012) que estudou os efeitos do tratamento de pressão de farinha de aveia hidratada, farelo de painço e sorgo na qualidade e propriedades nutricionais dos pães de trigo compostos. Apesar dos baixos níveis, têm um papel importante na qualidade do pão, em particular, o volume do pão é sensível à composição, estabilidade e teor global de lipídeos (SROAN; RITCHIE, 2009).

O pão estudado apresentou maior valor para fibra insolúvel (5,78 g/100g), resultado do alto teor de fibras apresentados nos grãos de sorgo vermelhos utilizados para produção da farinha e a escolha da formulação sem adição de produtos ricos em fibra solúvel. Anagioloni; Collar (2012) também obtiveram maior valor de fibra insolúvel.

De acordo a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos da USP, o pão de forma integral clássico possui 4,46 g. (100 g)⁻¹ de fibra alimentar (TACO, 2011). Mas o aumento de reivindicação referindo-se a relação entre alimentos e saúde e aspecto nutricional, no que diz respeito a nutrientes ou ingredientes que desempenhem uma

função nutricional ou um efeito fisiológico provado cientificamente, faz com que o mercado de alimentos desenvolva uma nova gama de alimentos identificados por baixo valor gorduras, alto valor proteico, rico e fibras (SIRBU; ARGHIRE, 2017).

Segundo a ANVISA, por meio da Portaria nº 27 de 13/01/1998, para considerar o alimento fonte de fibras alimentares, o mesmo deve conter no mínimo 3% dessas fibras e o alimento com alto teor de fibras, no mínimo 6% (BRASIL, 2012). O presente estudo apresentou o valor de fibras totais para o pão analisado de 6,31 g. (100g)⁻¹ podendo ser classificado como alimento rico em fibras. Uma fração de 100g do pão analisado fornece 25,24% do teor de fibras recomendado de acordo com os valores apresentados pela Dietary Reference Intakes (DRI) de 2004, que preconizam a ingestão diária recomendada de 25g por dia de fibra para cada 2.000 kcal ingeridas.

O valor de carboidratos calculado por diferença neste estudo (54,07 g. (100g)⁻¹) está acima do valor apresentado na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos para o pão de forma integral clássico que é de 45,62 g. (100g)⁻¹ para carboidratos (TACO, 2011). Em pães com formulação contendo farinha de sorgo foram relatados valores variáveis para frações de carboidratos, entre 66 - 77 g. 100g⁻¹ (YOUSIF; NHEPERA; JOHNSON, 2012; ABDUALRAHMAN et al., 2017). O alto valor de carboidrato é positivo para pães, assim podendo ser fonte de carboidrato na dieta de seus consumidores.

O valor calórico do pão estudado (277,47 Kcal. (100g)⁻¹) foi maior que o encontrado por Angioloni; Collar (2012) em pão de trigo-sorgo (271 Kcal. (100g)⁻¹) e menor que o apresentado por Abdualrahman e colaboradores (2017) em pão de sorgo (399,23 Kcal. (100g)⁻¹). Em regiões com concentração de população carente de alimentos, novas alternativas com baixo custo podem proporcionar uma dieta com maior valor calórico a formulação estudada resultou em um pão que pode atender a esta demanda.

O percentual do perfil mineral do pão analisado, sobre os valores preconizados pelo INSTITUTE OF MEDICINE US (2003) ao IDR pode ser verificado na Tabela 10, o que mostra que o pão analisado pode ser considerado fonte dos minerais P, Fe, Mn, Cu, e Zn de acordo com BRASIL (2012), que relata que para um alimento ser considerado fonte de determinado mineral, é necessário que este seja capaz de prover, no mínimo, 15% da Ingestão Diária Recomendada (IDR) em 100g de alimento sólido ou líquido, e acima de 30% considera-se que o alimento apresenta alto teor de determinado mineral.

Tabela 10 – Percentual de minerais disponíveis no PSG sobre o valo IDR.

	IDR	%M PSG
P	0,58	18,97
K	4,7	0,01
Ca	g/dia 0,8	7,5
Mg	0,35	14,29
Fe	6,81	34,65
Mn	1,8-2,3	35,56
Cu	mg/dia 0,7	22,86
Zn	6,8-9,4	16,18
Na*	2400	1,71

IDR * Ingestão Diária Recomendada FONTE: (INSTITUTE OF MEDICINE US (2003)); %M PSG * percentual de minerais presentes no pão sem glúten estudado, considerando a biodisponibilidade dos minerais de 100%.

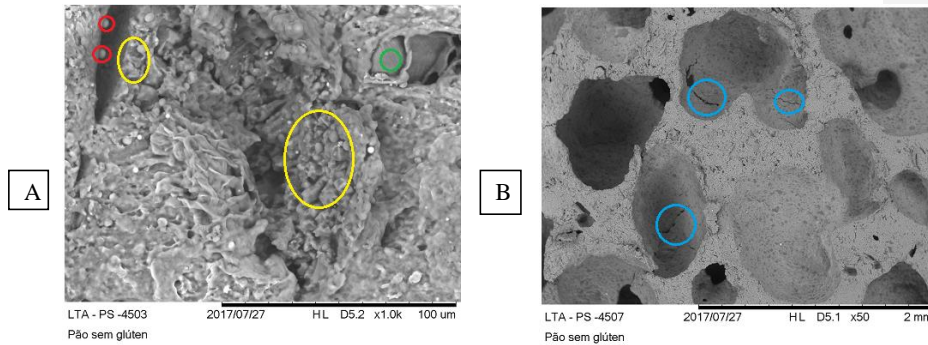
Para atestar a segurança dos provadores treinados que contribuíssem para as análises sensoriais e demonstrar que os pães foram processados com matérias-primas e práticas de higiene atendendo aos requisitos necessários para consumo humano, foi realizada a análise microbiológica para o ensaio F7, por apresentar frações iguais de todas as farinhas e fécula utilizadas para realização do estudo, assim viabilizou custos diminuindo quantidade de análises e materiais utilizados. Os valores são apresentados na Tabela 11.

Os pães foram analisados microbiologicamente um dia após a sua fabricação. Estes apresentaram valores inferiores aos limites estabelecidos pela Resolução – RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2012 (BRASIL, 2001), confirmando que o processamento do pão foi satisfatório do ponto de vista de segurança microbiológica.

Tabela 11- Ensaio microbiológicos do pão sem glúten com farinha de sorgo vermelho.

Ensaio	Valor de referência	Valor Encontrado
Contagem de Coliformes Totais 37°C ± 1°C	SEM PADRÃO	<1,0x10 ¹ UFC/g
Contagem Total de Bolores e Leveduras 25°C ± 1°C	SEM PADRÃO	<1,0x10 ¹ UFC/g
Deteção de Salmonella spp.	Ausência de Salmonella spp/25g	Ausência de Salmonella spp/25g

O ensaio F7 também foi submetido à análise de microscopia de varredura eletrônica (MEV) em que se pode analisar a sua microestrutura do miolo apresentado na Figura 7.



Micrografias de pão sem glúten (F7): A corte transversal x 1k 100µm; B corte transversal x50 2mm; Círculos: *vermelho-grânulos amido; *amarelo-fina camada gel e/ou proteína; *verde-formação gel; *azul-rachaduras.

Figura 7 - Imagens ensaio F7 para análise da microestrutura do pão sem glúten com farinha de sorgo vermelho

No presente trabalho, as imagens obtidas na análise de MEV proporcionou a visualização estrutural próxima ao encontrado na literatura. É possível visualizar na imagem da Figura 7(A) os grânulos de amido com forma esférica (círculo vermelho). O círculo amarelo mostrou uma região com menos grãos de amido intactos em sua superfície, que foram incorporados em um filme muito suave, enquanto no círculo verde é possível visualizar uma formação laminar, característica da gelatinização do amido, estas características também foram relatadas por Altamirano e colaboradores (2012) em estudo sobre pães sem glúten com hidrocoloides. Foi relatado na literatura uma microestrutura em que os grânulos de amido inchados podem ser observados, essa situação foi relacionada à disponibilidade limitada de água, e os grânulos de amido sofreram apenas inchaço incipiente e, portanto, a integridade dos grânulos foi retida após o cozimento (CALLEROS et al., 2015; LEZAMA et al., 2016).

Na figura 7 (B), fica claro a imagem de um miolo com aspecto de estrutura densa, e uma matriz proteica interrompida, Marco e Rosell (2008) também verificaram esta característica em pães sem glúten à base de arroz, enriquecidos com soja, incorporando um agente estruturante (hidroxipropilmetilcelulose, HPMC) e um auxiliar de processamento (transglutaminase, TG). É possível visualizar a formação de poros derivados do

aprisionamento dos gases resultantes da fermentação, o que é positivo para uma formulação de pão sem glúten, também é possível observar rachaduras da estrutura compacta (círculos azuis). Rachaduras em estrutura compactas foram relatadas por López e colaboradores (2013) e relacionadas ao tempo de armazenamento e que também pode estar relacionada com rupturas das bolhas de ar pela falta de estrutura proteica estabilizadora. Assim, as presenças destas rachaduras devem estar relacionadas ao envelhecimento pelo tempo de envelhecimento devido ao deslocamento da amostra até a data da realização da análise de MEV, assim como também está formulação à base de frações de farinha de sorgo vermelho, farinha de arroz, fécula de mandioca e desprovida de estrutura proteica estabilizadora.

1.4 CONCLUSÕES

A farinha de sorgo vermelho foi caracterizada como uma farinha rica em fibras totais e insolúveis, com alto teor de proteínas e minerais (P, Mg, Fe e Mn). As características de cor (clara, com tons vermelho e amarelo) e propriedades funcionais tecnológicas (com destaque para estabilidade de emulsão em alta temperatura) mostraram-se interessantes para utilização da farinha como ingrediente para produção de pão.

A aplicação do planejamento de mistura para obter as proporções das mesclas de farinhas e fécula mostrou-se efetivo, possibilitando a utilização do mesmo para a escolha da formulação que melhor atendeu aos parâmetros sensoriais e tecnológicos, podendo concluir que os melhores valores para os parâmetros avaliados foram encontrados para a formulação F7 que apresenta iguais proporcionalidades entre farinha de sorgo, farinha de arroz e fécula de mandioca.

A caracterização da formulação escolhida apresentou um produto que pode ser considerado de acordo com os padrões exigidos pela legislação como rico em fibras e minerais; estrutura de miolo e volume específico satisfatório.

Pode-se concluir que a utilização de farinha de sorgo resultou em um pão sem glúten com ótimas características para ser apresentado como nova opção para o mercado alimentício sem glúten, com alta qualidade funcional, sensorial e visual.

1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC. American Association of Cereal Chemists. Approved Methods, 10th ed., 44-15A, 02-52, 76-21, 10-90, 10-91, 10-05 Methods, St. Paul, vol. II, 2000.

AACC. AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. Approved Methods, 11th ed., St. Paul: AACC, 2009.

ABDUALRAHMAN, M.A.Y.; HAILE, M.; GASIM, A. E.; YAGOUB, A.; ZHOU, C.; ALI, A. O.; YANG, W., Nutritional value, protein quality and antioxidant activity of Sudanese sorghum-based kissra bread fortified with bambara groundnut (*Voandzeia subterranea*) seed flour. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 2017.

ACHINEWHU, S. C. Protein quality of African oil bean seed (*Pentactethra macrophylla*). J. Food Sci., 48, 1374-5, 1983.

ADELEKE O. A., PILLAY V., TOIT L. C., CHOONARA Y. E., Construction and in vitro characterization of an optimized porosity-enabled amalgamated matrix for sustained transbuccal drug delivery, International Journal of Pharmaceutics, Volume 391, Issues 1–2, Pages 79-89, 31 May 2010.

Altamirano D., Krimm H. A., Patruno A., Bahramian A., Heinke C. O., Wijnands R., Degenaar N., MNRAS, 426, 927, 2012.

ANGIOLONI, A.; COLLAR, C. Effects of pressure treatment of hydrated oat, finger millet and sorghum flours on the quality and nutritional properties of composite wheat breads. Journal of Cereal Science Volume 56, Issue 3, November, Pages 713-719, 2012.

ANVISA. Resolução de diretoria colegiada – RDC Nº 275, de 21 de outubro de 2002. <http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RDC_275_2002_COMP.pdf/fce9dac0-ae57-4de2-8cf9-e286a383f254>. Acessado em 13 de março de 2017.

AOAC. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th. v. II., 2000.

AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 18th ed., 920.39, 942.05, 990.03 Methods, Gaithersburg, 2005.

BADIGANNAVAR A., GIRISH G., RAMACHANDRAN V., GANAPATHI T. R., Genotypic variation for seed protein and mineral content among post-rainy season-grown sorghum genotypes, The Crop Journal, Volume 4, Issue 1, Pages 61-67, February 2016.

BARROS NETO, B.; SCARNINIO, I. S.; BRUNS, R. E. Como fazer experimentos: Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria. Porto Alegre: Editora Bookman, 4ª Ed., 2010.

BEAN, S. R.; DE MESA-STONESTREET, N. J.; ALAVI, S. Sorghum proteins: the concentration, isolation, modification, and food applications of kafirins. *Journal of Food Science*, v. 75, n. 5, p. R90-R104, 2010.

BLASZCZAK, W.; MISHARINA, T. A.; FESSAS, D.; SIGNORELLI, M.; GÓRECKI, R. A. Retention of aroma compounds by corn, sorghum and amaranth starches. *Original Research Article, Food Research International*, Volume 54, Issue 1, November, Pages 338-344, 2013.

BOLARINWA, I. F.; ARUNA, T. A.; RAJI, A. O. Nutritive value and acceptability of bread fortified with moringa seed powder. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 2017.

BOURNE M. C. *Texture and food viscosity*, Academic Press, London 2002.

BRASIL. Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos. Resolução nº.12 de 1978. Aprova Normas Técnicas especiais, do Estado de São Paulo revistas pela NNPA, relativas a alimentos (e bebidas), para efeito em todo território brasileiro.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução normativa n.62, de 26 de agosto de 2003. Oficializa os métodos analíticos oficiais para análises microbiológicas para controle de produtos de origem animal e água. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 18 set.2003. Seção 1, p.14*

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA – RDC Nº 54, DE 12 DE NOVEMBRO DE 2012 Dispõe sobre o Regulamento Técnico sobre Informação Nutricional Complementar. [acesso 21 junho de 2017]. Disponível em: [http://portal.anvisa.gov.br/documents/%2033880/2568070/rdc0054_12_11_2012.pdf/c5ac23fd-974e-4f2c-9fbc-48f7e0a31864].

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC n. 12 de 02 de janeiro de 2001. Regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 10 jan. 2011. Disponível em: http:// www.anvisa.gov.br. Acesso em: 22 jun.2015.*

BRASIL. Resolução RDC n°. 263, de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. *Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 set. 2005.*

BUYKEN, A. E., MITCHELL, P., CERIELLO, A., BRAND-MILLER, J. (2010). Optimal dietary approaches for prevention of type 2 diabetes: A life-course perspective. *Diabetologia*, 53(3), 406–418.

CALLEROS, L. C.; JAIMES, H. C.; ESQUIVEL, C. G.; MERAZ, M.; SOSA, E.; LARA, V.H.; CARTER, V. E.J., Effect of lime concentration on gelatinized maize starch dispersions properties. *Food Chem.* 172, 353 e 360, 2015.

CAPPA, C.; LUCISANO, M.; MARIOTTI, M. Influence of Psyllium, sugar beet fibre and water on gluten-free dough properties and bread quality *Carbohydrate Polymers* 98, 1657–1666, 2013.

CESAR, A. S.; GOMES, J. C; STALIANO, C. D.; FANNI, M. L.; BORGES, M. C. Elaboração de pão sem glúten. *Revista Ceres.* v 53, p. 150-155, 2006.

CHINMA C. E., ADEWUYI O., ABU J. O. Efeito da germinação nas propriedades químicas, funcionais e de colheita da farinha de variedades marrom e amarelo de tigernut (*Cyperus esculentus*). *Food Chemistry.* pp. 387-392, 121, 2010.

CHIU, C. J., LIU, S. M., WILLETT, W. C., WOLEVER, T. M. S., BRAND-MILLER, J. C., BARCLAY, A. W., et al. Informing food choices and health outcomes by use of the dietary glycemic index. *Nutrition Reviews*, 69(4), 231–242, 2011.

CONCEIÇÃO, L. L. da; QUEIROZ, V. A. V.; RODRIGUES, J. A. S.; PIROZI, M. R.; TARDIN, F. D.; DANTAS, M. I. de S.; MARTINO, H. S. D. Caracterização nutricional e tecnológica de cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench.) destinados a alimentação humana. In: CONGRESSO MINEIRO DE ALIMENTAÇÃO HUMANA, 3., 2009, Ouro Preto. Anais... Ouro Preto: UFOP, 2009. 1 CD-ROM. (Acessado em 17/06/2017: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/59888/1/Caracterizacao-nutricional.pdf>)

DIR - DIETARY REFERENCE INTAKES FOR WATER, POTASSIUM, SODIUM, CHLORIDE AND SULFATE. Washington, D.C.: Academic Press, 2004. 640p. Acessado em: 25 janeiro 2017 <https://www.nap.edu/search/?rpp=20&ft=1&term=Dietary+reference+intakes+for+water%2C+potassium%2C+sodium%2C+chloride+and+sulfate>

DYKES, L.; ROONEY, L. W.; WANISKA, R. D.; ROONEY, W. L. Phenolic compounds and antioxidant activity of sorghum grains of varying genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(17), 6813–6818, 2013.

EL-DASH, A.A. Standardized mixing and fermentation procedure for experimental baking test. *Cereal Chemistry*, Saint Paul, v.55, n.4, p.436-446, 1978.

ELHASSAN M. S. M., EMMAMBUX M. N., HAYS D. B., PETERSON G. C., TAYLOR J. R. N., Novel biofortified sorghum lines with combined waxy (high

Código de campo alterado

amylopectin) starch and high protein digestibility traits: Effects on endosperm and flour properties. *Journal of Cereal Science*, Volume 65, Pages 132-139, September 2015.

ELKHALIFA E. A. O., BERNHARDT R. Influence of grain germination on functional properties of sorghum flour. *Food Chemistry* 121,387–392, 2010.

ELKHALIFA E. A. O., SCHIFFLER B., BERNHARDT R. Effect of fermentation on the functional properties of sorghum flour. *Food Chemistry*, Volume 92, Issue 1, Pages 1-5, August 2005.

ELKHALIFA, A. E. O.; EL-TINAY, A. H. Effect of cysteine on bakery products from wheat–sorghum blends. *Food Chemistry*, 77(2), 133–137, 2002.

ELMONEIM. A., O. ELKHALIFA, R. BERNHARDT. Influence of grain germination on functional properties of sorghum flour. *Food Chemistry* 121,387–392, 2010.

FERREIRA S. M. R., MELLO A. P. DE, ANJOS M. C. R. Dos, KRÜGER C. C. H., AZOUBEL P. M., ALVES M. A. DE O. Utilization of sorghum, rice, corn flours with potato starch for the preparation of gluten-free pasta. *Food Chemistry*. 191, 147–151, 2016.

FRARY, C. D.; JOHNSON, R. K. Energia In: *Alimentos, Nutrição e Dietoterapia* MAHAN, L. K. e ESCOTT-STUMP (Ed). Energia, p.20-34. São Paulo: Rocca, 2005.

GALLAGHER E., GORMLEY T.R., ARENDT E.K. Crust and crumb characteristics of gluten free breads. *Journal of Food Engineering*, 56, 153–161, 2003.

GALLAGHER, E., Coeliac disease and gluten-free research: what does the future hold for the physician, the patient and the scientist? In: Gallagher E (ed) *Gluten-free food science and technology*. Wiley-Blackwell, London, p. 225–232, 2009.

GUTKOSKI L. C., NETO R. J. Procedure to laboratorial test of bread making – form bread type. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.32, n.5, p.873-879, 2002.

HART, M. R.; GRAHAM, R. P.; GEE, M.; MORGAN, J. R.A. I. Bread of sorghum and barley flour. *Journal of Food Science*, 35, pp. 661 – 665, 1970.

HUANG G., GUO Q., WANG C., DING H. H., CUI S. W. Fenugreek fibre in bread: Effects on dough development and bread quality. *LWT - Food Science and Technology*, Volume 71, Pages 274-280, September 2016.

INSITUTE OF MEDICINE (USA). (2003). Committee on the use of dietary reference intake in nutrition labeling. Dietary reference intake: Guiding principles for nutritional labeling and fortification. Acessado em:01.12.2016 <URL <http://www.nap.edu/catalog/10872.html>>

JAFARI, M.; KOOCHAKIA, A.; MILANIB, E. Effect of extrusion cooking on chemical structure, morphology, crystallinity and thermal properties of sorghum flour extrudates. *Journal of Cereal Science*, Volume 75, May, Pages 324-331, 2017.

KHAN, I.; YOUSIF, A.; JOHNSON, K. S.; GAMLATH, S. Effect of sorghum flour addition on resistant starch content, phenolic profile and antioxidant capacity of durum wheat pasta. *Food Research International*, Vol. 54, p. 578–586, 2013.

KINSELLA, J. E. Functional properties of proteins in food: a survey. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, Boca Raton, v. 7, p. 219-280, 1976.

KOPÉC A., PYSZ M., BORCZAK B., SIKORA E., ROSELL C.M., COLLAR C., SIKORA M. Effects of sourdough and dietary fibers on the nutritional quality of breads produced by bake-off technology. *Journal of Cereal Science* 54, 499 e 505, 2011.

KUREK, M. A.; KARPJ, W. S.; BRZESKA, M.; WIERZBICKA, A. Comparative analysis of dough rheology and quality of bread baked from fortified and high-in-fiber flours. *Journal of Cereal Science* Volume 74, March, Pages 210-217, 2017.

LEQUART S.C., LEHMANN U., ROSS A. B., ROGER O., AL ELDRIDGE A. L., ANANTA E., ROBIN F. Whole grain in manufactured foods: current use, challenges and the way forward. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, Vol. 5, Iss. 8, 2017.

LEZAMA, A.Y. G.; NAVAS, C. H.; CARTER, V. E. J.; RAMIREZ, A. J. Rheological and thermal properties of dough and textural and microstructural features of bread obtained from nixtamalized corn/wheat flour blends. *Journal of Cereal Science* 69, 158 e 165, 2016.

LIU, H.; FAN, H.; CAO, R.; BLANCHARD, C.; WANG, M. Physicochemical properties and in vitro digestibility of sorghum starch altered by high hydrostatic pressure. *International Journal of Biological Macromolecules*, Volume 92, November, Pages 753-760, 2016.

LÓPEZ, E. P.; PÉREZ, G. T.; ERRAMOUSPE, P. L. J.; CUEVAS, C. M. Effect of Brea Gum on the characteristics of wheat bread at different storage times *Food Sci. Technol*, Campinas, 33(4): 745-752, Oct.-Dec. 2013.

MARCO, C.; ROSELL, C. M. Breadmaking performance of protein enriched, gluten-free breads, *European Food Research & Technology*, v.227, n. 4, p.1205, 2008.

MARIOTTI, M.; IAMETTI, S.; CAPPA, C.; RASMUSSEN, P.; LUCISANO, M. Characterisation of gluten-free pasta through conventional and innovative methods: Evaluation of the uncooked products. *Journal of Cereal Science*, 53, 319–327, 2011.

MARSTON K., KHOURYIEH H., ARAMOUNI F. Effect of heat treatment of sorghum flour on the functional properties of gluten-free bread and cake- LWT - Food Science and Technology, 65, 637 e 644, 2016.

MARTINO, H. S. D.; TOMAZ, P. A.; MORAES, E. A.; CONCEIÇÃO, L. S.; OLIVEIRA, D. da S.; QUEIROZ, V. A. V.; RODRIGUES, J. A. S.; PIROZI, M. R.; PINHEIRO SANT'ANA, H. M.; RIBEIRO, S. M. R. Chemical characterization and size distribution of sorghum genotypes for human consumption. Revista do Instituto Adolfo Lutz, v. 71, n. 2, p. 337-344, 2012.

MIÑARRO B., ALBANELL E., AGUILAR N., GUAMIS B., CAPELLAS M., Effect of legume flours on baking characteristics of gluten-free bread. Journal of Cereal Science 56, 476 e 481, 2012.

MIZUBUTI, I, Y.; BIONDO JR, O.; SOUZA, W. O.; SILVA, R. S. S.; IDA, E. I. Propriedades funcionais da farinha e concentrado protéico de feijão gandu (*Canjanus cajan* (L.) Millsp). Archivos Latinoamericanos de Nutrición, Caracas, v. 50, p. 274-280, 2000.

OLIVEIRA, K. G.; QUEIROZ, V. A. V.; CARLOS, L. A.; CARDOSO, L. M.; SANT'ANA, H. M. P.; ANUNCIAÇÃO, P. C.; MENEZES, C. M.; SILVA, E. C.; BARROS, F. Effect of the storage time and temperature on phenolic compounds of sorghum grain and flour. Food Chemistry 216 390–398, 2017.

OLIVEIRA, N. M. A. L.; MACIEL, J. F.; LIMA, A. S.; SALVINO, É. M.; MACIEL, C. E. P. Características físico-químicas e sensoriais de pão de forma enriquecido com concentrado proteico de soro de leite e carbonato de cálcio. Rev Inst Adolfo Lutz. São Paulo; 70(1):16-22, 2011.

ONYANGO, C.; MUTUNGI, C.; UNBEHEND, G.; LINDHAUER, M G. Rheological and baking characteristics of batter and bread prepared from pregelatinised cassava starch and sorghum and modified using microbial transglutaminase. Journal of Food Engineering 97, 465–470, 2010.

ONYANGO, C.; MUTUNGI, C.; UNBEHEND, G.; LINDHAUER, M. G. Rheological and textural properties of sorghum-based formulations modified with variable amounts of native or pregelatinised cassava starch. LWT - Food Science and Technology, Volume 44, Issue 3, Pages 687-693, April 2011.

PACIULLI, M.; RINALDI, M.; CIRLINI, M.; SCAZZINA, F.; CHIAVARO, E. Chestnut flour addition in commercial gluten-free bread: A shelf-life study LWT - Food Science and Technology 70, 88e95, 2016.

PAIVA C. L., EVANGELISTA W. P., QUEIROZ V. A. V., GLÓRIA M. B. A., Bioactive amines in sorghum: Method optimisation and influence of line, tannin and hydric stress, Food Chemistry, Volume 173, Pages 224-230, 15 April 2015.

SALDAÑA, E.; SICHE, R.; LUJÁN, M.; QUEVEDO, R. Review: Computer vision applied to the inspection and quality control of fruits and vegetables. *Brazilian Journal of Food Technology*, 16(4), 254–272, 2013.

SCHOBER, T. J. Manufacture of gluten-free specialty breads and confectionery products. In E. Gallagher (Ed.), *Gluten-free food science and technology* (pp. 130e180). Oxford: Wiley-Blackwell 2009.

SCHOBER, T. J.; BEAN, S. R.; BOYLE, D. L. Gluten-free sorghum bread by sourdough fermentation: biochemical, rheological, and microstructural background. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 5137e5146, 2007.

SCIARINI, L. S.; RIBOTTA, P. D.; LEÓN, A. E.; PÉREZ, G. T. Incorporation of several additives into gluten free breads: Effect on dough properties and bread quality. *Food Bioprocess Technol.* 5: 1724–1732, 2012.

SINGH, A.; SHARMA, S. Bioactive components and functional properties of biologically activated cereal grains: a bibliographic review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 57 (14), pp. 3051e3071, 2017b.

SINGH, A.; SHARMA, S.; SINGH, B. Effect of germination time and temperature on the functionality and protein solubility of sorghum flour. *Journal of Cereal Science* 76, pp. 131 e 139, 2017a.

SIRBU, A.; ARGHIRE, C. Functional bread: Effect of inulin-type products addition on dough rheology and bread quality. *Journal of Cereal Science*, Volume 75, May, Pages 220-227, 2017.

SOARES M. S. J., OLIVEIRA W. M., CALIARI M., VERA R. Otimização da formulação de pães de forma preparados com diferentes proporções de farinha de trigo, fécula de mandioca e okara. *B.CEPPA*, Curitiba, v. 24, n. 1, p. 221-248, jan./jun. 2006.

SOSULSKI F. W., HUMBERT E. S., BUI ES, JONES J. I. Functional properties of rapeseed flours, concentrates and isolates. *J. Food Sci.* 41: 1349-1351, 1976.

SRICHUWONG S., CURTI D., AUSTIN S., KING R., LAMOTHE L., HERNANDEZ H. G., Physicochemical properties and starch digestibility of whole grain sorghums, millet, quinoa and amaranth flours, as affected by starch and non-starch constituents, *Food Chemistry*, Volume 233, Pages 1-10, 15 October 2017.

SROAN, B. S.; RITCHIE, F. M. Mechanism of gas cell stabilization in breadmaking. II. The secondary liquid lamellae. *Journal of Cereal Science* Volume 49, Issue 1, January, Pages 41-46, 2009.

SUN, Q.; HAN, Z.; WANG, L.; XIONG, L. Physico-chemical differences between sorghum starch, and sorghum flour modified by heat moisture treatment. *Food Chemistry*. Vol. 145, pp. 756-764, 2014.

TACO - Tabela Brasileira de Composição de Alimentos, 4. ed. rev. e ampl. - Campinas: NEPA- UNICAMP, 2011 [acesso 2017 Mai 29]. Disponível em: [[http://https://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada /](http://https://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada/)].

Código de campo alterado

TAYLOR, J. R. N.; BELTON, P. S. (Eds.), *Pseudocereals and less common cereals. Grain properties and potential utilization*, Springer-Verlag, Berlin, pp. 25-91, 2002.

TAYLOR, J. R. N.; EMMAMBUX, M.N. Developments in our understanding of sorghum polysaccharides and their health benefits. *Cereal Chemistry* 87:263–71, 2010.

TAYLOR, J. R. N.; SCHOBER, T. J.; BEAN, S. R. Novel food and non-food uses for sorghum and millets. *Journal of Cereal Science*, 44, 252e271. 2006.

VERDÚ, S.; BARAT, J. M.; GRAU, R. Improving bread-making processing phases of fibre-rich formulas using chia (*Salvia hispanica*) seed flour LWT - *Food Science and Technology*, 84, 419 e 425, 2017.

WANG, R.; ZHOU, W.; ISABELLE, M. Comparison study of the effect of green tea extract (GTE) on the quality of bread by instrumental analysis and sensory evaluation. *Food Research International* 40, 470–479, 2007.

WANISKA, R.D.; ROONEY, L.W. *Structure and chemistry of the sorghum caryopsis. Sorghum: origin, history, technology, and production*. New York: John Wiley and Sons. p.649-688, 2000.

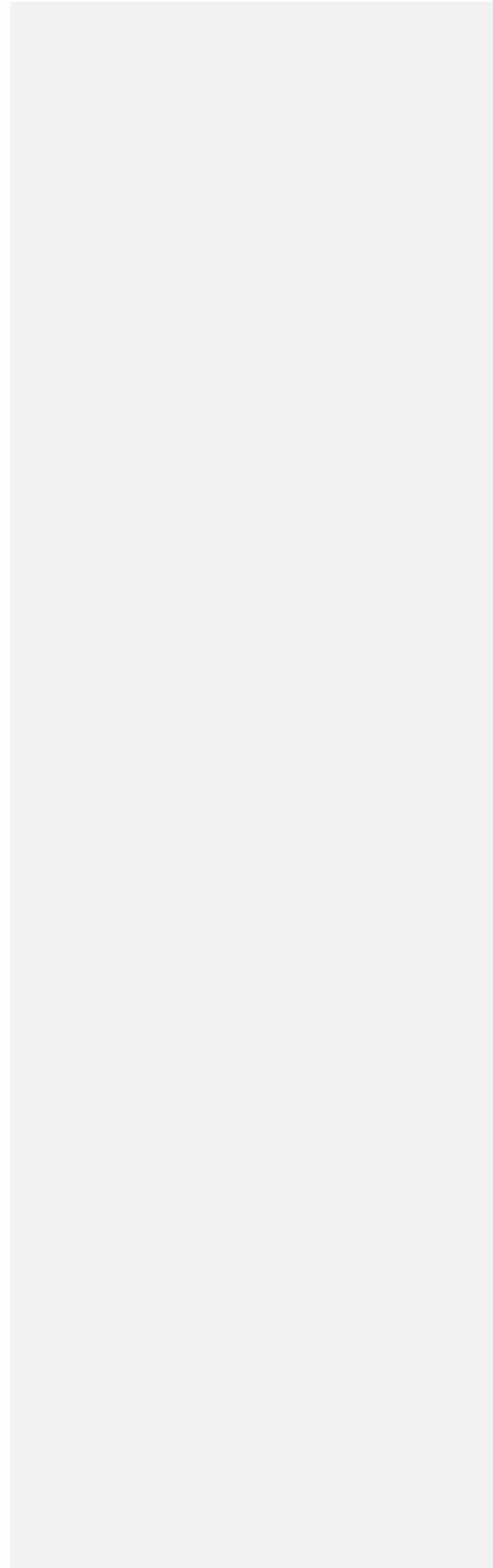
WILSON, M.– “Figuring Out Fiber”. Fact Sheet 99-19, Las Vegas, University of Nevada Cooperative Extension, 2p. 2009.

WITCZAK M., ZIOBRO R., JUSZCZAK L., KORUS J., 2016, Starch and starch derivatives in gluten-free systems e: A review. *Journal of Cereal Science* 67, 46-57, 2016.

YASUMATSU, K.; SAWADA, K.; MORITAKA, S.; MISAKI, M.; TODA, J.; WADA, T.; ISHII, K. Whipping and emulsifying properties of soybean products. *Agricultural and Biological Chemistry*, Tóquio, v. 36, p. 719-727, 1972.

YOUSIF, A.; NHEPERA, D.; JOHNSON, S. Influence of sorghum flour addition on flat bread in vitro starch digestibility, antioxidant capacity and consumer acceptability. *Food Chemistry*, v.134, n.2, p.880-887, 2012.

APÊNDICE



Apêndice A

Quadro 1 – Modelo ficha de avaliação de teste de panificação.

Características externas	Valor máximo	Nota atribuída	Observações
Volume	20		
Cor da crosta Fatores indesejáveis: não uniforme, opaca, muito clara, muito escura	10		
Quebra Fatores indesejáveis: muito pequena, áspera, lados desiguais	05		
Simetria Fatores indesejáveis: laterais, pontas e partes superiores desiguais	05		
Subtotal	40		
Aroma e sabor	Valor máximo	Nota atribuída	Observações
Aroma Fatores indesejáveis: falta de aroma, aroma desagradável, “estranho”, muito fraco ou muito forte	10		
Gosto Fatores indesejáveis: ácido, “estranho”, sabor de goma ou massa, residual	15		
Subtotal	25		