

**Caracterização físico-química e tecnológica de farinha extrusada de sorgo do genótipo  
BRS 305**

**Physico-chemical and technological characterization of extruded sorghum flour of the  
genotype BRS 305**

**Caracterización fisicoquímica y tecnológica de la harina extruida de sorgo del genotipo  
BRS 305**

Recebido: 26/05/2020 | Revisado: 11/06/2020 | Aceito: 13/06/2020 | Publicado: 27/06/2020

**Vinícius Tadeu da Veiga Correia**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9789-6015>

Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

E-mail: [viniciustadeu18@hotmail.com](mailto:viniciustadeu18@hotmail.com)

**Danielle Fátima D'Angelis**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5561-4638>

Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

E-mail: [danielledangelis71@hotmail.com](mailto:danielledangelis71@hotmail.com)

**Camila Gonçalves Rodrigues**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5249-9593>

Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

E-mail: [camilagr.alimentos@gmail.com](mailto:camilagr.alimentos@gmail.com)

**Patrícia Regina Amante**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6189-9150>

Centro Universitário Una, Brasil

E-mail: [patriciareginaamante@gmail.com](mailto:patriciareginaamante@gmail.com)

**Valéria Aparecida Vieira Queiroz**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0156-9827>

Embrapa Milho e Sorgo, Brasil

E-mail: [valeria.vieira@embrapa.br](mailto:valeria.vieira@embrapa.br)

**Andreza Angélica Ferreira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3152-9113>

Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

E-mail: [andreza.angelicaf@gmail.com](mailto:andreza.angelicaf@gmail.com)

**Camila Argenta Fante**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1707-3850>

Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

E-mail: [camilafante@ufmg.br](mailto:camilafante@ufmg.br)

## Resumo

O presente trabalho objetivou caracterizar a farinha extrusada de sorgo (FES) do genótipo BRS 305 (pericarpo marrom e com tanino) quanto as propriedades físico-químicas, antioxidantes e microbiológicas. Para isso, foram realizadas análises centesimais, quantificação do teor de amido total, resistente e não resistente, bem como a avaliação do pH, atividade antioxidante, determinação dos índices de absorção em água, óleo e leite e análises microbiológicas compostas pelos números mais prováveis de coliformes totais e coliformes termotolerantes, contagem de bolores e leveduras, *Bacillus cereus* e *Salmonella* spp. A farinha avaliada apresentou teor de umidade (> 8%), com concentrações de proteínas, lipídeos, cinzas e carboidratos iguais a 12,48%, 1,72%, 1,42% e 76,17%, respectivamente. Em relação a atividade antioxidante pelo método ABTS a farinha apresentou conteúdo igual a 156,08  $\mu\text{molTrolox.g}^{-1}$ . Quanto aos parâmetros tecnológicos, os índices de absorção em água, óleo e leite variaram entre 1,35 a 2,34 g/g. Em termos microbiológicos, todos os parâmetros avaliados se encontravam dentro dos padrões preconizados. Conclui-se que a FES se mostra apta ao consumo humano, sendo uma opção de substituição total ou parcial da farinha de trigo, em produtos de panificação e/ou doceria por não conter glúten, podendo assim ser consumida por indivíduos celíacos ou intolerantes a esta proteína.

**Palavras-chave:** Cereal; Extrusão; *Sorghum bicolor* (L.).

## Abstract

The present study aimed to characterize the extruded sorghum flour (ESF) of the BRS 305 genotype (brown pericarp and tannin) in terms of physical-chemical, antioxidant and microbiological properties. For that, centesimal analyzes, quantification of the resistant, non-resistant and total starch content were performed, as well as the evaluation of pH, antioxidant activity, absorption indexes in water, oil and milk and microbiological analyzes composed of more probable numbers of total coliforms and thermotolerant coliforms, mold and yeast count, *Bacillus cereus* and *Salmonella* spp. The flour evaluated presented moisture content (> 8%), with concentrations of proteins, lipids, ash and carbohydrates equal to 12.48%, 1.72%, 1.42% and 76.17%, respectively. Regarding the antioxidant activity by the ABTS method, the flour

presented a content equal to 156.08  $\mu\text{mol Trolox.g}^{-1}$ . As for technological parameters, the absorption rates in water, oil and milk ranged from 1.35 to 2.34 g/g. In microbiological terms, all parameters evaluated were within the recommended standards. It is concluded that the ESF is suitable for human consumption, being an option of total or partial replacement of wheat flour, in bakery and/or confectionery products as it doesn't contain gluten, thus being able to be consumed by individuals celiac or intolerant to this protein.

**Keywords:** Cereal; Extrusion; *Sorghum bicolor* (L.).

## Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo caracterizar la harina de sorgo extruida (HSE) del genotipo BRS 305 (pericarpio marrón y tanino) en términos de propiedades físico-químicas, antioxidantes y microbiológicas. Para esto, se realizaron análisis centesimales, cuantificación del contenido de almidón total, resistente y no resistente, así como la evaluación del pH, la actividad antioxidante, las tasas de absorción en agua, aceite y leche y análisis microbiológicos compuestos por un número más probable de coliformes totales y coliformes termotolerantes, recuento de mohos y levaduras, *Bacillus cereus* y *Salmonella* spp. La harina evaluada presentó contenido de humedad (> 8%), con concentraciones de proteínas, lípidos, cenizas y carbohidratos iguales a 12.48%, 1.72%, 1.42% y 76.17%, respectivamente. En cuanto a la actividad antioxidante por el método ABTS, la harina presentó un contenido igual a 156.08  $\mu\text{mol de Trolox.g}^{-1}$ . En cuanto a los parámetros tecnológicos, las tasas de absorción en agua, aceite y leche oscilaron entre 1,35 y 2,34 g/g. En términos microbiológicos, todos los parámetros evaluados estaban dentro de los estándares recomendados. Se concluye que el HSE es apto para el consumo humano, siendo una opción de reemplazo total o parcial de harina de trigo, en productos de panadería y/o confitería ya que no contiene gluten, pudiendo ser consumido por personas celíacas o intolerantes a esta proteína.

**Palabras clave:** Cereal; Extrusión; *Sorghum bicolor* (L.).

## 1. Introdução

Originário da África Central, o sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é uma espécie tropical, cultivada majoritariamente para elaboração de ração animal, forragem e combustíveis, sendo considerado um dos cereais mais importantes e cultivados em todo o mundo (Afify et al., 2011; Menezes et al., 2014). Ressalta-se que o interesse no seu uso como alimento humano tem crescido nos últimos anos, em virtude das características nutricionais, menor custo de produção

e tolerância à seca (Awika & Ronney, 2004; Martino et al., 2012; Paiva et al., 2018)

Trabalhos de seleção genética visam estudar genótipos de sorgo com potenciais substituintes de ingredientes convencionais, sendo inseridos na formulação de pães, doces, laticínios, e até mesmo produtos cárneos. Este cereal está associado ao extenso padrão de cores apresentados pelo pericarpo do grão (branco, amarelo-limão, bronze, marrom, vermelho e preto), tipos (granífero, sacarino, vassoura e forrageiro) e distintos tamanhos. A combinação destas características resulta em texturas e colorações distintas no produto final (Dykes et al., 2009; Oliveira et al., 2020; Paiva et al., 2018; Do Prado et al., 2019).

Existem diversos genótipos de sorgo, dentre eles, o BRS 305 caracterizado por possuir pericarpo marrom, apresentar concentrações relevantes de taninos condensados e endosperma mais farináceo (Queiroz et al., 2015). A composição físico-química dos grãos de sorgo oscila conforme cada genótipo, em todos eles, o amido representa o principal macronutriente, variando entre 55,6% a 75,2% do cereal. Os teores de proteínas nos grãos variam entre 7,3 e 15,6%, os de fibras entre 1,2 e 6,6%, os de lipídeos entre 0,5 e 5,2%, e os de cinzas entre 1,1 e 2,5% (Queiroz et al., 2012). Devido a essa grande variação entre os genótipos, é importante conhecer as características de cada um deles.

O sorgo apresenta também concentrações expressivas de vitamina E, amido resistente e de minerais, como fósforo, zinco e potássio. Pode ser utilizado como substituto do trigo em produtos de panificação, uma vez que não apresenta glúten em sua constituição, sendo considerado seguro para consumo de indivíduos celíacos ou intolerantes à esta proteína (Anunciação et al., 2017; Dykes & Rooney, 2006; Martino et al., 2012; Paiva et al., 2017; Queiroz et al., 2015; Teixeira et al., 2016). Em virtude de sua versatilidade no ramo alimentício, são realizados diversos processamentos deste cereal, como cocção e secagem (Moraes et al., 2020), irradiação (Mukisa et al., 2012) e a extrusão.

A extrusão é um processo de cozimento que relaciona uma variedade de parâmetros, sendo eles: velocidade de rotação, cisalhamento mecânico, umidade, pressão e temperatura. Combina operações unitárias como mistura, cocção, amassamento, formação, moldagem e fornece inúmeras reações e alterações químicas da matriz alimentícia, como inativação enzimática e de microrganismos, desnaturação de proteínas, gelatinização de amido e liberação de compostos fenólicos complexos (Moreno et al., 2018).

A aplicação do processo de extrusão em farinhas de sorgo apresenta como vantagens, o favorecimento da digestibilidade do amido e de proteínas mais disponíveis, assim como aumento das concentrações de compostos fenólicos extraíveis e como consequência maior identificação dos mesmos nas amostras extrusadas (Campelo et al., 2020). O produto extrusado,

com baixo teor de água, é comprimido, expandido e formatado de acordo com a matriz utilizada, contribuindo na melhoria da digestibilidade dos alimentos através das condições de processo empregadas (Carvalho et al., 2014).

Diante deste contexto, estima-se que a maior divulgação de estudos e informações sobre as propriedades benéficas desta matéria-prima contribuirá para a incorporação de sorgo em diferentes matrizes alimentares. O presente trabalho objetivou caracterizar a farinha extrusada de sorgo (FES) do genótipo BRS 305 (pericarpo marrom e com tanino) quanto as propriedades físico-químicas, antioxidantes e microbiológicas.

## **2. Material e Métodos**

O presente estudo trata-se de uma pesquisa laboratorial com natureza quantitativa, na qual parte do experimento foi realizado em campo, como a plantação e coleta dos grãos de sorgo e parte em laboratórios, como a realização do processo de extrusão e determinação das características físico-químicas e tecnológicas da farinha extrusada (Pereira et al., 2018).

### **2.1. Amostras de sorgo**

Os grãos de sorgo provenientes do genótipo BRS 305, pericarpo marrom e testa pigmentada (com taninos), foram fornecidos pelo Banco de Germoplasma da Embrapa Milho e Sorgo (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), localizada em Sete Lagoas (Minas Gerais, Brasil).

O cultivo ocorreu na safra de 2016/2017, em campos experimentais localizados na Embrapa Milho e Sorgo, com coordenadas geográficas: 19°28' latitude sul, 44°15'08'' W longitude e altitude 732 m, seguindo espaçamento de 0,5 m entre as linhas de plantação e densidade de 8 a 10 plantas por metro quadrado, utilizando como fertilizante N-P-K (nitrogênio, fósforo e potássio).

Posteriormente, os grãos foram moídos três vezes em moinho de pedra (Hawos; Modelo: Moinho 1), por 2 min, tamisados em peneiras com abertura de 0,5 mm (60 *mesh*), obtendo-se a farinha crua mantida sob refrigeração ( $10 \pm 2$  ° C) até a sua utilização.

### **2.2. Processo de extrusão**

A farinha extrusada BRS 305 foi processada na Embrapa Agroindústria de Alimentos (Rio de Janeiro, Brasil) em extrusora dupla-rosca modelo Evolum 109 HT 25 (Clextral,

Firminy, França) com matriz circular de quatro furos de igual diâmetro, a uma velocidade constante de 40,32 g e zonas de temperatura de: 30, 30, 60, 90, 100, 100, 120, 120, 150 e 150 °C, para alimentação de saída. O diâmetro da rosca (D) foi de 25 mm, comprimento total configurado em parafuso de 1000 mm, gerando uma relação global de 40, aberturas circulares de 3,8 mm de diâmetro e 9 mm de comprimento. Os extrusados foram coletados, secos em estufa de ar forçado a 60 °C, por 4 h, e moídos em moinho de disco, seguido por moinho de martelo (0,8 mm de abertura) para obtenção do produto final (Vargas-Solòrzano et al., 2014).

### 2.3. Caracterização centesimal

A determinação do teor de umidade foi realizada pelo método gravimétrico de secagem em estufa a 105 °C, baseado na remoção da água por aquecimento. As amostras previamente pesadas (2 g) foram colocadas em cadinhos de porcelana, permanecendo na estufa até obtenção da massa constante (AOAC, 2012).

O teor de nitrogênio total foi determinado pelo processo de digestão de Kjeldahl, com conversão à proteína por meio do fator de correção 6,25. Os lipídeos foram quantificados pela extração no aparelho tipo Soxhlet (SOLAB SL-202).

Em relação às cinzas, seu teor foi obtido carbonizando-se 2 g de amostra em chapa aquecedora, colocadas posteriormente para incinerar em uma mufla a 550 °C e os carboidratos foram determinados por cálculo de diferença (AOAC, 2012).

### 2.4. Teor de amido total, resistente e não resistente

A quantificação do amido resistente (AR) foi realizada utilizando-se o kit de ensaio AR fornecido pela *Megazyme International Ireland Lts., Wicklow, Irlanda*. As amostras foram incubadas a 37 °C por 16 horas, sendo a hidrólise enzimática do amido não-resistente (ANR) realizada pela ação concomitante da  $\alpha$ -amilase pancreática (10 mg/mL) e amiloglucosidade (3 U/mL) e a separação feita por centrifugação. O AR foi purificado com etanol e solubilizado em 2 mol/ L de KOH A (Teixeira et al., 2016).

As concentrações de ANR e AR foram medidas a 510 nm em espectrofotômetro (Instrutherm® Modelo UV-2000 A), com resultados expressos em g.100g<sup>-1</sup> de farinha de sorgo (b.s). O teor total de amido (AT) presente na amostra foi calculado a partir da equação 1:

$$\text{Amido total (g.100g}^{-1}\text{ de amostra)} = \text{AR} + \text{ANR} \quad (\text{eq. 1})$$

## 2.5 Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH foi determinado por potenciometria e, para isso, 10 g de farinha foram pesados e diluídos em 100 mL de água destilada, posteriormente, a solução foi agitada, deixada em repouso por 10 minutos e filtrada em papel filtro 125 mm para avaliação em pHmetro digital (MS Tecnopon) (AOAC, 2012).

## 2.6 Atividade antioxidante pelo método ABTS

A atividade antioxidante (AA) da farinha extrusada de sorgo foi determinada pelo teste ABTS, de acordo com Awika et al., (2003). A absorvância das amostras foi lida a 734 nm em espectrofotômetro (Instrutherm® Modelo UV-2000 A) e os resultados expressos em  $\mu\text{mol Trolox.g}^{-1}$ .

## 2.7 Análise granulométrica

Para determinação da granulometria e distribuição dos tamanhos das partículas, realizou-se a tamisação de 100 g de FES, em agitador de peneiras (Lucadema), durante 10 minutos, com controlador de velocidade no nível 10, em 11 peneiras padrão ABNT, com vibração. Para isso, foram utilizadas malhas de aberturas variando de 125 a 4000  $\mu\text{m}$ . A amostra retida em cada peneira foi pesada e expressa em porcentagem (%) (Martino et al., 2012).

## 2.8 Análises tecnológicas

Os índices de absorção em água (IAA), absorção em óleo (IAO) e absorção em leite (IAL) foram avaliados de acordo com métodos descritos por Resende et al. (2019) e Becker et al. (2014) com pequenas adaptações. Para a capacidade de retenção de água, óleo e leite das amostras, um grama de FES foi misturado com água, óleo ou leite separadamente (20 mL), agitado e centrifugado (1372 g). Os sobrenadantes foram descartados, sendo a massa final medida e dividida pela massa inicial das amostras, para o cálculo dos índices.

## 2.9 Análise microbiológica

As avaliações microbiológicas compreenderam a pesquisa por *Salmonella* sp., em 25 gramas de produto, *Bacillus cereus*, coliformes totais e termotolerantes, e a contagem de bolores e levedura na amostra extrusada, de acordo com os limites para farinhas estabelecidos pelo

Regulamento Técnico Sobre Padrões Microbiológicos para Alimentos, Resolução nº 12 de Janeiro de 2001 (Brasil, 2001; Silva et al., 2010).

## 2.10 Análise estatística

Os dados instrumentais (n=9) foram analisados no software SPSS 15.0 após verificação das premissas iniciais de homogeneidade e normalidade. Obtendo-se os valores máximos, médios, mínimos e valores de desvio padrão.

## 3. Resultados e Discussão

Para a composição físico-química da FES avaliada, observou-se teor de água igual a 8,21%, conforme Tabela 1.

**Tabela 1:** Caracterização centesimal, teores de amido resistente, não resistente, pH e atividade antioxidante de FES do genótipo BRS 305.

Parâmetros <sup>''</sup>	Média*	Máximo*	Mínimo*
Umidade (%)	8,21 ± 0,07	8,25	8,12
Proteínas (%)	12,48 ± 0,22	12,66	12,24
Lipídeos (%)	1,72 ± 0,47	2,26	1,36
Cinzas (%)	1,42 ± 0,02	1,43	1,40
Amido resistente (%)	0,75 ± 0,08	0,84	0,69
Amido não resistente (%)	68,80 ± 0,83	69,70	68,06
Amido total (%)	69,55 ± 0,76	70,54	68,75
Carboidratos (%)	76,17 ± 0,32	76,48	75,93
pH	6,26 ± 0,10	6,27	6,25
AA (µmolTrolox.g <sup>-1</sup> )	156,08 ± 13,70	175,02	143,95

\*Valores máximos, médios, mínimos e valores de desvio padrão, com n=9. <sup>''</sup>base seca. Fonte: os autores (2020).

Este baixo resultado de umidade associa-se a menor proliferação microbiana, uma vez que a concentração de água livre no alimento é um dos fatores primordiais para o



desenvolvimento de organismos deteriorantes e patogênicos (Fiorda et al., 2013). De acordo com a legislação brasileira destinada à composição de farinhas, são permitidos teores de umidade entre 8 a 15% no produto final (Brasil, 1978). Diante disso, a farinha avaliada encontra-se em conformidade com a referida legislação.

Quanto ao teor de proteínas, o resultado foi de 12,48%. Segundo Queiroz et al. (2015) ao avaliarem a composição nutricional de 100 farinhas de sorgo de variados genótipos, o teor de proteínas oscila em função do híbrido avaliado, sendo o perfil de aminoácidos afetado pela influência genética e condições ambientais. No trabalho de Galle et al. (2012) o teor proteico do sorgo é verificado na faixa média de 7,8 a 12,9%, demonstrando que o valor obtido no presente estudo se enquadra no intervalo relatado.

Em relação à fração lipídica, o resultado encontrado para a FES BRS 305 neste trabalho foi de 1,72%. De acordo com Martino et al. (2012) e Queiroz et al. (2011) os lipídeos representam em torno de 3% da composição nutricional das farinhas integrais de sorgo cruas, estando presente nas concentrações dos principais ácidos graxos, como ácido oleico (31,1 a 48,9%), ácido linoleico (27,6 a 50,7%) e palmítico (11,7 a 20,2%).

O processo de extrusão favorece o declínio dos níveis lipídicos da amostra de farinha de sorgo, sendo esse acontecimento atribuído à formação de complexos de ácidos graxos e amilose (Campelo et al., 2020). De acordo com Panyo et al. (2017) e Chao et al. (2018) devido à alta temperatura e umidade, a estrutura do amido é modificada, expondo as moléculas de amilose durante a gelatinização. Dessa forma, permite-se que a porção de hidrocarbonetos lipídicos intercalem com a estrutura helicoidal da amilose, formando complexos mais resistentes a extração.

O teor de cinzas encontrado foi de 1,42%, sendo este parâmetro afetado pelas altas temperaturas empregadas durante extrusão. O emprego de calor proporciona alterações na estrutura de macronutrientes, especialmente as proteínas, acarretando a ruptura das conexões existentes com os micronutrientes, como os minerais (Campelo et al., 2020; Chantada-Vazquez et al., 2017). Diante disso, Antunes et al. (2007) ao avaliarem o teor de minerais de farinha de sorgo crua proveniente do genótipo BRS 305 encontrou resultado superior (1,87%) se comparado com o presente trabalho.

A análise do teor de AR na FES BRS 305 mostrou a presença de 0,75 g.100 g<sup>-1</sup>, ANR de 68,8 g.100 g<sup>-1</sup> e AT igual a 69,56 g.100 g<sup>-1</sup> de amostra. Considerando o processo de extrusão, Freitas e Leonel (2008) constataram que houve redução significativa ( $p \leq 0,05$ ) do conteúdo de amido resistente ao estudarem a concentração do mesmo em fécula de mandioca extrusada sob

diferentes condições operacionais, o que relaciona o baixo resultado de AR encontrado no presente estudo.

De acordo com Hagenimana, Ding e Fang (2006), o cozimento por extrusão aumenta proporcionalmente a digestibilidade do amido quando comparados com amostras não extrusadas, em virtude da ruptura da estrutura física e gelatinização de seus grânulos. Este rompimento está associado à energia térmica e mecânica gerada no processo de extrusão, acarretando o aumento da acessibilidade da amilase. Posterior resfriamento, as cadeias hidratadas de amilose e amilopectina reassociam-se molecularmente, adquirindo resistência a digestão enzimática (Htoon et al. 2009).

Khan et al. (2013) ao avaliarem farinhas de trigo, sorgo branco e vermelho indicaram que a porção não digerível de amido de sorgo é superior ao do trigo, com teores de amido resistente iguais a  $0,42 \pm 0,06 \text{ g.100 g}^{-1}$  para o trigo,  $2,21 \pm 0,06 \text{ g.100 g}^{-1}$  para farinha integral de sorgo (FIS) branca e  $2,95 \pm 0,15 \text{ g.100 g}^{-1}$  para FIS vermelha. Enquanto que Teixeira et al. (2016) observaram grande variação no conteúdo de amido resistente de 49 genótipos de sorgo com valores variando de  $0,31 \pm 0,33$  a  $65,66 \pm 5,46 \text{ g.100 g}^{-1}$  em base seca.

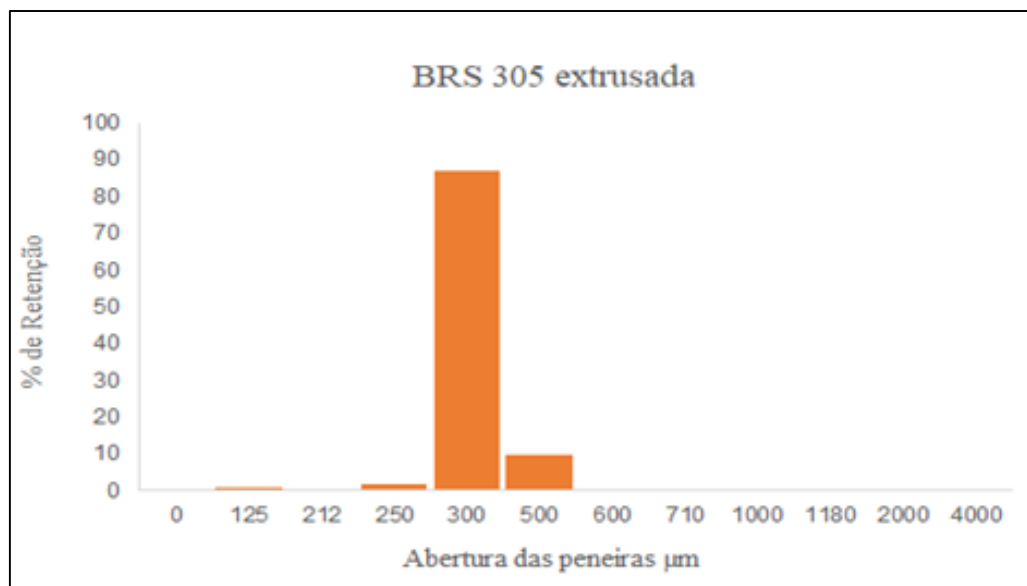
Quanto a concentração de carboidratos totais, o teor encontrado na FES foi de 76,17%, superior ao observado por Boekel et al. (2011) ao avaliarem farinhas mistas extrusadas de arroz, soja e resíduo de laranja-pêra (média 58,48%). Koa et al. (2017) destacam que, o cisalhamento a níveis elevados de temperatura proporciona a parcial ou total quebra dos grânulos de amido, promovendo a gelatinização e desestabilidade dos mesmos, aumentando os níveis destes macronutrientes, em virtude da maior proporção de matéria seca na amostra.

O pH também é um parâmetro de essencial importância na limitação da capacidade de desenvolvimento de microrganismos nos alimentos (Souza et al., 2008). Com base no valor de pH encontrado para a FES, ela é classificada como alimento pouco ácido por apresentar resultado acima de 4,5 (Da Silva et al., 2020). Em termos de atividade antioxidante a farinha apresentou conteúdo igual a  $156,08 \mu\text{mol Trolox.g}^{-1}$ , resultado semelhante ao encontrado por Campelo et al. (2020) ao avaliarem FES do genótipo SC 319 e superior ao encontrado por Martins (2017) ao avaliar farinha de arroz integral ( $5,24 \mu\text{mol Trolox.g}^{-1}$ ).

De acordo com Arnão (2000), a atividade antioxidante é influenciada pela presença de outros antioxidantes presentes no grão, como carotenoides, taninos e antocianinas, que também podem ser absorvidos em comprimentos de onda próximos do analisado. Compostos estes capazes de sequestrar radicais livres e contribuírem para prevenção de doenças crônicas não transmissíveis, como certos tipos de cânceres, diabetes mellitus e doenças renais (Awika; Rooney, 2004; Cardoso et al., 2014; Lopes et al., 2018; Moraes et al., 2012).

O resultado referente à granulometria e distribuição de partículas da amostra analisada encontra-se na Figura 1.

**Figura 1:** Distribuição de tamanho de partículas da FES do genótipo BRS 305.



Fonte: os autores (2020).

Com relação ao tamanho das partículas observou-se que a FES do genótipo BRS 305 apresentou partículas finas (entre 300 a 500 µm). A maior porcentagem (87,00%) de FES foi retida na peneira com abertura 300 µm, seguida pela abertura de 500 µm com retido de 9,67%.

Martino et al. (2012) analisaram a granulometria de diferentes farinhas de sorgo e obtiveram resultados similares, com maior retenção das farinhas nas peneiras com abertura de malha 420 µm. Os autores explicam que este fato é importante, uma vez que estes parâmetros são relevantes quanto ao aspecto de desenvolvimento de novos produtos alimentares, pois em termos nutricionais, podem influenciar na digestibilidade dos nutrientes, considerando que, quanto menor o tamanho das partículas maior o contato dessas com os sucos digestivos, beneficiando a digestão e absorção dos nutrientes.

Os resultados obtidos para as propriedades tecnológicas (IAA, IAO e IAL) estão exibidos na Tabela 2. O valor da capacidade de retenção de água foi 2,06 g/g, resultado similar ao encontrado por Bashir & Aggarwal (2016) ao avaliarem farinhas de grãos de bico e inferior ao verificado por Vieira et al. (2020) ao analisarem as propriedades tecnológicas de amidos provenientes de 3 genótipos de sorgo BRS 305, BR 501 e BRS 310.

**Tabela 2:** Propriedades tecnológicas: Índice de absorção em água (IAA), índice de absorção em óleo (IAO) e índice de absorção em leite (IAL) da FES BRS 305.

Parâmetros (g/g)	Médio*	Máximo*	Mínimo*
Índice de absorção em água (IAA)	2,06 ± 0,11	2,15	1,98
Índice de absorção em óleo (IAO)	1,35 ± 0,31	1,50	1,26
Índice de absorção em leite (IAL)	2,34 ± 0,32	2,18	2,52

\*Valores máximos, médios, mínimos e valores de desvio padrão, com n=9. Fonte: os autores (2020).

A FES apresenta potencialidade para inserção e enriquecimento de alimentos, dado que produtos que apresentam valores de IAA entre 1,49 – 4,72 g/g são considerados fundamentais na elaboração de alimentos viscosos (Aletor; Oshodi; Ipinmoroti, 2002). De acordo com Kinsella (1976), a capacidade de retenção de água é um parâmetro de extrema importância para artefatos de panificação e alimentos viscosos como sopas, uma vez que esta propriedade está relacionada com a aceitabilidade do produto final pelo consumidor. O IAA está associado significativamente com a textura e suculência do alimento, evitando por exemplo, o ressecamento durante o armazenamento (Porte et al., 2011).

O IAO em alimentos é fundamental em formulações de produtos, tais como massas de bolos e o reduzido IAO encontrado (1,35 g/g) pode estar relacionado com baixa hidrofobicidade dos constituintes das FES, dificultando a interação entre as proteínas e óleo (Zhang et al., 2012). O valor do índice de absorção em leite foi 2,34 g/g, sendo este inferior ao encontrado por Becker et al. (2014) ao avaliarem farinha de arroz extrusada. Para a adição de farinhas em produtos viscosos como bases para pudins instantâneos e alimentos infantis, o IAL é um importante atributo relativo a rápida homogeneização do produto, evitando por exemplo, características como a sinérese (Becker et al., 2014).

A RDC nº 12 de 02 de janeiro de 2001 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) estabelece para amidos, farinhas, féculas e fubá em pó ou flocados, um limite máximo de  $5 \times 10^2$  NMP.g<sup>-1</sup> para coliformes a 45 °C;  $3 \times 10^3$  UFC.g<sup>-1</sup> para *B. cereus* e ausência de *Salmonella* spp. em 25 g de produto (Brasil, 2001).

É possível verificar que a FES se mostra apta ao consumo humano, uma vez que todos os parâmetros avaliados se encontravam dentro dos padrões microbiológicos preconizados pela RDC para essa categoria de produtos.

#### **4. Considerações Finais**

O processo de extrusão em farinha de sorgo fornece uma excelente alternativa de inclusão de ingredientes funcionais na dieta da população, podendo ser utilizada principalmente em produtos de panificação.

A FES se mostra apta ao consumo humano, tornando-se uma opção de substituição total ou parcial da farinha de trigo, em diversos produtos alimentícios por não conter glúten, podendo assim ser consumida por indivíduos celíacos ou intolerantes a esta proteína.

Diante deste contexto, estima-se que a maior divulgação de resultados e informações sobre as propriedades benéficas do sorgo contribuirá para a ampliação deste estudo, objetivando a elaboração de produtos à base de FES em trabalhos futuros e a avaliação dos mesmos quanto as suas propriedades tecnológicas e sensoriais, com a finalidade de inserção e verificação da potencialidade deste cereal na elaboração de novos produtos alimentícios.

#### **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro, à Embrapa Milho e Sorgo pelo fornecimento da matéria-prima, à Universidade Federal de Minas Gerais e ao Programa de Pós Graduação em Ciência de Alimentos da Faculdade de Farmácia da UFMG, pela possibilidade de realização deste trabalho.

#### **Referências bibliográficas**

Afify, A. E. M. R., El-Beltagi, H. S., El-Salam, S. M. A., & Omran, A. A. (2011). Bioavailability of iron, zinc, phytate and phytase activity during soaking and germination of white sorghum varieties. *Plosone*, 6(10): 1-7. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0025512>.

Aletor, O., Oshodi, A. A., & Ipinmoroti, K, (2002). Chemical composition of common leaf vegetables and functional properties of their leaf protein concentrates. *Food Chemistry*, 78: 63-68. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00376-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00376-4).

Antunes, R. C., Rodriguez, N. M., Gonçalves, L. C., Rodrigues, J. A. S., Borges, I., Borges. A. L. C. C., & Saliba, E. O. S. (2007). Composição bromatológica e parâmetros físicos de grãos de sorgo com diferentes texturas do endosperma. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 59(5), 1351-54. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-09352007000500042>.

Anunciação, P. C., Cardoso, L. M., Gomes, J. V. P., Della Lucia, C. M., Carvalho, C. W. P., Galdeano, M. C., Queiroz, V. A. V., Alfenas, R. C. G., Martino, H. S. D., & Pinheiro-Sant'Ana, H. M. (2017). Comparing sorghum and wheat whole grain breakfast cereals: Sensorial acceptance and bioactive compound content. *Food Chemistry*, 221, 984-989. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.065>.

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. (2012). *Official methods of analysis of the AOAC International*. 19th edition. Washington: AOAC.

ARNAO, MB (2000). Some methodological problems in determining the antioxidant activity using chromogenic radicals: a practical case. *Trends in Science and Technology*, 11, 419-421. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0924-2244\(01\)00027-9](https://doi.org/10.1016/s0924-2244(01)00027-9).

Awika, J. M., Rooney, L. W., Wu, X., Prior, R. L., & Cisneros-Zevallos, L, (2003). Screening methods to measure antioxidant activity of sorghum (*Sorghum bicolor*) and sorghum products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51: 6657–6662. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf034790i>.

Awika, J. M., & Rooney, L. W. (2004). Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. *Phytochemistry*, 65, 1199-1221. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2004.04.001>.

Bashir, K. & Aggarwal, M. (2016). Effects of gamma irradiation on the physicochemical, thermal and functional properties of chickpea flour. *LWT - Food Science and Technology*, 69, 614–622. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.02.022>.

Becker, F. S., Eifert, E. C., Junior, M. S. S., Tavares, J. A. S., & Carvalho, A. V. (2014). Physical and functional evaluation of extruded flours obtained from different rice genotypes. *Ciência e Agrotecnologia*, 38, 367-374. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000400007>.

Boekel, S. V., Couto, M. A. P. G., Ascheri, J. L. R., Srur, A. U. O. S., & Lima, E. C. S. (2011). Elaboração de farinha mista extrusada de arroz, soja e resíduo de laranja-pêra como fonte de fibra alimentar. *Magistra, Cruz das Almas*, 23(4), 243-251.

Brasil. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução - CNNPA nº 12, de 1978. (1978). Normas técnicas especiais do Estado de São Paulo, revistas pela CNNPA, relativas a alimentos (e bebidas), para efeito em todo território brasileiro. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília.

Brasil. Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), Resolução RDC nº 12 de 02 de janeiro de 2001. (2001). Regulamento técnico sobre os padrões microbiológicos para Alimentos. *Diário Oficial da União*. Brasília.

Campelo, F. A., Henriques, G. S., Simeone, M. L. F., Queiroz, V. A. V., Silva, M. R., Augusti, R., Melo, J. O. F., Lacerda, I. C. A., & Araújo, R. L. B. (2020). Study of thermoplastic extrusion and its impact on the chemical and nutritional characteristics in two sorghum genotypes SC 319 and BRS 332. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 31(4), 788-802. DOI: <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20190243>.

Cardoso, L. M., Montini, T. A., Pinheiro, S. S., Pinheiro-Sant'Ana, H. M., Martino, H. S. D., & Moreira, A. V. B. (2014). Effects of processing with dry heat and wet heat on the antioxidant profile of sorghum. *Food Chemistry*, 152, 210-217. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.106>.

Carvalho, C. W. P., Ascheri, J. L. R., Queiroz, V. A. V., Galdeano, M. C., Takeiti, C. Y., & Solórzano, J. W. V. (2014). Elaboração de farinhas instantâneas à base de sorgo integral cultivar BRS310. *Comunicado técnico 203, Embrapa*, 1 ed., 3 p.

Chantada-Vazquez, M. P., Moreda-Pineiro, A., Barciela-Alonso, M. C., & Barmejo-Berrera, P. (2017). Spectrometric-based techniques for metal-binding protein assessment in clinical, environmental, and food samples. *Applied Spectroscopy*, 52:145–174. DOI: <https://doi.org/10.1080/05704928.2016.1213736>.

Chao, C., Yu, J., Wang, S., Copeland, L., & Wang, S. (2018). Mechanisms Underlying the Formation of Complexes between Maize Starch and Lipids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(1), 272–278. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b05025>.

Dykes, L., & Rooney, L. W. (2006). Sorghum and millet phenols and antioxidants. *Journal of Cereal Science*, 44, 236-251. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2006.06.007>.

Dykes, L., Seitz, L. M., Rooney, W. L., & Rooney, L. W. (2009). Flavonoid composition of red sorghum genotypes. *Food Chemistry*, 116, 313-317. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.02.052>.

Do Prado, M. E. A., Queiroz, V. A. V., Correia, V. T. V., Neves, E. O., Ronchetti, E. F. S., Gonçalves, A. C. A., Menezes, C. B., & Oliveira, F. C. E. (2019). Physicochemical and sensorial characteristics of beef burgers with added tannin and tannin-free whole sorghum flours as isolated soy protein replacer. *Meat Science*, 150, 93-100. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.12.006>.

Fiorda, F. A., Júnior, M. S. S., Silva, F. L., Souto, L. R. F., & Grossmann, M. V. E. (2013). Farinha de bagaço de mandioca: aproveitamento de subproduto e comparação com fécula de mandioca. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 43(4), 408-416. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1983-40632013000400005>.

Freitas, T. S., & Leonel, M. (2008). Amido resistente em fécula de mandioca extrusada sob diferentes condições operacionais. *Alimentos e Nutrição, Araraquara*, 19, 183-190.



Galle, S., Schwab, C., Dal Bello, F., Coffey, A., Gänzle, M., & Arendt, E. (2012). Influence of in-situ synthesized exopolysaccharides on the quality of gluten-free sorghum sourdough bread. *International Journal of Food Microbiology*, 155, 105-112. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.01.009>.

Hagenimana, A., Ding, X., & Fang, T. (2006). Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, 43, 38-46. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2005.09.003>.

Htoon, A., Shrestha, A. K., Flanagan, B. M., Lopez-Rubio, A., Bird, A. R., Gilbert, E. P., & Gidley, M. J. (2009). Effects of processing high amylase maize starches under controlled conditions on structural organization and amylase digestibility. *Carbohydrate Polymers*, 75, 236-245. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.06.016>.

Khan, I., Yousif, A., Johnson, S. K., & Gamlath, S. (2013). Effect of sorghum flour addition on resistant starch content, phenolic profile and antioxidant capacity of durum wheat pasta. *Food Research International*, 54, 578-586. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.07.059>.

Kinsella, J. E. (1976). Functional properties in foods; a survey. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 7(3), 219-280.

Koa, S. S., Jin, X., Zhang, J., & Sopade, P. A. (2017). Extrusion of a model sorghum barley blend: Starch digestibility and associated properties. *Journal of Cereal Science*, 75, 314-323. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.04.007>.

Lopes, R. C. S. O., Lima, S. L. S., Silva, B. P., Toledo, R. C. L., Moreira, M. E. C., Anunciação, P. C., Walter, E. H. M., Carvalho, C. W. P., Queiroz, V. A. V., Ribeiro, A. Q. & Martino, H. S. D. (2018). Evaluation of the health benefits of consumption of extruded tannin sorghum with unfermented probiotic milk in individuals with chronic kidney disease. *Food Research International*, 107, 629-638. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.004>.

Martino, H. S. D., Tomaz, P. A., Moraes, E. A., Conceição, L. L., Oliveira, D. S., Queiroz, V. A. V., Rodrigues, J. A. S., Pirozi, M. R., Pinheiro-Sant'ana, H. M., & Ribeiro, S. M. R.

(2012). Chemical characterization and size distribution of sorghum genotypes for human consumption. *Revista Instituto Adolfo Lutz*, 71(2), 337-344.

Martins, K. R. B. (2017). *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*. Dissertação (Tecnologia de Alimentos) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, 127 p.

Menezes, C. B., Carvalho-Júnior, G. A., Silva, L. A., Bernardino, K. C., Souza, V. F., Tardin, F. D., & Schaffert, R. E. (2014). Combining ability of grain sorghum lines selected for aluminum tolerance. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 14, 42-48. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1984-70332014000100007>.

Moraes, E. A., Natal, D. I. G., Queiroz, V. A. V., Schaffert, R. E., Cecon, P. R., Paula, S. O., Benjamim, L. A., Ribeiro, S. M. R., & Martino, H. S. D. (2012). Sorghum genotype may reduce low-grade inflammatory response and oxidative stress and maintains jejenum morphology of rats fed a hyperlipidic diet. *Food Research International*, 49, 553-559. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.07.029>.

Moraes, E. A., Oliveira, F. C. E., Queiroz, V. A. V., Schaffert, R. E., Cecon, P. R., Moreira, A. V., Ribeiro, S. M. R., & Martino, H. S. D. (2020). Domestic Processing Effects on Antioxidant Capacity, Total Phenols and Phytate Content of Sorghum. *Current Nutrition & Food Science*, 16, 1-7. DOI: <https://doi.org/10.2174/1573401315666191125123700>.

Moreno, C. R., Fernández, P. C. R., Rodríguez, E. O. C., Carrillo, J. M., & Rochín, S. M. (2018). Changes in nutritional properties and bioactive compounds in cereals during extrusion cooking. *IntechOpen*, 1, 103-124. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.68753>.

Mukisa, I. M., Muyanja, C. M. B. K., Byaruhanga, Y. B., Schuller, R. B., Langsrud, T., & Narvhus, J. A. (2012). Gamma irradiation of sorghum flour: Effects on microbial inactivation, amylase activity, fermentability, viscosity and starch granule structure. *Radiation Physics and Chemistry*, 81, 345–351. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2011.11.021>.

- Oliveira, F. C. E., Pontes, J. P., Queiroz, V. A. V., Ronchetti, E. F. S., Dutra, V. L. M., Correia, V. T. V., & Ferreira, A. A. (2020). Greek yogurt with added sorghum flour: antioxidant potential and sensory acceptance. *Revista Chilena de Nutrición*, 47(2), 272-280. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182020000200272>.
- Paiva, C. L., Queiroz, V. A. V., Simeone, M. L. F., Schaffert, R. E., Oliveira, A. C., & Silva, C. S. (2017). Mineral content of sorghum genotypes and the influence of water stress. *Food Chemistry*, 214, 400-405. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.067>.
- Paiva, C. L., Queiroz, V. A. V., Garcia, M. A. V. T., & Carvalho, C. W. P. (2018). Acceptability and study of shelf life of gluten free cereal bar with popped and extruded sorghum based on a consumer acceptability. *Agrarian Sciences Journal*, 10(1), 52-58.
- Panyo, A. E., & Emmambux, M. N. (2017). Amylose–lipid complex production and potential health benefits: A mini-review. *Starch*, 69. DOI: <https://doi.org/10.1002/star.201600203>.
- Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Disponível em: [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic\\_Computacao\\_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1).
- Porte, A., Silva, S. F., Almeida, V. D. S., Silva, T. X., & Porte, L. H. M. (2011). Propriedades funcionais tecnológicas das farinhas de sementes de mamão (*Carica papaya*) e de abóbora (*Cucurbita* sp). *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 13, 91-96.
- Queiroz, V. A. V., Moraes, E. M., Schaffert, R. E., Moreira, A. V., Ribeiro, S. M. R., & Martino, H. S. D. (2011). Potencial funcional e tecnologia de processamento do sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], para alimentação humana. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 10(3), 180-195. DOI: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v10n3p180-195>.
- Queiroz, V. A. V., Carneiro, H. L., Deliza, R., Rodrigues, J. A. S., Vasconcellos, J. H., Tardin, F. D., & Queiroz, L. R. (2012). Genótipos de sorgo para produção de barra de cereais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47, 287-293. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100204X2012000200018>.

Queiroz, V. A. V., Silva, C. S., Menezes, C. B., Schaffert, R. E., Guimarães, F. F. M., Guimarães, L. J. M., Guimarães, P. E. O., & Tardin, F. D. (2015). Nutritional composition of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] genotypes cultivated without and with water stress. *Journal of Cereal Science*, 65, 103-111. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.06.018>.

Resende, L. M.; Franca, A. S., & Oliveira, L. S. (2019). Buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.) fruit by-products flours: Evaluation as source of dietary fibers and natural antioxidants. *Food Chemistry*, 270, 53-60. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.079>.

Silva, N., Junqueira, V. C. A., & Silveira, N. F. A. (2010). *Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos*, São Paulo: Livraria Varela.

Silva, R. M., Silva, S. N., Wanderley, R. O. S., Paiva, A. C. C., & Medeiros, A. P. (2020). Caracterização química e colorimétrica de farinhas de cascas de laranja, melão e abacaxi. *Research, Society and Development*, 9(7): e139973912. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i7.3912>.

Souza, J. M. L., Álvares, V. S., Leite, F. M. N., Reis, F. S., & Felisberto, F. A. V. (2008). Caracterização físico-química de farinhas oriundas de variedades de mandioca utilizadas no vale do Juruá, Acre. *Acta Amazonica*, 38(4), 761 – 766.

Teixeira, N. C., Queiroz, V. A. V., Rocha, M. C., Amorim, A. C. P., Soares, T. O., Monteiro, M. A. M., Menezes, C. B., Schaffert, R. E., Garcia, M. A. V. T., & Junqueira, R. G. (2016). Resistant starch content among several sorghum (*Sorghum bicolor*) genotypes and the effect of heat treatment on resistant starch retention in two genotypes. *Food Chemistry*, 197, 291-296. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.099>.

Vargas-Solorzano, J. W., Carvalho, C. W. P., Takeiti, C. Y., Ascheri, J. L. R., & Queiroz, V. A. V. (2014). Physicochemical properties of expanded extrudates from colored sorghum genotypes. *Food Research International*, 55, 37-44. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.10.023>.

Vieira, A. L. S., Duarte, G. B., Queiroz, V. A. V., Correa, T. R., Silva, V. D. M., Araújo, R. L. B., Garcia, M. A. V., & Fante, C. A. (2020). Caracterização do amido isolado de diferentes cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Brazilian Journal of Development*, 6(5), 24704-24718. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-067>.

Zhang, H. J., Wang, L., & Guo, X. N. (2012). Preparation and functional properties of rice bran proteins from heat-stabilized defatted rice bran. *Food Research International*, 47, 359–363. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.08.014>.

#### **Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Vinícius Tadeu da Veiga Correia – 25%

Danielle Fátima D’Angelis – 15%

Camila Gonçalves Rodrigues – 10%

Patrícia Regina Amante – 10%

Valéria Aparecida Vieira Queiroz – 10%

Andreza Angélica Ferreira – 15%

Camila Argenta Fante – 15%