

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

EFEITO DE DOIS GENÓTIPOS DE GRÃOS INTEGRAIS DE  
SORGO (*Sorghum bicolor* L.) E ARROZ (*Oriza sativa* L.)  
SOBRE AS PROPRIEDADES FUNCIONAIS E  
TECNOLÓGICAS DE MACARRÃO SEM GLÚTEN DE  
MASSA SECA

Autor: Keyla Rezende Barcelos Martins  
Orientadora: Dr.<sup>a</sup> Mayra C. Peixoto Martins Lima

Rio Verde - GO  
Maio – 2017

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

EFEITO DE DOIS GENÓTIPOS DE GRÃOS INTEGRAIS DE  
SORGO (*Sorghum bicolor* L. Moench) E ARROZ (*Oriza sativa*  
L.) SOBRE AS PROPRIEDADES FUNCIONAIS E  
TECNOLÓGICAS DE MACARRÃO SEM GLÚTEN DE  
MASSA SECA

Autor: Keyla Rezende Barcelos Martins  
Orientadora: Dr.<sup>a</sup> 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 tecnologia e processamento de alimentos.

Rio Verde- GO  
Maio – 2017

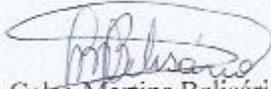
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

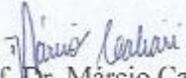
**EFEITO DE DOIS GENÓTIPOS DE GRÃOS INTEGRAIS  
DE SORGO (*Sorghum bicolor* L.) E ARROZ (*Oriza sativa* L.)  
SOBRE AS PROPRIEDADES FUNCIONAIS E  
TECNOLÓGICAS DE MACARRÃO DE MASSA SECA E  
SEM GLÚTEN**

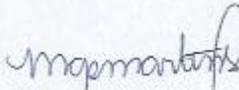
Autora: Keyla Rezende Barcelos Martins  
Orientadora: Mayra Conceição Peixoto Martins Lima

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

APROVADA em 20 de junho de 2017.

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

  
Prof. Dr. Márcio Caliari  
Avaliador externo  
UFG/Goiânia

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

Rezende Barcelos Martins, Keyla  
**M379e** Efeito de dois genótipos de grãos integrais de sorgo (*Sorghum  
bicolor* L.) e arroz (*Oriza sativa* L.) sobre as propriedades funcionais e  
tecnológicas de macarrão sem glúten de massa seca / Keyla Rezende Barcelos  
Martins. --

Rio Verde. – 2017.  
124 f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal Goiano –  
Câmpus Rio Verde, ano.  
Orientador: Doutora. Mayra C. Peixoto Martins Lima.  
Co-orientadora: Doutora. Mariana Buranelo Egea.

#### Bibliografia

1. *Sorghum bicolor* L. 2. Macarrão. 3. Gluten-free. 4. Alimentos funcionais. 5. Antioxidantes. I. Título.
- II. Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde.

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho ao meu amado esposo Maksione Martins, meus queridos pais Aerre Barcelos e Dirley, meus irmãos Kassyo e Klênny, meu cunhado Maurício, e ao meu adorável sobrinho Álvaro, meus maiores, profundos e verdadeiros amores.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, ao meu Glorioso Deus, por estar comigo todos os dias da peleja, e atender aos meus anseios, agraciando com paciência, alegria e paz no coração.

Ao meu amável esposo, Maksione Martins, pelo amor, incentivo, paciência e companheirismo a mim dedicados, sempre com muita compreensão e carinho.

Aos meus queridos pais Aerre Barcelos e Dirley, pelo estímulo, compreensão e palavras de carinho. Aos meus irmãos Kassyo e Klênya, meu cunhado Maurício e meu amado sobrinho Álvaro, pela compreensão da minha ausência e momentos de descontração, mesmo distantes. À minha família querida, que me auxiliou em todos os momentos e está sempre no meu coração.

À minha orientadora Professora Dr.<sup>a</sup> Mayra Martins por me ensinar aprender a aprender. Muito obrigada!

À minha Co-orientadora Professora Dr.<sup>a</sup> Mariana Egea pela disponibilidade e apoio durante este trabalho.

À empresa de grãos e sementes, pela doação de parte da matéria-prima para realização desta pesquisa, representada pelo Sr. Armando Falcão.

Agradeço ao Prof. Dr. Celso Belisário, pela disponibilidade, paciência e empenho na realização das análises químicas. Muito obrigada!

Ao Instituto Federal Goiano, por propiciar a realização deste trabalho, e aos professores dos Programas de Pós-Graduação que puderam me apoiar no desenvolvimento desta pesquisa.

Aos professores e técnicos responsáveis pelos laboratórios de Tecnologia de Cereais e Derivados, Análise Sensorial de Alimentos, Biotecnologia, Bromatologia e Nutrição Animal, Cultura de Tecidos Vegetais, Física do Solo, Frutas e Hortaliças,

Análise de Alimentos, Microbiologia de Alimentos, Pós-Colheita de Produtos Vegetais, Química Orgânica, Química Tecnológica e à Central Analítica do Campus Rio Verde, pela disponibilidade de equipamentos e apoio.

À minha amiga do mestrado Daiana Vieira, pela companhia, apoio, incentivo, e pela importante ajuda durante o desenvolvimento desta pesquisa, por aprendermos e vencermos juntas.

As colegas de mestrado, Rafaiane e Danielle Maria, pelo aprendizado e risos compartilhados.

Aos muitos colegas da graduação, que sempre contribuíram com esta pesquisa, em especial a Mara Raquel, Janaína Letícia, Samuel, Mayssa, Daiane Peres e Letícia.

Ao grupo da análise sensorial, que fizeram possível a realização desta.

Aos membros da banca, pela disponibilidade e contribuição científica ao avaliarem este trabalho.

À FAPEG, pela concessão da bolsa de estudos.

## **BIOGRAFIA DA AUTORA**

Natural de Barra do Garças - MT, filha de Aerre Ferreira Barcelos e Dirley Rezende Barcelos, Keyla Rezende Barcelos nasceu em 20 de agosto de 1985. Em 2002 concluiu o ensino médio na Escola Estadual Antônio Cristino Côrtes em Barra do Garças – MT. Em fevereiro de 2004, iniciou no curso de graduação em Nutrição no Centro Universitário do Triângulo – UNITRI, em Uberlândia, MG, concluindo em dezembro de 2007. Ingressou no Curso de Pós-graduação *Lato Sensu* em Nutrição Clínica e Esportiva, em 2009, pela Pontífica Universidade Católica, no Centro de Estudo de Enfermagem e Nutrição, Goiânia, Goiás. Em 2012, casou-se com Maksione Mende Martins, passando a se chamar Keyla Rezende Barcelos Martins. Em 2014, foi aluna especial de mestrado de duas disciplinas. Em maio de 2015, ingressou no Curso de Programa de Pós-graduação, *Stricto Sensu*, nível Mestrado Profissional em Tecnologia de Alimentos, pelo Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, Goiás, atuando na linha de pesquisa em Tecnologia e Processamento de Alimentos.

*“Eu não me envergonho de corrigir os meus erros e mudar de opinião, porque não me envergonho de raciocinar e aprender”*  
**Alexandre Herculano**

## ÍNDICE GERAL

	Página
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>2</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>2</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Cereais na alimentação humana.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2. Sorgo .....</b>	<b>8</b>
<b>2.3. Arroz .....</b>	<b>14</b>
<b>2.4. Macarrão .....</b>	<b>15</b>
<b>3 - OBJETIVOS .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1. Objetivo Geral.....</b>	<b>17</b>
<b>3.2. Objetivos Específicos .....</b>	<b>17</b>
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>19</b>
<b>4.1. Material.....</b>	<b>19</b>
<b>4.2. Métodos.....</b>	<b>20</b>
4.2.1. Processamento de grãos .....	20
4.2.2. Análises físicas das farinhas .....	20
4.2.3. Microscopia eletrônica de varredura – MEV .....	21
4.2.4. Propriedades funcionais tecnológicas das farinhas.....	22
4.2.5. Produção de massas alimentícias .....	24
4.2.6. Composição proximal .....	27
4.2.7. Composição fitoquímica .....	28
4.2.8. Análise Microbiológica.....	32
4.2.9. Análise Sensorial .....	32
4.2.10. Análise Estatística.....	33
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>35</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>36</b>
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>2</b>

<b>5.1. ARTIGO 1 - DESENVOLVIMENTO DE FARINHAS DE GRÃOS INTEGRAIS DE SORGO BRANCO, SORGO VERMELHO E ARROZ: CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, FUNCIONAL TECNOLÓGICA, NUTRICIONAL E COMPOSTOS BIOATIVOS.....</b>	<b>43</b>
5.1.1. Introdução .....	45
5.1.2. Material e Métodos .....	46
5.1.3. Resultados e Discussão .....	49
5.1.4. Conclusão.....	63
5.1.5. Referências Bibliográficas.....	64
<b>5.2. ARTIGO 2 - DESENVOLVIMENTO DE MACARRÃO SEM GLÚTEN E RICO EM FIBRAS, À BASE DE FARINHAS DE GRÃOS INTEGRAIS DE SORGO VERMELHO E ARROZ. ....</b>	<b>68</b>
5.2.1. Introdução .....	70
5.2.2. Material e Métodos .....	71
5.2.3. Resultados e Discussão .....	76
5.2.4. Conclusão.....	95
5.2.5. Referências Bibliográficas.....	96
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>99</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>100</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>105</b>

## ÍNDICE DE TABELAS

	<b>Página</b>
<b>Tabela 1.</b> Composição proximal de farinha de sorgo (USDA, 2016) e percentual valores de ingestão diária recomendada (IDR) para uma dieta de 2.000 kcal/dia.....	<b>10</b>
<b>Tabela 2.</b> Planejamento experimental de misturas de farinha de sorgo vermelho (FSV), farinha de sorgo branco (FSB) e farinha de arroz integral (FAI), utilizadas em concentração real (g do componente em 100 g de mistura) e pseudocomponentes para processamento das massas alimentícias.....	<b>25</b>
<b>Tabela 3.</b> Valores médios e desvio padrão da densidade aparente, dos índices de absorção em água (I.A.A.) e óleo (C.A.O.), solubilidade em água (S.A.), atividade emulsificante (A.E.), estabilidade de emulsão (E.E.), capacidade espumante (C.E.) e estabilidade da espuma, em base seca, das farinhas de sorgo vermelho (FSV), sorgo branco (FSB) e arroz integral (FAI). .....	<b>53</b>
<b>Tabela 4.</b> Capacidade de formação de gel das farinhas de sorgo (FSV), sorgo branco (FSB) e arroz integral (FAI). .....	<b>55</b>
<b>Tabela 5.</b> Composição proximal das farinhas de sorgo vermelho (FSV), sorgo branco (FSB) e arroz integral (FAI) em 100g de produto. ....	<b>56</b>
<b>Tabela 6.</b> Valores médios e desvio padrão de minerais em 100g de farinhas de sorgo vermelho (FSV), sorgo branco (FSB) e arroz integral (FAI).....	<b>59</b>
<b>Tabela 7.</b> Valores médios e desvio padrão ( $\pm$ ) da composição fitoquímica das farinhas de sorgo vermelho (FSV), sorgo branco (FSB) e arroz integral (FAI) das análises de atividade antioxidante por DPPH e ABTS, fenólicos totais, flavonoides totais, antocianinas totais e carotenoides totais. ....	<b>61</b>
<b>Tabela 8.</b> Valores médios e desvio padrão das coordenadas de cor em farinhas de sorgo vermelho (FSV), sorgo branco (FSB) e arroz integral (FAI).....	<b>63</b>

<b>Tabela 9.</b> Planejamento experimental de misturas de farinha de sorgo vermelho (FSV), farinha de sorgo branco (FSB) e farinha de arroz integral (FAI), utilizadas em concentração real (g do componente em 100g de mistura) e pseudocomponentes para processamento das massas alimentícias.....	<b>72</b>
<b>Tabela 10.</b> Tempo ótimo de cozimento (TOC), ganho de massa (GM), perda de sólidos (PS) e flavonoides totais (FLA) das formulações experimentais propostas pelo planejamento experimental para misturas simplex centroide em função da concentração de farinha de sorgo vermelho (FSV), farinha de sorgo branco (FSB) e farinha de arroz integral (FAI).....	<b>78</b>
<b>Tabela 11.</b> Equações, valor-p, coeficientes de determinação experimental ( $R^2$ ) e coeficientes de determinação ajustados ( $R^2_{aj}$ ) das modelagens matemáticas obtidas para propriedades tecnológicas de tempo ótimo de cozimento (TOC), perda de sólidos (PS), ganho de massa (GM) e, para o teor de flavonoides totais (FLA) em função das diferentes concentrações de farinha de sorgo vermelho (FSV), farinha de sorgo branco (FSB) e farinha de arroz integral (FAI) das massas alimentícias experimentais.....	<b>82</b>
<b>Tabela 12.</b> Valores observados experimentalmente e valores preditos pelo modelos matemáticos para os experimentos de validação das propriedades tecnológicas de tempo ótimo de cozimento (TOC), ganho de massa (GM), perda de sólidos (PS) e, para flavonoides totais (FLA).....	<b>82</b>
<b>Tabela 13.</b> Valores médios e desvio padrão ( $\pm$ ) de teor de flavonoides e de qualidade do macarrão otimizado (MO) _ 75% farinha de sorgo vermelho+25% farinha de arroz integral.....	<b>87</b>
<b>Tabela 14.</b> Valores médios e desvio padrão ( $\pm$ ) da composição nutricional (macronutrientes e minerais) em 100g do macarrão otimizado (MO) cru, constituído por 75% farinha de sorgo vermelho e 25% farinha de arroz integral. ....	<b>89</b>
<b>Tabela 15.</b> Valores médios e desvio padrão ( $\pm$ ) da composição fitoquímica do macarrão otimizado (MO), sem cozimento – 75% farinha de sorgo vermelho+25% farinha de arroz integral, quanto a atividade antioxidante por DPPH e ABTS, fenólicos totais, flavonoides totais. ....	<b>91</b>
<b>Tabela 16.</b> Valores médios e desvio padrão ( $\pm$ ) dos parâmetros de cor do macarrão otimizado (MO), sem cozimento _ 75% farinha de sorgo vermelho+25% farinha de arroz integral.....	<b>93</b>

<b>Tabela 17.</b> Análise microbiológica do macarrão otimizado (MO) – 75% farinha de sorgo vermelho+25% farinha de arroz integral. ....	<b>93</b>
---	-----------

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>Figura 1.</b> Estrutura do grão de sorgo. ....	<b>6</b>
<b>Figura 2.</b> Plantação de diferentes cultivares de sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> ). ....	<b>11</b>
<b>Figura 3.</b> (A) Sorgo vermelho – <i>Buster</i> . (B) Sorgo branco – <i>Alvo</i> . ....	<b>11</b>
<b>Figura 4.</b> Compostos fenólicos divididos classes e subclasses. ....	<b>12</b>
<b>Figura 5.</b> Grãos integrais de arroz (A), Sorgo branco (B), Sorgo vermelho (C). ...	<b>19</b>
<b>Figura 6.</b> Cilindro modelador de macarrão das amostras experimentais. ....	<b>26</b>
<b>Figura 7.</b> Farinhas de grãos integrais (A), sorgo branco (B) e sorgo vermelho (C). ....	<b>49</b>
<b>Figura 8.</b> Histograma da frequência retida de farinhas de sorgo vermelho (FSV), sorgo branco (FSB) e arroz integral (FAI). ....	<b>50</b>
<b>Figura 9.</b> Micrografia do amido de farinhas integrais de sorgo vermelho (FSV), sorgo branco (FSB) e arroz integral (FAI), com ampliações de 500 x e 3000 x, respectivamente. ....	<b>52</b>
<b>Figura 10.</b> Formulações experimentais de massas alimentícias secas obtidas a partir do delineamento de misturas de FSV, FSB e FAI. (F1) 100% FSV. (F2) 100% FSB, (F3) 100% FAI. (F4) 50% FSV + 50% FSB. (F5) 50% FSV + 50% FAI. (F6) 50% FSB + 50% FAI. (F7) 33,3% FSV+ 33,3% FSB + 33,3% FAI. (F8) 66,7% FSV + 16,6% FSB + 16,6% FAI. (F9) 16,6%FSV + 66,7% FSB + 16,6% FAI. (F10) 16,6% FSV + 16,6% FSB + 66,7% FAI. ....	<b>77</b>
<b>Figura 11.</b> Curvas de níveis respostas relativas (A) tempo ótimo de cozimento, (B) ganho de massa, (C) perda de sólidos e (D) flavonoides, em função das diferentes concentrações de farinha de sorgo vermelho (FSV), farinha de sorgo branco (FSB) e farinha de arroz integral (FAI) das massas alimentícias experimentais. ....	<b>83</b>

<b>Figura 12.</b> Perfis para valores previstos e desejabilidade para propriedades tecnológicas de tempo ótimo de cozimento (TOC), índice de absorção de água (IAA), perda de sólidos (PS) e teores de flavonoides (FLAV). .....	<b>86</b>
<b>Figura 13.</b> Macarrão otimizado (MO) _ 75% farinha de sorgo vermelho+25% farinha de arroz integral. ....	<b>87</b>
<b>Figura 14.</b> Comparação dos amidos de farinhas integrais de sorgo vermelho (FSV) e arroz integral (FAI), aos amidos da formulação otimizada (MO), por meio de micrografias, com ampliações de 500 x e 3000 x, respectivamente. ....	<b>88</b>
<b>Figura 15.</b> (A) Aceitação sensorial do macarrão otimizado (MO), constituído por 75% farinha de sorgo vermelho e 25% farinha de arroz integral para os parâmetros de aparência, aroma, textura e sabor. (B) Teste de intenção de compra do macarrão otimizado.....	<b>94</b>

## ÍNDICE DE EQUAÇÕES

	<b>Página</b>
<b>Equação 1.</b> Cálculo da saturação da cor Chroma.....	<b>22</b>
<b>Equação 2.</b> Cálculo da tonalidade cromática Hue .....	<b>22</b>
<b>Equação 3.</b> Cálculo do índice de absorção de água .....	<b>23</b>
<b>Equação 4.</b> Cálculo da solubilidade em água.....	<b>24</b>
<b>Equação 5.</b> Cálculo da capacidade de absorção de óleo .....	<b>24</b>
<b>Equação 6.</b> Cálculo do aumento percentual de volume .....	<b>24</b>
<b>Equação 7.</b> Cálculo da atividade emulsificante .....	<b>24</b>
<b>Equação 8.</b> Cálculo da estabilidade da emulsão .....	<b>25</b>
<b>Equação 9.</b> Cálculo de carotenoides totais.....	<b>33</b>

## ÍNDICE DE APÊNDICES E ANEXOS

	<b>Página</b>
<b>APÊNDICE A.</b> Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) .....	<b>100</b>
<b>APÊNDICE B.</b> Ficha de avaliação da análise sensorial aceitação e intenção de compra.....	<b>103</b>
<b>ANEXO A.</b> Análise de variância do modelo para tempo ótimo de cozimento, contendo significância do erro total, erro puro e erro total ajustado. ....	<b>105</b>
<b>ANEXO B.</b> Análise de variância do modelo para ganho de massa, contendo significância do erro total, erro puro e erro total ajustado. ....	<b>105</b>
<b>ANEXO C.</b> Análise de variância do modelo para perda de sólidos, contendo significância do erro total, erro puro e erro total ajustado. ....	<b>105</b>
<b>ANEXO D.</b> Análise de variância do modelo para teor de flavonoides, contendo significância do erro total, erro puro e erro total ajustado. ....	<b>106</b>

## LISTA SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

<b>°C</b>	Graus Célsius
<b>µm</b>	Micrómetro
<b>a*</b>	Cromaticidade verde-vermelho
<b>AACC</b>	American Association of Cereal Chemistry
<b>ABTS</b>	(2,2'-azinobis (-6-sulfônico 3-etilbenzotiazolina ácido))
<b>AE</b>	Atividade emulsificante
<b>ANVISA</b>	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
<b>AOAC</b>	Official Methods of Analysis of The Association of Official Analytical Chemists
<b>βC</b>	Betacaroteno
<b>b*</b>	Cromaticidade azul-amarelo (adimensional)
<b>BHT</b>	(2.6-ditert-butil-4-metil fenol)
<b>c*</b>	Chroma (adimensional)
<b>Ca</b>	Cálcio
<b>CAA</b>	Capacidade de absorção em água
<b>CE</b>	Capacidade espumante
<b>CAO</b>	Capacidade de absorção de óleo
<b>CEP</b>	Comitê de Ética em Pesquisa
<b>CIELab</b>	Espaço psicométrico
<b>CMC</b>	Carboximetilcelulose
<b>CONAB</b>	Companhia Nacional de Abastecimento
<b>DC</b>	Doença celíaca
<b>DCNT</b>	Doenças crônicas não transmissíveis
<b>DPPH</b>	(1,1-difenil-2-picril-hidrazila)
<b>DRI</b>	Deitar Reference Intakes
<b>EE</b>	Estabilidade da emulsão
<b>F1</b>	Formulação 1
<b>F2</b>	Formulação 2
<b>F3</b>	Formulação 3
<b>F4</b>	Formulação 4
<b>F5</b>	Formulação 5
<b>F6</b>	Formulação 6
<b>F7</b>	Formulação 7
<b>F8</b>	Formulação 8
<b>F9</b>	Formulação 9

<b>F10</b>	Formulação 10
<b>FAI</b>	Farinha de arroz integral
<b>Fe</b>	Ferro
<b>FLA</b>	Flavonoides
<b>FSB</b>	Farinha de sorgo branco
<b>FSV</b>	Farinha de sorgo vermelho
<b>g</b>	Gramas
<b>g/dia</b>	Gramas por dia
<b>g/g</b>	Gramas por gramas
<b>GAE</b>	Equivalente de ácido gálico
<b>GF</b>	Glúten free
<b>GM</b>	Ganho de massa
<b>h</b>	Hue
<b>HDL</b>	High Density Lipoprotein
<b>IDR</b>	Ingestão diária recomendada
<b>ISO</b>	Organização internacional de normalização
<b>K</b>	Potássio
<b>Kcal</b>	Quilocaloria
<b>L*</b>	Luminosidade
<b>LUT</b>	Luteolinidina
<b>Mg</b>	Magnésio
<b>MAPA</b>	Ministério de agricultura e agropecuária
<b>MEV</b>	Microscopia eletrônica de varredura
<b>mg/dia</b>	Miligramas por dia
<b>mL</b>	Mililitro
<b>mm</b>	Milímetro
<b>Mn</b>	Manganês
<b>MO</b>	Macarrão Otimizado
<b>NaCl</b>	Cloreto de Sódio
<b>OMS</b>	Organização mundial da saúde
<b>p</b>	Probabilidade de significância
<b>P</b>	Fósforo
<b>PS</b>	Perda de sólidos
<b>R2</b>	Coefficiente de determinação
<b>Raj2</b>	Coefficiente ajustado de determinação
<b>RDC</b>	Resolução da diretoria colegiada
<b>AS</b>	Solubilidade em água
<b>TACO</b>	Tabela brasileira de composição de alimentos
<b>TE</b>	Equivalente de Trolox
<b>TOC</b>	Tempo ótimo de cozimento
<b>Zn</b>	Zinco
<b>USDA</b>	United States Department of Agriculture

## RESUMO

O sorgo, cereal em destaque na produção mundial, é base alimentar para milhões de pessoas em diversos países. Além de possuir composição fitoquímica interessante para manutenção do bem-estar do indivíduo saudável, o sorgo é isento de glúten, e tem potencial para ser usado como uma alternativa à farinha de trigo no mercado para celíacos. Este trabalho buscou investigar a potencialidade do sorgo com relação a produção massa alimentícia sem glúten a partir de farinhas de grãos integrais de duas cultivares de sorgo (vermelho e branco) e farinha de arroz, bem como, avaliar o efeito dos grãos estudados sobre às propriedades funcionais tecnológicas, nutricionais e, características fitoquímicas das farinhas e massas alimentícias produzidas. Foram produzidas farinhas de grãos integrais de sorgo vermelho, branco e arroz, e análises de composição nutricional mostraram que as farinhas de sorgo integral apresentaram elevados teores de fibras alimentares e altas concentrações de K, P, Mg, Fe e Zn. A composição fitoquímica das farinhas foi determinada e a farinha de grãos integrais de sorgo vermelho obteve resultados superiores as demais farinhas, exibindo, consideravelmente, maior conteúdo de compostos bioativos (fenólicos totais, flavonoides totais, antocianinas totais e carotenoides totais). As farinhas desenvolvidas apresentaram características tecnológicas que viabilizam sua utilização na indústria alimentícia para serem aplicadas em novos produtos sem glúten de diferentes sistemas alimentares, como massas alimentícias. Estas, foram elaboradas através de um planejamento experimental de misturas das farinhas produzidas, em diferentes proporções, e adicionadas de goma Xantana, e observou-se que é possível produzir massas alimentícias sem glúten, a partir de farinhas de grãos integrais de sorgo e arroz com boa qualidade tecnológica de cozimento. Executou-se teste de desejabilidade para obtenção de massa alimentícia otimizada, que exibiu melhores valores de qualidade tecnológicos e de flavonoides, além de apresentar considerável aporte nutricional, sendo rica em fibras e minerais, com teores de fitoquímicos interessantes, e aceita sensorialmente, evidenciando a aplicação do sorgo em alimentos sem glúten, bem como em adição na constituição de produtos alimentícios, elevando o teor nutricional e favorecendo a saúde humana.

**Palavras-chaves:** *Sorghum bicolor* L., antioxidantes, alimentos funcionais, macarrão sem glúten.

## ABSTRACT

Sorghum, a major cereal in world production, is the food base for millions of people in many countries. In addition to having an interesting phytochemical composition for maintaining the healthy individual's well-being, sorghum is gluten-free, and has potential to be used as an alternative to wheat flour on the market for coeliacs. The objective of this work was to investigate the potential of sorghum in relation to the production of gluten - free pasta from whole grains of two sorghum cultivars (red and white) and rice flour, as well as to evaluate the effect of the grains studied on the properties functional, nutritional and phytochemical characteristics of flours and pasta produced. Flour of whole grains of red, white and rice sorghum, and analyzes of nutritional composition showed that whole sorghum flour presented high levels of dietary fiber and high concentrations of K, P, Mg, Fe and Zn. The phytochemical composition of the flours was determined and the red sorghum whole meal obtained results superior to the other flours, exhibiting a considerably higher content of bioactive compounds (total phenolics, total flavonoids, total anthocyanins and total carotenoids). The flours developed presented technological characteristics that allow their use in the food industry to be applied in new gluten-free products from different food systems, such as pasta. These were elaborated through an experimental design of mixtures of flours produced in different proportions and added with Xanthan gum, and it was observed that it is possible to produce gluten-free pasta from whole grain sorghum and rice flours with good technological quality of cooking. It was performed a desirability test to obtain optimum pasta, which exhibited better technological and flavonoid quality values, besides presenting a considerable nutritional contribution, being rich in fibers and minerals, with interesting phytochemical contents, and accepting sensorially, evidencing the application of sorghum in gluten-free foods, as well as in addition to the constitution of foodstuffs, raising the nutritional content and promoting human health.

**Key words:** *Sorghum bicolor* L., antioxidants, functional foods, gluten-free pasta.

# **CAPÍTULO I**

## 1. INTRODUÇÃO

Os cereais são a fonte de alimentos mais importante para o consumo humano, fornecendo, para cada pessoa, pelos menos 1000 kcal diárias através da dieta, em todo o mundo (FAO, 2014).

Existe relação de consumo de cereais integrais com a redução da incidência de doenças crônicas não transmissíveis (DCNT), como diabetes (YE *et al.*, 2012; MUNTER *et al.*, 2007), doenças cardiovasculares (MELLEN *et al.*, 2008 e YE *et al.*, 2012), hipercolesterolemia, síndrome metabólica e câncer (AUNE *et al.*, 2011). Isto está relacionado a composição nutricional destes grãos, pois podem conter teores importantes de fibras dietéticas, minerais, vitaminas e antioxidantes (KHAN *et al.*, 2014; QUEIROZ *et al.*, 2015).

A maior parte dos cereais contém glúten, e existe grande demanda por produtos isentos deste pela necessidade de indivíduos que possuem a doença celíaca (DC), que é um dos distúrbios alimentares autoimune mais comum em todo o mundo, com uma prevalência média estimada de 1 a 3% da população total (LAMACCHIA *et al.*, 2014), causado pela ingestão de grãos que contêm glúten, como trigo, aveia, centeio, cevada e de seus derivados, em indivíduos geneticamente susceptíveis a intolerância deste componente dos grãos (WINGER *et al.*, 2014). No entanto, até o momento, a dieta sem glúten e cereais que são naturalmente isentos deste, como arroz, milho e sorgo, é o único tratamento para pacientes afetados pela Doença Celíaca (O'SHEA *et al.*, 2014).

Com base no mercado, pelo crescente interesse dos consumidores por alimentos que façam alegação a saúde ou para fins especiais, existe claramente a necessidade de variar tradições e hábitos alimentares, levando em conta a introdução de produtos saudáveis de diferentes cereais (HEINIO *et al.*, 2016).

O sorgo (*Sorghum bicolor* L.) é um cereal sem glúten, de intenso cultivo mundial, tem sido utilizado como alimento básico de mais de 500 milhões de pessoas que vivem em países em desenvolvimento, principalmente na África e na Ásia. Nesses países, o cereal chega a suprir 70 % da ingestão calórica diária tendo, dessa forma, papel fundamental na segurança alimentar (QUEIROZ *et al.*, 2009; FAO, 2015).

Além da possibilidade de desenvolvimento de produtos com elevado teor nutricional, o sorgo possui compostos bioativos, como fenólicos e fibras alimentares, os quais podem promover efeito protetor contra doenças crônicas não transmissíveis (DCNT) associadas ao estresse oxidativo, como a obesidade, o diabetes, as dislipidemias, as doenças cardiovasculares, o câncer e a hipertensão (KHAN *et al.*, 2014; QUEIROZ *et al.*, 2015; MOREIRA *et al.*, 2011). Apresenta grande potencial no mercado de alimentos e bebidas isentos desta rede de proteínas (WINGER *et al.*, 2014). Com isto, o sorgo é importante na nutrição humana, sendo tolerado por pacientes com Doença Celíaca (AWIKA, *et al.*, 2005; TAYLOR, *et al.*, 2006; KHAN *et al.*, 2014; WINGER *et al.*, 2014).

O arroz (*Oriza sativa* L.) é a terceira cultura cerealífera do mundo e fonte energética para mais da metade da população mundial, e compõe o hábito alimentar da população brasileira. Isto está relacionado a sua composição nutricional, além de ser um grão isento de glúten, (CONAB, 2015), utilizado com frequência na indústria de alimentos para celíacos como matéria-prima em alimentos para fins especiais.

Segundo a Associação dos Celíacos do Brasil (ACELBRA, 2015), é limitada a disponibilidade de alimentos para indivíduos celíacos brasileiros, sendo o país grande produtor de grãos isentos de glúten, entre eles, o sorgo. Esta mesma associação afirma que o macarrão sem glúten é um dos principais produtos que celíacos gostariam de encontrar disponíveis para compra. Este, é um produto alimentício popular em todo o mundo, sendo o segundo mais consumido depois do pão, e é utilizado como um alimento básico em muitos países.

Sendo o sorgo um cereal isento de glúten e o Brasil importante produtor de sorgo e consumidor de massas alimentícias, vê-se a oportunidade de explorar o potencial deste grão como alimento integral e sem glúten, fonte de compostos bioativos, como ferramenta para contribuir com a segurança alimentar e nutricional dos indivíduos celíaco e população em geral.

Para este trabalho, foi realizado um estudo das características funcionais tecnológicas das farinhas de grãos integrais de sorgo branco (*Alvo*), sorgo vermelho

(*Buster*), sem tanino, e arroz, e igualmente para massas obtidas através de um planejamento de dez (10) misturas de farinhas de grãos integrais de sorgo branco, sorgo vermelho e arroz. Foram quantificados também os teores de flavonoides para as dez (10) formulações processadas. Análise de composição nutricional, características físicas, atividade antioxidante pelos métodos DPPH e ABTS, fenólicos totais, flavonoides totais, antocianinas totais e carotenoides totais foram realizadas nas farinhas e na formulação otimizada, bem como, a avaliação sensorial da massa desejável.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

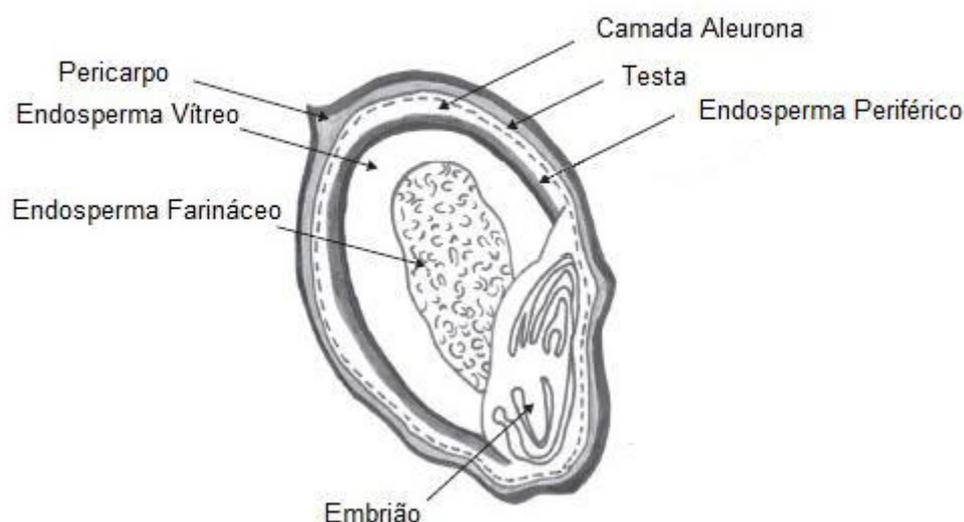
### 2.1 Cereais na alimentação humana

Alimentos à base de cereais apresentam potencial para serem explorados, uma vez que são amplamente consumidos em todo o mundo (AWIKA *et al.*, 2005). Entre os cereais mais importantes estão o trigo, arroz, milho, sorgo, aveia, centeio, cevada, milheto e tricalhe (SLAVIN, 2004).

Em todos os grãos de cereais, as principais fontes de energia são carboidratos, proteína e, em menor abundância, os lipídeos. Grãos também podem conter teores importantes de fibras alimentares, minerais, vitaminas e fitoquímicos (KHAN *et al.*, 2014; QUEIROZ *et al.*, 2015), em maior quantidade nos cereais integrais. Os tipos e os números relativos destes nutrientes podem variar em diferentes grãos. O que é comum a todos os grãos, é a necessidade de processamento, moagem e / ou cozimento, antes do consumo (POUTANEN *et al.*, 2004).

A Associação Americana de Química de Cereais (1999) define como grãos integrais quando estes são compostos por seus principais componentes botânicos (endosperma, o germe e a casca), podendo ser grãos intactos, quebrados, moídos ou em flocos, mas que contenham a mesma proporção de seus constituintes botânicos em relação ao cereal intacto. A Figura 1 demonstra a estrutura de um grão integral de sorgo.

Desde a década de 1970, é crescente a procura e o consumo por grãos integrais e/ou alimentos integrais pois há maior compreensão da importância destes sobre sua composição em fibra alimentar, micronutrientes e fitoquímicos em relação aos efeitos protetores a saúde humana (HENIO *et al.*, 2015). Numerosos estudos epidemiológicos apontam que o consumo de alimentos que contenham cereais integrais reduz o risco de doenças crônicas não transmissíveis (Ye *et al.*, 2012).



**Figura 1.** Estrutura do grão de sorgo.  
FONTE: ARENDT e ZANNINI (2013).

Por existir evidências científicas relacionadas ao consumo de cereais integrais com consequente redução da incidência de doenças crônicas não transmissíveis, como diabetes (YE *et al.*, 2012 e de MUNTER *et al.*, 2007), doenças cardiovasculares, sobrepeso (MELLEN *et al.*, 2008 e YE *et al.*, 2012), hipercolesterolemia, síndrome metabólica e câncer (AUNE *et al.*, 2011), estes grãos têm atraído cada vez mais os pesquisadores pois, além de teores interessantes de fibras alimentares, possuem elevados teores de diversos compostos bioativos presentes nestes alimentos, contribuindo também como fator protetor a saúde (FARRAR *et al.*, 2008).

Embora os cereais sejam grandes fontes de nutrientes, beneficiando grande parte da população, há prevalência de alergias alimentares a determinadas proteínas, a gliadina e a glutenina, que formam o glúten, constituinte do trigo, centeio, cevada e aveia, perfazendo 1 a 3% da população mundial intolerantes a este componente dos grãos (GILISSEN *et al.*, 2014).

O consumo de glúten está associado a alguns distúrbios mediados pela imunidade, caracterizando-se a Doença Celíaca (DC). Para os portadores de DC, os constituintes do glúten são tóxicos. O glúten pertence a uma família de proteínas denominadas gliadinas, e estas proteínas não são digeridas pelas proteases presentes no trato gastrointestinal humano, ocasionando a permanência das mesmas no lúmen intestinal após a ingestão do glúten. Desta forma, os peptídeos que compõem as proteínas, atravessam a barreira epitelial, podendo ocasionar reações inflamatórias em indivíduos acometidos pela doença celíaca (GREEN e CELLIER, 2007).

As proteínas que constituem o glúten representam entre 70% e 80% do teor de proteína total do grão, caracterizando-se como importantes substâncias de armazenamento dos grãos. Além disso, o glúten apresenta propriedades funcionais tecnológicas únicas, por consequência é encontrado em diversos alimentos básicos na dieta ocidental (RZYCHON *et al.*, 2017).

A doença celíaca é caracterizada pela intolerância ao glúten, é uma enteropatia autoimune que apresenta ausência de sintomas gastrointestinais ou não, com anormalidades bioquímicas que cessam com a retirada de alimentos isentos de glúten em indivíduos geneticamente predispostos (WINGER *et al.*, 2014). Estes pacientes enfrentam dificuldades de acesso de variados alimentos sem glúten, tendo como consequência uma situação de risco nutricional. No entanto, até o momento, a dieta sem glúten e cereais que são naturalmente isentos de glúten, como arroz, milho e sorgo, é o único tratamento para pacientes afetados pela intolerância/sensibilidade ao glúten (O'SHEA, *et al.*, 2014).

Com base no mercado, pelo crescente interesse dos consumidores por alimentos que façam alegação a saúde ou para fins especiais, entre as culturas, existe claramente a necessidade de variar tradições e hábitos alimentares, levando em conta a introdução de produtos de diferentes cereais integrais (HEINIO *et al.*, 2016).

Comumente, a indústria de alimentos pouco explora a utilização de grãos integrais de sorgo e de arroz para produção de alimentos isentos de glúten, que também constituem elevados teores de fitoquímicos. Sendo importante ferramenta que colabora com a saúde pública, a utilização de cereais integrais e sem glúten na alimentação para celíacos também contribui para a segurança alimentar e nutricional de indivíduos intolerantes e produção sustentável de alimentos.

## 2.2. Sorgo

O sorgo granífero (*Sorghum Bicolor*) é o quinto cereal mais produzido no mundo, superado apenas pelo arroz, trigo, milho e cevada. Supostamente originado no Nordeste da África, somente a partir do século XIX foi expandido para outras regiões (FAO, 2014).

Base alimentar de mais de 500 milhões de pessoas em mais de 30 países, somente arroz, trigo, milho e batata ultrapassam o sorgo granífero em relação a quantidade de alimento consumido mundialmente (EMBRAPA, 2011). É um grão bastante versátil, podendo ser utilizado tanto na alimentação humana como na alimentação animal, servindo de matéria-prima para a produção biocombustíveis, amido, farinha, cera, bebidas alcoólicas, óleo comestível, ração, forragem e mais vários produtos, dependendo do grau de industrialização a que ele seja submetido (IBGE, 2015).

Cereal da família Poaceae, o sorgo é uma planta tropical e, por isso, possui capacidade de crescer em regiões semiáridas e tropicais, resistindo muito bem a deficiências hídricas nestas áreas e pode tolerar oscilações extremas de temperaturas, em que a produtividade de outros cereais é antieconômica, sendo esta uma característica superior aos outros cereais (DICKO *et al.*, 2006; EMBRAPA, 2011), como por exemplo a cultura do milho, e ainda com preço 20% menor e custos de produção parecidos (EMBRAPA, 2011). Esta propriedade contribui para que tenha elevado consumo mundial e ser o alimento básico da maioria das pessoas em situação de risco nutricional, como na África e Ásia (DICKO *et al.*, 2006).

A produtividade mundial do sorgo para 2016/17 é estimada em 64,11 milhões de toneladas, prevendo aumento 7,01% em relação à produção global de sorgo do ano de 2015/2016. Dentre os países produtores de sorgo granífero os maiores, em 2016, foram os EUA, México e Nigéria, e entre os consumidores principais, no mesmo ano, estão a Argentina, Sudão e Brasil (USDA, 2016).

A previsão de produção de sorgo para safra de 2016/2017 é de, aproximadamente, 1,87 milhão de toneladas no Brasil, em aproximadamente 634,1 mil hectares plantados, com um rendimento médio de 2.952 kg/há (CONAB, 2016). O Brasil foi o décimo país em produção de sorgo (USDA, 2016), sendo que o Centro-

Oeste é o segundo principal centro produtor deste grão, com perspectiva de 952,9 mil toneladas de produção para a safra de 2016/2017 (CONAB, 2016). O estado de Goiás lidera a produção nacional com 805,4 mil toneladas. Segundo o IBGE, em 2015, o rendimento médio do sorgo em Rio Verde – GO foi de 4,200 kg/ha (IBGE, 2016).

No Brasil, bem como nos Estados Unidos e Austrália, o sorgo é empregado principalmente na produção de ração animal. No entanto, em países da África, Ásia e outras regiões semiáridas do mundo, este cereal é utilizado para consumo humano (ANUNCIACÃO *et al.*, 2017).

Praticamente não há consumo de sorgo na alimentação humana no Brasil. A produção deste grão no país é realizada somente quando o produtor já tem o destino certo da sua colheita, ou seja, o produtor planta sorgo para consumo no seu estabelecimento, ou tem contrato de entrega para alguma processadora de alimento animal (EMBRAPA, 2011).

O sorgo é um grão livre de glúten e com grande potencial no mercado de alimentos e bebidas isentos desta rede de proteínas (WINGER *et al.*, 2014), e pode ser uma alternativa para substituir cereais convencionais, é um alimento que apresenta potencial sensorial e funcional (ANUNCIACÃO *et al.*, 2017).

Segundo a Associação dos Celíacos do Brasil (ACELBRA, 2015), é limitada a disponibilidade de alimentos para indivíduos celíacos brasileiros, sendo o Brasil grande produtor de grãos isentos de glúten, entre eles, o sorgo, que é consumido como alimento básico em pelo menos trinta países (FAO, 2014).

A farinha de sorgo tem sido amplamente estudada para consumo humano e de acordo com pesquisas, pode ser substituída da farinha de trigo em produtos sem glúten, como bolos, cereais matinais, pães, tortilhas, biscoitos e massas (SCHOBER *et al.*, 2005; SCHOBER *et al.*, 2007; WINGER *et al.*, 2014; QUEIROZ, 2015; FERREIRA *et al.*, 2016), e, ainda segundo relatado por Taylor *et al.* (2006) e Queiroz (2015), apesar de seu consumo estar em expansão em todo mundo, a cultura do sorgo ainda não atingiu o seu potencial produtivo.

O sorgo possui composição nutricional interessante, constituído por consideráveis teores de amido resistente, vitaminas e minerais (AWIKA, J. M.; MCDONOUGH, C. M.; ROONEY, 2005; TAYLOR, SCHOBER, e BEAN, 2006; KHAN *et al.*, 2014; WINGER *et al.*, 2014), podendo ser alimento fonte de minerais como o Fe, Mg, P, Cu, Zn, Se, e de fibra alimentar, conforme exposto na Tabela 1. De acordo com Brasil (2012), 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 100 g de alimento sólido ou líquido. Para que seja considerado com alto teor de fibras, o alimento deve conter pelo menos 6 g de fibras em 100 g de alimento sólido ou líquido.

**Tabela 1.** Composição proximal de farinha de sorgo (USDA, 2016) e percentual valores de ingestão diária recomendada (IDR) para uma dieta de 2.000 kcal/dia.

<b>Nutrientes</b>	<b>Porção de 100g*</b>	<b>IDR (%)**</b>
Água	10,26 g	-
Valor Energético Total	359 kcal	17,95
Proteínas	8,43 g	11,24
Lipídeos	3,34 g	6,07
Cinzas	1,32 g	-
Carboidratos	76,64 g	25,54
Fibra Alimentar Total	6,6 g	26,4
<b>Minerais</b>		
Cálcio	12 mg	1,2
Ferro	3,14 mg	22,42
Mg	123 mg	47,30
P	278 mg	39,71
Zinco	1,63 mg	23,28
Cu	0,253 mg	36,,14
Se	12,2 µg	27,11

\*(USDA, 2016) \*\*(INSTITUTE OF MEDICINE US, 2003).

Os antioxidantes são fitoquímicos bastante apreciados nutricionalmente, pois além de provocar aumento das propriedades sensoriais dos alimentos, tais como cor e sabor, o seu consumo regular pode auxiliar na promoção a saúde, protegendo o organismo de várias doenças crônicas (ROCCHETT *et al.*, 2017).

Em sua composição química, o sorgo exhibe diversos antioxidantes, compostos bioativos importantes para o consumo humano, tais como, carotenoides, taninos em alguns genótipos de sorgo, fenólicos, flavonoides, antocianinas e fitoesteróis (AWIKA, J. M.; MCDONOUGH, C. M.; ROONEY, 2005; TAYLOR, SCHOBER, e BEAN, 2006; KHAN *et al.*, 2014; WINGER *et al.*, 2014; ANUNCIACÃO *et al.*, 2017). Estes compostos exercem diferentes ações, contribuindo para proteção antioxidativa, danos ao DNA, com melhoria do sistema imunológico e modulação hormonal. Esta proteção é vital para a integridade das estruturas celulares e das macromoléculas (CALDER e

KEW, 2002). O sorgo é considerado excelente opção para a indústria de alimentos, com valor agregado (ANUNCIACÃO *et al.*, 2017).

A cor do pericarpo de grãos de sorgo, a apresentação de testa pigmentada (que determina a presença de tanino), espessura do pericarpo e a cor da planta secundária diferem entre si, sendo controlados por fatores genéticos do sorgo, e estão diretamente relacionadas a sua composição fenólica pois este grão tem uma vasta gama de compostos fenólicos concentrados no pericarpo e no farelo, que incluem ácidos fenólicos, flavonoides e taninos condensados, sendo indispensável o consumo do grão, ou farinha deste, integralmente (AWIKA *et al.*, 2004 , DYKES E ROONEY, 2006 e DYKES *et al.*, 2009). Pericarpos de grãos de sorgo possuem ampla variedade de cores (branco, amarelo-limão, bronze, marrom, vermelho, preto) (Figuras 2 e 3), com formas e tamanhos diferentes e há pelo menos 22.000 variedades de sorgo no mundo (DYKES, SEITZ, ROONEY, 2009; WANISKA e ROONEY, 2000).



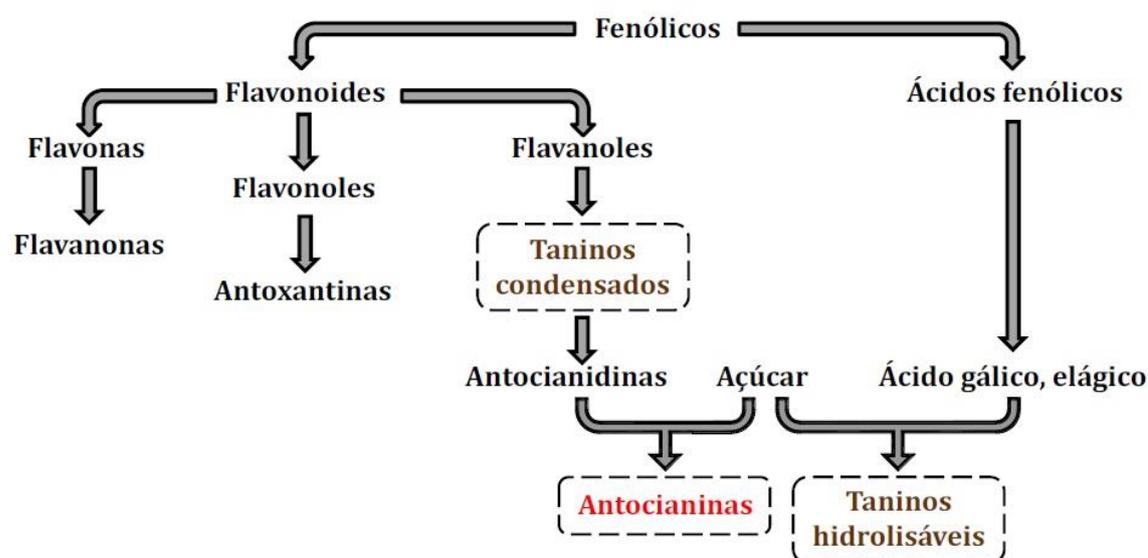
**Figura 2.** Plantação de diferentes cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor*).  
Fonte: Arquivo pessoal (2016).



**Figura 3 -** (A) Sorgo vermelho – *Buster*. (B) Sorgo branco – *Alvo*.  
Fonte: Arquivo pessoal (2016).

Os compostos fenólicos são produtos do metabolismo secundário nas plantas, proporcionando funções essenciais na reprodução e no crescimento das plantas, atuando como mecanismos de defesa contra a radiação ultravioleta, herbívoros, agentes patogênicos e, além de contribuir para a cor das plantas. Através de nossa dieta, este grupo de fitoquímicos pode desempenhar papel importante no combate ao estresse oxidativo no corpo humano, protegendo-o contra Doenças Crônicas Não Transmissíveis (DCNT), pois mantém o equilíbrio entre oxidantes e antioxidantes (HUNG, 2014; ARRANZ e CALIXTO, 2010; LIU, 2004).

O sorgo pigmentado contém antocianinas únicas que podem ser potencialmente utilizadas como corantes alimentares (LIU e LUTHRIA, 2013; DYKES e ROONEY, 2006). A Figura 4 apresenta classes e subclasse dos compostos fenólicos disponíveis nas plantas.



**Figura 4** - Compostos fenólicos divididos classes e subclasses.  
Fonte: Solórzano (2013).

Ácidos fenólicos, hidrobenczóico e hidroxicinamico, que constituem o sorgo apresentam elevada atividade antioxidante *in vitro* podendo colaborar significativamente com efeitos benéficos a saúde, associados ao consumo do grão integral. Em sorgo, as concentrações destes ácidos não são pertinentes com a presença de outros compostos fenólicos como antocianinas e taninos. Comumente os níveis de

ácidos fenólicos do sorgo são semelhantes aos demais cereais (AWIKA e ROONEY, 2004).

Geralmente, o sorgo contém níveis muito mais elevados de flavonoides do que a maioria dos outros cereais ou mesmo frutas e legumes. O tipo e o nível destes fitoquímicos no sorgo modificam conforme a variedade e são controlados por um conjunto de genes documentados (AWIKA *et al.*, 2004; ROONEY, 2000). O gene do grão amarelo encontrado na maioria das variedades de sorgo controla a via Biosintética que leva ao acúmulo de compostos 3-desoxiflavonoides, não encontrado facilmente em quantidades significativas em outros grãos de cereais e, são parcialmente responsáveis pela elevada ação antioxidante e outras propriedades benéficas do sorgo em relação a outros grãos (BOUDDU *et al.*, 2005; AWIKA *et al.*, 2003; SHIH *et al.*, 2007). A composição incomum de flavonoides e seus altos níveis de acúmulo em farelo de sorgo certamente fazem do sorgo um grão interessante para aplicações alimentares saudáveis ou como fonte de compostos bioativos (AWIKA, 2012).

De todos os flavonoides de sorgo a 3-deoxiantocianina é a mais comum, compreendendo as luteolinidinas e apigeninidinas, as quais suas proporções são influenciadas pelos genótipos do sorgo. Há pequena distribuição de 3-deoxiantocianina na natureza e, não está presente em quantidade significativa em outros grãos de cereais ou alimentos, sendo o sorgo a única fonte na qual está presente em grandes quantidades em algumas cultivares (CLIFFORD, 2000). Este composto é responsável pela maior parte da pigmentação vermelha e preta em grãos, caules, folhas e outras estruturas. As 3-deoxiantocianinas são análogas às antocianinas, no entanto, possuem maior estabilidade quando comparadas a estas, encontradas nas frutas e hortaliças, pois diferem na estrutura molecular, sendo a 3-deoxiantocianina desprovida do grupo hidroxila na posição C-3, característica exclusiva do sorgo. Esta estabilidade desperta interesse na indústria de alimentos para usá-las como corantes alimentícios naturais com benefícios nutracêuticos, e possuem propriedades antioxidantes (AWIKA, 2012; DYKES *et al.*, 2009).

Carotenoides são os pigmentos que variam de amarelos a vermelhos, e muito comuns na natureza, também recebem atenção por seus papéis de provitamina e antioxidante. Encontrados em plantas e grãos, estes pigmentos incluem tanto as xantofilas hidroxiladas (luteína, zeaxantina e  $\alpha$ -critoxantina) como as espécies de hidrocarboneto ( $\alpha$ ,  $\beta$ -caroteno e licopeno). Entre as 600 espécies de carotenoides identificadas na natureza (ELLIE *et al.*, 2011), o  $\alpha$ - e  $\beta$ -caroteno, assim como  $\alpha$ -

criptoxantina, possuem um valor nutricional significativo em virtude da atividade da provitamina A (BURRI, 1997), e pode reduzir o risco de doenças cardiovasculares, degeneração macular relacionada com a idade e outros problemas de saúde (PERERA e YEN, 2007). Os pigmentos de carotenoides desempenham importantes funções na fotossíntese e na foto proteção nos tecidos vegetais. Esta foto proteção dos carotenoides é originada pela sua capacidade de extinguir e inativar espécies reativas de oxigênio tais como oxigênio Singleto, formado a partir da exposição da luz e do ar. Este papel foto protetor também está associado com a sua atividade antioxidante na saúde humana (LIU, 2004). Existe um interesse significativo no desenvolvimento de variedades de sorgo de alto teor de carotenoide, adequadas para a produção de alimentos tradicionais para populações em risco de deficiência de vitamina A (ELLIE *et. al*, 2011).

### **2.3. Arroz**

A origem exata do arroz é desconhecida, mas se sabe que pode ter sido originado na Ásia ou África. O arroz (*Oriza sativa* L.) é a terceira cultura cerealífera do mundo, segundo alimento em importância entre os produtos destinados a alimentação humana, pela sua importância alimentar e nutricional. É isento de glúten e fonte energética para mais da metade da população mundial, e compõe o hábito alimentar da população brasileira (CONAB, 2015). Em 2016, a produção mundial foi de 480,13 milhões de toneladas, sendo a China o maior produtor de arroz e o Brasil o nono país no ranking da produção, e maior mercado consumidor do mundo. O Centro-Oeste é a terceira maior região produtora. (USDA, 2016).

O arroz integral contribui com aporte significativo de vitaminas hidrossolúveis, que se encontram concentradas nas camadas mais periféricas do grão, e no gérmen, além de ser rico minerais e fibras e, conforme o genótipo, pode conter diversos fitoquímicos como os compostos fenólicos (NAVES, 2007). Como no sorgo, o conteúdo de ácidos fenólicos pode estar está relacionado a cor, tamanho e peso do grão, controlado por fatores genéticos, variando a distribuição destes em partes botânicas do grão, farelo e casca (YAFANG *et al.*, 2014).

Estudos em seres humanos e em animais mostraram que o consumo de arroz integral reduz o risco de diabetes tipo 2, doenças cardiovasculares e câncer e estes efeitos protetores para a saúde têm sido associados à presença de compostos bioativos como antioxidantes, polifenóis, minerais, vitaminas e fibras dietéticas presentes no farelo de grãos de arroz (KIM *et al.*, 2012; MIR *et al.*, 2016).

O arroz integral é utilizado diretamente como alimento e como matéria-prima da farinha de arroz, que é comum nos produtos alimentares isentos de glúten pela sua propriedade hipoalergênica, baixo teor de proteínas e é rica em carboidratos facilmente digeríveis. É amplamente aplicada em alimentos que fazem alegação a saúde e no mercado para celíacos, portanto, é importante conhecer a composição, distribuição e propriedades funcionais dos fitoquímicos em grãos de arroz integral, uma vez que a maioria dos produtos de cereais sem glúten não contém quantidade suficiente de componentes benéficos para a saúde (SHAO *et al.*, 2014; SCIARINI *et al.*, 2010).

## **2.4. Macarrão**

De acordo com a resolução: RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005 (BRASIL, 2005), massas alimentícias são produtos não fermentados resultantes do processo de empasto e amassamento mecânico da farinha de trigo (*Triticum aestivum* L. e ou de outras espécies do gênero *Triticum* e/ou derivados de trigo durum (*Triticum durum* L.) e/ou derivados de outros cereais, leguminosas, raízes e ou tubérculos, com água, adicionados ou não de outras substâncias permitidas.

Macarrão é um produto alimentício popular em todo o mundo, sendo o segundo mais consumido depois do pão, e é utilizado como um alimento básico em muitos países. Massas convencionais são constituídas de sêmola de trigo como o principal ingrediente (ASTON *et al.*, 2008.) No entanto, estas massas tradicionais não são livres de glúten e, geralmente, não são fontes de fitoquímicos protetores importantes na nutrição humana (CHONG e AZIZ, 2010). De acordo com ACELBRA (2015), o macarrão sem glúten é um dos principais produtos cuja celíacos gostariam de encontrar disponíveis para compra. Em comparação com outros alimentos amiláceos com o pão, a

massa tem efeitos fisiológicos benéficos, incluindo a indução de respostas glicêmicas e insulinêmicas pós-prandiais baixas (ASTON *et al.*, 2008 e BORNET *et al.*, 1989 ).

Massas produzidas a partir de farinha de trigo apresentam alta qualidade de cozimento e mantêm boa textura, são resistentes à desintegração da superfície, com reduzida perda de sólidos na água de cozimento, conservando uma estrutura firme, além de não apresenta superfície pegajosa. Isso está relacionado a constituição da principal proteína formadora de estrutura, o glúten, deste modo, sua ausência em massas sem glúten resulta em problemas tecnológicos e de qualidade (LARROSA *et al.*, 2016; LIU *et al.*, 1996).

Para o melhoramento tecnológicos de massas, pode-se adicionar hidrocolóides as formulações. Este, são polissacáridos não amiláceos, tais como a goma de xantana, a goma de alfarroba, os alginatos e a carboximetilcelulose (CMC) são estabilizadores comuns utilizados na tecnologia alimentar para proporcionar viscosidade, melhorar a firmeza, dando corpo e melhorando sensação na boca ao produto final. Através da sua capacidade de ligar a água, estes podem aumentar a taxa de reidratação da massa ao cozinhar (YU e NGADI, 2004). A goma de xantana e de alfarroba possuem propriedades viscoelásticas muito expressivas e podem ser usadas para imitar as propriedades do glúten e contribuir para formação da textura elástica da massa, contribuindo para a redução de problemas tecnológicos e de qualidade de massas e outros alimentos sem glúten (LARROSA *et al.*, 2013).

## **3 - OBJETIVOS**

### **3.1. Objetivo Geral**

Elaborar farinhas de grãos integrais de duas cultivares de sorgo e arroz e, a partir destas, produzir macarrão de massa seca e sem glúten, bem como, caracterizar as farinhas e avaliar o efeito destes grãos sobre às propriedades funcionais tecnológicas das massas produzidas.

### **3.2. Objetivos Específicos**

- Obter farinhas de grãos integrais de sorgo branco, vermelho e arroz, e determinar a distribuição granulométrica;
- Realizar as análises funcionais tecnológicas das farinhas: índice de absorção de água, capacidade de absorção de água, capacidade de absorção de óleo, capacidade de formação de gel, capacidade de formação de espuma e

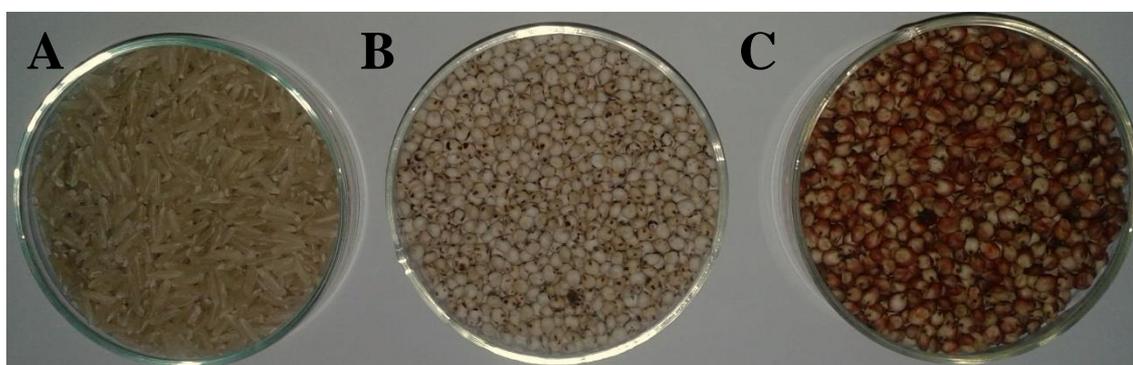
estabilidade de espuma, emulsão e estabilidade de emulsão das farinhas produzidas;

- Analisar as farinhas e o macarrão por microscopia eletrônica de varredura (MEV);
- Elaborar massas alimentícias secas, com diferentes proporções de farinhas de grãos integrais de sorgo e arroz através de um planejamento experimental de misturas simplex-centroide.
- Avaliar efeito das farinhas de grãos integrais de sorgo e arroz sobre as propriedades tecnológicas e teor de flavonoides totais e definir a formulação otimizada;
- Conhecer a composição proximal das farinhas produzidas;
- Caracterizar o perfil mineral das farinhas produzidas e da formulação otimizada da massa;
- Caracterizar e avaliar efeito dos genótipos de sorgo sobre os atributos físico-químicos e químicos das farinhas produzidas e da melhor formulação de massa alimentícia seca elaborada.
- Realizar análise sensorial de aceitabilidade e intenção de compra da formulação otimizada.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Material

As matérias-primas utilizadas para a realização do experimento foram dois (2) genótipos de Sorgo granífero (*Sorghum Bicolor* L. Moench), *Alvo* e *Buster*, com pericarpos branco e vermelho, respectivamente, sem tanino, e arroz integral (*Oriza sativa* L.), conforme Figura 5. As cultivares de sorgo foram produzidas no campo experimental de uma empresa de grãos de sementes, nas proximidades de Rio Verde – GO, colhidas em agosto de 2016 e doadas pela mesma, com umidade padronizada em 6%. O arroz integral utilizado foi adquirido no comércio local de Rio Verde – GO, marca Natural Life/ Kodilar.



**Figura 5** - Grãos integrais de arroz (A), Sorgo branco (B), Sorgo vermelho (C).

## 4.2. Métodos

### 4.2.1. *Processamento de grãos*

Os grãos integrais de sorgo foram limpos manualmente, a fim de remover partículas estranhas. Os grãos de sorgo e arroz foram triturados em macro moinho de facas, tipo Willye (Te-650/1, Piracicaba, SP, Brasil), com peneira *mesh* 30. Todas as farinhas foram processadas as vésperas de serem realizadas as análises e acondicionadas em sacos plásticos de polipropileno, embaladas à vácuo e armazenadas a -18 °C, livres de luz, conforme Khan e colaboradores (2013).

### 4.2.2. *Análises físicas das farinhas*

A granulometria foi determinada conforme método da AACC (1999) com adaptações para aberturas de malha. A classificação granulométrica foi realizada através de um tamisador vibratório eletromagnético (Bertel Ltda, Cadeiras, SP, Brasil), composto por cinco peneiras com aberturas de diferentes diâmetros e o fundo, padrão ABNT, *mesh*, 30, 50, 60, 120 e 300 com respectivas aberturas de malha de 0,5; 0,3; 0,25; 0,125; 0,5  $\mu\text{m}$ . Para cada tratamento, 100 g de farinha foram submetidas à tamisação por 5 minutos, e a quantidade de amostra em cada tamiz foi pesada e calculada a frequência retida e a frequência acumulada, expressas em porcentagem do peso original da amostra.

Após determinação granulométrica foi definido de acordo com o maior rendimento obtido através do peneiramento das farinhas, o diâmetro de partículas a serem analisados e aplicados no produto para este estudo, para então, finalmente serem padronizadas.

A densidade aparente (massa específica) foi determinada pelo ensaio da proveta, através da relação entre a massa e a leitura direta do volume ocupado, expressa em g/mL (AACC, 2000).

A cor foi avaliada instrumentalmente em equipamento eletrônico colorimétrico (ColorFlex EZ/HunterLab®, Reston, VA), ajustado para o iluminante D65 (luz do dia) e ângulo de observação 10°, com precedente calibração, segundo método nº 14-22 conforme sistema CIE L\*a\*b\* (AACC, 2000; CIE, 1996).

Foram definidas no espaço colorimétrico as coordenadas retangulares: L\*, referente a luminosidade do preto (0) ao branco (+100); a\*, cromaticidade do verde (-80) a vermelho (+100); e b\*, cromaticidade do azul (-50) ao amarelo (+70). Também foram determinadas as coordenadas cilíndricas, segundo modelo HSB: saturação da cor Chroma (Equação 1) e tonalidade cromática Hue (Equação 2) (ABNT, 1992).

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad \text{(Equação 1)}$$

$$h = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad \text{(Equação 2)}$$

Em que:

C\*: Chroma (adimensional);

h: Hue (°);

a\*: Cromaticidade verde-vermelho (adimensional);

b\*: Cromaticidade azul-amarelo (adimensional).

#### 4.2.3. Microscopia eletrônica de varredura – MEV

A análise microestrutural foi realizada no Laboratório Multiusuário de Microscopia de Alta Resolução da Universidade Federal de Goiás, através de microscópio eletrônico de varredura eletrônica (JSM-6610/ Jeol®, Peabody, EUA), equipado com EDS, ThermoScientific NSS SpectralImaging. As amostras de FMP

foram previamente desengorduradas por extração em Soxhlet, segundo método nº 925.38 (AOAC, 2000), alocadas em *stubs* de alumínio com fita dupla face, e foram banhadas por um filme ultrafino de ouro (material eletricamente condutivo), permitindo o princípio de funcionamento do MEV, por emissão de feixes de elétrons com voltagem de aceleração de 5 kV por um filamento de tungstênio. As micrografias foram realizadas com aumentos de 30x, 500x e 1.000x.

#### 4.2.4. *Propriedades funcionais tecnológicas das farinhas*

O índice de absorção em água (IAA) das farinhas foi determinado segundo metodologia adaptada de Okezie e Bello (1988). Uma suspensão com 25ml de água e 0,5 g de farinha (base seca) foi preparada em tubos de centrífuga com tampa. Os tubos foram agitados por 1 minuto em agitador de tubos tipo Vortex (Q1-901) e em seguida centrifugados a 5300 rpm por 20 minutos em centrífuga. O líquido sobrenadante foi escorrido cuidadosamente, o material remanescente (farinha úmida) foi pesado e a diferença entre o peso da amostra antes e após a absorção de água representou a quantidade de água absorvida. A medida do índice de absorção de água foi calculada de acordo com a seguinte Equação (3):

$$\text{Índice de absorção de água (IAA)} = \frac{\text{Água absorvida pela amostra (g)}}{\text{Peso da amostra (g)}} \times 100 \quad (\text{Equação 3})$$

A solubilidade em água (SA) foi determinada de acordo com Okezie e Bello (1988). Uma suspensão com 25 mL de água e 0,5 g de farinha (base seca) foi preparada em tubos de centrífuga com tampa. Os tubos foram agitados por 1 minuto em agitador de tubos tipo Vortex (Q1-901) e em seguida centrifugados a 5300 rpm por 20 minutos em centrífuga. O líquido sobrenadante foi escorrido cuidadosamente, em placa de petri previamente tarada e levado à estufa para secagem.

A solubilidade em água foi calculada pela relação entre o peso do resíduo seco do sobrenadante (resíduo de evaporação) e o peso da amostra, conforme a Equação (4):

$$\text{Solubilidade em água (SA)} = \frac{\text{Resíduo da evaporação (g)}}{\text{Peso da mostra (g)}} \times 100 \quad (\text{Equação 4})$$

A capacidade de ligação de óleo foi determinada conforme metodologia descrita por Okezie e Bello (1988), para absorção de água, substituindo a água por óleo de soja. Os resultados foram calculados de acordo com a seguinte Equação (5):

$$\text{Capacidade de absorção de óleo (CAO)} = \frac{\text{Óleo absorvido pela amostra (g)}}{\text{Peso da amostra (g)}} \times 100 \quad (\text{Equação 5})$$

Para análise de capacidade espumante das farinhas 1g de farinha foi agitada com 30 ml de água por 5 minutos em agitador de haste. Este volume foi então transferido para uma proveta de 100 ml e, calculado o aumento percentual do volume com base nos volumes inicial e final de acordo com a Equação 6:

$$\% \text{ Aumento de volume} = \frac{\text{Volume final} - \text{volume inicial}}{\text{Volume inicial}} \times 100 \quad (\text{Equação 6})$$

A estabilidade da espuma foi medida deixando a proveta a temperatura ambiente (25 °C) e observada nos intervalos de 30 minutos (SHEVKANI *et al.*, 2015).

Foram emulsificados em um agitador, 1 g de amostra em 10 ml de água e 10 ml de óleo de soja, e distribuídos em tubos graduados de 15 ml, centrifugados a 3000 rpm por 5 minutos (OGUNWOLU *et al.*, 2009). A atividade emulsificante (AE) foi calculada de acordo com a Equação (7) descrita abaixo:

$$\text{Atividade Emulsificante (AE)} = \frac{\text{Camada emulsificanda (mL)}}{\text{Volume total no tubo (mL)}} \times 100 \quad (\text{Equação 7})$$

Para determinar a estabilidade da emulsão (EE), os tubos foram aquecidos 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. A equação (8) foi utilizada para calcular EE:

(Equação 8)

$$\text{Estabilidade da Emulsão (EE)} = \frac{\text{Camada emulsificada remanescente (mL)}}{\text{Camada emulsificada no tubo (mL)}} \times 100$$

A capacidade de formação de gel das farinhas foi determinada de acordo com metodologia descrita por Coffmann e Garcia (1977). Dispersões de concentrações variadas de amostra (2%, 4%, 6%, 8%, 10%, 12%, 14%, 16%, 18% e 20% p/v) em 20 mL de água foram preparadas em tubos graduados (50 mL), aquecidos a 90 °C (banho-maria por 30 minutos, resfriados a temperatura ambiente e refrigerados a 4 °C por 2 horas. Em seguida os tubos foram vertidos e analisados quanto à formação de gel. Os resultados foram expressos com base na formação de gel a partir da menor concentração da amostra.

#### 4.2.5. Produção de massas alimentícias

As massas alimentícias foram produzidas a partir de um delineamento de misturas das farinhas de grãos integrais de sorgo vermelho, branco e arroz.

##### 4.2.5.1. Delineamento experimental de misturas das farinhas

Foi utilizado um delineamento de misturas (BARROS NETO *et al.*, 2010) para processamento das massas, com a variação das matérias primas: 1 - Farinha sorgo vermelho (FSV); 2- Farinha de sorgo branco (FSB), 3 - Farinha de arroz integral (FAI).

O planejamento experimental de mistura dos teores das farinhas, determinados em diferentes concentrações, foi estabelecido pelo programa Statistica 7.0 (Statsoft, Oklahoma, Tulsa, EUA).

O processamento das massas alimentícias foi realizado de forma inteiramente casualizada, com três repetições para cada formulação.

**Tabela 2** - Planejamento experimental de misturas de farinha de sorgo vermelho (FSV), farinha de sorgo branco (FSB) e farinha de arroz integral (FAI), utilizadas em concentração real (g do componente em 100 g de mistura) e pseudocomponentes para processamento das massas alimentícias.

Experimento	Proporção dos ingredientes na mistura ternária					
	Concentrações Reais (g)			Pseudocomponentes (%)		
	FSV	FSB	FAI	FSV	FSB	FAI
F1	100	0	0	0,10	0	0
F2	0	100	0	0	0,10	0
F3	0	0	100	0	0	0,10
F4	50	50	0	0,50	0,50	0
F5	50	0	50	0,50	0	0,50
F6	0	50	50	0	0,500	0,50
F7	33,33	33,33	33,34	0,33	0,33	0,33
F8	66,8	16,6	16,6	0,10	0	0
F9	16,6	66,8	16,6	0	0,10	0
F10	16,6	16,6	66,8	0	0	0,10

Fonte: StatSoft: 2007.

FSV+FSB+FAI= 100%

#### 4.2.5.2. Processamento de massas alimentícias

Com base em testes preliminares, para o processamento das massas alimentícias, a cada 100g de farinhas foram acrescentados 60-65% de água, 1% de goma Xantana, conforme RDC n°. 45 (BRASIL, 2010), e 1% de NaCl. O amassamento das matérias-primas foi realizado à mão até obter uma massa homogênea, para efetuar a abertura da mesma, em máquina de macarrão caseira (La Cuisine, modelo 177H), do tipo manual. A folha de massa foi cortada em formato *Talharim*, com 15 centímetros de comprimento e

secas em estufa, com circulação de ar, a 50 °C durante 60 min. Em seguida, a temperatura foi elevada a 60 °C e as massas foram desidratada por mais 30 minutos (FERREIRA *et al.*, 2016). Todas as formulações de massas foram acondicionadas em sacos plásticos de polipropileno, armazenadas a -18 °C em freezer, protegidas de luz, até o momento das análises químicas, conforme Khan e colaboradores (2013).



**Figura 6** - Cilindro modelador de macarrão das amostras experimentais.

#### 4.2.5.3. Propriedades tecnológicas das massas alimentícias.

O tempo ótimo de cozimento (TOC) das massas alimentícias foi estabelecido pela cocção de 10 g de amostra em 140 mL de água destilada em ebulição, em placa de aquecimento. O TOC foi determinado pela compressão, entre duas lâminas de vidro, de amostras do produto cozido a cada 30 segundos, depois de 3 minutos de cozimento, conforme método 16-50 da AACC (2000), até a finalização do cozimento.

Determinou-se a perda de sólidos conforme método 66-50 da AACC (2000). Recolheu-se uma alíquota de 25 mL da água de cozimento e evaporou-se em estufa a 105°C até obtenção de peso constante. Os resultados foram expressos em porcentagem.

O ganho de massa foi determinado conforme método 66-50 (AACC, 2000), através da razão entre 10g de amostra antes e após a cocção, utilizando o tempo ótimo de cozimento de cada formulação experimental.

#### 4.2.6. Composição proximal

Foi realizada a composição proximal das farinhas e da formulação otimizada (sem cozimento).

O teor de água (umidade) foi calculado segundo método gravimétrico, em estufa de circulação forçada de ar (Marconi®/MA-035), a 130°C, por duas horas, método nº 925.09 (AOAC, 2000). O resultado foi expresso em g/100 g. O teor de matéria seca foi calculado pela diferença centesimal a partir do teor de umidade, expresso em g/100 g.

As cinzas (matéria mineral) foram determinadas pelo método gravimétrico de incineração em mufla (Quimis®/Q318S), a 550°C, por 5 horas, conforme método nº 923.03 (AOAC, 2000). O resultado foi expresso em g/100 g de matéria seca.

O teor de proteína bruta foi determinado segundo método quantitativo nº 920.87 em destilador micro-Kjeldahl (Tecnal®/TE-0363), a partir do teor de nitrogênio total, com fator de conversão de 5,75 para proteínas vegetais (AOAC, 2000; GREENFIELD & SOUTHGATE, 2003). O resultado foi expresso em g/100 g de matéria seca.

Para a determinação do extrato etéreo, utilizou-se metodologia de extração contínua em aparelho tipo Soxhlet, com uso de solvente orgânico hexano P.A., durante o período de 8 horas de extração, segundo método nº 925.38 (AOAC, 2000). O resultado foi expresso em g/100g de matéria seca.

Os carboidratos totais foram calculados pelo método da diferença da composição centesimal, subtraindo de 100% os teores de cinzas, proteína bruta e extrato etéreo, expresso em g/100 g de matéria seca (SNIFFEN *et al.*, 1992; FAO, 2003).

A partir da determinação da composição centesimal foi estimado o valor energético total, considerando-se os fatores de conversão de Atwater, de 4, 4 e 9 Kcal/g

para proteína, carboidratos e lipídios, respectivamente (OSBORNE e VOOGT, 1978). Os resultados foram expressos em Kcal/100g de matéria seca.

A análise de fibra alimentar foi realizada pelo método nº 985.29 enzimático-gravimétrico, com enzimas amilase, protease e amiloglucosidade, tendo a fração de fibra solúvel na fase aquosa e fibra insolúvel no precipitado, e a somatória caracteriza fibra alimentar total (AOAC, 2005). O resultado foi expresso em g/100 g de matéria seca.

A fração glicídica (glicídios ou carboidratos metabolizáveis) foi calculada pelo método da diferença da composição centesimal, subtraindo de 100% os teores de cinzas, proteína bruta, extrato etéreo e fibra alimentar total, expressa em 100 g de matéria seca (AOAC, 2000).

O perfil mineral foi descrito quanto ao macro e micronutrientes pelo método de digestão ácida nitro-perclórica nº 965.9 (AOAC, 2000; MALAVOLTA *et al.*, 1997). Teores de Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn foram analisados em espectrofotômetro de absorção atômica (GBC<sup>®</sup>); as leituras de B, S e P foram realizadas em espectrofotômetro ultravioleta visível (BEL<sup>®</sup>) e de K em fotômetro de chama (B462/Micronal<sup>®</sup>).

#### 4.2.7. Composição fitoquímica

##### 4.2.7.1. Métodos de extração

Foram preparados extratos das farinhas de sorgo vermelho, sorgo branco, arroz integral e do macarrão otimizado cru para as análises de compostos fenólicos totais, flavonoides, antocianinas e determinação da atividade antioxidante por ABTS (2,2'-azinobis (-6-sulfônico 3-etilbenzotiazolina ácido)) conforme Awika *et al.*, 2005. Sendo assim, 0,5 g de amostra foi adicionada à 10 mL de metanol a 1% HCl, em tubos falcon de 50 mL, e a solução foi agitada em mesa agitadora analógica orbital (SL180-A, Maringá - PR, Brasil) por 2 horas, em baixa velocidade que, em seguida, esta foi centrifugada a 1200 rpm em centrífuga (ITR, 8BTF) por 15 minutos. Realizou-se a filtração da solução utilizando papel de filtro e, a partir desta primeira extração, utilizou-se o resíduo e realizou 2 lavagens com 2 volumes de 10 mL do solvente. A cada

lavagem a solução foi homogeneizada por 5 minutos em agitador de tubos do tipo Vortex (Biomix, QL – 901, Ribeirão preto – SP, Brasil) e centrifugada a 1200 rpm por 10 minutos. Ao final, combinou-se as três alíquotas em tubos falcon de 50 mL envolvidos com papel alumínio para proteção ao abrigo de luz e armazenou a -20°C, até o momento da análise.

A avaliação da atividade antioxidante das farinhas e massa alimentícia otimizada (sem cozimento) foi estabelecida pela capacidade de sequestrar radicais DPPH (1,1-difenil-2-picril-hidrazila), e os extratos para esta avaliação foram preparados conforme método de Singleton e Rossi (1965) com adaptações de Awika *et al.* (2005). Pesou-se 0,5g de amostra de farinhas e macarrão otimizado sem cozimento, em tubos falcon de 50 mL e adicionou-se 10 mL de metanol 70 % acidificado com 1% HCl, e a solução foi agitada em mesa agitadora analógica orbital (SL180-A, Maringá - PR, Brasil) por 2 horas, em baixa velocidade que, em seguida, foi deixada em repouso por 12 horas. Após repouso, as amostras foram centrifugadas a 1200 rpm em centrífuga (ITR, 8BTF) por 20 minutos e o sobrenadante recolhido em falcon de 50ml. Efetivou-se a filtragem da solução em papel de filtro e, a partir desta primeira extração, realizou-se mais três extrações do resíduo, sendo 2 de metanol 70% acidificado com 1% HCL (1 adição de 10ml e outra de 2,5ml) e 2 extrações com acetona 70% (1 adição de 10ml e outra de 2,5ml). A cada lavagem a solução foi homogeneizada por 5 minutos em agitador de tubos do tipo Vortex (Biomix, QL – 901, Ribeirão preto – SP, Brasil) e centrifugada a 1200 rpm por 20 minutos. Ao final, combinou-se as quatro alíquotas em tubos falcon de 50 mL envolvidos com papel alumínio para proteção ao abrigo de luz e armazenou-se a -20°C, até o momento da análise.

#### 4.2.7.2. Antioxidantes

A avaliação da atividade antioxidante pelo método DPPH (1,1-difenil-2-picril-hidrazila) seguiu de acordo com Brand-Williams, Cuvelier e Berset (1995) e modificado por Sánchez-Moreno, Larrauri e Sauro-Calixto (1998). Uma alíquota de 10 µl de extrato foi transferida para tubos protegido com folha de alumínio em seguida foram adicionados 90 µL de metanol e 3,9 mL de solução de DPPH (2,4 mg de DPPH em 100 mL de álcool metílico) preparada no momento da análise, totalizando o volume final de

4,0 mL. A reação ocorreu no escuro e realizou-se as leituras em espectrofotômetro UV-visível a 517 nm, após 2, 5, 10, 20 e 30 minutos do início da reação. Trolox (0 a 300  $\mu\text{mol} / \text{L}$ ) foi usado como padrão. Os resultados foram expressos  $\mu\text{mol}$  de equivalente Trolox por g de matéria seca.

A atividade antioxidante também foi avaliada utilizando ABTS (2,2'-azinobis (-6-sulfônico 3-etilbenzotiazolína ácido)) foi realizada pelo método de Van Den Berg, Haenen e Bast (1999) modificado por Liyana-Pathirana e Shahidi (2007) e citado por Khan *et al.* (2013). Foram preparadas uma solução aquosa de ABTS $\cdot+$  (8 mM de ABTS), e uma solução aquosa de persulfato de potássio (3 mM de  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ) em 25 mL de água destilada. A solução estoque foi mantida no escuro, à temperatura ambiente, por 16 horas antes da utilização. Em seguida, o ABTS + solução foi diluída com etanol a 95%, retirando-se 1 mL desta mistura e adicionando álcool etílico até obter a absorvância de  $0,70 \text{ nm} \pm 0,05 \text{ nm}$  a 734 nm. A solução estoque foi utilizada somente no dia da análise. Para determinação da atividade antioxidante uma alíquota de 30  $\mu\text{L}$  do extrato das farinhas foi transferida para tubos de ensaio com 3,0 mL do radical ABTS $\cdot+$  e homogeneizar em agitador de tubos. As leituras das amostras foram realizadas em espectrofotômetro UV-visível a 734 nm, após 6 minutos da mistura e o álcool etílico foi utilizado como branco, para calibrar o espectrofotômetro. Determinou-se a capacidade de purgar o radical ABTS $\cdot+$  utilizando uma curva padrão obtida com Trolox (0 a 300  $\mu\text{mol} / \text{L}$ ) e ABTS $\cdot+$ . Os resultados foram expressos em  $\mu\text{mol}$  equivalente de Trolox por g de matéria seca. Para a determinação de fenólicos totais, uma alíquota de 0,1 ml do extrato preparado foi adicionado a 5 mL de água destilada com 0,5 ml de reagente de Folin-Ciocalteu, em balão de 10 mL. Depois de ser mantido em repouso por 5 minutos, no escuro, 2 mL de solução de carbonato de sódio a 15 foi adicionado à solução e completou-se o volume do balão com água destilada. A solução foi homogeneizada em agitador de tubos. Após incubação a  $25^\circ \text{C}$  durante 2 horas, mediu-se a absorvância da solução a 725 nm utilizando em espectrofotômetro (BEL, UV-S-2000, Piracicaba, SP, Brasil). A equação da reta foi obtida a partir da construção de uma curva padrão de ácido gálico em concentrações de 0 a 500  $\text{mg L}^{-1}$  e, a partir desta, realizou-se o cálculo do teor de fenólicos totais, com valores foram expressos em mg de ácido gálico por g de farinha (DAVES *et al.*, 2003; SINGLETON e ROSSI, 1965).

A determinação do teor de flavonoides totais foi realizada de acordo com o método espectrofotométrico descrito por Zhishen *et al.* (1999). Os extratos (100  $\mu\text{L}$ ),

previamente preparados, foram diluídos em água destilada e misturados a solução de  $\text{NaNO}_2$  a 5% (300  $\mu\text{L}$ ). Após repouso de 5 minutos, adicionou-se 300  $\mu\text{L}$  de  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  a 10% e água destilada até completar o volume do balão de 10 mL. As amostras foram homogeneizadas e lidas em comprimento de onda de 510 nm. Pirocatequina (0-25 mg  $\text{L}^{-1}$ ) foi utilizada como padrão e os valores foram expressos em mg equivalentes de pirocatequina por g de amostra.

Antocianinas totais das farinhas e da formulação otimizada foram determinadas de acordo com metodologia de Fuleki e Francis (1968), conforme citada por Oliveira *et al.* (2017). Pesou-se 0,5 g da farinha em balança analítica (OHAUS, AR3130). As amostras foram transferidas para erlenmeyer de 250 mL, e foram adicionados 50 mL de metanol 1% HCL. Os frascos foram agitados em mesa agitadora (Nova Ética, modelo 109) por 2 horas em rotação de 2000 rpm e, em seguida, o conteúdo de cada frasco foi filtrado em papel de filtro qualitativo. Para a leitura das absorvâncias, foi utilizado espectrofotômetro (BEL, UV-S-2000, Piracicaba, SP, Brasil) em comprimento de onda a 480 nm. Os teores de antocianinas totais foram expressos em mg Eq. de luteolinidina/g de massa seca.

Para análise do conteúdo de carotenoides totais foram extraídos 1 g de amostra (Farinhas e formulação otimizada) em 12,5 mL de solução contendo acetona / etanol (1:1) com a adição de 200 mg-1 de BHT (2.6-ditert-butil-4-metil fenol) em ambiente livre de luz. A amostra foi filtrada através de papel de filtro (Whatman 150 mm), e lavou-se até a descoloração do resíduo. O volume foi ajustado para 100 mL, e a absorvância foi medida utilizando um espectrofotômetro (BEL, UV-S-2000, Piracicaba, SP, Brasil), conforme Talcoot e Howard (1999). Carotenoides totais foram calculados utilizando a equação de com Gross (1991) (Equação 9).

(Equação 9)

$$\text{Carotenoides Totais} = \left( \frac{(A \cdot V) \cdot 10^6}{(A \cdot V) \cdot A^{1\%} \cdot 100 \cdot m} \right)$$

Em que:

A: absorvância a 450 nm

V: volume total do extrato

$A^{1\%}$ : coeficiente de extinção para uma mistura de solventes para betacaroteno (2592)

M: massa da amostra em gramas.

#### 4.2.8. *Análise Microbiológica*

Anterior a análise sensorial realizou-se análises microbiológicas do macarrão otimizado cozido, conforme parâmetros determinados pela ISO, para contagem de Coliformes fecais a 45°C, *Estafilococcus* coagulase positiva, *Bacilos Cereus* e *Salmonella ssp*, em conformidade com a RDC nº12 de janeiro de 2001 da Agência Nacional da Vigilância Sanitária (BRASIL, 2012).

#### 4.2.9. *Análise Sensorial*

A realização da análise sensorial se deu após a aprovação do projeto deste estudo pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, sob o parecer (nº 59451216.8.0000.0036).

Para efetivação da análise sensorial, foi realizado recrutamento de 101 indivíduos, maiores de 18 anos, sadios, alunos e funcionários do IF Goiano – Campus Rio Verde, não treinados, voluntários e consumidores de produtos de massas alimentícias, de forma que foram selecionados ao acaso, baseando-se no interesse e disponibilidade para participar do teste sensorial durante todo o experimento.

Foram aplicadas análises sensoriais de aceitação e intenção de compra da formulação otimizada de macarrão selecionado pelo teste de desejabilidade.

Os provadores selecionados para a realização do experimento não eram fumantes, não poderiam ter ingerido antes da avaliação sensorial qualquer tipo de alimento que deixe resíduo na boca dos provadores, não utilizavam medicamentos que poderiam alterar a percepção do sabor, sem problemas no trato respiratório como: gripes, resfriados e alergias, para não alterar na avaliação do quesito odor.

Em qualquer momento durante a realização da análise sensorial foi garantido aos provadores à expressa liberdade de se recusarem a participar ou retirar seu consentimento, sem penalização alguma e sem prejuízo ao seu cuidado.

Anterior da avaliação sensorial, os participantes foram abordados e informados sobre a realização da pesquisa, e esclarecidos como seria realizada a avaliação sensorial. Foi distribuído aos provadores um Termo de consentimento de livre esclarecimento (TCLE – Apêndice A), e foi exigido sua leitura e assinado, conforme o Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, sob parecer aprovado (nº 59451216.8.0000.0036), sendo informado aos avaliadores que não haveria nenhuma gratificação financeira durante a participação da análise sensorial.

O pesquisador responsável assegurou que os dados coletados referentes à ficha de avaliação sensorial da amostra seriam apenas retratados em artigos científicos para a contribuição da pesquisa, e os dados individuais dos provadores não seriam divulgados a terceiros que não faça parte da pesquisa, conforme Apêndice A (TCLE).

Foram garantidos o sigilo e a privacidade dos seus resultados obtidos na presente pesquisa. Caso os provadores recusassem a participar da análise sensorial, não seriam penalizados e sem prejuízo ao seu cuidado.

A análise sensorial da massa alimentícia consistiu em avaliar os atributos sensoriais de aparência, aroma, sabor e textura através de testes sensoriais de aceitação e intenção de compra, conforme Dutcoski (2013).

O teste de aceitação foi realizado por meio de escala hedônica estruturada de nove pontos (Apêndice B), variando de desgostei extremamente (“1”) a gostei extremamente (“9”). Para o teste sensorial de intenção de compra será realizado através de escala estruturada de cinco pontos (1 = certamente não compraria; 2 = provavelmente não compraria, 3 = talvez compraria, 4 = provavelmente compraria e 5 = certamente compraria) (Apêndice B). Para estes testes foram necessários 101 provadores.

As análises foram realizadas em cabines individuais, com luz branca. Cada participante recebeu a amostra de macarrão cozido adição de sal e molho comercial, em pratos descartáveis.

#### *4.2.10. Análise Estatística*

As análises estatísticas da composição proximal, fitoquímica e propriedades funcionais tecnológicas das matérias-primas e da formulações experimentais de massa

alimentícia foram realizadas através de análise de variância, em delineamento inteiramente ao acaso (DIC), em três repetições em triplicata para cada amostra, e aplicação de teste de médias de Tukey ( $p < 0,05$ ), para análise de comparação de médias entre as amostras. Utilizou-se o software SISVAR versão 5.6 (DEX/UFLA, Lavras-MG, Brasil) para realização das análises.

Para a análise e estabelecimento do delineamento experimental de misturas, foi utilizado o software computacional Statistica versão 7.0 (STATSOFT, 2007, Tulsa, EUA). Estabeleceu-se 10 formulações, sendo que, para assegurar a qualidade do ajuste do modelo empregado, além de realizar três repetições do ponto central (F7), os ensaios F8, F9, e F10 foram acrescentados e comparou-se os resultados observados com os valores preditos para cada variável resposta. Determinou-se ainda modelos matemáticos, os quais foram representados por curvas bidimensionais que avaliaram o comportamento tecnológico e de teor de flavonoides em cada formulação. O processamento das massas alimentícias foi realizado de forma inteiramente casualizada, e para cálculo do erro experimental utilizou-se três repetições de cada formulação do delineamento. Realizou-se teste de desejabilidade a partir da função *response desirability profiling* do software estatístico onde desejou-se que a formulação otimizada obtivesse menor tempo ótimo de cozimento, maior ganho de massa, menor perda de sólidos na água de cozimento e maior teor de flavonoides totais.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados e discussões estão apresentados na forma de dois artigos científicos:

**Artigo 1:** Desenvolvimento de farinhas de grãos integrais de sorgo branco, sorgo vermelho e arroz: caracterização física, funcional tecnológica, nutricional e compostos bioativos.

**Artigo 2:** Desenvolvimento de macarrão sem glúten e rico em fibras, à base de farinhas de grãos integrais de sorgo vermelho e arroz.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**AACC.** American Association of Cereal Chemists. 1999.

VAN DEN BERG, R.; HAENEN, G. R. M. M.; VAN DEN BERG, H. & BAST, A. Applicability of an improved Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) assay for evaluation of antioxidant capacity measurements of mixtures. **Food Chemistry**, Zeist, v. 66, n. 4, p. 511–517, 1999.

**ACELBRA.** Associação dos Celíacos do Brasil. Dados Estatísticos: Quais Produtos sem Glúten rápido você gostaria de Encontrar com facilidade? Disponível em: <<http://www.ancelbra.org.br/2004/estatisticas.php>> Acessado em 18 de Novembro de 2015.

ARENDDT, E. K.; ZANNINI, E. Sorghum. In. \_\_. **Cereal grains for the food and beverage industries**. 1. ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, p.283–305, 2013.

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

ARRANZ, S.; CALIXTO, F. S. Analysis of polyphenols in cereals may be improved performing acidic hydrolysis: A study in wheat flour and wheat bran and cereals of the diet. **Journal of Cereal Science**, Madrid, vol. 51, n. 3, p. 313–318, 2010.

ASTON, L. M.; GAMBELL, J. M.; LEE, D. M.; BRYANT, S. P.; JEBB, S. A. Determination of the glycaemic index of various staple carbohydrate-rich foods in the UK diet. **European Journal of Clinical Nutrition**, vol. 62, n. 2, p. 279-285 ,2008.

AUNE, D.; CHAN, D. S. M.; LA, R.; VIEIRA, R.; GREENWOOD, D. C.; KAMPNA, E.; NORAT, T. Dietary fibre, whole grains, and risk of colorectal cancer: systematic

review and dose-response meta-analysis of prospective studies. **BMJ**, London, vol. 343, p. 6617, 2011.

AWIKA, J. M.; MCDONOUGH, C. M.; ROONEY, L. W. Decorticating sorghum to concentrate healthy phytochemicals. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, Texas, vol. 53, n. 16, p. 6230-6234, 2005.

AWIKA, J. M.; ROONEY, L. W.; WU, X.; ANTES, R. L.; CISNEROS-ZEVALLOS, L. Screening methods for measuring antioxidant activity sorghum (*Sorghum bicolor*) and sorghum products. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, Texas, vol. 51, p. 6657-6662, 2003.

AWIKA, J. M.; ROONEY, L. W.; WU, X.; PRIOR, R. L.; CISNEROS-ZEVALLOS, L. BODDU, J.; SVABEK, C.; IBRAHEEM, F.; JONES, A. D.; CHOPRA, S. Characterization of a deletion allele of a sorghum Myb gene *yellow seed1* showing loss of 3-deoxyflavonoids. **Plant Science**, Pennsylvania, vol. 169, n. 3, p. 542–552, 2005.

BORNET, F.R.; FONTVIEILLE, A.M.; RIZKALLA, S.; COLONNA P.; BLAYO, A.; MERCIER, C.; SLAMA, G. Insulin and glycemic responses in healthy humans to native starches processed in different ways: Correlation with in vitro alpha-amylase hydrolysis. **American Journal of Clinical Nutrition**, Paris, vol. 50, p. 315-323, 1989.

BRAND-WILLIAMS, W., CUVELIER, M.E., BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT-Food Science and Technology**, Massy, vol. 28, n. 1, p.25–30, 1995.

BRASIL. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA)**. Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005. Disponível em <http://www.elegis.bvs.br/leisref/public/search.php>. Acesso em: 10/01/2017.

BURRI, B. J. Beta-carotene and human health: a review of current research. **Nutrition Research**, California, vol. 17, n. 3, p. 547-580, 2007.

CALDER, P. C.; KEW, S. The immune system: a target for functional? **Br. Journal Nutrition**, vol. 88, p. 165-177, 2002.

CLIFFORD, M. N. Anthocyanins – nature, occurrence and dietary burden. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, vol. 80, n. 7, p. 1063-1072, 2000.

**CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento**. A cultura do arroz / organizador Aroldo Antonio de Oliveira Neto. – Brasília: Conab, 2015. 180 p. Disponível também em: <http://www.conab.gov.br>.

**CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento**. Perspectivas para a agropecuária / Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília, v.4, p.1-129, set. 2016. Disponível também em: <http://www.conab.gov.br>.

DAVES, J. W. Current Protocols in Food Analytical Chemistry. **Copyright by John Wiley & Sons Inc**, California, p. 1073-1080, 2003.

DICKO, M. H.; TRAORÉ, A. S.; GRUPPEN, H.; BERKEL, W. J. H.; VORAGEN, A. G. J. Sorghum grain as human food in Africa: relevance of content of starch and amylase activities. **African Journal of Biotechnology**, vol. 5, n. 5, p. 384-395, 2006.

DYKES, L.; SEITZ, L.; ROONEY, W. L.; ROONEY, L.W. Flavonoid composition of red sorghum genotypes. **Food Chemistry**, Texas, vol. 116, n. 1, p. 313-317, 2009.

ELLIE G. KEANA, E. G.; BORDENAVEA, N.; EJETA, G.; HAMAKERA, B. R.; FERRUZZIA, M. G. Carotenoid bioaccessibility from whole grain and decorticated yellow endosperm sorghum porridge. **Journal of Cereal Science**, West Lafayette, vol. 54, n. 3, p. 450-459, 2011.

**EMBRAPA**. Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre DPPH. **Comunicado Técnico** 127, 2007.

**FAO - Food and Agricultural Organization of the United Nations**. 2015. Disponível em <<http://faostat3.fao.org>> Acesso em: 12 out. 2015.

FARRAR, J. L.; HARTLE, D. K.; HARGROVE, J. L.; GREENSPAN, P. A novel nutraceutical property of select sorghum (*Sorghum bicolor*) brans: inhibition of protein glycation. **Phytotherapy Research**, Athens, vol. 22, n. 8, p. 1052-1056, 2008.

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

GILISSEN, L. J. W. J.; INGRID, M.; MEER, V. D.; SMULDERS, M. J. M. Reducing the incidence of allergy and intolerance to cereals. **Journal of Cereal Science**, Wageningen, vol. 59, n. 3, p. 337 – 353, 2014.

GREEN P. H. R, CELLIER C. M. D. Celiac disease. **The new England Journal of Medicine**. v. 357; n. 17 . p. 1731–1743, 2007.

HEINIO, R-L.; NOORT, M. W. J.; KATINA, K.; ALAM, S. A.; SOZER, N.; KOCK, H. L. de.; HERSLETH, M.; POUTANEM, K. Sensory characteristics of the food and whole grains rich in bran - a review. **Trends in Food Science & Technology**, Finland, vol. 47, p. 25–38, 2016.

**IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, Produção Agrícola Municipal 2015. Rio de Janeiro: IBGE, 2016.

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**, Victoria, vol. 54, n.1, p. 578–586, 2013.

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**, Vitoria, v. 79, n. 8, p. 1560-1567, 2014.

KIM, H. Y.; HWANG, I. G.; KIM, T. M.; WOO, K. S.; PARK, D. S.; KIM, J. H.; JEONG, H. S. Chemical and functional components in different parts of rough rice (*Oryza sativa* L.) before and after germination. **Food Chemistry**, Cheongju, vol. 134, n.1, p. 288–293, 2012.

LAMACCHIA, C.; CAMARCA, A.; PICASCIA, S.; DI LUCCIA, A.; GINAFRANI, C. The Cereal-based gluten-free food: how to reconcile nutritional and technological properties of wheat proteins with safety for celiac disease patients. **Nutrients**, vol. 6, n. 2, p. 575-590, 2014.

LIYANA-PATHIRANA, C. M., & SHAHIDI, F. Antioxidant and free radical scavenging activities of whole wheat and milling fractions. **Food Chemistry**, Newfoundland, v. 101, n. 3, p. 1151–1157, 2007.

LIU, C.-Y.; SHEPHERD, K.; RATHJEN, A. Improvement of durum wheat pastamaking and breadmaking qualities. **Cereal Chemistry**, vol. 73, n. 2, p. 155-166, 1996.

LIU, K.; LUTHRIA, D. L. Localization of phenolic acids and antioxidant activity in sorghum kernels. **Journal of Functional Foods**, Beltsville, vol. 5, n. 4, p. 1751-1760, 2013.

LIU, R. H. Potential synergy of phytochemicals in cancer prevention: mechanism of action. **Journal Nutrition**, Ithaca, vol. 134, n. 12, p. 3479-3485, 2004.

MELLEN, P. B., WALSH, T.F., HERRINGTON, D. M. Whole grain intake and cardiovascular disease: a meta-analysis. **Nutrition Metabolism & Cardiovascular Disease**, vol.18, n. 4, p. 283-290, 2008.

MIR, S. A.; BOSCO, S. J. D.; SHAH, M. A.; MIR, M. M.; SUNOOJ, K. V. Variety difference in quality characteristics, antioxidant properties and mineral composition of brown rice. **Journal of Food Measurement and Characterization**, vol. 10, n. 1, p. 177–184, 2016.

MOREIRA, A.V.; MORAES, E.A.; MARTINO, H.S.D; SCHAFFERT, R.E.; RIBEIRO, S.M.; QUEIROZ, V.A.V. Potencial funcional e tecnologia de processamento do sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], para alimentação humana. **EMBRAPA. Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.10, n.3, p. 180-195, 2011.

MUNTER, J. S.; HU, F. B.; SPIEGELMAN, D.; FRANZ, M.; VAN DAM, R. M. Whole grain, bran, and germ intake and risk of type 2 diabetes: a prospective cohort study and systematic review. **PLoS Med**, vol. 4, n. 8, p. 261, 2007.

MYERS, R. H.; MONTGOMERY, D. C. **Response Surface Methodology: Optimization of Processes and Products using Projected Experiments**, ED.2, 2002.

NAVES, M. M. V. Características químicas e nutricionais do arroz. **B. Ceppa**, Curitiba, v. 25, n. 1, p. 51-60, 2007.

- O'SHEA, N.; ARENDT, E.; GALLAGHER, E. The state of the art research gluten. **Journal of Food Science**, vol. 79, n. 6, p. 1067-1076, 2004.
- PERERA, C. O.; YEN, G. M. Functional properties of carotenoids in human health International **Journal of Food Properties**, vol. 10, n. 2, p. 201-230, 2007.
- POUTANEN, K.; SOZER, N; DELLA VALLE, G. How technology can help deliver more than cereal grains in foods for a healthy diet? **Journal of Cereal Science**, vol. 59, n. 3, p. 327-336, May 2004.
- QUEIROZ, V. A. V.; SILVA, K. S. da.; MENZES, C. B. de.; SCHAFFERTH, R. E.; GUIMARÃES, F. F. M.; GUIMARÃES, L. J. M.; GUIMARÃES, P. E. de O.; TARDIN, F. D. Nutritional composition of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] genotypes with and without water stress. **Journal of Cereal Science**, Sete Lagoas, vol. 65, p. 103-111, 2015.
- QUEIROZ, V. A. V.; Vizzotto, M., CARVALHO, C.W.P., MARTINO, H.S.D. O sorgo na Alimentação Humana. Sete Lagoas: **EMBRAPA Milho e Sorgo, Circular técnica**, n. 133, p 19, 2009.
- ROCCHETT, G.; LUCINI, L.; CHIODELLI, G.; GIUBERTI, G.; GALLO, A.; MASOERO, F.; TREVISAN, M. Phenolic profile and fermentation patterns of different commercial gluten-free pasta during in vitro large intestine fermentation. **Food Research International**, Piacenza, v. 97, p. 78–86, 2017.
- ROONEY, L. W. Structure and chemistry of the sorghum caryopsis, in: C.W. Smith, R.A. Frederiksen (Eds.), **Sorghum: Origin, history, technology, and production**, John Wiley and Sons, p. 649–688, 2000.
- RZYCHON, M.; BROHÉE, M.; CORDEIRO, F.; HARASZI, R.; ULBERTH, F.; O'CONNOR, G. The feasibility of harmonising gluten ELISA measurements. **Food Chemistry**, Geel, vol. 234, p. 144-154, 2017.
- SCHOBER, T. J.; BEAN, S. R.; BOYLE, D. L. Without sorghum gluten bread improved by sourdough fermentation: biochemical, rheological and microstructural background. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Manhattan, vol. 55, n. 13, p. 5137-5146, 2007.
- SCHOBER, T. J.; MESSERSCHMIDT, M.; BEAN, S. R.; Park, S. H.; Arendt, E. K. Gluten-free bread sorghum: quality differences between hybrids. **Cereal Chemistry**, Cork, vol. 82, n. 4, p. 394-404, 2005.
- SCIARINI, L. S.; RIBOTTA, P. D.; LEÓN, A. E.; PEREZ, G. T. Influence of gluten-free meals and their mixtures on pasta properties and bread quality. **Food Bioprocess Technology**, vol. 3, n. 4, p. 577-585, 2010.
- SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, vol.16, n. 3, p.144–158, 1965.

ROONEY, L. W.; WU, X.; ANTES, R. L.; CISNEROS-ZEVALLOS, L. Screening Methods to Measure Antioxidant Activity of Sorghum (*Sorghum bicolor*) and Sorghum Products. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Texas, vol. 51, n. 23, p. 6657–6662, 2003.

SHAO, Y.; XU, F.; SUN, X.; BAO, J.; BETA, T. Identification and quantification of phenolic acids and anthocyanins as antioxidants in bran, embryo and endosperm of white, red and black rice kernels (*Oryza sativa* L.). **Journal of Cereal Science**, Hangzhou, vol. 59, n. 2, p. 211-218, 2014.

SHIH, C. H.; SIU, S. O.; NG, R.; WONG, E.; CHIU, L. C. M.; CHU, I. K.; LO, C. Quantitative analysis of anticancer 3-deoxyanthocyanidins in infected sorghum seedlings. **Journal Agric. Food Chem.** vol. 55, n. 2, p. 254–259, 2007.

SLAVIN, J.L. Dietary fiber and body weight. **Nutrition**, v. 21, n. 3, p. 411-8, 2005.

SOLÓRZANO, J.W.V. **Obtenção e caracterização de farinha extrudada de diferentes genótipos de sorgo para o desenvolvimento de biscoitos doces**. Dissertação de Mestrado, p.3, UFFRJ, 2013.

Institute 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**. URL <<http://www.nap.edu/catalog/10872.html>> Accessed 01.05.16.

USDA - Full Report (All Nutrients) 20648, Sorghum flour, whole-grain. **National Nutrient Database for Standard Reference, Release 28 slightly revised, 2016**.

VAZQUEZ-ARAÚJO, L.; CHAMBERS IV, E.; CHERDCHU, P. Consumer Input for Developing Human Food Products Made with Sorghum Grain. **Journal of Food Science**, vol. 77, n. 10, p. 384-389, 2012.

WINGER, M.; KHOURYIEH, H; ARAMOUNI, F.; HERALD, T. Sorghum flour characterization and evaluation in Gluten-free flour tortilla. **Journal of Food Quality**, Lenexa, vol. 37, n. 2, p. 95–106, 2014.

YE, E.Q.; CHACKO, S.A.; CHOU, E.L.; KUGIZAKI, M.; LIU, S. Greater whole-grain intake is associated with lower risk of type 2 diabetes, cardiovascular disease, and weight gain. **Journal Nutrition**, Los Angeles, vol. 142, n. 7, p. 1304 -1313, 2012.

YU, L.J.; NGADI, M. O. Textural and other quality properties of fried instant noodles as affected by some ingredients. **Cereal Chemistry**, Quebec, vol. 81, n. 6, p. 772-776, 2004.

LARROSA, V.; LORENZO, G.; ZARITZKY, N.; CALIFANO, A. Optimization of rheological properties of gluten-free pasta dough using mixture design. **Journal of Cereal Science**, La Plata, vol. 57, n. 3, p. 520-526, 2013.

LARROSA, V.; LORENZO, G.; ZARITZKY, N.; CALIFANO, A. Improvement of the texture and quality of cooked gluten-free pasta. **LWT - Food Science and Technology**, Gualeguaychú, vol. 70, p. 96-103, 2016.

## **CAPÍTULO II**

## **5.1. ARTIGO 1 - DESENVOLVIMENTO DE FARINHAS DE GRÃOS INTEGRAIS DE SORGO BRANCO, SORGO VERMELHO E ARROZ: CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, FUNCIONAL TECNOLÓGICA, NUTRICIONAL E COMPOSTOS BIOATIVOS.**

### **RESUMO**

O objetivo deste estudo foi determinar as características físico-químicas, funcionais tecnológicas, nutricionais e fitoquímicas de farinhas de grãos integrais de sorgo vermelho, branco e arroz. As farinhas de sorgo vermelho e branco apresentaram conteúdos de fibra alimentar e minerais superiores a farinha de arroz. A farinha de sorgo vermelho exibiu, consideravelmente, maior atividade antioxidante, elevados teores de fenólicos totais, flavonoides totais, antocianinas totais e carotenoides totais quando comparada as farinhas de sorgo branco e arroz integral. As características funcionais tecnológicas das farinhas sugerem potencialidade de aplicação destas no desenvolvimento de novos produtos alimentícios isentos de glúten.

**Palavras-chave:** *Sorghum bicolor*, sorgo vermelho e branco, antioxidantes, free gluten.

**5.1. ARTICLE 1 - DEVELOPMENT OF WHOLE GRAIN FLOURS OF WHITE SORGHUM, RED SORGHUM AND RICE: PHYSICAL, FUNCTIONAL, TECHNOLOGICAL, NUTRITIONAL CHARACTERIZATION AND BIOACTIVE COMPOUNDS.**

**SUMMARY**

The objective of this study was to determine the physico-chemical, functional, technological, nutritional and phytochemical characteristics of whole grain flours of red, white and rice sorghum. Red and white sorghum flours presented higher food fiber content and minerals than rice flour. Red sorghum flour exhibited considerably greater antioxidant activity, higher total phenolics, total flavonoids, total anthocyanins and total carotenoids when compared to white sorghum and brown rice flours. The technological functional characteristics of flours suggest the potential application of these in the development of new gluten-free food products.

**Key words:** *Sorghum bicolor*, red and white sorghum, antioxidants, free gluten.

### 5.1.1. Introdução

O consumo de grãos integrais auxilia na redução do risco de doenças cardiovasculares, diabetes tipo II, síndrome metabólica e cânceres gastrointestinais por conter teores importantes de fibra dietética, minerais, vitaminas e fitoquímicos, variando em diferentes proporções em diversos grãos. (KHAN *et al.*, 2014; QUEIROZ *et al.*, 2015). O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é o quinto cereal mais produzido no mundo e base alimentar para mais de 500 milhões de pessoas, principalmente na África e Ásia (FAOSTAT, 2013).

O sorgo, assim como o arroz, é um grão livre de glúten e com grande potencial no mercado de alimentos e bebidas isentos desta rede de proteínas (WINGER *et al.*, 2014), e pode ser uma alternativa para substituir cereais convencionais, pois é um alimento que apresenta potencial sensorial e funcional (ANUNCIACÃO *et al.*, 2017). O sorgo tem despertado maior interesse de pesquisadores como alimento humano pois, além de ser uma alternativa sem glúten, possui composição nutricional importante, em relação a outros cereais e altos teores de compostos bioativos, entre estes, os fenólicos totais (ALTHWAB *et al.*, 2015; DYKES *et al.*, 2011). Entretanto, no Brasil, esta cultura tem sido subutilizada, destinando-se a maior parte de sua produção a alimentação animal (QUEIROZ *et al.*, 2015).

Devido ao fato de que estes grãos não possuem glúten, e apresentam vários aspectos importantes para a produção de alimentos em relação a outros cereais, faz-se necessário conhecer suas características químicas e propriedades tecnológicas para promover seu uso industrial.

Neste sentido, o presente trabalho buscou avaliar as características físico-químicas, funcionais tecnológicas, nutricionais e fitoquímicas de farinhas de grãos integrais de sorgo vermelho, branco e arroz, para aplicação em produto alimentício isento de glúten, considerando proporcionar melhor conteúdo nutricional a estes alimentos.

## 5.1.2. Material e Métodos

### 5.1.2.1. Matéria-prima

Obteve-se os grãos integrais de sorgo vermelho e sorgo branco por doação de uma empresa de grãos de sementes, nas proximidades de Rio Verde – GO, e grãos integrais e arroz integral comercial (Natural Life/ Kodilar), adquirido em loja de varejo de Rio Verde – GO.

### 5.1.2.2. Processamento de grãos

Os grãos de sorgo foram limpos (eliminou-se pedras, pó, insetos, etc.) e então processou-se os grãos por moagem em macro moinho de facas, tipo Willye (Te-650/1, Piracicaba, SP, Brasil), com peneira *mesh* 30 e acondicionadas conforme Khan e colaboradores (2013).

### 5.1.2.3. Análises físicas das farinhas

Determinou-se a granulometria pelo método da AACC (1999) com adaptações para aberturas de malha, a densidade aparente conforme a AACC (2000), e a cor conforme o sistema CIE L\* a\* b\*, segundo método n° 14-22 (AACC, 2000; CIE, 1996), saturação da cor Chroma e tonalidade cromática Hue (ABNT, 1992), estabelecidos com uso de colorímetro (Konica Minolta, CR-10, Ramsey)

### 5.1.2.4. Microscopia eletrônica de varredura - MEV

A análise estrutural foi realizada por microscopia eletrônica de varredura, nos perfis superficiais e corte longitudinal obtendo imagens da superfície externa das

massas alimentícias e central das amostras conforme metodologia estabelecida por Goldstein (1992).

#### *5.1.2.5. Propriedades funcionais tecnológicas das farinhas*

Foram determinados, conforme metodologias descritas por Okezie e Belo (1988), o índice de absorção de água (IAA), solubilidade em água (SA) e capacidade de absorção de óleo (CAO), sendo realizada adaptação desta, e a água foi substituída por óleo. A capacidade espumante (CE) e estabilidade da espuma (EE) foram realizadas segundo procedimento de Shevkani *et al.* (2015) e verificou-se a atividade emulsificante e estabilidade de emulsão conforme Coffman e Garcia (1977).

#### *5.1.2.6. Composição proximal*

Determinou-se ainda teor de água, cinzas, extrato etéreo total, proteínas, carboidratos totais, fibra alimentar total, solúvel e insolúvel, e valor energético de acordo com as metodologias AOAC (2016). O perfil mineral (Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn, P e K) foi descrito pelo método de digestão ácida nitro-perclórica nº 965.9 (AOAC, 2000; MALAVOLTA *et al.*, 1997).

#### *5.1.2.7. Composição fitoquímica*

##### *5.1.2.7.1. Métodos de extração*

Foram preparados extratos das farinhas de sorgo vermelho, sorgo branco, arroz integral para as análises de compostos fenólicos totais, flavonoides, antocianinas e atividade antioxidante por ABTS (2,2'-azinobis (-6-sulfônico 3-etilbenzotiazolina ácido)) conforme descrito por Awika *et al.*, 2005.

Os extratos para avaliação da atividade antioxidante pelo método DPPH (1,1-difenil-2-picril-hidrazila) foram preparados conforme método de Singleton e Rossi (1965), com adaptações de Awika *et al.* (2005).

#### 5.1.2.7.1. Antioxidantes

Determinou-se a atividade antioxidante de acordo com Brand-Williams, Cuvelier e Berset (1995) e modificações de Sánchez-Moreno, Larrauri e Sauro-Calixto (1998), realizando as leituras a 510 nm. Os resultados foram expressos em equivalentes de  $\mu\text{mol}$  de Trolox / g de matéria seca). A atividade antioxidante utilizando ABTS (2,2'-azinobis(-6-sulfônico 3-etilbenzotiazolina ácido)) foi realizada pelo método de Van Den Berg, Haenen e Bast (1999) modificado por Liyana-Pathirana e Shahidi (2007) e citado por Khan *et al.* (2013).

Teores de fenólicos totais foram determinados pelo método de Folin-Ciocalteu, conforme proposto por Singleton e Rossi (1965), com adaptação de Daves (2003). A leitura foi realizada a 725 nm e o cálculo do teor de fenólicos totais feito a partir da equação da reta obtida e, os valores foram expressos em mg equivalentes de ácido gálico por g de amostra.

Determinou-se teores de flavonoides totais de acordo com o método espectrofotométrico descrito por Zhishen e colaboradores (1999). As amostras foram lidas em comprimento de onda de 510 nm. Utilizou-se pirocatequina como padrão e os valores foram expressos em mg equivalentes de pirocatequina por g de amostra.

As antocianinas foram extraídas de acordo com metodologia de Fuleki e Francis (1968), conforme citada por Oliveira *et al.* (2017). As amostras foram lidas em espectrofotômetro (BEL, UV-S-2000, Piracicaba, SP, Brasil) a 480 nm e, os teores de antocianinas totais foram expressos em mg equivalentes de luteolinidinas g de amostra.

O conteúdo de carotenoides totais foi extraído em solução de acetona / etanol com a adição de BHT (2,6-ditert-butil-4-metil fenol) e a absorbância (453nm) foi medida utilizando um espectrofotômetro (BEL, UV-S-2000, Piracicaba, SP, Brasil), conforme método de Talcoot e Howard (1999). Através da equação de Gross (1991), os teores de carotenoides totais foram expressos em  $\mu\text{g}$  equivalente de  $\beta$ -caroteno em 100g de amostra.

#### 5.1.2.8. Análise estatística

As análises estatísticas da composição proximal, fitoquímica e propriedades funcionais tecnológicas das matérias-primas foram realizadas através de análise de variância, em delineamento inteiramente ao acaso (DIC), com três repetições em triplicata para cada amostra, e aplicação do teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), para análise de comparação de médias entre as amostras. Utilizou-se o software SISVAR versão 5.6 (DEX/UFLA, Lavras-MG, Brasil) para realização das análises.

#### 5.1.3. Resultados e Discussão

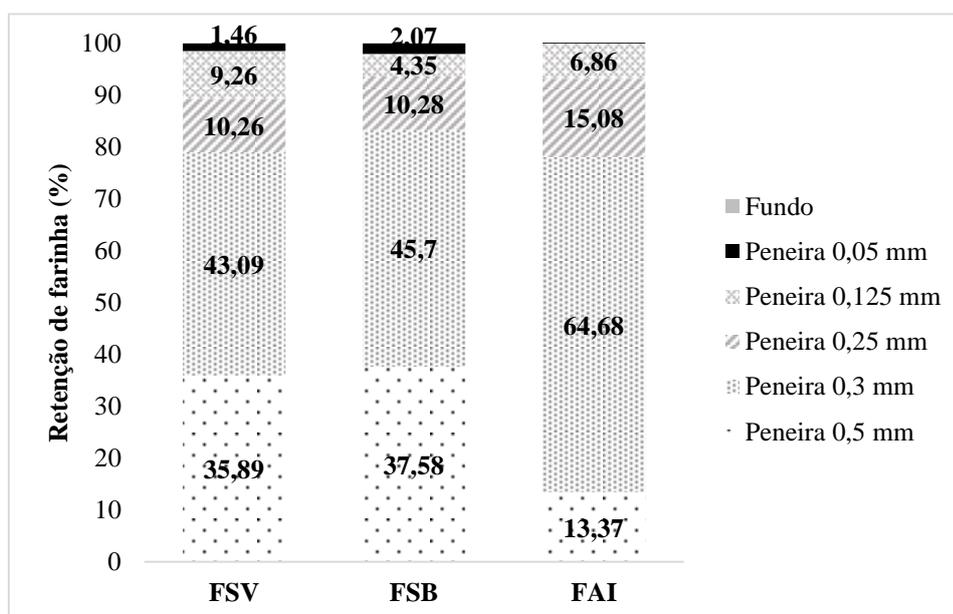
Após a moagem dos grãos, obteve-se as farinhas de grãos integrais de sorgo vermelho, sorgo branco e arroz, conforme Figura 7. Precedente ao desenvolvimento de produtos alimentícios, a redução do tamanho de partículas é um importante processo de pré-preparo (DUODU *et al.*, 2002). O fracionamento do tamanho de partículas pode ajustar diferentes propriedades para produzir um produto alimentício com funcionalidade, textura e nutrientes desejados (AHMED *et al.*, 2015).



**Figura 7** - Farinhas de grãos integrais (A), sorgo branco (B) e sorgo vermelho (C).

A distribuição granulométrica das farinhas indicou comportamento semelhante entre as mesmas. Isto pode ser notado na Figura 8, que representa as médias das frequências em que as farinhas foram retidas em cada peneira, apresentada pelo histograma.

Observou-se que todas as farinhas obtiveram maior percentual de retenção de partículas finas, 0,3 mm (50 *mesh*), e FAI apresentou um rendimento de 64,68% destas, enquanto FSV e FSB resultaram em 43,09% e 45,70% de retenção neste mesmo diâmetro. Entretanto, FSV (35,90%) e FSB (37,59%) mostraram com maior retenção que FAI (13,38%) para tamiz de 0,5 mm (35 *mesh*). Houve maior rentabilidade de farinha para FAI na peneira de 0,25 mm (60 *mesh*) em relação a FSV e FSB.



**Figura 8** - Histograma da frequência retida de farinhas de sorgo vermelho (FSV), sorgo branco (FSB) e arroz integral (FAI).

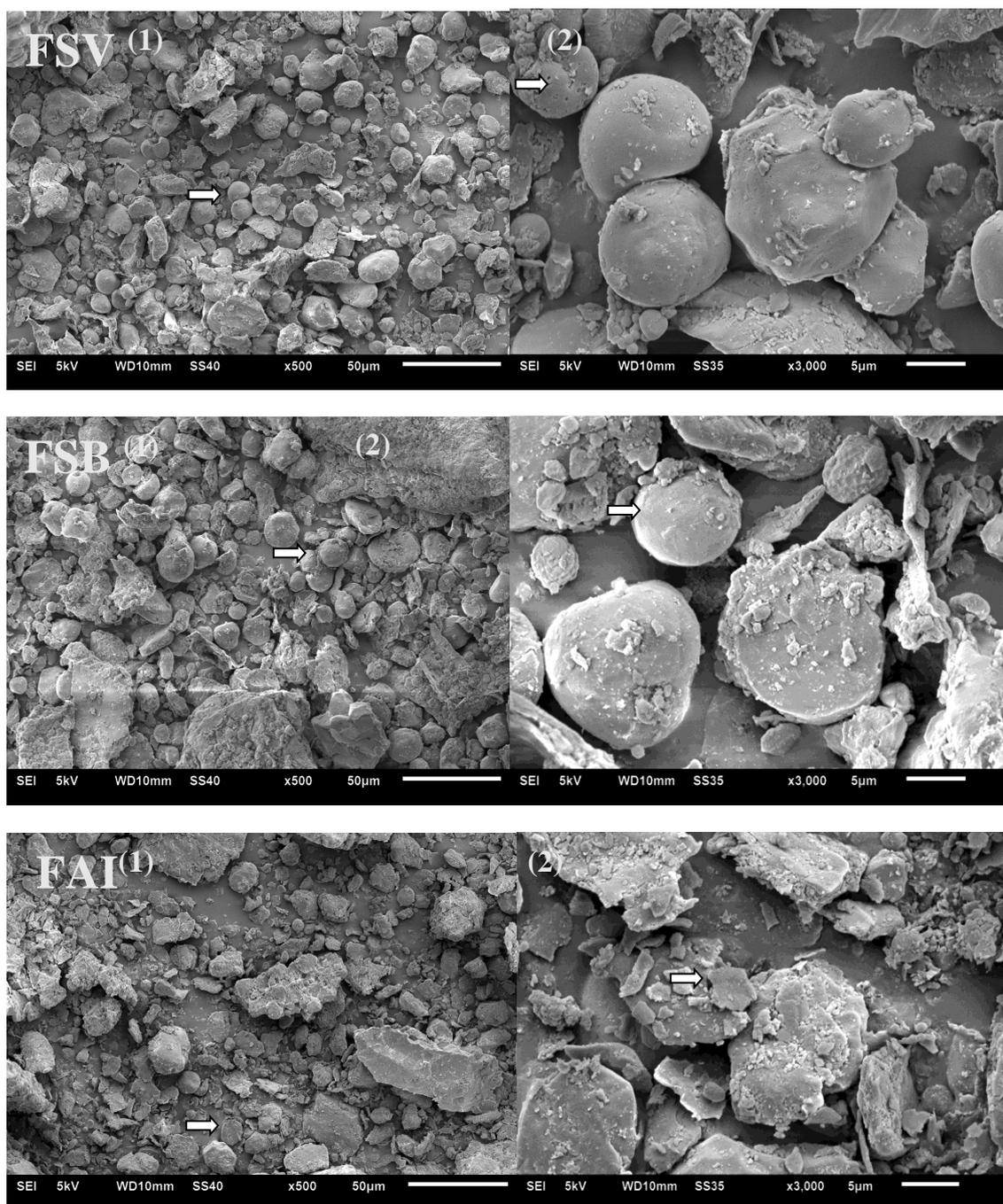
Moagem de grãos de cereais produzem farinhas com diferentes tamanhos de partículas. Esta desigualdade do tamanho de partícula altera, expressivamente, as propriedades físico-química de farinhas, pois aumenta sua superfície de contato, podendo elevar a biodisponibilidade de macronutrientes, que por sua vez, aumenta a taxa de digestão, contribuindo para nutrição humana, além de alterar propriedades

funcionais das farinhas (BECKLES e THITISAKSAKUL, 2014; WOANDRA *et al.*, 1995).

Neste trabalho, padronizou-se as farinhas com diâmetro de 0,3 mm para serem analisadas e aplicadas em produto, já que foi observado, através da análise granulométrica, maior rendimento desta fração para todas farinhas. Conforme Ahmed *et al.* (2007), a distribuição de nutrientes nos fragmentos de grãos varia com o tamanho de partícula e espera-se que a separação de partículas em tamanho uniforme possa fornecer propriedades funcionais uniformes.

Desta maneira, as farinhas estudadas constituíram-se, necessariamente, de partículas finas. Zanotto e Bellaver (1996) definiram partículas grossas, médias e finas, segundo diâmetros destas, sendo partículas maiores que 2 mm classificadas como grossas, e consideradas partículas médias entre diâmetros de 2 e 0,6 mm e, finalmente, partículas menores que 0,60 mm são definidas por ele como finas.

A morfologia dos grânulos de amido das farinhas foi avaliada utilizando a microscopia eletrônica de varredura (MEV), apresentada pela Figura 9.



**Figura 9** - Micrografia do amido de farinhas integrais de sorgo vermelho (FSV), sorgo branco (FSB) e arroz integral (FAI), com ampliações de 500 x e 3000 x, respectivamente.

Nota-se que a maioria dos grânulos de amido de sorgo branco e vermelho se encontram na forma poligonal e esférica com poros e depressões (Figuras 9. FSV 2 e FSB 2), características também observadas por Ai *et al.* (2011) e Sing *et al.* (2010). Estas depressões presentes nos grânulos de amidos poligonais estão relacionadas a presença de corpos proteicos localizados entre os grânulos na estrutura do endosperma vítreo, sendo que os furos encontrados em alguns grânulos podem ser pelo ataques

iniciais de enzimas (AI *et al.*, 2011; CLAVER *et al.*, 2010). As micrografias de grânulo de amido de FAI (Figuras 9. FAI), diferentemente de FSV e FSB, exibiram a presença de grânulo poliédricos, assim como observado Zavareze *et al.* (2015).

A densidade aparente (Tabela 3) não exibiu diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre as farinhas, variando entre 0,54-0,63 g.mL<sup>-1</sup>, evidenciando que o volume ocupado para todas as farinhas é o mesmo. Elmoneim *et al.* (2010), estudaram o efeito de diferentes tempos de fermentação sobre as propriedades funcionais de farinha de sorgo e, encontraram 0,58-0,70 g.mL<sup>-1</sup> para as farinhas de grãos fermentados e 0,73 g/mL para farinha de grão não fermentado, valores próximos aos obtidos neste estudo.

**Tabela 3** - Valores médios e desvio padrão da densidade aparente, dos índices de absorção em água (I.A.A.) e óleo (C.A.O.), solubilidade em água (S.A.), atividade emulsificante (A.E.), estabilidade de emulsão (E.E.), capacidade espumante (C.E.) e estabilidade da espuma, em base seca, das farinhas de sorgo vermelho (FSV), sorgo branco (FSB) e arroz integral (FAI).

Propriedades Tecnológicas	FSV	FSB	FAI	CV (%)
Densidade aparente (g. mL <sup>-1</sup> )	0,60 <sup>a</sup> ± 0,01	0,54 <sup>a</sup> ± 0,0	0,63 <sup>a</sup> ± 0,0	0,91
I.A.A. (g.g <sup>-1</sup> )	3,59 <sup>a</sup> ± 0,14	3,41 <sup>a</sup> ± 0,2	3,20 <sup>a</sup> ± 0,23	5,68
S.A. (g.g <sup>-1</sup> )	4,55 <sup>a</sup> ± 0,55	5,31 <sup>a</sup> ± 1,1	1,0 <sup>b</sup> ± 0,01	14,18
C.A.O. (g.g <sup>-1</sup> )	2,24 <sup>a</sup> ± 0,15	2,34 <sup>a</sup> ± 0,2	2,46 <sup>a</sup> ± 0,04	7,96
A.E. (%)	61,5 <sup>b</sup> ± 0,23	95,4 <sup>a</sup> ± 0,3	65,5 <sup>b</sup> ± 0,65	9,62
E.E. (%)	100 <sup>a</sup> ± 0,0	100 <sup>a</sup> ± 0,0	100 <sup>a</sup> ± 0,0	0,0
C.E. (%)	0	0	0	0
Estabilidade da espuma (%)	0	0	0	0

Médias seguidas de mesma letra na mesma linha não diferem entre si, conforme teste de médias Tukey, a 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

Vargas-Solórzano *et al.* (2014) utilizaram farinhas extrusadas obtiveram densidade de 0,94-1,86 g.mL<sup>-1</sup> em seu estudo, e compararam o desempenho da extrusão de seis genótipos de sorgo com pericarpos diferentes nos atributos físico-químicos. Conforme cita Ogunwolu *et al.* (2009), densidade aparente depende dos efeitos conjugados de fatores que se relacionam, tais como a intensidade das forças entre as partículas que se atraem, tamanho de partícula, e da superfície de contato.

As propriedades funcionais tecnológicas das farinhas estão representadas nas Tabelas 3 e 4. Propriedade funcional tecnológica é específica, não se referindo aos

atributos nutricionais, trata-se de características em que a proteína e amido hidratados propiciam e/ou influenciam nas tecnologias de processamento para obtenção de produtos alimentícios, contribuindo para o comportamento estrutural e sensorial de um alimento e possibilitando solubilidade, hidrofobicidade, capacidade de absorção e retenção de água e óleo, viscosidade, capacidade emulsificante, e formação de géis, espumas e emulsões (DAMODARAN *et al.*, 2010).

A solubilidade em água (S.A.) não diferiu entre FSV e FSB, sendo que se apresentou menor para FAI. Não houve diferença significativa ( $p > 0,05$ ) para I.A.A. ( $3,20 - 3,50 \text{ g.g}^{-1}$ ) entre as farinhas, assim como para C.A.O. ( $2,24 - 2,46 \text{ g.g}^{-1}$ ), entretanto as farinhas apresentaram menor capacidade de ligação as moléculas de gordura. Os resultados deste estudo foram semelhantes aos encontrados nos trabalhos de Elmoneim *et al.* (2010) e Elkahalifa *et al.* (2005) ao analisarem farinhas de grãos de sorgo germinados e fermentados, respectivamente. I.A.A. e C.A.O. estão entre as propriedades funcionais das proteínas que interferem em um alimento e podem ser classificadas como propriedades hidrodinâmicas, as quais dependem das interações das proteínas com a água e propriedades ligadas a características de superfície, como a capacidade de absorção de água, de formação de espuma e emulsões (DAMODARAN *et al.*, 2010). Entre outros fatores, o índice de absorção de água indica a quantidade de água do alimento disponível para gelatinização, enquanto a capacidade de absorção de óleo pode estar relacionada a presença de proteínas hidrofóbicas presentes nas farinhas (GIAMI e BEKEBAIN, 1992). Estas características são importantes para definir processamentos a serem aplicados para obtenção de produtos.

Para A.E., a FSB apresentou maior atividade em relação a FSV e FAI, que não se diferiram. Os resultados para E.E. foram iguais para os três tratamentos. Emulsões são dispersões de um líquido em outro líquido. Durante um processamento térmico, a desnaturação proteica e sua agregação pode alterar a capacidade destas proteínas de formarem um filme protetor ao redor das gotículas dispersas, através de sua característica anfipática, formando emulsões e aumentando a estabilidade mecânica destas (DAMODARAN *et al.*, 2010; NIR *et al.*, 1994), podendo explicar os resultados encontrados. Elmoneim *et al.* (2010) e Elkahalifa *et al.* (2005) também identificaram esta estabilidade.

As farinhas não exibiram capacidade de formação de espuma. Elmoneim *et al.* (2010), avaliaram a influência da germinação dos grãos de sorgo em diferentes tempos (0-5 dias) sobre as propriedades funcionais de suas farinhas. Os grãos não germinados

(dia 0) e germinados pelo período de 1 dia, não apresentaram capacidade de formação de espuma, resultados semelhantes ao presente estudo. Em outro trabalho foi observado que também não houve formação de espuma, quando Elkahalifa *et al.* (2005) avaliaram o efeito de diferentes tempos de germinação (0-24 horas) sobre as propriedades funcionais de farinha de sorgo. A eficiência de farinhas em formarem espumas está relacionada a flexibilidade de adaptação de proteínas em se organizar em superfícies líquidas de maneira que reduzam a alta pressão superficial e se manterem formando bolhas de ar. Os resultados deste presente trabalho mostram que, em solução, as proteínas das farinhas aumentam a tensão de superfície na água, prejudicando a formação de espuma (DAMODARAN *et al.*, 2010; ELKAHALIFA *et al.*, 2005).

A FSV apresentou capacidade de formação de gel fraco a partir de 4% de concentração de amostra e formou-se gel forte com 8-20% de concentração de farinha. Sendo que a FSB exibiu evidente capacidade de gelatinização a partir de 16% de concentração de farinha. A FAI se mostrou com menor capacidade de formação de gel que FSV e FSB, respectivamente, apresentando gel forte a partir de 18% (Tabela 4).

**Tabela 4** - Capacidade de formação de gel das farinhas de sorgo (FSV), sorgo branco (FSB) e arroz integral (FAI).

Concentração de farinha (g 100.mL <sup>-1</sup> )	FSV	FSB	FAI
2	-	-	-
4	±	-	-
6	±	-	-
8	+	-	-
10	+	±	-
12	+	±	±
14	+	±	±
16	+	+	±
18	+	+	+
20	+	+	+

Testes realizados em triplicatas. Ausência de gelificação (-); gel frágil (±); gel forte (+).

Elmoneim *et al.* (2010) e Elkahalifa *et al.* (2005) também verificaram a capacidade de gelatinização de farinhas de grãos de sorgo germinados e fermentados e obtiveram resultados parecidos. Durante o aquecimento ocorre a gelatinização do amido e a geleificação das proteínas, sendo a geleificação do amido ocorrida após o

resfriamento, com sucedida agregação de moléculas desnaturadas com interações repulsivas e atrativas de moléculas de proteínas e de amilose e amilopectina, capaz de reterem água, lipídeos, açúcar e outras substâncias, proporcionando a capacidade de formação de gel das farinhas (DAMODARAN *et al.*, 2010).

As informações sobre as propriedades funcionais das proteínas e amidos de farinhas podem ser utilizadas para definir a forma como estas deverão ser empregadas para complementar ou substituir cereais fontes de glúten. As características tecnológicas obtidas sugerem a aplicação das farinhas obtidas em diferentes sistemas alimentares, possibilitando o emprego destas em alimentos sem glúten e como adição a alimentos com glúten, que precisem de maior hidratação, como as massas alimentícias, para produtos alimentícios como emulsões, que necessitam de maior absorção de óleo, e alimentos que careçam de espessamento e gelatinização de amidos e/ou proteínas, como os pudins.

Na Tabela 5, consta a composição proximal das três farinhas em 100 g de produto. O teor de água diferiu significativamente ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos. Obteve-se o menor teor de água para FSB e maior para FAI, entretanto, todas as farinhas exibiram valores dentro do teor de água máximo para farinhas e farelos especificados pela ANVISA (BRASIL, 2005), que é de  $15 \text{ g.}100\text{g}^{-1}$ .

**Tabela 5** - Composição proximal das farinhas de sorgo vermelho (FSV), sorgo branco (FSB) e arroz integral (FAI) em 100g de produto.

Nutrientes	FSV	FSB	FAI	CV (%)
Água ( $\text{g.}100\text{g}^{-1}$ )	10,47 <sup>b</sup> ± 0,5	9,32 <sup>c</sup> ± 1,67	10,74 <sup>a</sup> ± 2,7	0,91
Cinzas ( $\text{g.}100\text{g}^{-1}$ )	1,35 <sup>c</sup> ± 0,02	1,65 <sup>b</sup> ± 0,01	1,87 <sup>a</sup> ± 0,09	3,33
Extrato Etéreo Total ( $\text{g.}100\text{g}^{-1}$ )	4,52 <sup>b</sup> ± 0,15	4,85 <sup>a</sup> ± 0,24	2,81 <sup>c</sup> ± 0,04	4,92
Proteínas ( $\text{g.}100\text{g}^{-1}$ )	11,29 <sup>a</sup> ± 0,2	11,12 <sup>a</sup> ± 0,3	7,95 <sup>b</sup> ± 0,65	5,90
Fibra Alimentar Total ( $\text{g.}100\text{g}^{-1}$ )	19,27 <sup>a</sup> ± 0,5	17,82 <sup>b</sup> ± 1,1	6,5 <sup>c</sup> ± 0,40	4,99
Fibra Alimentar Insolúvel ( $\text{g.}100\text{g}^{-1}$ )	17,56 <sup>a</sup> ± 0,5	16,98 <sup>b</sup> ± 1,1	6,5 <sup>c</sup> ± 0,40	4,81
Fibra Alimentar Solúvel ( $\text{g.}100\text{g}^{-1}$ )	1,65 <sup>a</sup> ± 0,06	0,8 <sup>b</sup> ± 0,04	0,0 <sup>c</sup>	4,91
Carboidratos ( $\text{g.}100\text{g}^{-1}$ )	53,1 <sup>b</sup> ± 0,04	55 <sup>b</sup> ,24 ± 0,5	70,13 <sup>a</sup> ± 0,7	3,51
Valor Energético Total ( $\text{Kcal.}100\text{g}^{-1}$ )	298,24	309,09	337,61	

Médias seguidas de mesma letra na mesma linha não diferem entre si, conforme teste de médias Tukey, a 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

Houve diferença entre as farinhas para os valores de cinzas (Tabela 5), sendo que FAI apresentou maior concentração, e em FSV, o conteúdo de cinza foi menor que FSB. O presente trabalho apresentou valores semelhantes ao estudo de Queiroz *et al.* (2015), que obtiveram 1,3-2,8% de cinzas em diferentes genótipos de sorgo cultivados em ambientes sem estresse hídrico. Neste mesmo estudo, grãos de sorgo com pericarpos bronze e vermelho apresentaram maior teor de cinzas. O teor de cinzas para FAI foi maior que o trabalho de Liu *et al.* (2017), que investigaram a relação entre diferentes graus de moagem e a perda de vitamina B, minerais e alteração na composição de aminoácidos de duas cultivares de arroz integral e encontraram entre 0,34 e 1,67 % de cinzas. Teores de cinzas estão relacionados ao conteúdo mineral. Ainda que cinzas podem ser indicativas de presença de minerais, estas substâncias podem estar presentes em formas de diferentes halogenatos, superestimando o conteúdo mineral total, já que o oxigênio está presente em muitos dos ânions (DAMODARAN *et al.*, 2010).

Os valores médios de extrato etéreo obtidos estão descritos na Tabela 5. O resultado médio obtido para FSB foi, aproximadamente, duas vezes maior quando comparado a FAI. FSV também apresentou maior conteúdo lipídico que FAI e menor que FSB. Queiroz *et al.* (2015) encontraram valores semelhantes a FSV e menores que FSB, variando de 1,6 a 5 g.100g<sup>-1</sup> em grãos cultivados sem estresse hídrico. Srichuwong *et al.* (2017) determinaram a composição química, características estruturais do amido isolado, as propriedades térmicas e digestibilidade do amido para farinhas de grãos integrais de sorgo, amaranto e quinoa, em comparação com as do trigo e do milho, e encontraram conteúdo lipídico de 5 g.100g<sup>-1</sup> para farinha de sorgo branco e 3,7 g.100g<sup>-1</sup> para sorgo vermelho. Os resultados para farinhas de sorgo branco e vermelho encontrados foram maiores que o FSB e menor que FSV, respectivamente. Para FAI, os resultados são semelhantes aos que Liu *et al.* (2017) encontraram em farinhas de duas cultivares arroz (2,43 – 2,86 g.100g<sup>-1</sup>) processadas através de diferentes graus de moagem.

Na Tabela 5, estão apresentados teores de proteínas nas farinhas estudadas. Observa-se que houve diferença significativa (p<0,05) das farinhas de sorgo para FAI, que apresentou conteúdo proteico, aproximadamente, 1 vez e meia menor que FSV e FSB. Resultados semelhantes foram encontrados para farinha de sorgo branco avaliada por Srichuwong *et al.* (2017), que obtiveram 11,4 g.100g<sup>-1</sup>, mas menor para sorgo vermelho (9,8 g.100g<sup>-1</sup>) quando comparadas a FSB e FSV, respectivamente. Valores semelhantes, 7,8 a 19 g.100g<sup>-1</sup>, foram encontrados por Queiroz *et al.* (2015) em 100

genótipos de sorgo. Liu *et al.* (2017) encontraram para farinhas de duas cultivares de arroz, valores próximos ao presente estudo para FAI, entre 8,92 e 8,24 g.100g<sup>-1</sup>.

As farinhas apresentaram teores de proteínas expressivos, principalmente FSV e FSB, respectivamente. Em alimentos, proteínas exercem propriedades funcionais tecnológicas, relacionadas a características estruturais e físico-químicas. Estes atributos são alterados durante o processamento, interferindo, positivamente, no desempenho das funções proteicas nos alimentos (DAMODARAN *et al.*, 2010).

Em relação as fibras alimentares, foi observado diferença significativa entre as amostras, sendo que FSV foi maior que FSB e FAI, demonstrando que esta foi três vezes maior para fibra alimentar total, 2,7 e 1,65 vezes maior para a fração insolúvel e solúvel que FAI, respectivamente. FSB obteve resultados próximos de FSV (Tabela 5). As farinhas analisadas podem ser consideradas fontes de fibras alimentares pois possuem teores acima de 15% das recomendações diárias (25-38 g.dia<sup>-1</sup>) deste nutriente para mulheres e homens de 19 a 50 anos, respectivamente (INSTITUTE OF MEDICINE US, 2003), ressaltando que FSV e FSB possuem elevado teor de fibra alimentar total.

Tripathi *et al.* (2010) avaliaram farinhas de sorgo e milho e obtiveram menores resultados que o presente estudo. Moraes *et al.* (2015), encontraram teores de fibra alimentar total maiores que o presente estudo quando avaliaram farinha de sorgo integral (26,34 g.100 g<sup>-1</sup>) e farelo de sorgo (41,38 g.100 g<sup>-1</sup>), e menores valores para farinha de sorgo descascado (11,28 g.100 g<sup>-1</sup>). Para a fração solúvel obtiveram valores próximos a este trabalho, sendo 0,97 g.100 g<sup>-1</sup>, 0,25 g.100 g<sup>-1</sup> e 1,17 g.100 g<sup>-1</sup> em farinha de sorgo integral, farinha de sorgo descascado e farelo, respectivamente.

A Tabela 6 descreve os resultados de composição mineral das farinhas.

Observou-se que FAI foi significativamente (p<0,05) melhor em conteúdo de macrominerais, entretanto, para teores do mineral Ca, FSB foi superior a FSV e FAI, que não diferiram significativamente (p<0,05) entre si, o conteúdo de Mg foi significativamente (p<0,05) semelhante para FAI e FSV.

**Tabela 6** - Valores médios e desvio padrão de minerais em 100g de farinhas de sorgo vermelho (FSV), sorgo branco (FSB) e arroz integral (FAI).

Minerais	FSV	FSB	FAI	CV (%)
<b>Macrominerais</b>				
P (g.100 g <sup>-1</sup> )	0,28 <sup>b</sup> ±0,01	0,32 <sup>b</sup> ±0,03	0,55 <sup>a</sup> ±0,03	5,58
K (g.100 g <sup>-1</sup> )	0,67 <sup>a</sup> ±1,76	0,36 <sup>b</sup> ±3,55	0,29 <sup>c</sup> ±1,64	5,62
Ca (g.100 g <sup>-1</sup> )	0,01 <sup>b</sup> ±0,0	0,02 <sup>a</sup> ±0,0	0,01 <sup>b</sup> ± 0,0	0,0
Mg (g.100 g <sup>-1</sup> )	0,12 <sup>a</sup> ±0,0	0,13 <sup>a</sup> ±0,01	0,14 <sup>a</sup> ±0,42	5,71
<b>Microminerais</b>				
Fe (mg.100 g <sup>-1</sup> )	4,05 <sup>a</sup> ±0,13	4,27 <sup>a</sup> ±0,56	1,80 <sup>b</sup> ±0,18	10,33
Mn (mg.100 g <sup>-1</sup> )	1,48 <sup>b</sup> ±0,05	1,41 <sup>b</sup> ±0,10	3,16 <sup>a</sup> ±0,16	5,47
Cu (mg.100 g <sup>-1</sup> )	0,35 <sup>a</sup> ±0,03	0,41 <sup>a</sup> ±0,04	0,23 <sup>b</sup> ±0,02	9,38
Zn (mg.100 g <sup>-1</sup> )	2,26 <sup>a</sup> ±0,10	2,39 <sup>a</sup> ±0,19	2,01 <sup>a</sup> ±0,09	5,99

Médias seguidas de mesma letra na mesma linha não diferem entre si, conforme teste de médias Tukey, a 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

Os resultados obtidos para microminerais apontam que FSV e FSB não se diferem estatisticamente ( $p < 0,05$ ) em taxas de Fe, Cu e Zn, sendo que este último elemento é também semelhante para FAI. Teores de Mn foram maiores em FAI e iguais em FSV e FSB. A FAI apresenta-se com maior conteúdo ( $p < 0,05$ ) de carboidratos e valor calórico que FSV e FSB, respectivamente, confirmando serem cereais fontes de energia (BRASIL, 2005). Um estudo feito na Índia, teve a finalidade de identificar a extensão da variação genética em cultivares locais produzidas no sul e centro da Índia, com relação ao rendimento de grãos, teor de minerais e proteínas antes de sua utilização em programas de cruzamento, avaliando 112 genótipos de sorgo após o período chuvoso, e encontrou valores superiores ao presente estudo para Ca (1,6 - 2,76 mg.100 g<sup>-1</sup>), Mg (96 - 365 mg.100 g<sup>-1</sup>), inferiores para Mn (0,68 - 0,84 mg.100 g<sup>-1</sup>), Zn (1,92 - 2,21 mg.100 g<sup>-1</sup>), e teores parecidos de Fe (3,12 - 4,38 mg.100 g<sup>-1</sup>), Cu (0,35 - 0,98 mg.100 g<sup>-1</sup>). Genótipos com níveis aumentados de minerais, podem elevar a qualidade nutricional de produtos derivados de sorgo, e proporcionar a possibilidade de serem fontes de compostos funcionais, melhorando a qualidade nutricional dos alimentos (BADIGANNAVAR *et al.*, 2016).

Paiva *et al.* (2017) avaliaram 100 genótipos de sorgo cultivados com e sem estresse hídrico, e verificaram o efeito destas condições sobre o conteúdo mineral, com objetivo identificar genótipos superiores para uso em programas de melhoramento genético, visando desenvolver cultivares biofortificadas com alta densidade e

disponibilidade de ferro e zinco, e encontraram valores semelhantes ao presente estudo para os seguintes minerais: P (0,021 – 0,36 g.100 g<sup>-1</sup>), K (0,37 – 0,4 g.100 g<sup>-1</sup>), Ca (0,017 g.100 g<sup>-1</sup>), Mg (0,12 – 0,17 g.100 g<sup>-1</sup>), Mn (1,26 - 1,97 mg.100 g<sup>-1</sup>), Cu (0,3 – 0,32 mg.100 g<sup>-1</sup>) e Zn (2,24 – 2,65 mg.100 g<sup>-1</sup>). Entretanto, as concentrações de Fe (2,95 - 3,19 mg / 100 g) para FSB e FSV foram 1,2 e 1,3 vezes maiores, respectivamente. Contudo, diversidade genéticas dos grãos, de solo e clima podem influenciar o conteúdo de minerais, explicando as diferenças entre os resultados.

Resultados semelhantes para Ca (0,063 – 1,6 g.100 g<sup>-1</sup>), Fe (0,48 - 2,26 mg.100 g<sup>-1</sup>) e Zn (1,43 - 2,2 mg.100 g<sup>-1</sup>) em FAI foram encontrados por Liu *et al.* (2017), que avaliaram a relação entre diferentes graus de moagem e a perda de minerais de duas cultivares de arroz integral. No entanto, Mn (0,55 - 2,45 mg.100 g<sup>-1</sup>) e Cu (0,08 - 0,18 mg.100 g<sup>-1</sup>) apresentaram valores superiores no presente estudo, e inferior em teores Mg (0,69 - 4,39 g.100 g<sup>-1</sup>), inferior.

Valores de Ingestão Diária Recomendada (IDR) 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), são preconizados para mulheres e homens adultos (19 a 50 anos), respectivamente (INSTITUTE OF MEDICINE US, 2003). Atendendo estas recomendações, todas as farinhas podem ser consideradas fontes P, Mg, Fe, Mn, Cu e Zn. Destacando-se como excelentes fontes de Fe, FSB e FSV que atendem 53 – 71% e 50 – 59,5% da IDR para mulheres e homens de 19 a 50 anos, respectivamente, enquanto FAI também pode ser considerada fonte de Fe, atendendo de 22,2 – 30% de da IDR. Zn foi considerado fonte para FSB, FSV e FAI, simultaneamente, além de Mg e P, igualmente, para FAI, FSB e FSV.

Os minerais Fe e Zn estão frequentemente entre os elementos deficientes na alimentação humana, além de Ca, Mg e Cu que apresentam carência em dietas de algumas populações (WHITE e BROADLEY, 2005). Alimentação deficiente de Fe, desencadeia anemia, que tem sido relatada, no Brasil, elevada prevalência nos primeiros anos de vida, principalmente em regiões desfavorecidas (BORGES *et al.*, 2007). Contudo, a biodisponibilidade de alguns minerais pode ser afetada por fatores quelantes, mas melhorada por métodos de processamento, como fermentação e cozimento, atribuindo valor nutricional ao sorgo (PROIETTI *et al.*, 2013).

O presente estudo exibiu K, P e Mg como os macrominerais mais abundantes em sorgo vermelho e branco e, Fe e Zn foram os microminerais de maiores concentrações,

assim como relatado nos trabalhos desenvolvidos por Pontieri *et al.* (2014) e Afify *et al.* (2012).

Diante do exposto, nota-se que os diferentes teores dos nutrientes encontrados na literatura, em comparação ao presente estudo podem ser atribuídos não apenas a utilização de metodologias distintas, mas, principalmente, ao ambiente de cultivo e disponibilidade de inúmeros genótipos destes cereais distribuídos na natureza.

Através dos resultados apresentados pela Tabela 7, pode-se identificar o efeito dos genótipos de grãos integrais de sorgo e arroz sobre a composição fitoquímica das farinhas.

FSV apresentou diferença significativa ( $p > 0,05$ ) de FSB e FAI, para atividade antioxidante por DPPH e ABTS, fenólicos totais, flavonoides totais, antocianinas totais e carotenoides totais. A atividade antioxidante por DPPH e ABTS, e carotenoides totais foram estatisticamente semelhantes para FSB e FAI, sendo que FSB foi superior a FAI em conteúdo de flavonoides totais e antocianinas totais, e obteve-se maiores valores para fenólicos totais em FAI que FSB.

**Tabela 7** - Valores médios e desvio padrão ( $\pm$ ) da composição fitoquímica das farinhas de sorgo vermelho (FSV), sorgo branco (FSB) e arroz integral (FAI) das análises de atividade antioxidante por DPPH e ABTS, fenólicos totais, flavonoides totais, antocianinas totais e carotenoides totais.

Fitoquímicos	FSV	FSB	FAI
DPPH ( $\mu\text{mol TE/g}$ ) <sup>A</sup>	12,25 <sup>a</sup> $\pm$ 1,7	3,47 <sup>b</sup> $\pm$ 0,73	2,10 <sup>b</sup> $\pm$ 0,4
ABTS ( $\mu\text{mol TE/g}$ ) <sup>A</sup>	16,91 <sup>a</sup> $\pm$ 0,5	6,45 <sup>b</sup> $\pm$ 1,67	5,24 <sup>b</sup> $\pm$ 2,7
Fenólicos T. (mg GAE.g <sup>-1</sup> ) <sup>B</sup>	3,12 <sup>a</sup> $\pm$ 1,05	0,78 <sup>c</sup> $\pm$ 1,05	0,97 <sup>b</sup> $\pm$ 2,3
Flavonoides T.(mgPirocatequina.g <sup>-1</sup> )	6,71 <sup>a</sup> $\pm$ 0,5	3,72 <sup>b</sup> $\pm$ 0,43	3,3 <sup>c</sup> $\pm$ 0,4
Antocianinas T. (mg LUT.g <sup>-1</sup> ) <sup>C</sup>	6,43 <sup>a</sup> $\pm$ 0,04	3,79 <sup>b</sup> $\pm$ 0,1	0,04 <sup>c</sup> $\pm$ 0,1
Carotenoides T. ( $\mu\text{g } \beta\text{C.100g}^{-1}$ ) <sup>D</sup>	2,08 <sup>a</sup> $\pm$ 0,44	1,10 <sup>b</sup> $\pm$ 0,34	1,51 <sup>b</sup> $\pm$ 0,2

Médias seguidas de mesma letra na mesma linha não diferem entre si, conforme teste de médias Tukey, a 5% de significância. <sup>A</sup>  $\mu\text{mol}$  equivalente de Trolox por grama de farinha; <sup>B</sup> mg equivalente de Ácido Gálico por g de farinha; <sup>C</sup> mg equivalente de Luteolinidina por g de farinha, <sup>D</sup> $\mu\text{g}$  equivalente de  $\beta$ -caroteno em 100g de farinha.

Wu *et al.* (2017) verificaram o efeito de diferentes tratamentos de irrigação em seis genótipos de sorgo sobre teores de polifenóis e atividade antioxidante, e constataram que a atividade antioxidante foi menor que a capacidade antioxidante e cultivares de sorgo vermelho foram superior em todos os fitoquímicos analisados,

obtendo atividade antioxidante por DPPH e ABTS com concentrações de 3,01 – 6,18 mg/g<sup>-1</sup> e 7,75 – 12,79 mg/g<sup>-1</sup>, respectivamente, e 2,49 – 4,7 mg.g<sup>-1</sup> para fenólicos totais, 1,04 – 1,98 mg.g<sup>-1</sup> para flavonoides e 1,39 – 7,36 mg.g<sup>-1</sup> para antocianinas totais em três genótipos de sorgo vermelho. Em genótipo de sorgo branco, foi encontrado 1,32 – 2,02 mg.g<sup>-1</sup> para atividade antioxidante por DPPH e 2,26 – 2,57 para ABTS. Obteve-se ainda 1,82 – 2,23 mg.g<sup>-1</sup> para fenólicos totais, 0,15 – 0,47 mg.g<sup>-1</sup> para flavonoides, e 6,42 – 7,36 mg.g<sup>-1</sup> para antocianinas totais. Estes resultados são semelhantes ao presente estudo. Min *et al.* (2012) avaliaram concentrações fenólicas totais, flavonoides totais, antocianinas totais e atividade antioxidante em farelo de seis cultivares de arroz integral com colorações diferentes e arroz integral branco e castanho apresentaram concentrações de fenólicos (0,44 - 0,82 mg.g<sup>-1</sup>), flavonoides (0,2 – 0,27 mg.g<sup>-1</sup>), antocianinas (0,00 – 0,03 mg.g<sup>-1</sup>) e atividade antioxidante pelo método DPPH (0,99 – 3,29 μmol.g<sup>-1</sup>) semelhantes ao presente estudo.

Carotenoides totais de 100 genótipos de sorgo foram avaliados por Cardoso *et al.* (2015) e obtiveram valores variados de carotenoides totais, entre 2,12-85,46 μg. g<sup>-1</sup>, resultados semelhantes aos apresentados no presente estudo para FSV e FSB. Afify *et al.* (2012a) investigaram as alterações nos fenóis totais, flavonoides, atividade antioxidante e capacidade antioxidante de três variedades de sorgo branco e obtiveram resultados superiores ao presente estudo para atividade antioxidante e capacidade antioxidante, sendo que apresentou valores menores de fenólicos, flavonoides. Conforme Arnão (2000), diferenças em teores de atividade antioxidante podem estar relacionadas a interferência de outros antioxidantes presentes no grão, como carotenoides e antocianinas, que também podem ser absorvidos no mesmo comprimento de onda analisado.

Os compostos fenólicos da FSV apresentam elevada atividade antioxidante através da sua capacidade de eliminar os radicais livres. Os teores de compostos fenólicos e a atividade das enzimas que sintetizam ou catabolizam fenóis no grão de sorgo têm grande influência sobre as propriedades dos produtos alimentares, como o sabor e a cor, estando entre os principais requisitos para determinar a utilização do sorgo como alimento, além de, possivelmente, este grão proporcionar compostos com efeitos protetores a saúde em alimentos livres de glúten (AWIKA, 2004).

A Tabela 8 apresenta as coordenadas de cor das farinhas obtidas. Os resultados permitiram mostrar que FSV apresenta menor claridade (L\*) e maiores valores para a\* e b\*, significando maior proporção de pigmentos vermelho sobre o amarelo, assim como

aumento de °Hue, que indica tonalidade mais avermelhada, significativamente ( $p>0,05$ ), que FSB e FAI, respectivamente.

**Tabela 8** - Valores médios e desvio padrão das coordenadas de cor em farinhas de sorgo vermelho (FSV), sorgo branco (FSB) e arroz integral (FAI).

Tratamentos	L*	a*	b*	Chroma	°Hue
FSV	70,81±0,09 <sup>c</sup>	7,31±0,12 <sup>a</sup>	14,47±0,21 <sup>a</sup>	71,19±0,08 <sup>c</sup>	5,89±0,10 <sup>a</sup>
FSB	76,47±0,08 <sup>b</sup>	4,04±0,19 <sup>b</sup>	14,01±0,18 <sup>b</sup>	76,58±0,08 <sup>b</sup>	3,02±0,14 <sup>b</sup>
FAI	82,51±0,13 <sup>a</sup>	1,53±0,02 <sup>c</sup>	12,92±0,12 <sup>c</sup>	82,52±0,13 <sup>a</sup>	1,06±0,02 <sup>c</sup>
<b>CV (%)</b>	<b>0,14</b>	<b>3,01</b>	<b>1,27</b>	<b>0,13</b>	<b>3,01</b>

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si, conforme teste de médias Tukey, a 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

Estes resultados confirmam que o maior comparecimento de antocianinas (Tabela 7), por exemplo, nos pericarpos dos grãos utilizados no presente estudo, sejam uma das causas que afetaram a coloração de FSV, FSB e FAI, respectivamente. FAI exibiu parâmetros de L\* e b\*, que identificam maior claridade, características de cores próximas a neutralidade, respectivamente. Como mostrado anteriormente, a coloração neutra pode estar relacionada a menor presença de compostos antioxidantes em FAI, resultados apresentados na Tabela 7.

#### 5.1.4. Conclusão

Foram produzidas farinhas de grãos integrais de sorgo vermelho, branco e arroz, com rica composição nutricional, obtendo farinhas de sorgo integral com elevados teores de fibras alimentares e minerais, interessante para enriquecimento de alimentos integrais na indústria alimentícia. A composição fitoquímica de FSV apresentou, consideravelmente, maiores teores de antioxidantes. As características funcionais tecnológicas das farinhas evidenciaram a potencialidade de aplicação destas no desenvolvimento de novos produtos alimentícios integrais e isentos de glúten.

### 5.1.5. Referências Bibliográficas

AFIFY, A. M. R.; EL-BELTAGI, H. S.; EL-SALAM, S. M. A.; OMRAN, A. A. Effect of Soaking, Cooking, Germination and Fermentation Processing on Proximate Analysis and Mineral Content of Three White Sorghum Varieties (*Sorghum bicolor* L. Moench). **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, Giza, vol. 40, n. 2, p. 92-98, 2012.

AFIFY, M. R.; EL-MONEIM, A.; EL-BELTAGI, H. S.; EL-SALAM, S. M. A.; OMRAN, A. A. Biochemical changes in phenols, flavonoids, tannins, vitamin E,  $\beta$ -carotene and antioxidant activity during soaking of three white sorghum varieties. **Asian Pacific Journal Trop Biomedice**, Giza, vol.2, n. 3, p. 203-209, 2012<sup>a</sup>.

AI, Y.; MEDIC, J.; JIANG, H.; WANG, D.; JANE, J. Starch characterization and ethanol production of sorghum. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 13, p. 7385-7392, 2011.

AHMED, J.; AL-JASSAR, S.; THOMAS, L. A comparison in rheological, thermal, and structural properties between Indian Basmati and Egyptian Giza rice flour dispersions as influenced by particle size. **Food Hydrocolloids**, Kuwait, vol.48, p. 72–83, 2015.

AHMED, J.; RAMASWAMY, H. S.; AYAD, A.; ALLI, I.; ALVAREZ, P. Effect of high-pressure treatment on rheological, thermal and structural changes in Basmati rice flour slurry. **Journal of Cereal Science**, vol. 46, n. 2, Sainte-Anne-de-Bellevue, p. 148–156, 2007.

AJIBOYE, T. O.; KOMOLAFE, Y. O.; OLOYEDE, B. O.; OGUNBODE, S. M.; ADEOYEC, M. D.; ABDULSALAMIC, I. O.; NURUDEEND, Q. O. Polyphenolic extract of *Sorghum bicolor* grains enhances reactive oxygen species detoxification in N-nitrosodiethylamine-treated rats. **Food Science and Human Wellness**, Osogbo, v.2, n. 1, p. 39–45, 2013.

ARNAO, M. B. Some methodological problems in determining the antioxidant activity using chromogenic radicals: a practical case. **Trends in Science and Technology**, Murcia, vol.11, p. 419-421, 2000.

AWIKA, J. M.; ROONEY, L. W. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. **Phytochemistry**, College Station, vol. 65, n.9, p. 1199–1221, 2004.

AWIKA, J. M.; ROONEY, L. W.; WANISKA, R. D. Properties of 3-Deoxyanthocyanins from Sorghum. **Journal Agric Food Chemistry**, College Station, vol. 52, n. 14, p.4388-4394, 2004.

AWIKA, J. M.; PIIRONEN, V.; BEAN, S. Advances in Cereal Science: Implications for Food Processing and Health Promotion. **American Chemical Society**, Texas, vol. 1084, p.131-14, 2011.

BORGES, C. V. D.; VEIGA, A. P. B.; BARROSO, G. S.; JESUS, E. F. O.; SERPA, R. F. B.; S. MOREIRA, S. Association among serum concentration of minerals, anthropometric indices and diarrhea in low-income children in the metropolitan region of Rio de Janeiro, Brazil. **Journal of Nutrition**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 2, p. 159-169, 2007.

BRAND-WILLIAMS, W., CUVELIER, M.E., BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT-Food Science and Technology**, Massy, vol. 28, n. 1, p.25–30, 1995.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº263, de 22 de setembro de 2005. Aprova o regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 23 set. 2005.

CARDOSO, L. de M.; PINHEIRO, S. S.; da SILVA, L. L.; de MENEZES, C. B.; de CARVALHO, C. W. P.; TARDIN, F. D.; QUEIROZ, V. A. V.; MARTINO, H. S. D.; PINHEIRO-SANT'ANA, H. M. Tocochromanols and carotenoids in sorghum (*Sorghum bicolor* L.): Diversity and stability to the heat treatment. **Food Chemistry**, Governador Valadares, vol. 172, p. 900–908, 2015.

CLAVER, I. P.; ZHANG, H.; LI, Q.; ZHU, K.; ZHOU, H. Impact of the soak and the malt on the physicochemical properties of the sorghum starches. **International Journal of Molecular Science**, vol. 11, n. 8, p. 3002 – 3015, 2010.

COZZOLINO, S.M.F. **Biodisponibilidade de nutrientes**. Barueri, SP: Manole, 992 p., 2016.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. Tradução Adriano Brandelli. [et al.]. ed. 4. Artmed. Porto Alegre: Brasil. 2010, 900 p.

DAVES, J. W. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**. Copyright by John Wiley & Sons Inc, p. 1073-1080. California, 2003.

DUODU, K. G.; NUNES, A.; DELGADILLO, I. *et al.* Effect of Grain Structure and Cooking on Sorghum and Maize in vitro Protein Digestibility. **Journal of Cereal Science**, Norwich, vol. 35, n. 2, p. 161-174, 2002.

ELKHALIFA, O.; ELMONEIM, A.; SCHIFFLER, B.; BERNHARDT, R. Effect of fermentation on the functional properties of sorghum flour. **Food Chemistry**, Omdurman, vol. 92, n. 1, p. 1–5, 2005.

ELMONEIM, A.; ELKHALIFA, O.; BERNHARDT, R. Influence of grain germination on the functional properties of sorghum flour. **Food Chemistry**, Saarbrücken, vol. 121, n. 2, p. 387-392, 2010.

GIAMI, S. Y.; BEKEBAIN, D. A. Proximate Composition and Functional Properties of Raw and Processed Full Fat Fluted Pumpkin (*Telfairia occidentalis*) Seed Flour. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, vol. 59, p. 321-325, 1992.

**INSTITUTE 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. URL <<http://www.nap.edu/catalog/10872.html>> Accessed 01.05.16.

LIU, K. L.; ZHENG, J. B.; CHEN, F. S. Relationships between degree of milling and loss of Vitamin B, minerals, and change in amino acid composition of brown rice. **LWT - Food Science and Technology**, Zhengzhou, vol. 82, p. 429–436, 2017.

MIN, B.; GU, L.; CLUNG, A. M. M.; BERGMAN, C. J.; CHEN, M. H. Free and consolidated total phenolic concentrations, antioxidant capacities and profiles of proanthocyanidins and anthocyanins in brown rice (*Oryza sativa* L.) of different bran colors. **Food Chemistry**, vol.133, p. 715-722, 2012.

MORAES, E. A.; MARINELI, R da S.; LENQUISTE, S. A.; AÇO, C. J.; de MENEZES, C. B.; QUEIROZ, V. A. V.; MARÓSTICA, M. R. J. Sorghum Flour Fractions: Correlations between polysaccharides, phenolic compounds, antioxidant activity and glycemic index. **Food Chemistry**, Campinas, vol. 180, p. 116-123, 2015.

NIR, Y.; FIELDMANN, A.; ASERIN, N.; GARTE. Surface Properties and Emulsification Behavior of Denatured Soy Proteins. **Journal of Food Science**, vol. 59, n. 3, p. 606-610, 1994.

OGUNWOLU, S. O.; HENSHAW, F. O.; MOCK, H. P.; ANDREA SANTROS, A.; AWONORIN, S. O. Functional properties of protein concentrates and isolates produced from cashew (*Anacardium occidentale* L.) nut. **Food Chemistry**, Ibadan, vol. 115, n. 3, 852–858, 2009.

PAIVA, C. L.; QUEIROZ, V. A. V.; SIMEONE, M. L. F.; SCHAFFERT, R. E.; de OLIVEIRA, A. C.; da SILVA, C. S. Mineral content of sorghum genotypes and the influence of water stress. **Food Chemistry**, Montes Claros, vol. 214, 400–405, 2017.

PONTIERI, P.; TROISI, J.; FIORE, R. D.; MARO, A. D.; BEAN, S. R.; TUINSTRAN, M. R.; ROEMER, E.; BOFFA, A.; GIUDICE, A. D.; PIZZOLANTE, G.; ALIFANO, P.; GIUDICE, L. D. Mineral contents in grains of seven food-grade sorghum hybrids grown in a Mediterranean environment. **Australian Journal of Crops Science**, Napoli, vol. 8, n. 11, p. 1550-1559, 2014.

PROIETTI, I.; MANTOVANI, A.; MOUQUET-RIVIER, C.; GUYOT, J. P. Modulation of chelating factors, trace minerals and their estimated bioavailability in Italian and African sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) porridges. **International Journal of Food Science and Technology**, vol.48, n. 7, p. 1526–1532, 2013.

QUEIROZ, V. A. V.; da SILVA, C. S.; de MENEZES, C. B.; SCHAFFERT, R. E.; GUIMARÃES, F. F. M.; GUIMARÃES, L.J. M.; GUIMARÃES, P. E. de O.; TARDIN, F. D. Nutritional composition of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] genotypes with and without water stress. **Journal of Cereal Science**, Sete Lagoas, vol. 65, p. 103-111, 2015.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, vol.16, n. 3, p.144–158, 1965.

SRICHUWONG, S.; CURTI, D.; AUSTIN, S.; KING, R.; LAMOTHE, L.; GLORIA-HERNANDEZ, H. Physicochemical properties and starch digestibility of whole grain sorghums, millet, quinoa and amaranth flours, as affected by starch and non-starch constituents **Food Chemistry**, v. 233, p. 1–10, 2017.

STEVENSON, D. E.; HURST, R. D. Polyphenolic phytochemicals - just antioxidants or more? **Cellular and Molecular Life Sciences**, V. 64, p. 2900-2916, 2007.

TAYLOR, J. R. N.; ELHASSAN, M. S. M.; EMMAMBUX, M. N.; HAYS, D. B.; PETERSON, G. C.; New lines of sorghum biofortified with waxy starch (amylopectin) combined and characteristics of high protein digestion: effects on endosperm and flour properties. **Journal of Cereal Science**, v. 65, p. 132-139, 2015.

TAYLOR, J. R. N.; KRUGER, J.; OELOFSE, A.; TAYLOR, J. Potential for improvement in yeast nutrition in whole grain sorghum and maize lager production and bioethanol production through genetic modification of grains and phytase treatment. **Journal of The Institute of Brewing**, v. 118, p. 70-75, 2012.

TAYLOR, J. R. N.; MOHAMMED, S. M. E.; EMMAMBUX, M. N. Transgenic sorghum with suppressed synthesis of kafirin subclasses: Effects on flour and dough rheological characteristics. **Journal of Cereal Science**, vol. 75, p. 69-76, 2017.

TRIPATHI, B.; CHETANA, KALPNA, P. Fortification of sorghum (*Sorghum vulgare*) and pearl millet (*Pennisetum glaucum*) flour with zinc. **Journal of Trace Elements em Medicina e Biologia**, vol. 24, p. 257-262, 2010.

VARGAS-SOLÓRZANO, J. W.; CARVALHO, C. W. P.; TAKEITI, C. Y.; ASCHERI, J. L. R.; QUEIROZ, V. A. V. Physicochemical properties of expanded extrudates from colored sorghum genotypes. **Food Research International**, v. 55, p. 37–44, 2014.  
White, P. J.; Broadley, M. R. Biofortification of crops with essential mineral elements. **Trends in Plant Science**, vol. 10, p. 586-593, 2005.

WU, G.; JOHNSON, S. K.; BORNMAN, J. F.; BENNETT, S. J.; FANG, Z. Changes in whole grain polyphenols and antioxidant activity of six sorghum genotypes under different irrigation treatments. **Food Chemistry**, Perth, vol. 214, p.199-207, 2017.

ZANOTTO, D.L.; BELLAVER, C. **Método de determinação da granulometria de ingredientes para uso em rações de suínos e aves**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1996. p.1-5 (Comunicado técnico, 215).

ZAVAREZE, E. da R.; ARNS, B.; BARTZ, J.; RADUNZ, M.; DO EVANGELHO, J. A.; PINTO, V. Z.; DIAS, A. R. G. Impact of heat-moisture treatment on rice starch, applied directly in grain paddy rice or in isolated starch. **LWT - Food Science and Technology**, Pelotas, vol. 60, n. 2, 708-713, 2015.

## **5.2. ARTIGO 2 - DESENVOLVIMENTO DE MACARRÃO SEM GLÚTEN E RICO EM FIBRAS, À BASE DE FARINHAS DE GRÃOS INTEGRAIS DE SORGO VERMELHO E ARROZ.**

### **RESUMO**

Este trabalho teve por finalidade a elaboração de massas alimentícias sem glúten, com melhor aporte nutricional, qualidade tecnológica e sensorial, a partir de um planejamento de dez (10) misturas de farinhas de grãos integrais de sorgo vermelho e branco, associadas a farinha de arroz integral. Para tanto, realizou-se teste de desejabilidade para obtenção de formulação otimizada com melhores características tecnológicas e maior concentração de flavonoides totais. Avaliou-se os atributos físico-químicas, funcionais tecnológicas, nutricionais, fitoquímicas e sensorial da massa desejável. Os resultados mostraram que através de mesclas de farinhas de grãos integrais de sorgo vermelho, branco e arroz, adicionadas de goma Xantana, é possível produzir massas alimentícias sem glúten com alta qualidade tecnológica de cozimento. A massa alimentícia otimizada, formulada a partir de 75% de farinhas sorgo vermelho e 25% arroz, exibiu elevado conteúdo nutricional, sendo rica em fibras e minerais, com teores de fitoquímicos interessantes e obteve resultados sensoriais satisfatórios de aceitação e intenção de compra.

**Palavras-chave:** *Sorghum bicolor*, macarrão sem glúten, qualidade tecnológica, alimento funcional, novos produtos.

## **ARTICLE 2 - DEVELOPMENT OF GLUTEN FREE AND RICH IN FIBERS MACARONI, BASED ON WHOLE GRAIN OF RED SORGHUM AND RICE.**

### **SUMMARY**

The objective of this work was to prepare gluten - free pasta, with better nutritional, technological and sensorial quality, from ten (10) mixtures of red and white sorghum whole - grain flour, associated with whole rice flour. For that, a desirability test was performed to obtain an optimized formulation with better technological characteristics and a higher concentration of total flavonoids. The physical-chemical, functional, technological, nutritional, phytochemical and sensorial attributes of the desirable mass were evaluated. The results showed that through mixtures of whole grains of red, white and rice sorghum, added with Xanthan gum, it is possible to produce gluten-free pasta with high technological quality of cooking. The optimized pasta, formulated from 75% red sorghum and 25% rice flour, showed high nutritional content, rich in fiber and minerals, with interesting phytochemical contents and satisfactory sensory results of acceptance and purchase intention.

**Key words:** *Sorghum bicolor*, gluten-free pasta, technological quality, functional food, new products.

### 5.2.1. Introdução

Massas alimentícias são produtos não fermentados resultantes do processo de empasto e amassamento mecânico da farinha de trigo (*Triticum aestivum* L. e ou de outras espécies do gênero *Triticum* e/ou derivados de trigo durum (*Triticum durum* L.) e/ou derivados de outros cereais, leguminosas, raízes e ou tubérculos, com água, adicionados ou não de outras substâncias permitidas (BRASIL, 2005). É o segundo alimento mais consumido depois do pão e é utilizado como alimento básico em muitos países (ASTON *et al.*, 2008).

A doença celíaca está relacionada especificamente com a composição das proteínas de armazenamento, presentes em muitos cereais comuns, como trigo, centeio e cevada, que são nocivas para os consumidores sensíveis (HILL *et al.*, 2005), mas fundamentais para a produção de grande variedade de alimentos, incluindo macarrão, pois estas proteínas são formadoras de glúten, que é responsável pela qualidade tecnológica de massas alimentícias (PADALINO *et al.*, 2013). A elevada prevalência da doença celíaca tem estimulado o mercado de alimentos isentos de glúten e, a literatura revela que, geralmente, estes alimentos são deficientes em minerais, vitaminas e fibras alimentares, podendo elevar a fragilidade da saúde de pacientes celíacos, já que cereais constituídos por farinhas como a de trigo, são fortificadas com minerais e podem possuir altos teores de fibras alimentares (PUTANEM, 2009; THOMPSON, 2000).

O sorgo é um cereal sem glúten, caracterizado como base alimentar de mais de 500 milhões de pessoas no mundo. É um cereal nutritivo, rico em fibras alimentares, vitaminas, minerais e fitoquímicos, com grande capacidade para aplicação em alimentos, porém subutilizado na alimentação humana (QUEIROZ *et al.*, 2015).

Diante do exposto, este trabalho teve por finalidade a elaboração de massas alimentícias sem glúten, com melhor aporte nutricional, qualidade tecnológica e sensorial, a partir de um planejamento de dez (10) misturas de farinhas de grãos integrais de sorgo vermelho e branco, associadas a farinha de arroz integral. Para tanto, realizou-se teste de desejabilidade para obtenção de formulação otimizada com melhores características tecnológicas e maior concentração de flavonoides totais. Avaliou-se os atributos físico-químicas, funcionais tecnológicas, nutricionais, fitoquímicas e sensorial da massa desejável.

## 5.2.2. Material e Métodos

### 5.2.2.1. Matéria-prima

Foram elaboradas massas alimentícias a partir de farinhas com granulometria de 0,3 mm (50 mesh), obtidas de grãos integrais de sorgo vermelho, sorgo branco, doados por uma empresa de grãos de sementes, nas proximidades de Rio Verde – GO, e grãos integrais e arroz integral comercial (Natural Life/ Kodilar), adquirido em loja de varejo de Rio Verde – GO.

### 5.2.2.2 Produção de massas alimentícias

As massas alimentícias foram produzidas a partir de um delineamento de misturas das farinhas de grãos integrais de sorgo vermelho, branco e arroz.

#### 5.2.2.2.1. Delineamento experimental de misturas do ensaio

Utilizou-se um delineamento de misturas (BARROS NETO *et al.*, 2010) para processamento das massas, com três repetições do ponto central (F7), variando as matérias primas: 1 - Farinha sorgo vermelho (FSV); 2- Farinha de sorgo branco (FSB), 3 - Farinha de arroz integral (FAI).

A Tabela 9 apresenta o planejamento experimental de mistura dos teores das farinhas, determinados em diferentes concentrações, fornecido através do software Statística 7.0 (Statsoft, Oklahoma, Tulsa, EUA). Teste preliminares foram efetuados para serem determinadas as concentrações máximas de cada componente.

**Tabela 9** - Planejamento experimental de misturas de farinha de sorgo vermelho (FSV), farinha de sorgo branco (FSB) e farinha de arroz integral (FAI), utilizadas em concentração real (g do componente em 100g de mistura) e pseudocomponentes para processamento das massas alimentícias.

Experimento	Proporção dos ingredientes na mistura ternária					
	Concentrações Reais (g)			Pseudocomponentes (%)		
	FSV	FSB	FAI	FSV	FSB	FAI
F1	100	0	0	0,10	0	0
F2	0	100	0	0	0,10	0
F3	0	0	100	0	0	0,10
F4	50	50	0	0,50	0,50	0
F5	50	0	50	0,50	0	0,50
F6	0	50	50	0	0,500	0,50
F7 <sup>a</sup>	33,33	33,33	33,34	0,33	0,33	0,33
F8	66,8	16,6	16,6	0,10	0	0
F9	16,6	66,8	16,6	0	0,10	0
F10	16,6	16,6	66,8	0	0	0,10

<sup>a</sup> Foram realizadas três repetições do experimento F7 (ponto central)

Fonte: StatSoft: 2007.

FSV+FSB+FAI= 100%

O processamento das massas alimentícias foi realizado de forma inteiramente ao acaso, e para cálculo do erro experimental utilizou-se três repetições de cada formulação.

#### 5.2.2.2.2. Processamento de massas alimentícias

Com base em testes preliminares, para o processamento das massas alimentícias, a cada 100g de farinhas foram acrescentados 60-65% de água, 1% de goma Xantana, conforme RDC n°. 45 (BRASIL, 2010), e 1% de NaCl. O amassamento das matérias-primas foi realizado à mão até obter uma massa homogênea, para efetuar a abertura da mesma, em máquina de macarrão caseira (La Cuisine, modelo 177H), do tipo manual. A folha de massa foi cortada em formato *Talharim*, com 15 centímetros de comprimento e secas em estufa, com circulação de ar, a 50 °C durante 60 min. Em seguida, a temperatura foi elevada a 60 °C e as massas foram desidratada por mais 30 minutos (FERREIRA *et al.*, 2016). Todas as formulações de massas foram acondicionadas em sacos plásticos de polipropileno, armazenadas a -18 °C em freezer, protegidas de luz, até o momento das análises químicas, conforme Khan e colaboradores (2013).

### 5.2.2.3. *Propriedades tecnológicas das massas alimentícias*

O tempo ótimo de cozimento (TOC) das massas alimentícias foi estabelecido pela cocção de 10 g de amostra em 140 mL de água destilada em ebulição, em placa de aquecimento. O TOC foi determinado pela compressão, entre duas lâminas de vidro, de amostras do produto cozido a cada 30 segundos, depois de 3 minutos de cozimento, conforme método 16-50 da AACC (2000), até a finalização do cozimento.

Determinou-se a perda de sólidos (PS) conforme método 66-50 da AACC (2000). Foi recolhida uma alíquota de 25 mL da água de cozimento e evaporou em estufa a 105°C até obtenção de peso constante. Os resultados foram expressos em porcentagem.

O ganho de massa (GM) foi determinado conforme método 66-50 (AACC, 2000), através da razão entre 10g de amostra antes e após a cocção, utilizando o tempo ótimo de cozimento de cada formulação experimental.

Verificou-se as propriedades tecnológicas em todas as formulações obtidas.

### 5.2.2.4. *Microscopia eletrônica de varredura – MEV do macarrão otimizado*

A análise estrutural da massa otimizada, sem cozimento, foi realizada por microscopia eletrônica de varredura, nos perfis superficiais e corte longitudinal obtendo imagens da superfície externa das massas alimentícias e central das amostras conforme metodologia estabelecida por Goldstein (1992).

### 5.2.2.5. *Composição nutricional do macarrão otimizado*

Para a formulação otimizada crua, determinou-se o teor de água, cinzas, extrato etéreo total, proteínas, carboidratos totais, fibra alimentar total, solúvel e insolúvel, e valor energético de acordo com as metodologias AOAC (2016), perfil mineral (Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn, P e K) pelo método nº 965.9 de digestão ácida nitro-perclórica (AOAC, 2000; MALAVOLTA *et al.*, 1997).

### 5.2.2.6. Composição fitoquímica

#### 5.1.2.6.1. Métodos de extração

Para obtenção dos extratos, a amostra foi triturada em macro moinho de facas, tipo Willye (Te-650/1, Piracicaba, SP, Brasil). O extrato do macarrão otimizado, sem cozimento, para avaliação da atividade antioxidante pelo método DPPH (1,1-difenil-2-picril-hidrazila) foi preparado conforme método de Singleton e Rossi (1965), com adaptações de Awika *et al.* (2005). Os extratos para avaliar a atividade antioxidante por ABTS (2,2'-azinobis (-6-sulfônico 3-etilbenzotiazolina ácido)), quantificar os compostos fenólicos totais, flavonoides totais (para todas as formulações), antocianinas totais foram preparados conforme Awika *et al.*, 2005.

#### 5.1.2.6.2. Antioxidantes

Determinou-se a atividade antioxidante pelo método DPPH (1,1-difenil-2-picril-hidrazila) de acordo com Brand-Williams, Cuvelier e Berset (1995) e modificações de Sánchez-Moreno, Larrauri e Sauro-Calixto (1998), realizando as leituras a 510 nm. Os resultados foram expressos em equivalentes de  $\mu\text{mol}$  de Trolox / g de matéria seca). A atividade antioxidante utilizando ABTS (2,2'-azinobis (-6-sulfônico 3-etilbenzotiazolina ácido)) foi realizada pelo método de Van Den Berg, Haenen e Bast (1999) modificado por Liyana-Pathirana e Shahidi (2007) e citado por Khan *et al.* (2013).

Teores de fenólicos totais foram determinados pelo método de Folin-Ciocalteu, conforme proposto por Singleton e Rossi (1965), com adaptação de Daves (2003). A leitura foi realizada a 725 nm e o cálculo do teor de fenólicos totais feito a partir da equação da reta obtida e, os valores foram expressos em mg equivalentes de ácido gálico por g de amostra.

Determinou-se teores de flavonoides totais de acordo com o método espectrofotométrico descrito por Zhishen e colaboradores (1999). As amostras foram lidas em comprimento de onda de 510 nm. Utilizou-se pirocatequina como padrão e os valores foram expressos em mg equivalentes de pirocatequina por g de amostra.

As antocianinas foram extraídas de acordo com metodologia de Fuleki e Francis (1968), conforme citada por Oliveira *et al.* (2017). As amostras foram lidas em espectrofotômetro (BEL, UV-S-2000, Piracicaba, SP, Brasil) a 480 nm e, os teores de antocianinas totais foram expressos em mg equivalentes de luteolinidinas g de amostra.

O conteúdo de carotenoides totais foi extraído em solução de acetona / etanol com a adição de BHT (2.6-ditert-butil-4-metil fenol) e a absorbância (453nm) foi medida utilizando um espectrofotômetro (BEL, UV-S-2000, Piracicaba, SP, Brasil), conforme método de Talcoot e Howard (1999). Através da equação de Gross (1991), os teores de carotenoides totais foram expressos em  $\mu\text{g}$  equivalente de  $\beta$ -caroteno em 100g de amostra.

#### 5.1.2.7. Análises microbiológicas

Anterior a análise sensorial realizou-se análises microbiológicas do macarrão otimizado cozido, conforme parâmetros determinados pela ISO, para contagem de Coliformes fecais a 45°C, *Estafilococcus* coagulase positiva, *Bacilos Cereus* e *Salmonella ssp*, em conformidade com a RDC nº12 de janeiro de 2001 da Agência Nacional da Vigilância Sanitária (BRASIL, 2012).

#### 5.1.2.8. Análise sensorial

Foi realizada análise sensorial de aceitação e intenção de compra da formulação otimizada, com um painel de 101 provadores, não treinados, que avaliaram sabor, aroma textura. O teste de aceitação foi aplicado por meio de escala hedônica estruturada de nove pontos (Anexo VI), variando de desgostei extremamente (“1”) a gostei extremamente (“9”). Para o teste sensorial de intenção de compra será realizado através de escala estruturada de cinco pontos (1 = certamente não compraria; 2 = provavelmente não compraria, 3 = talvez compraria, 4 = provavelmente compraria e 5 = certamente compraria) (Anexo VI). Para estes testes foram necessários 101 provadores.

As análises foram realizadas em cabines individuais, com luz branca. Cada participante recebeu a amostra de macarrão cozido adição de sal e molho comercial, em pratos descartáveis.

### 5.1.2.9. Análise estatística

Conforme Barros Neto (2010), estabeleceu-se 10 formulações, sendo que, para assegurar a qualidade do ajuste do modelo empregado, fez-se três repetições do ponto central (F7) e foram acrescentados novos ensaios (F8, F9, e F10), não usados na modelagem e comparou-se os resultados observados com os valores preditos para cada variável resposta.

As variáveis resposta dependentes avaliadas no experimento, a partir de elaboração das formulações de massa alimentícia, foram as propriedades tecnológicas de tempo de cozimento, perda de sólidos, e o teor de flavonoides. Cada resposta foi submetida a análise de variância (ANOVA), para nível de significância ( $p \leq 0,05$ ), estabelecendo-se a determinação experimental ( $R^2$ ) e determinação ajustado ( $R_{aj}^2$ ) para modelos matemáticos gerados para cada variável resposta.

Para os modelos matemáticos gerados, obtiveram-se diagramas triangulares de resposta do delineamento de mistura conforme Barros Neto *et al.* (2010). Através destes gráficos foram avaliados o comportamento experimental tecnológico e de teores de flavonoides para os pontos máximo (100), médio (50) e mínimo (0).

Empregou-se o teste de desejabilidade para determinar a formulação otimizada que apresentasse menores valores de tempo ótimo de cozimento (TOC) e perda de sólidos (PS), e maiores valores de ganho de massa (GM) e flavonoides totais (FLA), por meio da função *response desirability profiling* do software estatístico.

Utilizou-se o software computacional Statistica versão 7.0 (STATSOFT, 2007, Tulsa, EUA) para determinar o delineamento experimental de mistura, os modelos matemáticos, plotagem das curvas e o teste de desejabilidade. As análises do macarrão otimizado (MO) foram realizadas em delineamento inteiramente ao acaso, em triplicata.

### 5.2.3. Resultados e Discussão

As 10 formulações experimentais de massas alimentícias elaboradas a partir do delineamento de misturas de FSV, FSB e FAI estão apresentadas na Figura 10.



**Figura 10** - Formulações experimentais de massas alimentícias secas obtidas a partir do delineamento de misturas de FSV, FSB e FAI. (F1) 100% FSV. (F2) 100% FSB, (F3) 100% FAI. (F4) 50% FSV + 50% FSB. (F5) 50% FSV + 50% FAI. (F6) 50% FSB + 50% FAI. (F7) 33,3% FSV+ 33,3% FSB + 33,3% FAI. (F8) 66,7% FSV + 16,6% FSB + 16,6% FAI. (F9) 16,6%FSV + 66,7% FSB + 16,6% FAI. (F10) 16,6% FSV + 16,6% FSB + 66,7% FAI.

Na Tabela 10 estão relacionados os valores do Tempo ótimo de cozimento (TOC), ganho de massa (GM), perda de sólidos (PS) e flavonoides totais (FLA) das formulações experimentais propostas pelo planejamento experimental para misturas simplex centroide.

**Tabela 10** - Tempo ótimo de cozimento (TOC), ganho de massa (GM), perda de sólidos (PS) e flavonoides totais (FLA) das formulações experimentais propostas pelo planejamento experimental para misturas simplex centroide em função da concentração de farinha de sorgo vermelho (FSV), farinha de sorgo branco (FSB) e farinha de arroz integral (FAI).

<b>Fornulações</b>	<b>TOC min.</b>	<b>PS g.100g<sup>-1</sup></b>	<b>GM %</b>	<b>FLA mg.g<sup>-1</sup></b>
F1	7±0,03	3,88±0,02	98,29±0,04	4,75±0,2
F2	9,19±0,0	3,1±0,02	114,16±0,0	3,08±0,3
F3	14,82±0,01	7,27±0,05	188,81±0,02	2,34±0,2
F4	8,84±0,02	2,94±0,07	141,7±0,05	3,79±0,1
F5	9,29±0,05	3,44±0,01	171,43±0,03	4,19±0,7
F6	9,3±0,03	3,46±0,09	186,32±0,01	3,48±0,22
F7 <sup>a</sup>	9,39±0,01	3,30±0,04	151,17±0,03	2,33±0,5
F8	5,20±0,0	2,81±0,05	134,17±1,02	2,42±0,4
F9	7,30±0,0	3,287±0,5	154,08±0,51	2,38±0,9
F10	6,20±0,0	3,77±0,61	178,98±0,31	1,56±0,6

<sup>a</sup> Média de resultados com três repetições.

Estão apresentados na Tabela 11, os modelos matemáticos com significância (P), os coeficientes de determinação experimentais ( $R^2$ ) e de determinação ajustáveis ( $R^2_{aj}$ ), utilizados para descrever o comportamento do tempo ótimo de cozimento (TOC), perda de sólidos (PS), ganho de massa (GM) e flavonoides totais (FLA) das massas experimentais em função das concentrações de farinha de grãos integrais de sorgo vermelho (FSV), sorgo branco (FSB) e arroz (FAI).

**Tabela 11** - Equações, valor-p, coeficientes de determinação experimental ( $R^2$ ) e coeficientes de determinação ajustados ( $R^2_{aj}$ ) das modelagens matemáticas obtidas para propriedades tecnológicas de tempo ótimo de cozimento (TOC), perda de sólidos (PS), ganho de massa (GM) e, para o teor de flavonoides totais (FLA) em função das diferentes concentrações de farinha de sorgo vermelho (FSV), farinha de sorgo branco (FSB) e farinha de arroz integral (FAI) das massas alimentícias experimentais.

Variável Resposta	Equação	Valor - p	$R^2$	$R^2_{aj}$
TOC	$TOC=6,7483*FSV+9,4538*FSB+14,1835*FAI+2,9811*FSV*FSB-7,915*FSV*FAI-11,748*FSB*FAI-33,2505*FSV*FSB*FAI$	0,0021	0,658	0,811
PS	$PS=3,6113*FSV+3,7817*FSB+7,1868*FAI-1,2068*FSV*FSB-10,3717*FSV*FAI-7,1715*FSB*FAI+14,4682*FSV*FSB*FAI$	0,013	0,807	0,898
GM	$GM=100,0123*FSV+119,6938*FSB+179,539*FAI+156,3638*FSV*FSB+96,394*FSV*FAI+131,8238*FSB*FAI-830,4354*FSV*FSB*FAI$	0,0025	0,818	0,904
FLA	$FLA=4,6033*FSV+3,1417*FSB+2,2058*FAI-0,7051*FSV*FSB+1,9873*FSV*FAI+2,9104*FSB*FAI-58,1537*FSV*FSB*FAI$	0,009	0,830	0,911

A validação da qualidade dos modelos foi confirmada pela comparação entre os valores experimentais de TOC, PS, FLA e F8 em GM, pois os resultados observados não apresentaram grandes discrepâncias quando comparados com os valores preditos, exibindo alta capacidade preditiva, como mostra a Tabela 12.

**Tabela 12** - Valores observados experimentalmente e valores preditos pelo modelos matemáticos para os experimentos de validação das propriedades tecnológicas de tempo ótimo de cozimento (TOC), ganho de massa (GM), perda de sólidos (PS) e, para flavonoides totais (FLA).

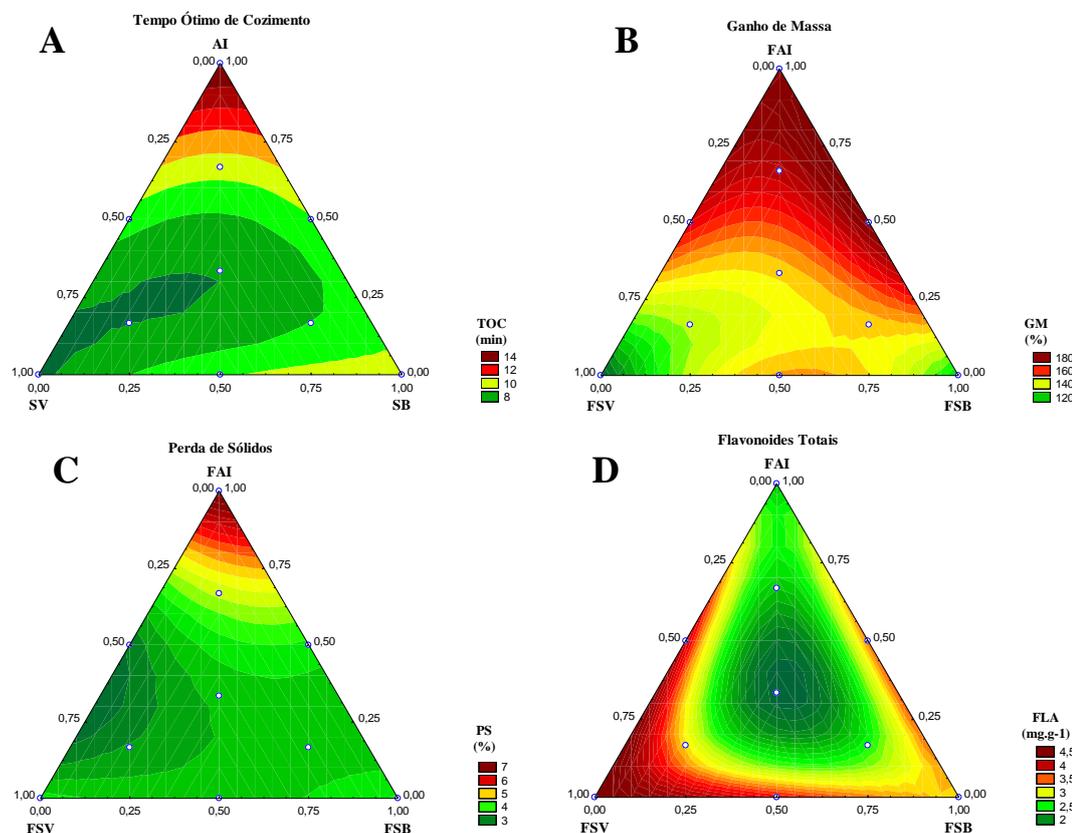
Variável Resposta	Experimento	Valores Preditos	Valores Experimentais	Variação
TOC	F7 <sup>a</sup>	7,043	9,39±0,01	2,611
	F8	6,948	5,20±0,02	1,748
	F9	7,981	7,30±0,01	0,681
	F10	9,437	6,20±0,01	3,237
GM	F7 <sup>b</sup>	144,940	151,17±0,03	6,238
	F8	133,487	134,17±1,02	0,682
	F9	145,542	154,08±0,51	8,538
	F10	170,461	178,98±0,31	8,519
PS	F7 <sup>c</sup>	4,056	3,30±0,04	0,753
	F8	3,017	2,81±0,05	0,207
	F9	3,369	3,287±0,5	0,082
	F10	4,308	3,77±0,61	0,538
FLA	F7 <sup>d</sup>	1,628	2,33±0,5	0,701
	F8	3,106	2,420±0,4	-0,685
	F9	2,452	2,382±0,9	-0,070
	F10	2,208	1,561±0,6	-0,647

<sup>a</sup> Média de resultados individuais (9,4; 9,48; 9,4); <sup>b</sup> Média de resultados individuais (140,3;149;164,14); <sup>c</sup> Média de resultados individuais (3;3,3;3,61); <sup>d</sup> Média de resultados individuais (2,33;2,36;2,29).

Foram encontradas maiores diferenças para F7, F9 e F10 em GM, já que os valores preditos subestimam os resultados observados. Explica-se estas diferenças pelo fato de que os efeitos das amostras não podem ser controlados, ou ainda, por estarem relacionadas aos erros experimentais, ou aos coeficientes de determinação das equações dos modelos (MARQUES, 2016).

A Figura 11 exibe as curvas de nível resposta, obtidas por meio dos modelos gerados para tempo ótimo de cozimento (TOC), perda de sólidos (PS), ganho de massa (GM) em função das diferentes concentrações de farinha de sorgo vermelho (FSV),

farinha de sorgo branco (FSB) e farinha de arroz integral (FAI) das massas alimentícias experimentais.



**Figura 11** - Curvas de níveis respostas relativas (A) tempo ótimo de cozimento, (B) ganho de massa, (C) perda de sólidos e (D) flavonoides, em função das diferentes concentrações de farinha de sorgo vermelho (FSV), farinha de sorgo branco (FSB) e farinha de arroz integral (FAI) das massas alimentícias experimentais.

Nota-se que quanto maior a concentração de FAI nas formulações, maior o tempo ótimo de cozimento das massas alimentícias, efeito representado na curva de nível a (Figura 11. A) pelas cores avermelhadas. Ainda na Figura (11. A), observa-se que, a menor da concentração de FSB e maior de FSV, induz a redução do tempo ótimo de cozimento. Isto pode estar relacionado ao fato de que a incorporação de FSV eleva o teor de proteínas na constituição das amostras e facilita a penetração de água na amostra por não formarem a rede de glúten, influenciando no tempo ótimo de cozimento de massas, assim como a condição de gelatinização do amido, conforme explica Delcour *et al.* (2000). O menor tempo de cozimento pode estar relacionado a constituição das

proteínas que, por sua vez, não são formadoras de rede de glúten e, conforme relatam Damodaran *et al.* (2010), estas contribuem para aceleração do processo de gelatinização do amido e gelificação das proteínas, assim como a elevação da temperatura durante o cozimento das massas. A absorção de água pela massa gera mudanças na matriz proteica, ficando mais porosa, acelerando o processo de difusão da água pela massa, facilitando a condução do líquido no interior da amostra. Sendo assim, há transformação da textura interna do macarrão, contribuindo para a redução de TOC para as amostras (BECKER, 1960; BUSTOS *et al.*, 2015), principalmente quando constituídas por maiores concentrações de FSV.

A propriedade tecnológica de ganho de massa (Figura 11.B) obteve maiores valores quando há aumento das concentrações de FAI e FSB do que FSV. O ganho de massa está relacionado à capacidade de absorção de água das massas, sendo que o baixo ganho de massa está relacionado a menor capacidade de absorção de água, podendo resultar em macarrões mais duros, com qualidade sensorial menor (BHATTACHARYA; ZEE; CORKE, 1999). Entretanto, as formulações estudadas no presente trabalho apresentaram valores aceitáveis para este parâmetro de qualidade, já que o ganho de massa deve apresentar aumento mínimo de 100%, conforme critérios de HUMMEL (1966).

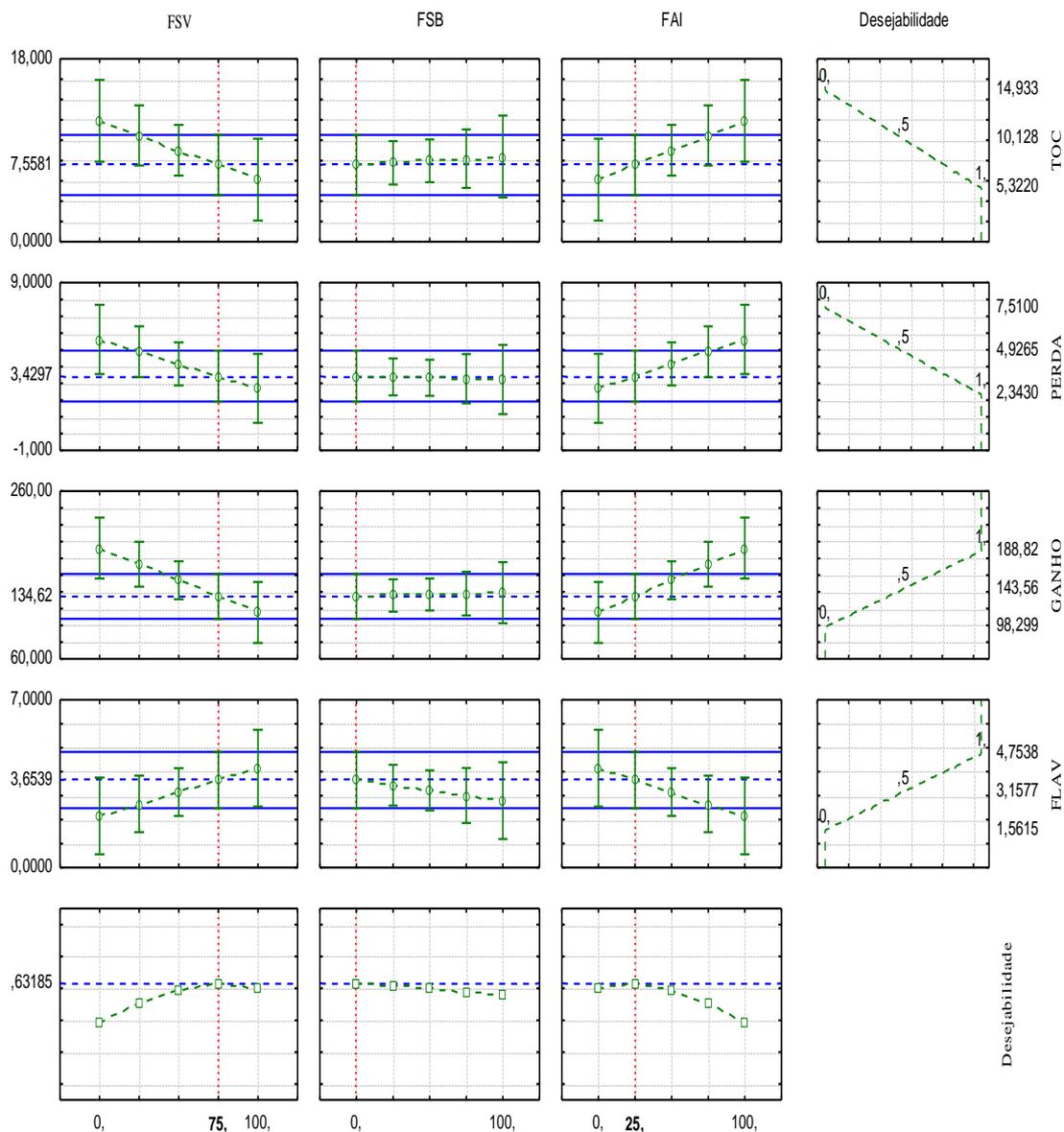
A perda de sólidos na água de cozimento das massas experimentais é apresentada na Figura 11.C e sugere que maiores proporções de FSV e FSB, quando combinadas, reduzem a perda de sólidos das amostras, representada pelos tons de verde. Conforme Hummel (1966), massas alimentícias de ótima qualidade não devem apresentar perda de sólidos superior a 6%, de média qualidade entre 6 e 8 %, e acima de 10% são caracterizadas de baixa qualidade. Considerando esta classificação, os resultados alcançados para a propriedade tecnológica de perda de sólidos na água de cozimento das massas alimentícias estudadas no presente trabalho, permitem que possam ser classificadas como de ótima qualidade para todas as formulações experimentais que contenham, pelo menos o mínimo de concentração de FSV e/ou FSB, e como média qualidade para a formulação constituída unicamente de FAI (Formulação 3). Elevadas perdas de sólidos são características indesejáveis e representam alta solubilidade do amido, exibindo turbidez na

água de cozimento e reduzida tolerância ao cozimento (BHATTACHARYA; ZEE; CORKE, 1999).

A reduzida perda de sólidos durante o cozimento pode ser explicada, provavelmente, pela adição de goma Xantana as amostras. Segundo Basman e Yalcin (2008), o próprio amido da goma Xantana pode formar uma rede de amido que substitua a rede de proteínas do glúten, podendo fortalecer a integridade estrutural das massas alimentícias produzidas e apresentar melhora de propriedades tecnológicas como redução de perda de sólidos durante o cozimento e aumento de absorção de água, com consequente ganho de massa, além de aprimorar propriedades de texturas e sensoriais.

A Figura 11.D apresenta as curvas de nível resposta obtidas por meio dos modelos gerados para flavonoides totais (FLA) das massas alimentícias experimentais e, observa-se que os teores deste fitoquímico é aumentado quando há maior concentração de FSV, e reduzido quando há maiores concentrações de FAI e/ou FSB. Os menores valores para flavonoides se encontram na região de cor verde escuro, que se inicia próxima ao centroide (33,33%, 33,33%, 33,33%). O aumento dos teores de flavonoides está relacionado a constituição da matéria-prima, já que FSV apresenta maior teor de flavonoides que FSB e FAI.

Através do teste de desejabilidade (Figura 12), desejou-se para formulação otimizada, menores valores de TOC e PS, e maiores valores de GM e FLA. Sendo assim, o macarrão otimizado (MO) foi constituído por 75% de FSV e 25% de FAI.



**Figura 12** - Perfis para valores previstos e desejabilidade para propriedades tecnológicas de tempo ótimo de cozimento (TOC), índice de absorção de água (IAA), perda de sólidos (PS) e teores de flavonoides (FLAV).

A Figura 13 exibe MO, constituído por 75% farinha de sorgo vermelho e 25% farinha de arroz integral.



**Figura 13** - Macarrão otimizado (MO) \_ 75% farinha de sorgo vermelho+25% farinha de arroz integral.

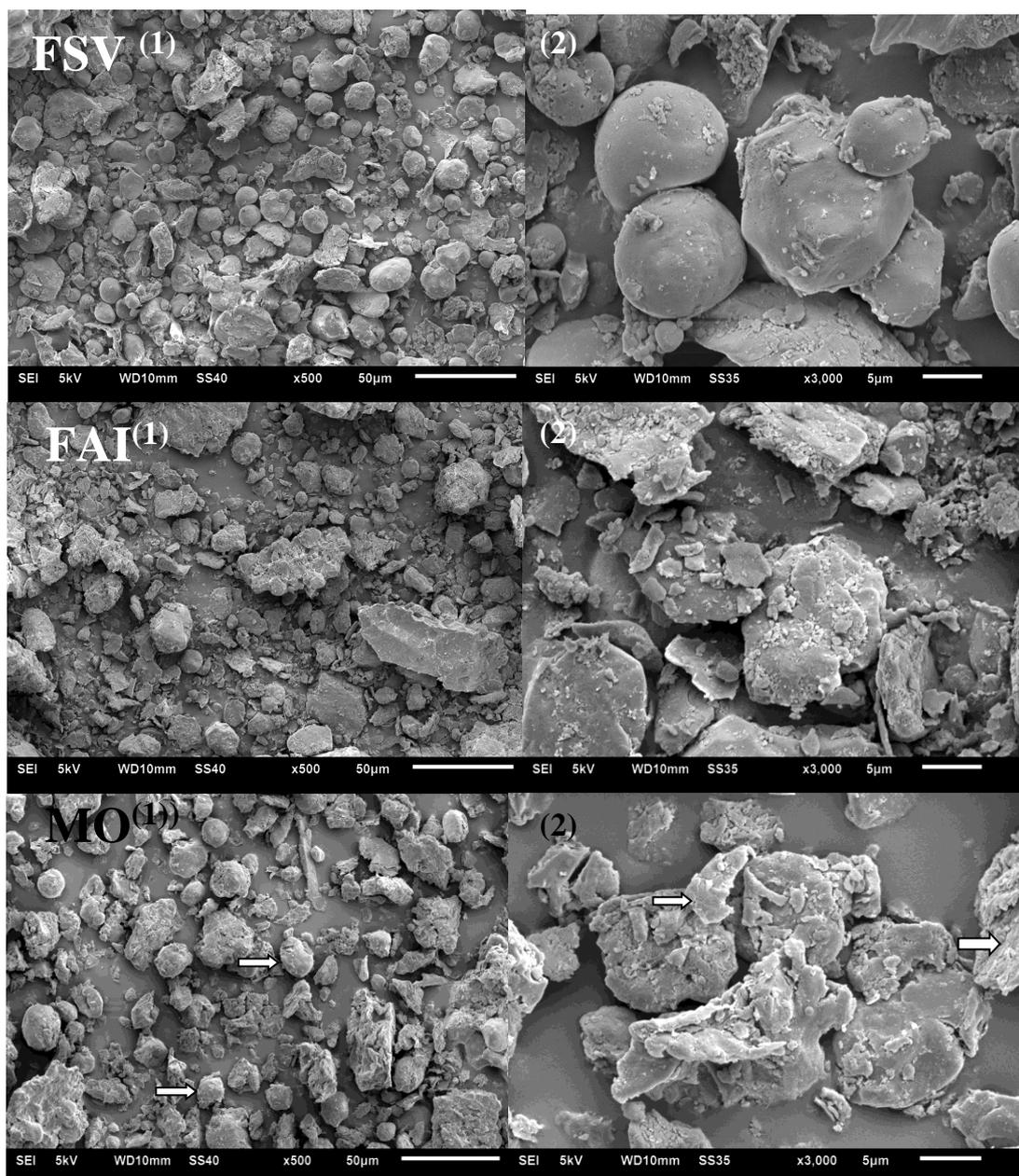
Os valores observados através das análises de TOC, PS, GM e FLA realizadas no macarrão otimizado (MO) comparados aos valores preditos pelo teste de desejabilidade, com a variação entre os resultados são exibidos na Tabela 13 e, verifica-se que todos os valores de MO são próximos aos valores preditos pelos modelos matemáticos.

**Tabela 13** - Valores médios e desvio padrão ( $\pm$ ) de teor de flavonoides e de qualidade do macarrão otimizado (MO) \_ 75% farinha de sorgo vermelho+25% farinha de arroz integral.

Variável Resposta	Valores preditos	MO	Varição
Tempo Ótimo de Cozimento (min)	7,55	9,30 $\pm$ 0,58	-1,75
Perda de Sólidos (g.100g <sup>-1</sup> )	3,42	3,63 $\pm$ 1,55	-0,18
Ganho de Massa (%)	134,6	173 $\pm$ 0,13	3,84
Flavonoides (mg Pirocatequina.g <sup>-1</sup> )	3,65	4,17 $\pm$ 1,10	-0,52

Embora o tempo ótimo de cozimento e o ganho de massa tenham sido subestimadas pelo modelo, esse resultado não deprecia o modelo preditivo, pois a formulação otimizada resultou em uma rede bem estruturada, ocasionando o aumento da retenção de água pela amostra com conseqüente ganho de massa, sinalizando ser um macarrão de boa qualidade (LARROSA *et al.*, 2016). Sendo assim, os modelos propostos para TOC, PS, GM e FLA podem ser considerados satisfatórios, uma vez que estas variáveis concordam com os valores previstos.

Conforme mostra a Figura 14, ao comparar os amidos do macarrão otimizado (MO 1-3), que é composto por 75% de FSV e 25% de FAI, aos amidos das farinhas de grãos integrais de sorgo vermelho (FSV 1-2) e de arroz integral (FAI 1-2), não parece ter havido mudanças morfológicas relacionadas ao tamanho, mas apresentam sinais como se fossem leves arranhaduras nas superfícies dos amidos de MO, com aparente desintegração, provavelmente pela hidratação inicial das farinhas quando processadas a formulação e ao tratamento térmico aplicado para secagem da massa.



**Figura 14** - Comparação dos amidos de farinhas integrais de sorgo vermelho (FSV) e arroz integral (FAI), aos amidos da formulação otimizada (MO), por meio de micrografias, com ampliações de 500 x e 3000 x, respectivamente.

Kawabata *et al.* (1994), fizeram a mesma observação na superfície de amidos de milho e batata. Zavareze, Halal *et al.* (2012), Zavareze, Pinto *et al.* (2012) relataram que os amidos tratados com altos teores de umidade (20 e 25 g / 100 g) também apresentaram sinais de desintegração quando comparados aos dos amidos não tratados.

A composição nutricional do macarrão otimizado (MO) (Tabela 14) em 100 g de produto cru composto por 75% de FSV (farinha de sorgo vermelho) e 25% de FAI (farinha de arroz integral).

**Tabela 14** - Valores médios e desvio padrão ( $\pm$ ) da composição nutricional (macronutrientes e minerais) em 100g do macarrão otimizado (MO) cru, constituído por 75% farinha de sorgo vermelho e 25% farinha de arroz integral.

<b>Nutrientes</b>	<b>MO</b>
Água - umidade (g.100g <sup>-1</sup> )	7,44±0,23
Cinzas (g.100g <sup>-1</sup> )	2,86±0,14
Extrato Etéreo Total (g.100g <sup>-1</sup> )	3,37±0,09
Proteínas (g.100g <sup>-1</sup> )	9,56±0,01
Fibra Alimentar Total (g.100g <sup>-1</sup> )	16,61±0,16
Fibra Alimentar Solúvel (g.100g <sup>-1</sup> )	15,87±0,16
Fibra Alimentar Insolúvel (g.100g <sup>-1</sup> )	0,95±0,00
Carboidratos (g.100g <sup>-1</sup> )	60,16±0,15
Valor Energético Total (kcal.g <sup>-1</sup> )	309,21±0,12
<b>Macrominerais</b>	
P (g.100g <sup>-1</sup> )	0,35 ±0,06
K (g.100g <sup>-1</sup> )	0,27 ±0,17
Ca (g.100g <sup>-1</sup> )	0,010 ±0,0
Mg (g.100g <sup>-1</sup> )	0,15 ±0,0
<b>Microminerais</b>	
Fe (mg.100g <sup>-1</sup> )	5,1 ±0,063
Mn (mg.100g <sup>-1</sup> )	1,9 ±0,10
Cu (mg.100g <sup>-1</sup> )	0,38 ±0,06
Zn (mg.100g <sup>-1</sup> )	2,31 ±0,20

A formulação otimizada exibiu teor de água dentro do percentual máximo de umidade permitido por Brasil (2000), 13 % (g.100g<sup>-1</sup>) e possui alto teor de proteínas, já que atinge 17,1 e 20,8 % da ingestão diária recomendada, para homens e mulheres adultos, respectivamente (INSTITUTE OF MEDICINE US, 2003). A formulação apresentou ainda alto teor de carboidratos (60,16%) e elevado valor calórico (309, 21

kcal). Segundo Chillo (2008), macarrão é fonte de carboidratos e energia, bases alimentares em neste produto.

Ferreira *et al.* (2016) desenvolveram massas sem glúten desidratadas através de mistura de farinhas de sorgo de pericarpo cinza claro (40 – 50%), arroz (20 – 30%), milho e amido de batata (25 – 40%) em diferentes proporções, com adição de ovos, óleo e água, obteve maiores teores de água (10,84 – 11,43 g.100<sup>-1</sup>), lipídeos (4,41 – 4,86g.100g<sup>-1</sup>) menores conteúdo de cinzas (0,75 – 0,87g.100g<sup>-1</sup>) e proteínas (7,86 – 8,85g.100g<sup>-1</sup>) que o presente estudo, ressaltando que neste, utilizou-se maior concentração de farinha de sorgo vermelho (75%) com 11,29g.100g<sup>-1</sup> de proteínas em sua composição, e não foram adicionados ovos e óleo. Bouasla *et al.* (2017) prepararam massas secas de arroz enriquecidas com diferentes concentrações de farinha de ervilha amarela (10g.100g<sup>-1</sup>), farinha de grão de bico (20g.100g<sup>-1</sup>) ou farinha de lentilha (30g.100<sup>-1</sup>g), sem glúten, e, embora tenham encontrado valores superiores ao presente estudo para proteínas (9,68 – 13,95g.100g<sup>-1</sup>) e inferiores para cinzas (0,50 – 1,29g.100g<sup>-1</sup>) e lipídeos (0,08 – 0,39g.100g<sup>-1</sup>), alcançaram valores próximos para proteínas (9,68 e 9,99g.100g<sup>-1</sup>) na formulação que continha de 10 e 20% de farinha grão-de-bico.

Em alimentos sem glúten, os teores de fibras encontradas são bem menores quando comparados a alimentos integrais que contenham glúten, como a farinha de trigo integral (12,2 g de fibra alimentar por 100 g), pão integral (6,9 g de fibra alimentar por 100 g) e macarrão de trigo integral (8,3 g de fibra alimentar por 100 g), revelando considerável redução do acesso a este nutriente, aspecto preocupante para a saúde do paciente celíaco (THOMPSON, 2000). De acordo com o Institute Of Medicine (2003), são recomendados 25-38 g.dia<sup>-1</sup> de fibra alimentar total para mulheres e homens de 19 a 50 anos, respectivamente. Conforme apresentado na Tabela 14, a formulação otimizada (MO) possui alto teor de fibra alimentar e pode ser considerada fonte de fibra alimentar total, já que em 100g do produto podem ser encontradas 16,61g. A Agência Nacional de Vigilância Sanitária considera as fibras alimentares como um nutriente com propriedade funcional no organismo (1999) estas demonstraram ter vários efeitos fisiológicos benéficos aos organismo humanos, incluindo diminuição do tempo de trânsito intestinal, aumento do bolo fecal, redução dos níveis de colesterol total e / ou LDL e redução dos níveis de glicemia e / ou insulina pós-prandial (PUTANEM, 2009). Khan *et al.* (2015) obtiveram menores teores de fibra alimentar em comparação ao presente estudo, sendo 3,8 e 4,2 g.100g<sup>-1</sup> em formulações de macarrão adicionadas de farinhas de sorgo branco e vermelho, respectivamente. Em outro estudo, foram encontrados de

9,1 a 10,9 g.100g<sup>-1</sup> de fibra alimentar em massas alimentícias elaboradas a partir de farinha comercial de sorgo e farinhas de cinco cultivares de sorgo com diferentes colorações (ORLANDIM, 2016).

O perfil mineral (Tabela 14) do macarrão otimizado (MO) mostrou-se com altas concentrações de diversos minerais analisados, apresentando teores de P, Mg, Mn, Cu e Zn maiores que a ingestão diária recomendável para um adulto saudável, exibindo 63,5-84% de Fe da recomendação de ingestão diária.

É necessário avaliar a biodisponibilidade de nutrientes em alimentos, considerando que a os teores de nutrientes apresentados em alimentos não garantem total absorção, a mesma depende de fatores relacionados a biodisponibilidade de nutrientes (COZZOLINO, 2016).

Para a composição fitoquímica do MO sem cozimento, apresentada na Tabela 15, houve elevada atividade antioxidante pelos métodos DPPH e ABTS, concordando com os altos valores de fenólicos totais encontrados. Flavonoides e antocianinas totais apresentaram valores próximos, sendo que o conteúdo de carotenoides totais foi menor que os outros fitoquímicos mensurados.

**Tabela 15** - Valores médios e desvio padrão ( $\pm$ ) da composição fitoquímica do macarrão otimizado (MO), sem cozimento – 75% farinha de sorgo vermelho+25% farinha de arroz integral, quanto a atividade antioxidante por DPPH e ABTS, fenólicos totais, flavonoides totais.

<b>Composição fitoquímica</b>	<b>MO</b>
DPPH ( $\mu\text{mol TE.g}^{-1}$ ) <sup>A</sup>	14,41 $\pm$ 1,02
ABTS ( $\mu\text{mol TE.g}^{-1}$ ) <sup>A</sup>	20,89 $\pm$ 0,95
Fenólicos Totais (mg GAE.g <sup>-1</sup> ) <sup>B</sup>	2,3 $\pm$ 1,60
Flavonoides (mg Pirocatequina.g <sup>-1</sup> )	4,18 $\pm$ 1,10
Antocianinas (mg LUT.g <sup>-1</sup> ) <sup>C</sup>	3,19 $\pm$ 0,04
Carotenoides ( $\mu\text{g } \beta\text{C.100g}^{-1}$ ) <sup>D</sup>	1,29 $\pm$ 0,44

<sup>A</sup>  $\mu\text{mol}$  equivalente de trolox por grama de farinha; <sup>B</sup> mg equivalente de ácido gálico por 100g de farinha; <sup>C</sup> mg equivalente de luteolinidina por 100g de farinha, <sup>D</sup>  $\mu\text{g}$  equivalente de  $\beta$ -caroteno em 100g de farinha.

Khan *et al.* (2013) obtiveram valores de 8,5 – 33,7  $\mu\text{mol TE.g}^{-1}$  para atividade antioxidante por meio de ABTS ao adicionarem farinha de sorgo à massa alimentícia de trigo. O conteúdo de compostos fenólicos aumentou significativamente quando comparada à massa controle. Os valores de fenólicos totais obtidos por eles variaram de

1,09 mg GAE.g<sup>-1</sup> e 2,36 mg GAE.g<sup>-1</sup> para a variedade branca e marrom, respectivamente. Os resultados apresentados por Khan *et al.* foram semelhantes aos obtidos por este estudo. O estudo realizado por Khan *et al.* (2015) investigou o efeito do consumo de macarrão contendo farinha de sorgo integral vermelho ou branco em polifenóis totais de plasma, capacidade antioxidante e marcadores de estresse oxidativo em indivíduos saudáveis. Os resultados demonstraram que o macarrão contendo farinha de sorgo integral vermelho aumentou a atividade antioxidante e melhorou os marcadores de estresse oxidativo em indivíduos saudáveis, em relação ao grupo controle que consumiu massas feitas apenas com sêmola de trigo.

As massas alimentícias do presente estudo obtiveram maior atividade antioxidante por DPPH e teor de fenólicos totais, quando comparadas a cereais matinais de grãos integrais de sorgo com tanino e de trigo (ANUNCIACÃO *et al.*, 2017), que alcançaram 0,4 µmol TE.g<sup>-1</sup> (cereal de sorgo integral) e 0,049 µmol TE.g<sup>-1</sup> (cereal de trigo integral) para atividade antioxidante e teores de fenólicos totais de 1,11 e 0,33 para cereais de sorgo e trigo, respectivamente.

Chávez *et al.* (2017) produziram um produto extrusado com misturas, em diferentes concentrações, de dois genótipos de grãos integrais de sorgo com tanino e sem, de pericapos castanhos, e café torrado e observaram que o teor de fenólicos totais foi reduzido, após a extrusão, de acordo com a concentração e o genótipo utilizado, contudo, obteve-se aumento destes compostos quando a mistura continha grãos de café torrado, resultando em extrusados com consideradas propriedades antioxidantes e compostos fenólicos.

Elevada atividade antioxidante pode ser explicada pela variedade de sorgo utilizada, destacando também que, grãos de sorgo contêm carotenoides e são fontes de vitamina E, que pode contribuir com para elevada atividade antioxidante. O conteúdo de compostos fenólicos em sorgo e produtos de sorgo pode ser superestimado pela ação de interferentes, como proteínas, ácidos nucleicos e aminoácidos, que podem reagir com o reagente Folin-Ciocalteu, utilizado para determinar estes compostos (GRANGER *et al.*, 2011; NACZK e SHAHIDI, 2006).

Os valores obtidos para os parâmetros instrumentais de cor do macarrão otimizado (Tabela 16) permitiram observar que esta formulação apresentou coloração com menor luminosidade (L\*) e maior proporção da cor vermelha (a\*) sobre o amarelo (b\*), indicando maior intensidade de coloração escura (Chroma), com tonalidade

avermelhada ( $^{\circ}$ Hue). A coloração mais avermelhada pode estar relacionada a presença de antioxidantes, como as antocianinas (Tabela 15).

**Tabela 16** - Valores médios e desvio padrão ( $\pm$ ) dos parâmetros de cor do macarrão otimizado (MO), sem cozimento \_ 75% farinha de sorgo vermelho+25% farinha de arroz integral.

Parâmetros	MO
L*	20,14 $\pm$ 0,02
a*	4,93 $\pm$ 0,11
b*	7,26 $\pm$ 0,16
Chroma	20,73 $\pm$ 0,04
$^{\circ}$ Hue	13,76 $\pm$ 0,29

Para atestar que todas as práticas de fabricação seguiram condições higiênico-sanitárias desejáveis à produção de alimentos, todos os processos de produção foram conduzidos de acordo com as normas de Boas Práticas de Fabricação RDC n $^{\circ}$ 275 (ANVISA, 2002), e realizou-se análises microbiológicas do macarrão otimizado cozido (Tabela 17), em conformidade com a RDC n $^{\circ}$ 12 de janeiro de 2001 da Agência Nacional da Vigilância Sanitária (BRASIL, 2012), anterior à realização das análises sensoriais.

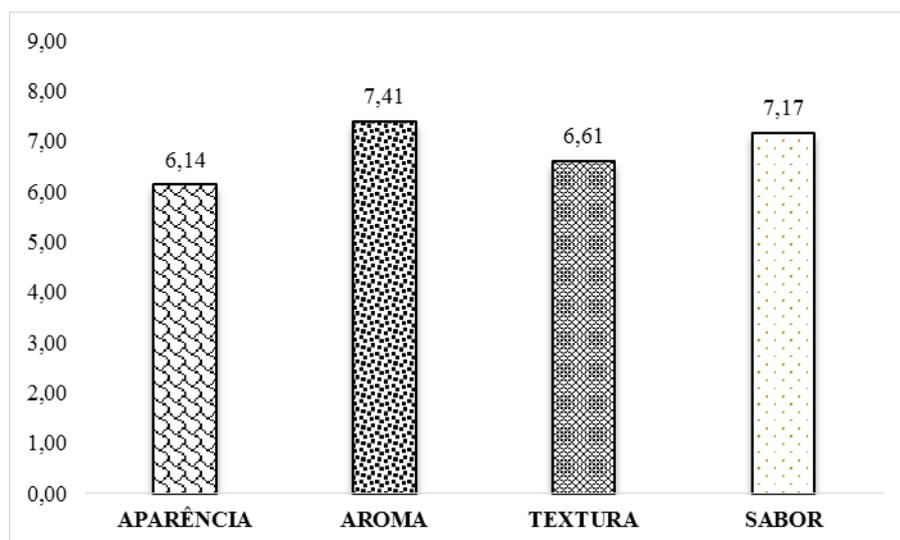
**Tabela 17** - Análise microbiológica do macarrão otimizado (MO) – 75% farinha de sorgo vermelho+25% farinha de arroz integral.

Parâmetros	Resultado (UFC/g)	Padrões	
		Mínimo	Máximo
Coliformes a 45 $^{\circ}$ C	< 1 x10	-	1,0 x10 <sup>2</sup>
Estafilococos coagulase positiva	< 1,0 x10 <sup>2</sup>	-	5,0 x10 <sup>3</sup>
Bacillus cereus	1,0 x10 <sup>2</sup>	-	5,0 x10 <sup>3</sup>
Salmonella spp	Ausente em 25 g	-	Ausente em 25 g

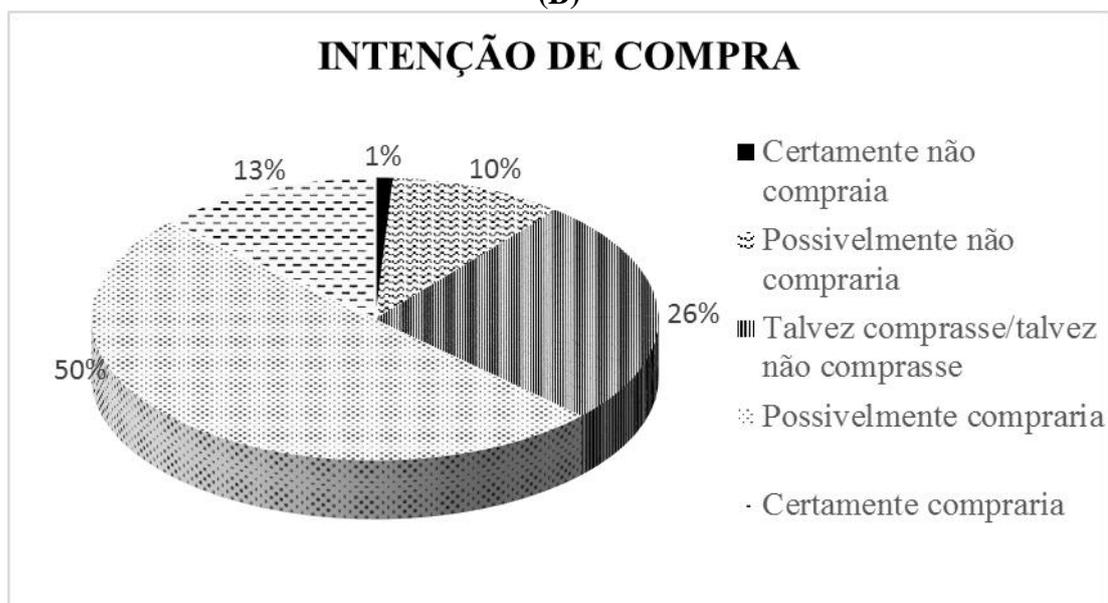
No presente estudo foi aplicado o teste afetivo de aceitação e intenção de compra do macarrão otimizado (MO), constituído por 75% farinha de sorgo vermelho e 25% farinha de arroz integral, avaliado por 101 provadores (Figura 15 A). O *escore* médio

foi 6,83 para a amostra avaliada, e o ponto de corte estabelecido (GURGEL, *et al.*, 2011) foi a nota 6 (gostei ligeiramente) da escala hedônica de 9 pontos.

(A)



(B)



**Figura 15** - (A) Aceitação sensorial do macarrão otimizado (MO), constituído por 75% farinha de sorgo vermelho e 25% farinha de arroz integral para os parâmetros de aparência, aroma, textura e sabor. (B) Teste de intenção de compra do macarrão otimizado.

O teste de aceitabilidade mostrou que os tributos de aroma e sabor de MO foram positivos, recebendo nota 7, que corresponde a “gostei regularmente”. A aparência e a textura da amostra também foram positivas, já que foram avaliadas como “gostei ligeiramente” (nota 6).

Ferreira *et al.* (2016) elaboraram macarrão sem glúten a partir de diferentes percentuais de farinhas de sorgo branco, arroz, milho e fécula de batata e obtiveram médias inferiores às alcançadas pelo presente estudo. Esses autores executaram uma Análise Quantitativa Descritiva (ADQ) com 12 avaliadores treinados e as médias mais próximas as obtidas pelo presente estudo foram para aparência (5,99), aroma (5,88) e sabor (5,29), sendo estas médias correspondentes ao conceito de indiferença (5). O presente estudo obteve resultados semelhantes ao trabalho de Anunciação *et al.* (2017), que avaliaram cereais matinais de grãos integrais de sorgo com tanino e obteve resultados satisfatórios, com média de 6,67,

Para a avaliação de intenção de compra (Figura 15 B), os conceitos considerados positivos foram “possivelmente compraria” e “certamente compraria” (MARQUES, 2016) e, obteve-se resultados satisfatórios, já que, 50 % dos provadores “possivelmente compraria” o produto e 26% “certamente compraria” a formulação provada.

#### **5.2.4. Conclusão**

Diante dos resultados obtidos, observou-se que através de mesclas de farinhas de grãos integrais de sorgo vermelho, branco e arroz, adicionadas de goma Xantana, é possível produzir massas alimentícias sem glúten de alta qualidade tecnológica de cozimento, além de a formulação otimizada apresentar considerável aporte nutricional, sendo rica em fibra alimentar e minerais, com teores de fitoquímicos interessantes e aceitável sensorialmente.

### 5.2.5. Referências Bibliográficas

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

BASMAN, A.; YALCIN, S. Quality characteristics of corn noodles containing gelatinized starch, transglutaminase and gum. **Journal of Food Quality**, Ancara, vol. 31, n. 4, p. 465–479, 2008.

BECKER, H. A. On the absorption of liquid water by the wheat kernel. **Cereal Chemistry**, v. 37, p. 309–323, 1960.

BHATTACHARYA, K.; ZEE, S. Y.; CORKE, H. Physico chemical properties relates to quality of rice noodles. **Cereal Chemistry**, Fargo, vol. 76, n 6. p. 861-867, 1999.

BRAND-WILLIAMS, W., CUVELIER, M.E., BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT-Food Science and Technology**, Massy, vol. 28, n. 1, p.25–30, 1995.

BRASIL. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA)**. Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005. Disponível em <http://www.elegis.bvs.br/leisref/public/search.php>. Acesso em: 10/01/2017.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. RDCnº93 de 31 de Outubro de 2000. **Regulamento Técnico para Fixação de Identidade e Qualidade de Massa Alimentícia**. Brasília, DF: ANVISA, 2000. Disponível em: [http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/59cd1a004745896b9384d73fbc4c6735/RD\\_C\\_93\\_2000.pdf?MOD=AJPERES](http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/59cd1a004745896b9384d73fbc4c6735/RD_C_93_2000.pdf?MOD=AJPERES). Acesso em: 20 de setembro de 2016.

BUSTOS, M. C.; PEREZ, G. T.; LEON, A. E. Structure and quality of pasta enriched with functional ingredients. **RSC Advances**, Córdoba, vol. 39, n. 5, p. 30780-30792, 2015.

CHILLO, S.; LAVERSE J.; FALCONE P.M.; PROTOPAPA A.; DEL NOBILE M.A. Influence of the addition of buckwheat flour and durum wheat bran on spaghetti quality. **Journal of Cereal Science**, Foggia, vol. 47, n. 2, p. 144-152, 2008.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. Tradução Adriano Brandelli ... [*et al.*]. 4ta ed. Artmed. Porto Alegre: Brasil, 900 p., 2010.

DELCOUR, J. A.; VANSTEELANDT, J.; HYTHIER, M. C.; ABECASSIS, J., SINDIC, M.; DEROANNE, C. Fractionation and reconstitution experiments provide insight into the role of gluten and starch interactions in pasta quality. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Davis, vol. 48, n. 1, p. 3767-3773, 2000.

- DUTCOSKY, S. D. **Análise sensorial de alimentos**. PUCPRESS. Curitiba 2013.
- FERREIRA, S. M. R.; MELLO, A. P. de.; ANJOS, dos M. C. R.; KRÜGER, C. C. H.; AZOUBEL, P. M.; MÁRCIA AURELINA DE OLIVEIRA ALVES, M. A. de O.. Utilization of sorghum, rice, corn flours with potato starch for the preparation of gluten-free pasta. **Food Chemistry**, Curitiba, vol. 191, p. 147–151, 2016.
- GURGEL, C. S. S.; MACIEL, J. F.; FARIAS, L. R. G.; COSTA, M. J. C.; MOREIRA, R. T. Consumer acceptance and purchase intention of bread enriched with milk serum and calcium carbonate. **Journal Institute Adolfo Lutz**, João Pessoa, vol. 70, n. 3, p. 283-289, 2011.
- HILL, I. D.; DIRKS, M. H.; LIPTAK, G. S.; COLLETTI, R. B.; FASANO, A.; GUANDALINI, S. Guideline for the diagnosis and treatment of celiac disease in children: recommendations of the American Society of Pediatric Gastroenterology, Hepatology and Nutrition. **Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition**, v. 40, n. 1, Flourtown, p. 1-19, 2005.
- HUMMEL, C. M. **Products: manufacture, processing and packing**. 2.ed..London: **Food Trade Press**, p. 287, 1966.
- INSTITUTE 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**. URL <<http://www.nap.edu/catalog/10872.html>> Accessed 01.03.17.
- KHAN, I.; YOUSIF, A. M.; JOHNSON, S. K.; GAMLATH, S. Acute effect of sorghum containing mass on total plasma polyphenols, antioxidant capacity and markers of oxidative stress in healthy subjects: a randomized controlled trial. **Clinical Nutrition**, Victoria, vol. 34, n. 3, p. 415-421, 2015.
- LARROSA, V.; LORENZO, G.; ZARITZKY, N.; CALIFANO, A. Improvement of the texture and quality of cooked gluten-free pasta. **LWT – Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 70, n. 1, p. 96-103, 2016.
- MARQUES, R. C. D. **Estudo físico-químico, microbiológico e tecnológico de coprodutos da industrialização de milho e aproveitamento alimentar a partir da elaboração de massas alimentícias**. 2016. 236 f. Dissertação (mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.
- ORLANDIN, L. C. **DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE MASSAS ALIMENTÍCIAS SEM GLÚTEN À BASE DE FARINHAS DE SORGO (*Sorghum bicolor* (L) Moench)**. 2016. 103 F. Dissertação (mestrado em Nutrição Humana) – Universidade de Brasília, Brasília, 2016).
- SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdc-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, vol.16, n. 3, p.144–158, 1965.

THOMPSON, R. D. Dietary Folate, Iron and Fiber Gluten-Free Diet Content. **Journal of the American Dietetic Association**, Manchester, vol. 100, n. 11, p. 1389-1396, 2000.

ZAVAREZE, E. R.; HALAL, S. L. M.; SANTOS, D. G.; HELBIG, E.; PEREIRA, J. M.; DIAS, A. R. G. Resistant starch and thermal, morphological and textural properties of heat-moisture treated rice starches with high-, medium- and low-amylose content. **Starch/Stärke**, Bagé, vol. 64, n. 1, p. 45-54, 2012.

ZAVAREZE, E. R.; PINTO, V. Z.; KLEIN, B.; HALAL, S. L. M.; ELIAS, M. C.; PRENTICE-HERNÁNDEZ, C. Development of oxidised and heatmoisture treated potato starch film. **Food Chemistry**, Rio Grande, vol. 132, n. 1, p. 344-350, 2012.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente estudo, produziu-se farinhas a partir de grãos integrais de sorgo vermelho, branco e arroz, e foram avaliadas as propriedades funcionais tecnológicas, nutricionais e fitoquímicas. As farinhas de grão integrais de sorgo apresentaram eficiência em suas características tecnológicas superiores a farinha de arroz, sugerindo melhor aplicabilidade na indústria de alimentos integrais e isentos de glúten. Farinhas de sorgo exibiram conteúdo nutricional importante, com elevados teores de fibra alimentar e minerais, além de possuírem elevada atividade antioxidante, apresentando grupos de compostos fenólicos que auxiliam na redução de risco de doenças crônicas não transmissíveis, sugerindo a utilização destas farinhas também para enriquecimento de alimentos na indústria alimentícia. Foi possível produzir massas alimentícias integrais e sem glúten, as quais exibiram considerável qualidade tecnológica, rica em nutrientes e compostos bioativos, sensorialmente aceitável, sugerindo o emprego do sorgo em alimentos sem glúten e elevando o teor nutricional destes produtos, além de favorecer à saúde de indivíduos intolerantes e/ou sensíveis ao glúten e população sadia.

É importante a continuidade deste trabalho em relação ao tempo, temperatura e embalagens adequadas para o armazenamento das farinhas de sorgo estudadas e do produto obtido com implicações nas características físicas e químicas destes. E ainda, faz-se necessário o estudo da biodisponibilidade *in vitro* dos nutrientes e fitoquímicos de sorgo e seus produtos alimentares, além da verificação dos efeitos destes na saúde humana.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)

#### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Você está sendo convidado(a) como voluntário(a) a participar da pesquisa intitulada: “EFEITO DE DOIS GENÓTIPOS DE GRÃOS INTEGRAIS DE SORGO (*Sorghum bicolor* L.) E ARROZ (*Oriza sativa* L.) SOBRE AS PROPRIEDADES FUNCIONAIS E TECNOLÓGICAS DE MACARRÃO SEM GLÚTEN DE MASSA SECA”, aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, CAAE: 59451216.8.0000.0036, Após receber os esclarecimentos e as informações a seguir, no caso de aceitar fazer parte do estudo, este documento deverá ser assinado em duas vias, sendo a primeira de guarda e confidencialidade do Pesquisador (a) responsável e a segunda ficará sob sua responsabilidade para quaisquer fins.

Em caso de recusa, você não será penalizado (a) de forma alguma. Em caso de dúvida sobre a pesquisa, você poderá entrar em contato com a pesquisadora responsável Mayra C. Peixoto Martins Lima, através do email: [mayra.martins@ifgoiano.edu.br](mailto:mayra.martins@ifgoiano.edu.br), ou por comigo, através do telefone (64) 92158430. Em caso de dúvida sobre a ética aplicada a pesquisa, você poderá entrar em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa do Instituto Federal Goiano (situado na Rua 88, nº280, Setor Sul, CEP 74085-010, Goiânia, Goiás. Caixa Postal 50) pelo telefone: (62) 3605 3600 ou pelo email: [cep@ifgoiano.edu.br](mailto:cep@ifgoiano.edu.br).

O objetivo do presente estudo é processar massa alimentícia seca integral e sem glúten constituída de farinhas de grãos integrais de sorgo vermelho, branco e arroz, acrescidos de hidrocolóide, bem como caracterizar as massas quanto às propriedades químicas, físicas, tecnológicas e sensoriais.

A análise sensorial consistirá em avaliar a formulação de massa alimentícia constituída a partir de grãos integrais de sorgo vermelho e arroz, quanto aos atributos sensoriais de aparência, aroma, sabor e textura, através dos testes sensoriais de aceitação, utilizando escala hedônica de nove pontos, variando de desgostei extremamente (“1”) a gostei extremamente (“9”), teste sensorial de intenção de compra por meio de escala estruturada de cinco pontos (1 = certamente não compraria; 2 = provavelmente não compraria, 3 = talvez compraria, 4 = provavelmente compraria e 5 = certamente compraria).

Para os participantes da pesquisa, pode haver risco de desconforto relacionado a composição do produto analisado por conter alto teor de fibras alimentares (16g/100g de massa seca). Existe risco mínimo para pessoas que não se hidratam quando podendo apresentar possíveis desconfortos como dor abdominal, desconfortos intestinais como prisão de ventre e gases, após o consumo deste produto. Você poderá se recusar a participar da análise sensorial caso apresente alguma restrição alimentar relacionada.

Por serem produtos, possivelmente, fonte de fibras, podem contribuir para o bom funcionamento intestinal e auxiliar em tratamentos de doenças como a obesidade e Diabetes Mellitus quando fizerem parte de uma dieta equilibrada, porém é aconselhado que seu consumo seja associado ao aumento da ingestão de água. Como se trata de produtos isentos de glúten, podem ser consumidos por celíacos.

Aos participantes será assegurada a garantia de assistência integral em qualquer etapa do estudo. Você terá acesso aos profissionais responsáveis pela pesquisa para esclarecimento de eventuais dúvidas. Caso você apresente algum problema será encaminhado para tratamento adequado em pronto socorro mais próximo na Cidade de Rio Verde: a) Unidade de Pronto Atendimento (UPA) – Tratamento pelo Sistema Único de Saúde.

Você poderá recusar-se de participar da análise sensorial caso apresente alguma restrição do consumo de produtos que contenha proteína de ovo ou leite, ou não seja de hábito consumir esse tipo de alimento e não serão penalizados e sem prejuízo ao seu cuidado e caso não haja conhecimento por parte do provador dessa restrição e apresente alguma reação alérgica

Você será esclarecido(a) sobre a pesquisa em qualquer tempo e aspecto que desejar, através dos meios citados acima. Você é livre para recusar-se a participar, retirar seu consentimento ou interromper a participação a qualquer momento, sendo sua participação voluntária e a recusa em participar não irá acarretar qualquer penalidade.

Os pesquisadores irão tratar a sua identidade com padrões profissionais de sigilo. Seu nome ou o material que indique a sua participação não será liberado sem a sua permissão. Você não será identificado(a) em nenhuma publicação que possa resultar deste estudo. Uma via deste consentimento informado será arquivada sob responsabilidade da Professora Dr.<sup>a</sup> Peixoto Martins Lima, no Laboratório de Cereais e Panificação do IFGoiano – Campus Rio Verde, por um período de cinco anos e então será destruído e outra via será fornecida a você.

Para participar deste estudo você não terá nenhum custo nem receberá qualquer vantagem financeira (pagamento ou gratificação) pela sua participação.

Caso você, participante, sofra algum dano decorrente dessa pesquisa, os pesquisadores garantem indenizá-lo por todo e qualquer gasto ou prejuízo.

Este TCLE atende as determinações da **Resolução 466/2012**.

Ciente e de acordo com o que foi anteriormente exposto, eu \_\_\_\_\_ estou de acordo em participar da pesquisa intitulada “EFEITO DE DOIS GENÓTIPOS DE GRÃOS INTEGRAIS DE SORGO (*Sorghum bicolor* L.) E ARROZ (*Oriza sativa* L.) SOBRE AS PROPRIEDADES FUNCIONAIS E TECNOLÓGICAS DE MACARRÃO SEM GLÚTEN DE MASSA SECA”, de forma livre e espontânea, podendo retirar a qualquer meu consentimento a qualquer momento.

\_\_\_\_\_, de \_\_\_\_\_ de 2017.

\_\_\_\_\_  
Assinatura do responsável pela pesquisa

\_\_\_\_\_  
Assinatura do participante

**CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DA PESSOA COMO SUJEITO DA  
PESQUISA**

Eu, \_\_\_\_\_, RG: \_\_\_\_\_,  
CPF: \_\_\_\_\_, abaixo assinado, concordo em participar do estudo: Produtos de panificação sem glúten elaborados a partir de farinha de sorgo granífero, como sujeito. Fui devidamente informado (a) e esclarecido(a) pela pesquisadora Keyla Rezende Barcelos sobre a pesquisa, os procedimentos nela envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes de minha participação. Foi-me garantido que posso retirar meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade (ou interrupção de meu acompanhamento/assistência/tratamento, se for o caso).

Local e data:

Nome e Assinatura do sujeito: \_\_\_\_\_

**APÊNDICE B** - Ficha de avaliação da análise sensorial aceitação e intenção de compra.

## TESTE DE ACEITAÇÃO E INTENÇÃO DE COMPRA

NOME: \_\_\_\_\_ IDADE: \_\_\_\_\_

“Efeito de dois genótipos de grãos integrais de sorgo (*Sorghum bicolor* L.) e arroz (*Oriza sativa* L.) sobre as propriedades funcionais e tecnológicas de macarrão sem glúten de massa seca”.

Avalie a amostra de **macarrão sem glúten de grãos integrais sorgo e arroz** usando a escala abaixo para indicar o quanto você gostou ou desgostou.

9 – Gostei extremamente

8- Gostei moderadamente

7- Gostei regularmente

( ) APARÊNCIA

6- Gostei ligeiramente

( ) AROMA

5- Nem gostei/nem desgostei

( ) TEXTURA

4- Desgostei ligeiramente

( ) SABOR

3- Desgostei regularmente

2- Desgostei moderadamente

1- Desgostei extremamente

Com base na sua opinião, anote na escala de 1 a 5 sua nota em relação a sua atitude, caso você encontrasse essa amostra à venda:

5- Certamente compraria

4- Possivelmente compraria

3- Talvez comprasse/talvez não comprasse

2- Possivelmente não compraria

1- Certamente não compraria

## ANEXOS

Análise de variância dos modelos para influência da mistura ternária de FSV:FSB:SAI nas propriedades de massas alimentícias, contendo significância do erro total, erro puro e erro total ajustado.

**ANEXO A-** Análise de variância do modelo para tempo ótimo de cozimento, contendo significância do erro total, erro puro e erro total ajustado.

	SS	GL	SQ	F	p
Regressão	815,9130	7	116,5590	16,28308	0,021464
Resíduos	21,4749	3	7,1583		
Total	837,3878	10	0,000000		

**ANEXO B-** Análise de variância do modelo para ganho de massa, contendo significância do erro total, erro puro e erro total ajustado.

	SS	GL	SQ	F	p
Regressão	228536,5	7	32648,07	70,70091	0,002518
Resíduos	1385,3	3	461,78		
Total	229921,8	10			

**ANEXO C-** Análise de variância do modelo para perda de sólidos, contendo significância do erro total, erro puro e erro total ajustado.

	SS	GL	SQ	F	p
Regressão	161,9505	7	23,13578	22,22434	0,013740
Resíduos	3,1230	3	1,04101		
Total	165,0735	10			

**ANEXO D-** Análise de variância do modelo para teor de flavonoides, contendo significância do erro total, erro puro e erro total ajustado.

	SS	GL	SQ	F	p
Modelo	99,5736	7	14,22480	27,88075	0,009891
Resíduos	1,5306	3			
Total	101,1042	10			