

**UNIVERSIDADE VILA VELHA-ES**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA VEGETAL**

**MARITZA CERQUEIRA TEIXEIRA NETTO**

**AVALIAÇÃO DA BIOACESSIBILIDADE DE NUTRIENTES E  
COMPOSTOS BIOATIVOS DO SORGO (*Sorghum bicolor* (L) Moench)  
FORMADOS A PARTIR DA DIGESTÃO GASTROINTESTINAL IN VITRO**

**VILA VELHA**  
**2025**

**UNIVERSIDADE VILA VELHA-ES**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA VEGETAL**

**AVALIAÇÃO DA BIOACESSIBILIDADE DE NUTRIENTES E  
COMPOSTOS BIOATIVOS DO SORGO (*Sorghum bicolor* (L) Moench)  
FORMADOS A PARTIR DA DIGESTÃO GASTROINTESTINAL IN VITRO**

Dissertação apresentada à Universidade Vila Velha, como pré-requisito do Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Vegetal, para obtenção do grau de Mestra em Biotecnologia Vegetal.

**MARITZA CERQUEIRA TEIXEIRA NETTO**

**VILA VELHA**

**2025**

Catálogo na publicação elaborada pela Biblioteca Central / UVV-ES

T355a      Teixeira Netto, Maritza Cerqueira.  
Avaliação da Bioacessibilidade de nutrientes e compostos bioativos do sorgo (*Sorghum bicolor* (L) Moench) formados a partir da Digestão Gastrointestinal *IN VITRO* / Maritza Cerqueira Teixeira Netto. – 2025.  
53 f. : il.

Orientadora: Christiane Mileib Vasconcelos.  
Dissertação (mestrado em Biotecnologia vegetal) – Universidade Vila Velha 2025.  
Inclui bibliografias.

1. Biotecnologia vegetal. 2. Trigo – Digestão. 3. Composto bioativos. I. Vasconcelos, Christiane Mileib. II. Universidade Vila Velha. III. Título.

CDD 660.603

**MARITZA CERQUEIRA TEIXEIRA NETTO**

**AVALIAÇÃO DA BIOACESSIBILIDADE DE NUTRIENTES E  
COMPOSTOS BIOATIVOS DO SORGO (*Sorghum bicolor* (L)  
Moench) FORMADOS A PARTIR DA DIGESTÃO  
GASTROINTESTINAL IN VITRO**


Dissertação apresentada à  
Universidade Vila Velha, como pré-  
requisito do Programa de Pós-  
Graduação em Biotecnologia  
Vegetal, para obtenção do grau de  
Mestra em Biotecnologia Vegetal.

Aprovada em 20 de fevereiro de 2025.

Comissão Examinadora:

---

Dr. Alessandro Coutinho Ramos (UVV)

Documento assinado digitalmente  
 VALDIRENE MOREIRA GOMES  
Data: 05/06/2025 08:56:37-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Dra. Valdirene Moreira Gomes (UENF)



---

Dra. Érica Aguiar Moraes (UFES)



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

**PROTOCOLO DE ASSINATURA**



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por  
ERICA AGUIAR MORAES - SIAPE 2367983  
Departamento de Educação Integrada em Saúde - DEIS/CCS  
Em 05/06/2025 às 15:59

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link: <https://api-lepisma.prod.ukf.ufes.br/arquivos-assinados/1143676?tipoArquivo=O>

# Relatório de assinaturas



**Alessandro Coutinho Ramos**

CPF: 034.982.906-30

Data: 09/06/2025 13:07

IP: 177.221.125.131

Professor



Escaneie a imagem para verificar a autenticidade do documento ou utilize o link:

[https://ged.uvv.br/ecm\\_validador?hash=WJNHY0FFJTKW0ZPJZAC2](https://ged.uvv.br/ecm_validador?hash=WJNHY0FFJTKW0ZPJZAC2)

Hash SHA-512 do PDF original

68110557fd07ee00ac2369b54803cbf17e2db4d74f9203517df06b4c058a127a2e41519d78fa  
94a2e04b298ee39d98d940c321716e452b294f46945a3cb5f1c1



## **AGRADECIMENTOS**

À Deus “porque Dele, por Ele e para Ele são todas as coisas. À Ele a glória para sempre. Amém.”

Aos meus pais Ailton Netto e Margareth C. T. Netto pelo amor, amizade, cuidado, por não deixarem a força e o vigor faltar e por me impulsionar ao longo de todo esse caminho.

À Embrapa Milho e Sorgo, pela doação do grão de sorgo.

À FAPES (Fundação de amparo a pesquisa) por apoiar esse trabalho e colaborar com a produção da dissertação com a bolsa.

À minha orientadora, amiga e professora Christiane por cuidar, por me incentivar, me corrigir e ser sempre uma fonte de inspiração.

À minha coorientadora Ludmilla Carvalho Oliveira por todo suporte e condução deste trabalho.

Aos meus irmãos pelo amor, dedicação, apoio, cuidado e colo em tantos momentos.

Aos colegas e funcionários da UVV, que foram fundamentais no desenvolvimento das pesquisas.

O Professor Dr. Marcio Fronza que por diversas vezes se colocaram à disposição em colaborar com o trabalho e seus alunos.

Aos meus IC's Igor Bruno e Thalyta Mathias pela disponibilidade em me ajudar nas análises.

À minha amiga, parceira e companheira de todas as horas, Rovena Lebarch, pela ajuda em tudo e por tantas palavras e incentivo ao longo desta jornada.

A Julia Salles, Gabriela Simões, Danielle Portes, Lícia Lima, Carolina Gouvêia, André Sartório e a tantos outros que colaboraram para esse trabalho.

A Milena por se disponibilizar e me ajudar a realizar análise na UENF, gratidão.

Ao Guilherme que me ajudou e teve a disponibilidade de me ensinar.

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

“Quanto mais me aprofundo na ciência, mais me aproximo de Deus”.

Albert Einstein

## RESUMO

NETTO, Maritza Cerqueira Teixeira, M.Sc, Universidade Vila Velha – ES, fevereiro de 2025. **Avaliação da Bioacessibilidade de Nutrientes e Compostos Bioativos do Sorgo (*Sorghum bicolor* (L) Moench) formados a partir da Digestão Gastrointestinal IN VITRO.** Orientadora: Christiane Mileib Vasconcelos.

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é um cereal com alto potencial nutricional e funcional, amplamente cultivado em diversas regiões do mundo. No entanto, sua utilização na alimentação humana ainda é limitada devido à presença de compostos antinutricionais, como os taninos, que podem reduzir a biacessibilidade de nutrientes. O presente estudo teve como objetivo avaliar a influência do processamento térmico no perfil proteico e funcional das farinhas do sorgo sem taninos (BRS 332) e com taninos (BRS 506) pós o processo de digestão gastrointestinal *in vitro*. Neste estudo, foram avaliados os genótipos BRS 332 e BRS 506, analisados antes e após a aplicação do tratamento térmico. O processamento térmico foi conduzido em estufa a 121 °C durante 25 minutos, com o propósito de induzir modificações físico-químicas nos constituintes nutricionais e reduzir a atividade de água, visando à preservação dos nutrientes. Foram determinados os teores de umidade, proteínas, carboidratos e compostos fenólicos. A digestão gastrointestinal *in vitro* foi simulada e a composição proteica e as alterações estruturais decorrentes do tratamento foram analisadas por eletroforese em gel de poliacrilamida em condições desnaturantes (SDS-PAGE). O tratamento térmico influenciou a composição nutricional dos genótipos, promovendo a redução do teor de umidade e a preservação dos constituintes nutricionais. Além disso, durante a digestão, observou-se a predominância das proteínas kafirinas como principal fração proteica, cuja estrutura demonstrou resistência às condições térmicas aplicadas. O estudo mostrou que as proteínas do sorgo apresentaram boa digestibilidade após a digestão gastrointestinal *in vitro*, com o tratamento térmico influenciando positivamente esse processo. Além disso, a capacidade antioxidante foi preservada nas farinhas dos genótipos BRS 332 e BRS 506, evidenciando o potencial nutricional do sorgo após processamento térmico.

**Palavras-chave:** Farinha de sorgo; compostos fenólicos; perfil proteico; digestibilidade "in vitro"; tanino.

## ABSTRACT

NETTO, Maritza Cerqueira Teixeira, M.Sc, University of Vila Velha – ES, february 2025.  
**Evaluation of the Bioaccessibility of Nutrients and Bioactive Compounds from Sorghum (*Sorghum bicolor* (L) Moench) formed from IN VITRO Gastrointestinal Digestion.** Advisor: Christiane Mileib Vasconcelos.

Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) is a cereal with high nutritional and functional potential, widely cultivated in various regions of the world. However, its use in human nutrition is still limited due to the presence of antinutritional compounds, such as tannins, which can reduce the bioaccessibility of nutrients. The aim of this study was to evaluate the influence of thermal processing on the protein and functional profile of sorghum flours with tannins (BRS 506) and without tannins (BRS 332) after in vitro gastrointestinal digestion. In this study, the genotypes BRS 332 and BRS 506 were analyzed before and after the application of thermal treatment. The thermal processing was carried out in an oven at 121°C for 25 minutes, aiming to induce physicochemical modifications in the nutritional constituents and reduce water activity, thereby preserving the nutrients. Moisture, protein, carbohydrate, and phenolic compound contents were determined. In vitro gastrointestinal digestion was simulated, and the protein composition and structural changes resulting from the treatment were analyzed by sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE) under denaturing conditions. Thermal processing influenced the nutritional composition of the genotypes, promoting a reduction in moisture content and preservation of nutritional constituents. Additionally, during digestion, the predominance of kafirin proteins as the main protein fraction was observed, with their structure demonstrating resistance to the applied thermal conditions. The study showed that sorghum proteins exhibited good digestibility after in vitro gastrointestinal digestion, with thermal treatment positively influencing this process. Moreover, the antioxidant capacity was preserved in the flours of both BRS 332 and BRS 506 genotypes, highlighting the nutritional potential of sorghum after thermal processing.

**Keywords:** Sorghum flour; phenolic compounds; protein profile; in vitro digestibility; tannin.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1**– Eletroforese das amostras 506 sem tratamento térmico (SSTT) e 506 com tratamento térmico (SCTT), respectivamente, realizada com marcador de até 6,5 kDa. MBP = Marcador de baixo peso molecular 30
- Figura 2** - Eletroforese das amostras 332 sem tratamento térmico (SSTT) e 332 com tratamento térmico (SCTT), respectivamente, realizada com marcador de até 6,5 kDa. MBP = Marcador de baixo peso molecula 30
- Figura 3** - Eletroforese das amostras SCTT 506 (fase gástrica -G/intestinal - I) e SSTT 506 (fase gástrica - G/intestinal - I), respectivamente, realizada com marcador de até 3,5 KDa. MBP = Marcador de baixo peso molecular; SSTT (sem tratamento térmico) e SCTT (com tratamento térmico). 32
- Figura 4** - Eletroforese das amostras SCTT 332 (fase gástrica - G/intestinal - I) e SSTT 332 (fase gástrica - G/intestinal - I), respectivamente, realizada com marcador de até 3,5 KDa. MBP = Marcador de baixo peso molecular; SSTT (sem tratamento térmico) e SCTT (com tratamento térmico). 32

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Média e desvio padrão da composição centesimal da farinha de sorgo dos diferentes genótipos de sorgo com e sem tratamento térmico 27
- Tabela 2** - Média e desvio padrão de compostos fenólicos totais (mEq de ácido gálico/g de amostra), e capacidade antioxidante (percentual de inibição de radical (I%) das farinhas dos diferentes genótipos de sorgo com e sem tratamento térmico. 34
- Tabela 3** - Média e desvio padrão do conteúdo de compostos fenólicos totais (mEq de ácido gálico/g de amostra), e capacidade antioxidante (percentual de inibição de radical (I%) da farinha de sorgo de diferentes genótipos. 36

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>15</b>
2.1	COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO SORGO .....	15
2.2	EFEITOS DO TRATAMENTO TÉRMICO NA DIGESTIBILIDADE E BIOACESSIBILIDADE DO SORGO .....	16
2.3	IMPACTO DOS TANINOS E PROTEÍNAS NO VALOR NUTRICIONAL DO SORGO .....	18
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>21</b>
3.1	OBJETIVO GERAL .....	21
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>22</b>
4.1	MATERIAL .....	22
4.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....	22
4.3	MÉTODOS.....	23
<b>4.3.1</b>	<b>Determinação da Composição Centesimal</b> .....	<b>23</b>
4.4	BIOACESSIBILIDADE GASTROINTESTINAL <i>IN VITRO</i> .....	23
4.5	DOSAGEM DE PROTEÍNA E ELETROFORESE .....	23
4.6	REPARO DOS EXTRATOS PARA ANÁLISE DE COMPOSTOS FENÓLICOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE.....	24
<b>4.6.1</b>	<b>Determinação dos Compostos Fenólicos</b> .....	<b>25</b>
<b>4.6.2</b>	<b>Determinação da capacidade antioxidante</b> .....	<b>25</b>
4.7	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	26
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>27</b>
5.1	CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL DOS GENÓTIPOS DE SORGO COM E SEM TRATAMENTO TÉRMICO .....	27
5.2	PERFIL PROTEICO DOS GENÓTIPOS DE SORGO COM E SEM TRATAMENTO TÉRMICO .....	29
5.3	COMPOSTOS FENÓLICOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DA FARINHA DE SORGO E SEUS DIFERENTES GENÓTIPOS DE SORGO COM E SEM TRATAMENTO TÉRMICO .....	34
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>39</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>40</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os grãos integrais vêm ganhando atenção na nutrição humana por sua associação comprovada à redução do risco de doenças crônicas não-transmissíveis (TIERI *et al.*, 2020). Entre eles, o sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) destaca-se por seu perfil polifenólico diversificado, com ácidos fenólicos (ferúlico, cumárico, cafeico e sinápico) concentrados sobretudo na camada externa do grão (POLONSKIY *et al.*, 2020; XIONG *et al.*, 2019).

A variabilidade genética entre cultivares — em especial nos genótipos BRS 332 e BRS 506 — impacta diretamente o teor de taninos e, conseqüentemente, a funcionalidade das farinhas (GIRARD; AWIKA, 2018). O sorgo é adaptável a condições climáticas adversas, como calor intenso e estiagens prolongadas, o que o torna estratégico em regiões onde outros cereais não prosperam (OLIVEIRA, 2015). Atualmente, ocupa o quinto lugar na produção mundial de cereais, com destaque para Nigéria, Sudão e México; o Brasil figura na nona posição do ranking global (USDA, 2024).

Essa relevância agrônômica amplia o interesse pelo desenvolvimento de produtos à base de sorgo — farinhas, pães, cervejas — e justifica estudos que explorem não apenas sua composição química, mas também as intervenções tecnológicas que melhorem sua qualidade nutricional e sensorial (SCHOBER; BEAN; BOYLE, 2007; VELÁZQUEZ *et al.*, 2012).

Do ponto de vista nutricional e funcional, a presença de taninos na testa pigmentada é um fator antinutricional importante, pois esses polifenóis tendem a complexar proteínas e amidos, reduzindo a digestibilidade e a bioacessibilidade dos compostos bioativos (AWIKA; ROONEY, 2004; DYKES; ROONEY, 2006).

Por outro lado, métodos de processamento, especialmente o tratamento térmico, têm se mostrado eficazes na redução desse efeito antinutricional e na liberação de compostos fenólicos ligados à matriz do grão (DLAMINI *et al.*, 2007; GAVA *et al.*, 2021).

Em particular, a aplicação de calor — seja por extrusão, calor seco ou banho térmico — pode promover duas reações complementares: a degradação parcial de taninos de alto peso molecular e a ruptura da parede celular, aumentando a disponibilidade de proteínas e fitoquímicos (CARDOSO *et al.*, 2014; LÓPEZ-BARÓN *et al.*, 2017).

Estudos mostram que temperaturas entre 100 °C e 140 °C, por períodos de 5 a 15 minutos, são suficientes para incrementar a digestibilidade proteica e preservar ou até elevar a atividade antioxidante em cereais semelhantes ao sorgo (LI *et al.*, 2022; RASHWAN *et al.*, 2021).

Este trabalho investigou como o tratamento térmico, aplicado a farinhas de sorgo com diferentes teores de taninos (BRS 332, sem taninos, e BRS 506, com taninos), afeta a digestibilidade proteica em simulação de digestão gastrointestinal *in vitro*. A hipótese central é que a combinação de genótipo e protocolo térmico adequado pode maximizar a digestibilidade das proteínas e preservar a capacidade antioxidante, independentemente da concentração inicial de taninos, oferecendo farinhas de sorgo de alto valor funcional para a alimentação humana.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO SORGO

Segundo Martino e colaboradores (2012), existem diferenças entre farinhas de sorgo de genótipos diferentes, relacionadas à sua composição nutricional. Essa variabilidade significativa está intimamente relacionada a forma de cultivo, estágio de maturação, local de cultivo e fertilização. Dentre os cereais, o sorgo é uma importante fonte de nutrientes, sendo sua composição química semelhante à do milho e do trigo (MARTINO *et al.*, 2014; STEFOSKA-NEEDHAM; TAPSEL, 2020).

No trabalho de Medeiros e Niro (2022) foi descrito a fisiologia das sementes de sorgo, divididas em três partes, sendo elas, pericarpo e testa, os quais constituem o farelo, rico em fibras alimentares e minerais; o endosperma, rico em amido e proteínas de reserva; e o gérmen, fração na qual se encontra a maior concentração de lipídeos, açúcares e proteínas de reserva. O sorgo possui sementes do tipo cariopse nua e por isso, a planta produz alguns compostos fenólicos bioativos que atuam na defesa química contra o ataque de herbívoros e patógenos.

Os principais compostos fenólicos são os ácidos fenólicos, flavonoides e, sobretudo, os taninos livres e condensados (XIONG *et al.*, 2019). Os taninos, ao se associarem às proteínas e ao amido, podem reduzir a digestibilidade desses macronutrientes, mas também apresentam propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e moduladoras de enzimas digestivas.

Do ponto de vista composicional, estudos com 156 novas variedades de sorgo da Turquia foram encontradas variações nos seguintes componentes: lipídeos (1,7 a 5,9%), proteínas (5,73 a 14,42%), taninos condensados (0 a 5,36%), ácido fítico (0,02 a 6,15%), amido resistente (0,08 a 25,45%), amido total (22,12 a 83,67%), amilose (4,21 a 32,8%) e amilopectina (15,22 a 72,95%) (KARDES *et al.*, 2021). Além disso, a análise de 25 amostras de grãos de diferentes cultivos brasileiros revelou variações de 2,83 a 4,16% em minerais e de 5,24 a 8,26% em proteínas (MEDEIROS; NIRO, 2022).

Estruturalmente, as kafirinas — prolaminas típicas do sorgo — estão alojadas no endosperma e são solúveis em soluções alcoólicas. Essas proteínas de reserva formam uma matriz compacta que limita tanto a digestibilidade quanto a funcionalidade das farinhas (XINMEI *et al.*, 2024).

São classificadas em frações  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  e  $\delta$ , conforme peso molecular, solubilidade, conformação tridimensional e perfil aminoacídico. Nesse perfil, a lisina e a metionina, aminoácidos essenciais derivados da via do aspartato, encontram-se em baixas concentrações, o que reforça o caráter nutricionalmente restrito das kafirinas.

Adicionalmente, fatores ambientais podem contribuir para essa variação na composição do sorgo. Em um trabalho realizado por Queiroz (2015), com 100 genótipos em condições diferentes (com e sem estresse hídrico), foi possível constatar a diminuição do teor de água, que proporcionou a redução dos teores de carboidratos, proteínas e minerais e aumento do teor de fibras alimentares, principalmente insolúveis, de alguns dos genótipos.

O grão de sorgo possui alto teor de fibras alimentares (principalmente insolúveis), baixo índice glicêmico, é livre de proteínas formadoras da rede de glúten e rico em amido resistente (considerada fibra solúvel) com efeito prebiótico. O amido é o carboidrato majoritário do sorgo, podendo ser encontrado em concentrações que variam de 32,1 a 72,5 g/100 g do grão.

Devido às altas concentrações de amido resistente e à elevada interação entre os grânulos de amido com as proteínas do endosperma e com taninos, o sorgo possui a menor digestibilidade de amido dentre os cereais (XIONG *et al.*, 2019). Essas características reforçam o potencial do sorgo não apenas como alimento energético, mas também como veículo de compostos bioativos capazes de promover benefícios à saúde, tais como redução do estresse oxidativo e modulação de respostas inflamatórias.

## 2.2 EFEITOS DO TRATAMENTO TÉRMICO NA DIGESTIBILIDADE E BIOACESSIBILIDADE DO SORGO

Tratamentos como calor seco, germinação e fermentação têm se mostrado eficazes em aumentar a digestibilidade do sorgo. Além disso, compostos bioativos como os fenólicos totais, incluindo as 3-deoxiantocianidinas, apresentam boa estabilidade térmica, mesmo quando submetidos a 95 °C por 2 horas ou 121 °C por 30 minutos (CORREIA *et al.*, 2010; CARDOSO *et al.*, 2014; SALAZAR-LÓPEZ *et al.*, 2018).

Essa estabilidade, associada ao alto valor nutricional e funcional do grão, tem impulsionado o interesse no uso do sorgo em alimentos como farinhas, produtos de panificação, cervejas, entre outros (ABOUBACAR; YAZICI; HAMAKER, 2006; KAYODÉ; HOUNHOUGAN; NOUT, 2007; SCHOBER; BEAN; BOYLE, 2007; VELÁZQUEZ *et al.*, 2012).

Com isso, cresce a necessidade de estudos que explorem os benefícios do sorgo à saúde, especialmente quanto aos peptídeos bioativos formados tanto durante a digestão quanto no próprio processamento térmico. A aplicação de calor úmido ou seco é uma técnica acessível, de baixo custo e viável para aumentar o valor nutricional do grão e farinha (CARDOSO *et al.*, 2014).

No contexto do sorgo, os tratamentos térmicos têm mostrado potencial para reduzir o efeito antinutricional dos taninos e melhorar a digestibilidade das proteínas. Estudos indicam que temperaturas entre 100 °C e 140 °C, aplicadas por 5 a 15 minutos, são eficazes para melhorar a digestão de proteínas e a liberação de compostos bioativos em cereais (LI *et al.*, 2022).

Durante a digestão, as proteínas do sorgo são quebradas por enzimas como pepsina (no estômago) e proteases pancreáticas (no intestino), liberando aminoácidos e peptídeos. Esses peptídeos podem apresentar atividades funcionais, como ação antioxidante, anti-inflamatória, antidiabética e hipolipidêmica (BARROS *et al.*, 2012; UDENIGWE; FOGLIANO, 2017).

Contudo, a presença de taninos pode formar complexos com proteínas e amido, dificultando sua digestão e absorção (LI *et al.*, 2022) e conseqüentemente sua bioacessibilidade.

A bioacessibilidade é definida como a quantidade de um nutriente ou composto bioativo liberado durante a digestão e disponível para absorção no intestino. Já a biodisponibilidade diz respeito à fração efetivamente absorvida e utilizada pelo organismo. Compreender esses conceitos é essencial para o desenvolvimento de alimentos funcionais e processos que otimizem a absorção e o aproveitamento nutricional (LUCAS-GONZÁLES *et al.*, 2018; MCNAB, 1975; GILANI *et al.*, 2012; ARIËNS *et al.*, 2021).

No caso do sorgo, o uso de tecnologias como o tratamento térmico tem sido uma estratégia para superar as limitações impostas pelos taninos. Gomes et al. (2020) avaliaram o efeito do calor seco (105 °C por 25 minutos) sobre a farinha de sorgo e observaram estabilidade dos compostos bioativos, aumento proporcional de carboidratos e elevação do valor calórico, devido à perda de umidade.

Outros métodos, como extrusão termoplástica, banho térmico e fermentação, também têm sido utilizados em cereais para quebrar ligações químicas, reduzir a polimerização dos taninos e liberar compostos fenólicos, aumentando sua atividade antioxidante e melhorando sua biodisponibilidade (LÓPEZ-BARÓN *et al.*, 2017; RASHWAN *et al.*, 2021).

A extrusão, por exemplo, favorece a quebra da parede celular, enquanto o calor seco ajuda a preservar compostos sensíveis, como antocianinas, sem grandes perdas (CARDOSO *et al.*, 2014; MARSTON; KHOURYIEH; ARAMOUNI, 2016).

Dessa forma, compreender como os tratamentos térmicos e o processo digestivo influenciam a liberação de proteínas e compostos fenólicos do sorgo é fundamental para ampliar seu uso como alimento funcional, oferecendo maior valor nutricional e potencial preventivo para a saúde humana.

### 2.3 IMPACTO DOS TANINOS E PROTEÍNAS NO VALOR NUTRICIONAL DO SORGO

Os grãos de sorgo são ricos em proteínas — aproximadamente 10% de sua composição total (USDA, 2018) — e essas proteínas podem gerar peptídeos bioativos com ação antioxidante, anti-inflamatória e cardioprotetora (MEGÍAS *et al.*, 2009; FONTANARI *et al.*, 2012; CHAKRABARTI; JAHANDIDEH, 2014). No entanto, a presença de taninos, especialmente em genótipos de testa pigmentada, exerce impacto direto sobre a digestibilidade proteica do grão.

Taninos são compostos fenólicos de alto peso molecular que apresentam múltiplos grupos hidroxila capazes de se ligar a proteínas por pontes de hidrogênio, interações hidrofóbicas e, em alguns casos, ligações covalentes. Essas interações formam complexos proteína–tanino, reduzindo a disponibilidade das proteínas à ação de enzimas digestivas (DUNN *et al.*, 2015).

No sorgo, a fração proteica predominante é composta por kafirinas — prolaminas que representam cerca de 70% das proteínas totais e se subdividem em  $\alpha$ -,  $\beta$ - e  $\gamma$ -kafirinas. As  $\alpha$ -kafirinas, responsáveis por 80% do total, são ricas em aminoácidos hidrofóbicos.

Já as  $\beta$ - e  $\gamma$ -kafirinas contêm mais prolina, cisteína e histidina, e apresentam massas molares entre 14 e 28 kDa (HAMAKER; BUGUSU, 2003; ESPINOSA-RAMÍREZ; SERNA-SALDÍVAR, 2016; BIANCO-GOMES, 2022). Sua estrutura compacta, reforçada por pontes dissulfeto, já dificulta a digestão enzimática (LABUSCHAGNE, 2018), quando complexadas a taninos, tornam-se ainda menos acessíveis.

Estudos indicam que genótipos com maior teor de taninos — como o BRS 506 — apresentam digestibilidade proteica reduzida em comparação a variedades de taninos baixos (BRS 332), evidenciando o papel antinutricional desses compostos (TABOSA *et al.*, 2019). Para contornar essa limitação, o processamento térmico surge como solução eficaz.

Técnicas como extrusão termoplástica, calor seco e banho térmico promovem: rompimento de interações proteína–tanino, ao degradar parcialmente taninos de alto peso molecular; quebra da parede celular, aumentando a liberação de proteínas e peptídeos bioativos; transformação estrutural das kafirinas, facilitando a ação de pepsina e proteases pancreáticas (BUTIMEA-CANTÚA; GUTIÉRREZ-URIBE; SERNA-SALDÍVAR, 2018; CARDOSO *et al.*, 2014).

Esses tratamentos, aplicados a temperaturas entre 100 °C e 140 °C, melhoram significativamente a digestibilidade proteica e preservam ou até elevam a atividade antioxidante, uma vez que liberam compostos fenólicos soltos na matriz do grão (LI *et al.*, 2022; RASHWAN *et al.*, 2021).

Além disso, a concentração de compostos fenólicos totais — ácidos fenólicos, flavonoides e taninos condensados — varia conforme a cultivar e está mais elevada nas camadas externas do grão (AWIKA; ROONEY, 2004; SALAZAR-LÓPEZ *et al.*, 2018). O processamento, portanto, também modifica o perfil sensorial e a estabilidade desses bioativos (HEINIÖ *et al.*, 2016), possibilitando ajustar protocolos de moagem e aquecimento para maximizar o valor funcional das farinhas.

Em síntese, embora os taninos representem um desafio nutricional ao interagir com as proteínas do sorgo, o uso de tratamentos térmicos bem calibrados pode reduzir esses efeitos antinutricionais e potencializa a digestibilidade proteica. Essa combinação de genótipo (BRS 332 vs. BRS 506) e tecnologia de processamento constitui uma estratégia promissora para produzir farinhas de sorgo de alto valor nutricional e funcional.

### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência do processamento térmico no perfil proteico e funcional das farinhas do sorgo sem taninos (BRS 332) e com taninos (BRS 506) pós o processo de digestão gastrointestinal *in vitro*.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Avaliar os genótipos de farinha de sorgo BRS 332 e BRS 506 quanto a sua composição nutricional, com e sem tratamento térmico.
- b. Avaliar o efeito do processamento térmico sobre o teor dos compostos fenólicos.
- c. Avaliar a digestão das farinhas de sorgo BRS 332 e BRS 506, com e sem tratamento térmico.
- d. Analisar os genótipos de farinha de sorgo BRS 332 e BRS 506 após digestão gastrointestinal *in vitro* quanto aos compostos com potencial bioativo, com e sem tratamento térmico.
- e. Avaliar o perfil proteico das farinhas, antes e após a digestão gastrointestinal *in vitro*.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 MATERIAL

As farinhas integrais de sorgo BRS 332 de pericarpo vermelho e sem taninos, e sorgo BRS 506 de pericarpo cinza e com taninos, foram gentilmente doadas pela Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, Minas Gerais.

### 4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

As farinhas BRS 332 e BRS 506 receberam tratamento térmico (calor seco) visando melhorar a disponibilidade dos compostos fenólicos presentes no sorgo e, portanto, seu potencial biológico (GOMES, 2020).

Assim, foram considerados os seguintes produtos: farinhas de sorgo sem tratamento térmico (SSTT 332 e SSTT 506) e farinhas de sorgo com tratamento térmico (SCTT 332 e SCTT 506).

Para realização das análises, os grãos de sorgo foram transformados em farinha, visando diminuir o tamanho de suas partículas. Desta forma, as farinhas de sorgo sem tratamento térmico (SSTT 332 e SSTT 506) foram obtidas a partir dos grãos de sorgo *in natura*, triturados em moinho de bola (Marconi - Mod: MA950), até a obtenção de uma farinha homogênea (CARDOSO *et al.*, 2014).

As farinhas de sorgo tratadas termicamente (SCTT 332 e SCTT 506) foram obtidas a partir dos grãos de sorgo triturados em moinho de bola, até obtenção de uma farinha homogênea, e submetidos ao calor seco em estufa (SP labor®), a 121 °C por 25 min (CARDOSO *et al.*, 2014).

Logo após, as farinhas foram submetidas à classificação granulométrica e a fração foi determinada por meio de peneiras com abertura de malha 30, 40, 50, 60 e 65 (FEHLBERG *et al.*, 2020).

Após obtenção das farinhas elas foram submetidas à digestão gastrointestinal *in vitro*, sendo consideradas 2 fases (gástrica - G e intestinal - I). A fase oral foi desconsiderada, pois não há digestão proteica na boca.

Desta forma, o experimento foi realizado seguindo um Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), em esquema fatorial com as seguintes fontes de variação: 4 tratamentos (2 genótipos em 2 condições de preparo) e 3 fases de digestão (antes da digestão, após digestão gástrica e após digestão intestinal), em 3 repetições, totalizando 36 unidades experimentais. Apenas a caracterização nutricional dos tratamentos que foi realizada somente antes da digestão, realizado em repetições.

### 4.3 MÉTODOS

#### 4.3.1 Determinação da Composição Centesimal

A determinação do teor de umidade foi realizada pelo método de secagem em estufa a 105 °C até a obtenção de peso constante; cinzas por incineração em mufla a 550 °C; o teor proteico pelo método de Kjeldahl, seguido da conversão do resultado em proteína bruta, utilizando o fator 5,75, referente aos cereais (AOAC, 2002); lipídios totais pelo método de extração de Goldfish (AOAC, 1990) e o teor de carboidratos por diferença, todos de acordo com metodologia da AOAC (2012).

#### 4.4 BIOACESSIBILIDADE GASTROINTESTINAL *IN VITRO*

O procedimento da digestão *in vitro* foi realizado segundo a metodologia de Megias *et al.* (2009) com adaptações, para simular a digestão gastrointestinal.

#### 4.5 DOSAGEM DE PROTEÍNA E ELETROFORESE

Para realização da eletroforese, as proteínas foram determinadas quantitativamente pelo método do ácido bicinconínico (SMITH *et al.*, 1985), sendo a albumina sérica bovina (Sigma-Aldrich®, 9048-46-8) utilizada como padrão.

O perfil proteico dos extratos foi monitorado por eletroforese em gel de poliacrilamida na presença de tricina e SDS (dodecilsulfato de sódio), usando placas de vidro de 8 x 10 cm e 7 x 10 cm e espaçadores de 0,75 mm, segundo o método descrito por Schagger e von Jagow (1987).

O gel de separação foi preparado numa concentração de 16,4% de acrilamida/bis-acrilamida e o gel de concentração numa concentração de 3,9%. Estes foram montados no Mini Protean Tetra System (Biorad).

A eletroforese foi realizada a uma voltagem constante de 24 V por um período de aproximadamente 16 h, utilizando na corrida o tampão catodo (Tricina 0,1 M; Tris- HCl 0,1 M pH 8,31; SDS 0,1%) e tampão anodo (Tris-HCl 0,2 M pH 8,9; SDS 0,2%).

Para estimar a massa molecular dos peptídeos foi usado o marcador de baixa massa molecular composto das seguintes massas moleculares de proteínas em Da (26.600; 17.000; 14.200; 6.500; 3.496; 1.060) (M3546 – *Ultra Low Range Molecular Weight Marker, Sigma*).

Após a finalização da corrida, o gel foi cuidadosamente retirado das placas de vidro e colocado numa solução corante (0,025% de Coomassie blue G, 10% de ácido acético em água destilada) em agitação constante por aproximadamente 1 h. Após corado, o gel foi transferido para uma solução descorante (10% de ácido acético em água destilada).

Este foi mantido nesta última solução até a visualização das bandas proteicas e em seguida foi armazenado em água destilada. As imagens dos géis foram digitalizadas em celular (modelo iPhone 14) e legendadas pelo aplicativo Canva®.

#### 4.6 REPARO DOS EXTRATOS PARA ANÁLISE DE COMPOSTOS FENÓLICOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

Um grama de cada amostra foi pesado e transferido para um tubo falcon coberto por papel alumínio. Em seguida, foi adicionado 10 ml de metanol (Neon®) 60%, agitando manualmente até completa solubilização. Essa mistura foi levada ao banho de ultrassom (Elmasonic P - Elma) por 25 minutos, a 40 °C, 37 kHz e 50% de amplitude, conforme Altemimi et al., 2016.

Após esse processo, o tubo foi levado à centrífuga (Excelsa 2206 - Fanem) a 3500 rpm por 10 min, e o sobrenadante filtrado e coletado teve seu volume completado até 15 mL com água deionizada (KREPSKY et al. 2012). Todos os procedimentos foram realizados no escuro e os extratos acondicionados sob congelamento, ao abrigo da luz, até a realização das análises.

#### 4.6.1 Determinação dos Compostos Fenólicos

A determinação de compostos fenólicos das farinhas foi realizada segundo o método de Folin-Ciocalteu (Bloor 2001), com modificações. Foi pipetado de 100 µL do extrato e adicionada de 100 µL do reagente de Folin-Ciocalteu (Sigma®) em concentração de 10%. Após 6 minutos, adicionou-se 100 µL de carbonato de sódio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) a 7,5% (p/v - Sigma®).

Após 1 hora, a absorbância foi realizada a 765 nm no espectrofotômetro (SpectraMax® 190). A curva padrão foi elaborada com ácido gálico Dinâmica Ltda® nas concentrações de 0 a 300 µl/ml gerando a equação de regressão. Os resultados foram expressos em mg de equivalente em ácido gálico (EAG)/100 ml da amostra.

#### 4.6.2 Determinação da capacidade antioxidante

Para a análise da capacidade antioxidante foram utilizados os radicais 2,2'-Azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico) (ABTS) e 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH).

O ensaio com o radical ABTS foi realizado a partir de 30µl de cada extrato foram pipetados em uma microplaca e adicionados de 270 µl do radical ABTS. Após 6 minutos, a absorbância foi lida a 734 nm em espectrofotômetro SpectraMax® 190. A análise do branco foi realizada com metanol concentrado NEON® (AWIKA et al., 2003).

A atividade de inibição do radical foi calculada da seguinte forma:  $I (\%) = [(Abs_0 - Abs_1) / Abs_0] \times 100$ , onde  $Abs_0$  é a absorbância do branco e  $Abs_1$  é a absorbância na presença do teste composto em diferentes concentrações (Awika et al., 2003; Scherer; Godoy, 2009).

O ensaio de DPPH foi conduzido com 20µl de cada extrato e 280 µl do radical DPPH foram pipetados em microplaca. A leitura foi realizada a 517 nm após 60 minutos de incubação, ao abrigo da luz em espectrofotômetro SpectraMax® 190. A análise do branco foi realizada com metanol concentrado NEON® (LUO et al., 2018).

Todas as análises foram realizadas em triplicata. A atividade de inibição do radical foi calculada da seguinte forma:  $I (\%) = [(Abs_0 - Abs_1) / Abs_0] \times 100$ , onde  $Abs_0$  é a absorbância do branco e  $Abs_1$  é a absorbância na presença do teste composto em

diferentes concentrações. Os resultados foram expressos como IC50 (concentração capaz de reduzir 50% de radicais livres) (Scherer; Godoy, 2009).

#### 4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados foram inicialmente avaliados quanto à normalidade, pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. Para os dados normais ( $p \geq 0,05$ ), realizou-se um teste F (ANOVA) considerando as seguintes fontes de variação: tratamentos (genótipos com e sem tratamento térmico), fases de digestão (antes da digestão, após digestão gástrica e após digestão intestinal) e a interação Tratamento\*Fases.

Resultados com diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) para os Tratamentos ou Fases de digestão foram avaliados por meio Teste de Duncan para comparação de médias. Para resultados significativos referente à interação Tratamento-Fases, foi realizado o desmembramento para avaliar quais tratamentos alteraram significativamente durante sua digestão.

Os resultados foram analisados por meio do programa estatístico *Statistical Analysis System* (SAS University Studio Online, Cary, North Carolina).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL DOS GENÓTIPOS DE SORGO COM E SEM TRATAMENTO TÉRMICO

Os resultados obtidos para composição centesimal das farinhas de sorgo BRS 332 e BRS 506 com e sem tratamento térmico estão apresentados na Tabela 1 ( $p > 0,05$ ).

**Tabela 1** - Média e desvio padrão da composição centesimal da farinha de sorgo dos diferentes genótipos de sorgo com e sem tratamento térmico<sup>1</sup>

Componentes	SCTT 332	SSTT 332	SCTT 506	SSTT 506
Umidade (%)	2,15±0,19 <sup>c</sup>	11,15±0,15 <sup>a</sup>	2,49±0,09 <sup>c</sup>	10,46±0,46 <sup>b</sup>
Proteínas (%)	10,16±0,66 <sup>a</sup>	9,21±0,01 <sup>b</sup>	10,71±0,32 <sup>a</sup>	10,37±0,04 <sup>a</sup>
Lipídeos (%)	3,95±0,30 <sup>a</sup>	3,14±0,03 <sup>a</sup>	3,78±0,59 <sup>a</sup>	3,76±0,09 <sup>a</sup>
Cinzas (%)	1,80±0,21 <sup>a</sup>	1,83±0,00 <sup>a</sup>	1,50±0,17 <sup>ab</sup>	1,35±0,07 <sup>b</sup>
Carboidratos (%)	81,95±0,37 <sup>a</sup>	74,80±0,00 <sup>b</sup>	81,52±0,48 <sup>a</sup>	74,06±0,44 <sup>b</sup>

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Os dados obtidos neste estudo demonstram que o tratamento térmico por calor seco (121 °C/25 min) influenciou de forma significativa a composição centesimal das farinhas de sorgo, principalmente em relação ao teor de umidade e à concentração relativa dos macronutrientes.

Observou-se que, nas amostras sem tratamento térmico, os genótipos BRS 332 e BRS 506 apresentaram diferenças significativas: o BRS 332 destacou-se pelos maiores teores de umidade e cinzas, enquanto o BRS 506 apresentou maior teor de proteínas ( $p < 0,05$ ).

No entanto, após o processamento térmico, tais diferenças deixaram de ser estatisticamente significativas, sugerindo uma homogeneização dos constituintes nutricionais entre os genótipos.

<sup>1</sup> Letras diferentes, na mesma linha, indicam diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade, pelo Teste Duncan.

A redução significativa no teor de umidade após o tratamento era esperada e está bem documentada na literatura (QUEIROZ, 2015; MORAES, 2016; GOMES, 2020; CAMPELO *et al.*, 2020). Esse efeito é resultado da evaporação da água livre presente nas farinhas e representa um aspecto positivo do ponto de vista tecnológico e de segurança alimentar, pois contribui para aumentar a estabilidade e a vida útil do produto, ao reduzir a atividade de água e, conseqüentemente, a suscetibilidade ao crescimento microbiano (WAHAB *et al.*, 2016).

No caso específico das proteínas, além da concentração, há evidências de que o tratamento térmico pode promover alterações estruturais, como a quebra de cadeias polipeptídicas, o que favorece a digestibilidade e a exposição de grupos funcionais (GOMES, 2020). Os valores de proteínas obtidos neste trabalho estão em conformidade com os relatados por Martino *et al.* (2012), Borges (2013) e Kardes *et al.* (2021), que também observaram variações entre diferentes genótipos.

Tais variações podem estar relacionadas à presença de taninos, como observado nos estudos de Campelo *et al.* (2021), onde genótipos com altos teores desses compostos fenólicos apresentaram menor disponibilidade de proteínas. Os taninos formam complexos estáveis com proteínas, dificultando sua digestão e absorção. Após o aquecimento, esses complexos podem ser parcialmente rompidos, contribuindo para a semelhança no perfil proteico final entre os genótipos.

Em relação aos lipídeos, os valores encontrados neste estudo são semelhantes aos de Martino *et al.* (2012), indicando que o teor de gordura presente nos grãos é relativamente estável e pouco afetado pelo aquecimento moderado, embora sua proporção também aumente devido à desidratação.

O teor de carboidratos, por sua vez, apresentou aumento após o tratamento térmico em ambos os genótipos. Esse aumento também está relacionado à perda de umidade, como sugerido por Gomes *et al.* (2020). Além disso, esse macronutriente representa a fração predominante no sorgo, sendo responsável por fornecer energia e conferir funcionalidade às farinhas (MARTINO *et al.*, 2012).

Quanto ao teor de cinzas, a diferença observada entre os genótipos antes do tratamento térmico permaneceu mesmo após o processamento. Como sugerido por Medeiros e Niro (2022), essa variabilidade está mais associada a fatores genéticos e ambientais do

cultivo do sorgo do que ao tipo de processamento aplicado. Isso reforça a importância de considerar a variabilidade genotípica na caracterização nutricional do grão.

Em conjunto, os resultados demonstram que o tratamento térmico por calor seco, além de ser uma técnica simples e de baixo custo, é capaz de modificar favoravelmente a composição da farinha de sorgo, concentrando os macronutrientes e potencialmente melhorando sua digestibilidade e estabilidade.

## 5.2 PERFIL PROTEICO DOS GENÓTIPOS DE SORGO COM E SEM TRATAMENTO TÉRMICO

A análise do perfil eletroforético apresentado na Figura 1 revela diferenças expressivas na distribuição e intensidade das bandas proteicas entre as amostras do genótipo BRS 506 submetidas ou não ao tratamento térmico. Na condição sem tratamento térmico (SSTT), observa-se uma maior definição e intensidade nas bandas com peso molecular superior a 26,6 kDa, indicando a presença de polipeptídeos de maior massa ainda íntegros.

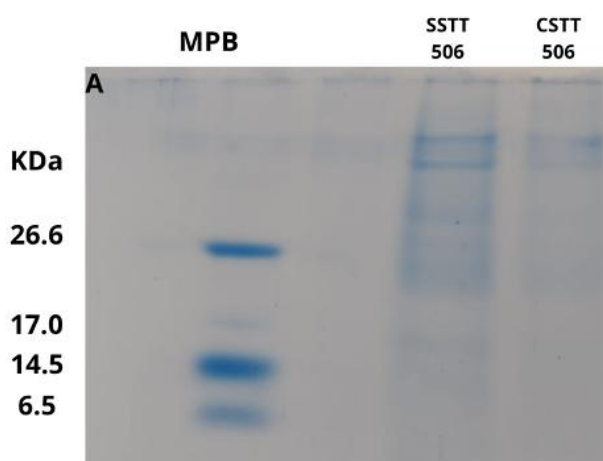
Em contraste, a amostra submetida ao tratamento térmico (SCTT) apresenta um padrão de bandas mais tênue e difuso, com faixas variando de aproximadamente 14 kDa até acima de 26 kDa, sugerindo que o aquecimento pode ter promovido desnaturação parcial ou agregação proteica, dificultando a migração eficiente dessas proteínas durante a eletroforese.

Na Figura 2, referente ao genótipo BRS 332, verifica-se um padrão eletroforético mais intenso e consistente em ambos os tratamentos (com e sem aquecimento). Destacam-se faixas de elevada intensidade acima de 26,6 kDa, além de bandas visíveis, ainda que menos marcadas, na faixa entre 14,5 e 17 kDa. Esses resultados sugerem uma maior estabilidade das proteínas deste genótipo frente ao tratamento térmico, ou uma composição proteica intrinsecamente distinta, que favorece maior resistência térmica e solubilidade.

A principal distinção entre os genótipos BRS 506 e BRS 332 está na intensidade das bandas observadas. O genótipo BRS 506 apresenta bandas notavelmente menos intensas, o que pode ser atribuído à elevada concentração de taninos presente neste material. Os taninos são compostos fenólicos com elevada capacidade de interação com

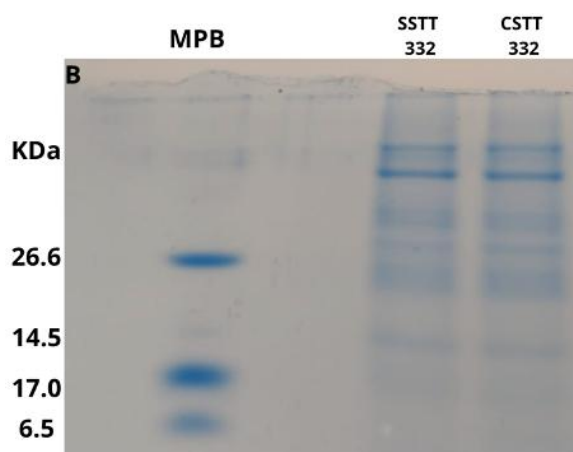
proteínas, formando complexos insolúveis por meio de ligações hidrogênicas e hidrofóbicas. Essas interações dificultam a solubilização e extração das proteínas durante o preparo das amostras para a eletroforese, resultando em um perfil eletroforético com menor definição e intensidade (LÓPEZ-BARÓN *et al.*, 2017; RASHWAN *et al.*, 2021).

**Figura 1** – Eletroforese das amostras 506 sem tratamento térmico (SSTT) e 506 com tratamento térmico (CSTT), respectivamente, realizada com marcador de até 6,5 kDa. MBP = Marcador de baixo peso molecular



Fonte: Compilado da autora (2024).

**Figura 2** - Eletroforese das amostras 332 sem tratamento térmico (SSTT) e 332 com tratamento térmico (CSTT), respectivamente, realizada com marcador de até 6,5 kDa. MBP = Marcador de baixo peso molecular.



Fonte: Compilado da autora (2024).

O padrão observado pode ser atribuído à composição proteica característica do sorgo, cuja fração proteica é composta majoritariamente por prolaminas solúveis em álcool, conhecidas como kafirinas, que representam cerca de 70% do total, enquanto os 30% restantes correspondem a albuminas, globulinas e glutelinas (BELTON *et al.*, 2006).

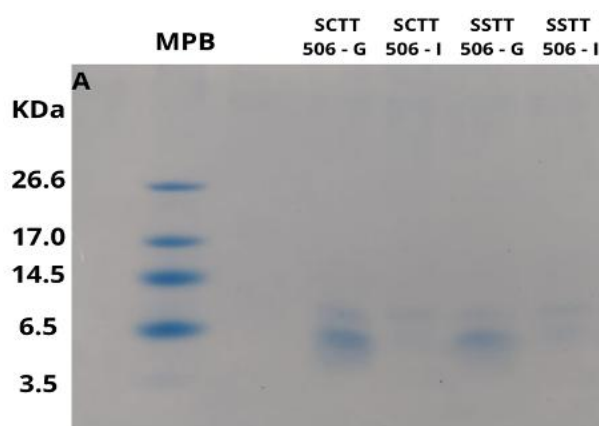
As kafirinas são classificadas em quatro subtipos, com base em suas massas moleculares:  $\alpha$ -kafirinas (25 e 23 kDa),  $\beta$ -kafirinas (20, 18 e 16 kDa),  $\gamma$ -kafirinas (28 kDa e 50 kDa) e  $\delta$ -kafirina, menos descrita na literatura, com aproximadamente 13 kDa (MOKRANE *et al.*, 2010).

A predominância de bandas acima de 26 kDa nos eletroferogramas indica que as proteínas extraídas e detectadas correspondem majoritariamente a subunidades de maior massa molar. As kafirinas, em especial, apresentam uma conformação estrutural rica em ligações dissulfeto entre resíduos de cisteína, o que contribui para a formação de agregados proteicos e dificulta a digestibilidade dessas moléculas (SULLIVAN *et al.*, 2018).

Essa característica estrutural justifica a permanência das bandas em faixas de maior peso molecular, mesmo após a extração. Embora com menor intensidade, também foram observadas bandas em faixas abaixo de 6,5 kDa para ambos os genótipos avaliados. Estudos como o de Gava *et al.* (2020) relatam a presença de peptídeos com massa inferior a 10 kDa em amostras de sorgo submetidas a tratamento térmico, sugerindo algum grau de fragmentação proteica.

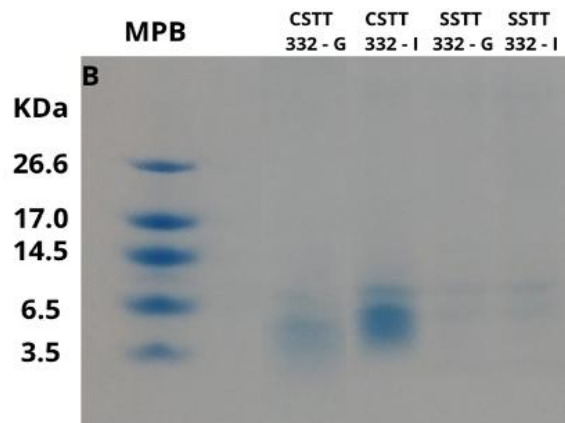
De modo geral, os resultados indicam que o tratamento térmico aplicado aos genótipos provocou alterações qualitativas significativas nas subunidades proteicas na Figura 1. Revelando que os perfis eletroforéticos obtidos evidenciam diferenças significativas no comportamento das amostras com alto teor de taninos frente ao tratamento térmico, indicando que, nesses casos, o aquecimento exerce papel relevante na desnaturação das proteínas.

**Figura 3** - Eletroforese das amostras SCTT 506 (fase gástrica -G/intestinal - I) e SSTT 506 (fase gástrica - G/intestinal - I), respectivamente, realizada com marcador de até 3,5 KDa. MBP = Marcador de baixo peso molecular; SSTT (sem tratamento térmico) e SCTT (com tratamento térmico).



Fonte: Compilado da autora (2024).

**Figura 4** - Eletroforese das amostras SCTT 332 (fase gástrica - G/intestinal - I) e SSTT 332 (fase gástrica - G/intestinal - I), respectivamente, realizada com marcador de até 3,5 KDa. MBP = Marcador de baixo peso molecular; SSTT (sem tratamento térmico) e SCTT (com tratamento térmico).



Fonte: Compilado da autora (2024).

Na Figura 3 é possível observar diferenças expressivas na marcação das bandas proteicas entre as fases gástrica e intestinal da digestão, bem como os efeitos do tratamento térmico sobre esse perfil. As bandas localizadas na faixa entre 26,6 e 3,5 kDa apresentam coloração mais intensa na fase gástrica em comparação à fase intestinal, sugerindo maior concentração de peptídeos nessa etapa inicial da digestão.

Esse padrão indica que, durante a ação enzimática no ambiente gástrico, há maior liberação ou preservação de fragmentos proteicos que permanecem detectáveis no gel.

Por outro lado, na fase intestinal, observa-se uma redução na intensidade dessas bandas, possivelmente devido à atuação de proteases intestinais que promovem maior degradação desses fragmentos. Além disso, a comparação entre as amostras com e sem tratamento térmico revela que o aquecimento prévio ocasionou mudanças significativas na intensidade das bandas nessa faixa de massa molecular. Portanto, a principal diferença observada na Figura 3 está relacionada à transição entre as fases digestivas, mais do que à aplicação do tratamento térmico em si.

Já na Figura 4 as amostras BRS 332 (SCTT 332 e SSTT 332), sem taninos, observa-se uma quebra na estrutura proteica, indicando sua digestão. Esse achado pode estar relacionado à solubilidade das proteínas, uma vez que a análise considerou apenas as frações solúveis, incluindo possíveis agregados solúveis. Além disso, após o tratamento térmico, especialmente na fase de digestão intestinal, identificaram-se bandas mais marcantes entre 6,5 e 3,5 kDa.

Isso pode indicar que o calor provocou a desnaturação das proteínas, facilitando sua degradação enzimática, por meio da clivagem de ligações peptídicas. Porém, quando fazemos a comparação das amostras após a digestão, tem-se uma menor marcação das bandas na fase gástrica em relação à fase intestinal, nas mesmas bandas de 3,5 a 6,5 kDa.

Vale lembrar que a hidrólise enzimática é capaz de reduzir a massa molecular das proteínas, contribuindo para o aumento de sua reatividade e para a melhora de suas propriedades funcionais (SOARES, 2013). A maior parte das proteínas ingeridas é inicialmente digerida pela pepsina no estômago, resultando na liberação de grandes polipeptídeos, alguns peptídeos menores e aminoácidos livres (JOYE, 2019).

Posteriormente, durante a fase intestinal da digestão, observa-se um aumento da digestibilidade, o que pode dificultar a detecção dos peptídeos de baixo peso molecular (< 2 kDa) por eletroforese. Isso ocorre porque tais fragmentos podem ser perdidos durante as etapas de lavagem e revelação do gel, além de haver limitações na separação de peptídeos com massas moleculares muito próximas ou com características de carga elétrica semelhantes (KANEKANIAN *et al.*, 2000; FARVIN *et al.*, 2010).

Outro ponto importante é que a pepsina tem ampla especificidade na hidrólise de ligações adjacentes a aminoácidos aromáticos e hidrofóbicos, como fenilalanina, tirosina, triptofano e leucina (DUNN 2002; INOUIE e FRUTON 1967), com um pH ótimo de aproximadamente 2,0 (KONDJOYAN, DAUDIN e SANTÉ-LHOUELLIER 2015; PLETSCHKE, NAUDÉ e OELOFSEN 1995). Aminoácidos esses presentes no sorgo, podendo justificar uma hidrólise maior e por consequência as bandas entre as fases gástrica e intestinais apresentarem diferenças provenientes da ação enzimática da pepsina e pancreatina.

### 5.3 COMPOSTOS FENÓLICOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DA FARINHA DE SORGO E SEUS DIFERENTES GENÓTIPOS DE SORGO COM E SEM TRATAMENTO TÉRMICO

**Tabela 2** - Média e desvio padrão de compostos fenólicos totais (mEq de ácido gálico/g de amostra), e capacidade antioxidante (percentual de inibição de radical (I%) das farinhas dos diferentes genótipos de sorgo com e sem tratamento térmico.<sup>2</sup>

Componentes	SCTT 332	SCTT 506	SSTT 332	SSTT 506
CFT <sup>3</sup>	0,83±0,05ab	0,76±0,10b	0,85±0,02a	0,68±0,14c
DPPH	8,36±2,32b	10,61±5,40ab	7,16±3,29b	14,51±4,99a
ABTS	9,27±3,45a	11,66±6,65a	6,66±2,84a	6,05±5,11a

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Embora o sorgo BRS 506 apresente testa pigmentada e, portanto, contenha taninos, esse genótipo não apresentou alta concentração de polifenóis, conforme relatado por Moraes *et al.* (2020). Isso explica por que seu teor foi inferior ao da amostra SSTT 332 ( $p>0,05$ ).

<sup>2</sup> Letras diferentes, na mesma linha, indicam diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade, pelo Teste Duncan.

<sup>3</sup> CFT: compostos fenólicos totais.

No BRS 506, o tratamento térmico resultou em aumento significativo no teor de compostos fenólicos totais (CFT) ( $p > 0,05$ ). Esse aumento pode estar relacionado ao efeito da temperatura e da moagem, que ampliam a superfície de contato dos grãos e rompem a parede celular da matriz alimentar, favorecendo a liberação de fitoquímicos conjugados (DLAMINI, TAYLOR e ROONEY, 2007).

Em contraste, o genótipo BRS 332 não apresentou alteração no teor de CFT após o tratamento térmico ( $p > 0,05$ ). Esse resultado difere do estudo de Campelo *et al.* (2021), no qual temperaturas de extrusão entre 40 e 140 °C, aplicadas por 30 a 150 minutos, aumentaram os compostos fenólicos nos genótipos SC 319 e BRS 332. A divergência entre os estudos pode ser atribuída ao tipo e à intensidade do tratamento térmico utilizado.

Quanto à capacidade antioxidante, avaliada pelos radicais DPPH e ABTS, o tratamento térmico não promoveu alterações significativas ( $p > 0,05$ ). Campelo *et al.* (2021) também observaram que, embora a extrusão tenha modificado a composição química dos grãos, não houve diferença significativa na atividade antioxidante pelo radical DPPH. Resultado semelhante foi descrito por Gomes *et al.* (2020), que, apesar de observarem variações no teor de CFT com e sem tratamento térmico, não identificaram mudanças na capacidade antioxidante.

Segundo Awika *et al.* (2003), o tratamento térmico pode induzir tanto a degradação de compostos fenólicos quanto a liberação de compostos ligados à matriz alimentar, o que pode gerar um equilíbrio entre essas reações, mantendo a capacidade antioxidante estável. Dlamini *et al.* (2007) reforçam que as diferenças na capacidade antioxidante entre os alimentos processados estão mais relacionadas às características intrínsecas dos genótipos do que ao tipo de processamento, o que corrobora os resultados observados entre os genótipos com e sem tratamento térmico.

A análise dos CFT e da capacidade antioxidante das amostras ao longo das fases de digestão, revelou algumas variações importantes, como observado na Tabela 3.

**Tabela 3** - Média e desvio padrão do conteúdo de compostos fenólicos totais (mEq de ácido gálico/g de amostra), e capacidade antioxidante (percentual de inibição de radical (I%) da farinha de sorgo de diferentes genótipos.<sup>4</sup>

Componentes	Fase inicial	Fase gástrica	Fase intestinal
CFT <sup>5</sup>	0,71±0,10 <sup>b</sup>	0,82±0,06 <sup>a</sup>	0,82±0,07 <sup>a</sup>
DPPH	7,93±3,65 <sup>b</sup>	13,91±4,38 <sup>a</sup>	7,62±2,12 <sup>b</sup>
ABTS	10,50±4,89 <sup>a</sup>	8,58±2,50 <sup>a</sup>	9,23±7,50 <sup>a</sup>

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Houve um aumento da concentração de CFT na fase gástrica em relação à fase inicial, seguido de estabilidade na fase intestinal. Esse comportamento pode estar relacionado à solubilização dos compostos fenólicos ligados à matriz alimentar durante a digestão gástrica, tornando-os mais biodisponíveis sem sofrer degradação significativa na fase intestinal (WOJTUNIK-KULESZA *et al.*, 2020).

Desta forma, o aumento dos CFT pode ser atribuído à liberação de compostos sob a ação do ambiente ácido do estômago, enquanto a posterior diminuição pode estar associada à degradação parcial dos compostos fenólicos ou à sua interação com outras substâncias durante a digestão intestinal (ZIÓŸKIEWICZ *et al.*, 2023).

A capacidade antioxidante avaliada pelo radical DPPH também aumentou na fase gástrica, seguido por uma redução na fase intestinal ( $p \leq 0,05$ ). ZióŸkiewicz *et al.* (2023), no estudo com massa de macarrão enriquecida com sorgo, encontraram uma capacidade de eliminação de radicais livres menor após cada estágio da digestão.

<sup>4</sup> Letras diferentes, na mesma linha, indicam diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade, pelo Teste Duncan.

<sup>5</sup> CFT: Compostos fenólicos totais.

A capacidade antioxidante medida pelo radical ABTS não apresentou diferenças significativas entre as fases. Segundo Henriques *et al.* (2018) a análise pelo radical ABTS é mais abrangente, podendo reagir com uma variedade maior de compostos antioxidantes, incluindo fenóis hidrofílicos e lipofílicos, enquanto a análise pelo radical DPPH é mais seletiva para compostos hidrofóbicos.

Neste contexto, Awika *et al.* (2003) compararam diferentes métodos de determinação de capacidade antioxidante e concluíram que o radical ABTS é mais adequado para sorgo do que o radical DPPH e outros em estudo, pois se trata de um método mais prático que apresentou resultados mais consistentes entre as variedades de sorgo avaliadas.

Os compostos fenólicos nos vegetais são encontrados principalmente ligados a açúcares, em cadeias poliméricas ou na forma de ésteres (ZIÓŸKIEWICZ *et al.*, 2023). Assim, durante a digestão, podem ser hidrolisados no estômago (ambiente ácido), no intestino (ambiente alcalino) e pelo efeito de enzimas. Essas condições resultam em mudanças na estrutura dos compostos fenólicos, por exemplo, glicosilação, hidroxilação e dimerização, bem como na degradação parcial de sua estrutura primária (WOJTUNIK-KULESZA *et al.*, 2020).

Assim, o potencial antioxidante do material vegetal depende da quantidade e posição dos grupos OH nos compostos principais e da capacidade de doar hidrogênio. Portanto, podemos inferir que a bioacessibilidade dos polifenóis depende do tipo e da quantidade presente na matriz vegetal.

De maneira geral, os resultados apresentados indicam que a digestão gástrica desempenha um papel importante na liberação dos compostos fenólicos e na modulação da capacidade antioxidante, enquanto a fase intestinal pode reduzir a eficácia de determinados antioxidantes.

De acordo com ZióŸkiewicz *et al.* (2023) as condições de pH podem ter influência tanto em estudos *in vitro* quanto *in vivo* no potencial antioxidante de compostos fenólicos. Deste modo, é fundamental considerar a influência do pH por partes selecionadas do trato digestivo sobre a estrutura e atividade de compostos vegetais (CRISTEA *et al.*, 2019).

Esses achados são consistentes com estudos prévios que demonstram a influência das condições gastrointestinais na bioacessibilidade e atividade antioxidante de polifenóis presentes em alimentos vegetais (WOJTUNIK-KULESZA *et al.*, 2020; ZIÓŹKIEWICZ *et al.*, 2023).

Em relação à interação Tratamento-Fase, não foi observada diferença estatística ( $p > 0,05$ ), ou seja, o teor de compostos fenólicos e capacidade antioxidante avaliada pelos radicais DPPH e ABTS não variaram durante a digestão gastrointestinal *in vitro* dos genótipos BRS 332 e 506, submetidos ou não ao tratamento térmico, quando analisados de forma individualizada. Isso sugere que, os compostos analisados para genótipos diferentes acabam tendo o mesmo comportamento ao passar pelo trato gastrointestinal.

## **6 CONCLUSÃO**

Os resultados deste estudo indicaram que, independentemente dos genótipos, as proteínas do sorgo apresentaram digestibilidade após a digestão gastrointestinal *in vitro*, com influência significativa do tratamento térmico sobre esse processo. Além disso, foi observada a preservação da capacidade antioxidante nas farinhas de ambos os genótipos, BRS 332 e BRS 506.

Contudo, são necessários estudos adicionais para compreender mais detalhadamente a interação entre os taninos e as proteínas do sorgo, além de identificar e quantificar os possíveis peptídeos formados durante a digestão. A compreensão desses mecanismos é fundamental para explorar o potencial nutricional e funcional do sorgo em diferentes aplicações alimentícias.

## REFERÊNCIAS

ADEBOWALE, A. R. A. *et al.* Evaluation of the nutritional and antioxidant potential of extruded sorghum-based complementary food fortified with soybeans and crayfish. **Food Science & Nutrition**, v. 4, n. 1, p. 50-60, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/fsn3.275>. Acesso em: 28 maio 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Conceitos e definições sobre biodisponibilidade**. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/acesoainformacao/perguntasfrequentes/medicamentos/conceitos-e-definicoes>. Acesso em: 29 out. 2024.

ALMEIDA, Luciana Gomes Fonseca. **Etanol de segunda geração utilizando sorgo biomassa (Sorghum bicolor)**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação em Biocombustíveis) – Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2019. Disponível em: [http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/bitstream/1/2066/6/luciana\\_gomes\\_fonseca\\_almeida.pdf](http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/bitstream/1/2066/6/luciana_gomes_fonseca_almeida.pdf). Acesso em 27 mai. 2025.

ALONZO, E. *et al.* Consumo de grãos integrais e saúde humana: uma revisão abrangente de estudos observacionais. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 71, n. 6, p. 668-677, 2020. DOI 10.1080/09637486.2020.1715354. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/09637486.2020.1715354>. Acesso em: 28 maio 2025.

ALTEMIMI, Ammar *et al.* **Ultrasound Assisted Extraction of Phenolic Compounds From Peaches and Pumpkins**. *Plas One*, [S.l.], 2016. DOI 10.1371/journal.pone.0148758.

AL-YAHYA, M.; EL-BASSOUMI, M.; MOHAMED, M. Effect of processing on antioxidant activity of sorghum grain. **Food Chemistry**, v. 180, p. 164-170, 2015.

AMOURA, H. *et al.* Avaliação da qualidade da proteína do sorgo argelino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] usando análise de aminoácidos e digestibilidade in vitro da pepsina. **Food Chemistry**, v. 121, p. 719-723, 2010.

AN, D.; PAN, L.; ZHU, W. Y. O grão de sorgo com baixo teor de tanino pode ser usado como uma alternativa ao milho na dieta de porcos de creche. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 105, p. 890-897, 2021a. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jpn.13523>. Acesso em: 28 maio 2025.

AN, D.; PAN, L.; ZHU, W. Y. Sorghum as a dietary substitute for corn reduces the activities of digestive enzymes and antioxidant enzymes in pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 273, p. 114831, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377840121000171>. Acesso em: 28 maio 2025.

AN, D.; PAN, L.; ZHU, W. Y. Interactions of sorghum tannins with wheat proteins and effect on in vitro starch and protein digestibility in pigs. **Livestock Science**, v. 237, p.

104066, 2020. DOI 10.1016/j.livsci.2020.104066. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104066>. Acesso em: 28 maio 2025.

AN, D.; PAN, L. Excreção comparativa de energia e nitrogênio de porcos em crescimento alimentados com dietas à base de milho, sorgo e trigo. **Animal Feed Science and Technology**, v. 264, p. 114477, 2020a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114477>. Acesso em: 28 maio 2025.

ANDRADE, M. F. *et al.* A evolução genética do gênero sorghum e a importância do cereal para a economia mundial e a promoção da segurança alimentar a nível global: uma revisão integrativa. **Revista Gestão e Secretariado**, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 1-20, 2024. DOI 10.7769/gesec.v15i2.3552. Disponível em: <https://doi.org/10.7769/gesec.v15i2.3552>. Acesso em: 28 maio 2025.

ANUNCIACÃO, Pamella Cristine *et al.* **Water stress increased the flavonoid content in tannin-free sorghum grains**. v. 100, n. 103892, 2021.

AOAC. **Official Methods of Analysis**: Volume 1. [S.l.: s.n.], 2012. v. 19.

ARAMOUNI, F.; KHOURYIEH, H.; MARSTON, K. Extrusion processing of sorghum: Effects on phenolic content, antioxidant activity, and pasting properties. **Food Research International**, v. 88, p. 90-97, 2016.

ARAÚJO, R. *et al.* Caracterização química e determinação da capacidade antioxidante de genótipos brasileiros de sorgo (*Sorghum bicolor* L.). *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS. **O uso consciente da biodiversidade: perspectivas para o avanço da ciência e tecnologia de alimentos**. Belém, PA: SBCTA: UFPA, 2018. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1099162>. Acesso em: 28 maio 2025.

ARBEX, P. M. *et al.* Extruded sorghum flour (*Sorghum bicolor* L.) modulate adiposity and inflammation in high fat diet-induced obese rats. *Journal of Functional Foods*, v. 42, p. 346-355, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.01.010>>. Acesso em 27 mai. 2025.

ASP, N. G. *et al.* Determination of insoluble, soluble and total dietary fiber in foods and food products: interlaboratory study. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**, v. 71, p. 1017-1024, 1988.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis**. 16. ed. Washington, DC: AOAC, 2002.

ASTIAZARÁN GARCÍA, H. *et al.* Influence of sorghum kafirin on serum lipid profile and antioxidant activity in hyperlipidemic rats (In Vitro and in Vivo Studies). **BioMed Research International**, v. 2015, p. art. 164725, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2015/164725>. Acesso em: 28 maio 2025.

ASTRUC, T. *et al.* Effect of meat cooking on physicochemical state and in vitro digestibility of myofibrillar proteins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.

56, n. 4, p. 1488-1494, 2008. DOI 10.1021/jf072999g. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jf072999g>. Acesso em: 28 maio 2025.

AUBRY, L.; GATELLIER, P.; SANTE-LHOUELLIER, V. Effect of oxidation on in vitro digestibility of skeletal muscle myofibrillar proteins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 13, p. 5343-5348, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jf070252k>. Acesso em: 28 maio 2025.

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

AWIKA, J. M. Sorghum (*Sorghum bicolor* L.): Nutrients, bioactive compounds, and potential impact on human health. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 2, p. 372-390, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.915512>. Acesso em: 28 maio 2025.

AWIKA, J.; GIRARD, A. Sorghum polyphenols and other bioactive components as functional and health promoting food ingredients. **Journal of Cereal Science**, v. 84, p. 112-124, 2018. DOI 10.1016/j.jcs.2018.10.009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0733521018306969>. Acesso em: 28 maio 2025.

AWOSIKA, O. E.; ALUKO, A. A. An efficient hybrid deep learning approach for anomaly detection in time series data. **Journal of Network and Computer Applications**, v. 147, p. 102498:1-102498:13, 2019. DOI 10.1016/j.jnca.2019.102498.

BARON, Caroline *et al.* Antioxidant activity of yoghurt peptides: part 2-characterisation of peptide fractions. **Food Chemistry**, v. 123, n. 4, p. 1090-1097, 2010. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/223647175\\_Antioxidant\\_activity\\_of\\_yoghurt\\_peptides\\_Part\\_2\\_-\\_Characterisation\\_of\\_peptide\\_fractions](https://www.researchgate.net/publication/223647175_Antioxidant_activity_of_yoghurt_peptides_Part_2_-_Characterisation_of_peptide_fractions). Acesso em: 28 mai. 2025.

BARROS, F.; AWIKA, J. M.; ROONEY, L. W. Interaction of tannins and other sorghum phenolic compounds with starch and effects on in vitro starch digestibility. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n. 46, p. 11609-11617, 2012.

BARROS, F. *et al.* Starch digestibility and sensory acceptance of gluten-free foods prepared with tannin sorghum flour. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, p. e01205, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-3921.pab2019.v54.e01205>. Acesso em: 28 maio 2025.

BELTON, P. S. *et al.* Factors affecting sorghum protein digestibility. **Journal of Cereal Science**, v. 38, n. 2, p. 117-131, 2003.. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S073352100300016X>. Acesso em: 28 maio 2025.

BELTON, P. S. *et al.* Kafirin structure and functionality. **Journal of Cereal Science**, 2006. DOI 10.1016/j.jcs.2006.05.004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2006.05.004>. Acesso em: 27 mai. 2025.

BIANCO-GOMES, A. C. et al. Heat and pressure favor bioactive compounds preservation and peptides formation in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. **Current Research in Food Science**, v. 5, p. 117-124, 2022.

BLOOR, S. J. **Overview of methods for analysis and identification of flavonoids.**

BORGES, Tatiana Pereira. **Classificação e métodos de cozimento de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) em grãos.** 2013. Dissertação (Magister Scientiae) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

BRADFORD, M. M.; Anal. Biochem. 1976, 72, 248.

BRAGA, F. C. et al. Chemical composition and vasodilatation induced by *Cuphea carthagenensis* preparations. **Phytomedicine**, v. 19, n. 11, p. 953-957, 2012.

BRUNETTO, M. del R. et al. Determination of theobromine, theophylline and caffeine in cocoa samples by a high-performance liquid chromatographic method with on-line sample cleanup in a switching column system. **Food Chemistry**, v. 100, p. 459-467, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.10.007>. Acesso em: 27 mai. 2025.

BRUNO, R. S. et al. Desenvolvimento e validação de um algoritmo para estabelecer uma estimativa total banco de dados de capacidade antioxidante da dieta dos EUA. **Revista Internacional de Ciências Alimentares e Nutrição**, v. 61, p. 600-623, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbgo/a/S6ZGPCrQtSHsbZMTrnM6L8j/abstract/?lang=en>. Acesso em: 28 maio 2025.

BRYDEN, W. L. et al. Implicação do sorgo na nutrição de frangos de corte. **Animal Feed Science and Technology**, v. 156, p. 57-74, 2010. DOI 10.1016/j.anifeedsci.2010.01.004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.01.004>. Acesso em: 28 maio 2025.

BUGUSU, B.; HAMAKER, B. Overview: sorghum proteins and food quality. In: **Workshop on the Proteins of Sorghum and Millets: Enhancing Nutritional and Functional Properties for Africa.** Cambridge: Cambridge University Press, 2003. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/237331781\\_Overview\\_sorghum\\_proteins\\_and\\_food\\_quality](https://www.researchgate.net/publication/237331781_Overview_sorghum_proteins_and_food_quality). Acesso em: 28 maio 2025.

BUITIMEA-CANTÚA, N. E.; GUTIÉRREZ-URIBE, J. A.; SERNA-SALDÍVAR, S. O. Phenolic-Protein Interactions: Effects on Food Properties and Health Benefits. **Journal of Medicinal Food**, v. 21, n. 2, p. 188-198, fev. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1089/jmf.2017.0057>. Acesso em: 27 mai. 2025.

BULL, J. et al. **Métodos e composições para melhorar a reprodução de plantas.** Brasil, Patent Brasil, 2010.

BURNS, R. E. Method for Estimation of Tannin in Grain Sorghum 1. **Agronomy Journal**, v. 63, n. 3, p. 511-512, 1971.

BUTLER, L. G.; PRICE, M. L.; VAN SCOYOC, S. A critical evaluation of the vanillin reaction as an assay for tannin in sorghum grain. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 26, n. 5, p. 1214-1218, 1978.

CACCIOLA, F. *et al.* The Digestibility of Hibiscus sabdariffa L. Polyphenols Using an In Vitro Human Digestion Model and Evaluation of Their Antimicrobial Activity. **Nutrients**, v. 13, n. 7, p. 2360, 2021. DOI 10.3390/nu13072360. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/nu13072360>. Acesso em: 28 maio 2025.

CADOGAN, D. J. *et al.* Perspectiva: Sorgo como grão de ração para a produção de carne de frango na Austrália. **Animal Nutrition**, v. 4, p. 17-30, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2017.08.007>. Acesso em: 28 maio 2025.

CAMPELO, F. A. *et al.* Características químicas e nutricionais de dois genótipos de sorgo, depois da extrusão termoplástica. In: **Ciências Agrárias: o avanço da ciência no Brasil - Volume 1**. [S.l.]: Editora Científica Digital, 2021. p. 234-260. Disponível em: <https://doi.org/10.37885/210504759>. Acesso em: 27 mai. 2025.

CARDOSO, L. de M. *et al.* Effects of processing with dry heat and wet heat on the antioxidant profile of sorghum. **Food Chemistry**, v. 152, p. 210-217, 2014.

CARDOSO, L. de M. *et al.* Phenolic compounds in sorghum and their biological properties. **Journal of Nutrition & Food Sciences**, v. 5, n. 1, p. 54-63, 2014.

CARDOSO, L. M. *et al.* Por que utilizar o sorgo na alimentação humana? In: KARAM, D.; MAGALHÃES, P. C. (Ed.). **Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global**. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2014. cap. 11, p. 95-114. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/993054>. Acesso em: 28 maio 2025.

CARVALHO, C. W. P. *et al.* **O Sorgo na Alimentação Humana**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. (Circular técnica; n. 133).

CARVALHO, W. P. *et al.* **Elaboração de Farinhas Instantâneas à Base de Sorgo**, 2014.

CHAUHAN, V.; KANWAR, S. S. Bioactive peptides: Synthesis, functions and biotechnological applications. In: CHANDEL, A. A.; VERMA, M. L. (eds.). **Biotechnological Production of Bioactive Compounds**. Amsterdam: Elsevier, 2020. p. 107-137. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64323-0.00004-7>. Acesso em: 28 maio 2025.

CHAUHAN, V.; KANWAR, S. S. Bioactive peptides: Synthesis, functions and biotechnological applications. In: CHANDEL, A. K.; VERMA, M. L. (eds.). **Biotechnological Production of Bioactive Compounds**. Amsterdam: Elsevier, 2020. p. 107-137. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64323-0.00004-7>. Acesso em: 28 maio 2025.

CHARLES, M. *et al.* Nutritional suitability of bred sorghum (*Sorghum bicolor*) accessions from East Africa. **African Journal of Food Science**, v. 9, n. 5, p. 326-333, 2015. DOI 10.5897/AJFS2015.1288. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/286762537\\_Nutritional\\_suitability\\_of\\_bred\\_sorghum\\_Sorghum\\_bicolor\\_accessions\\_from\\_East\\_Africa](https://www.researchgate.net/publication/286762537_Nutritional_suitability_of_bred_sorghum_Sorghum_bicolor_accessions_from_East_Africa). Acesso em: 28 maio 2025.

CHEN, J.; ZHANG, J.; CHEN, Z. Antioxidant activity of sorghum grain and its fractions. **Journal of Functional Foods**, v. 36, p. 1-11, 2017.

CHEN, W. *et al.* Potential processing technologies for developing sorghum-based food products: an update and comprehensive review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 110, p. 168-182, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.087>. Acesso em: 28 maio 2025.

CHEN, Y. *et al.* Anomaly detection for multivariate time series using deep learning: A systematic review. **ACM Computing Surveys (CSUR)**, v. 53, n. 5, p. 1-37, dez. 2020. DOI 10.1145/3417816. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3417816>. Acesso em: 27 mai. 2025.

CHIANG, C.-J.; KADOUH, H.; ZHOU, K. Phenolic compounds and antioxidant properties of gooseberry as affected by in vitro digestion. **LWT - Food Science and Technology**, p. 417-422, 2013.

CHUN-LUNG, Lee *et al.* Orange peel waste from juicing as raw material for plastic composites intended for use in food packaging. **Journal of Applied Polymer Science**, 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/app.48841>. Acesso em: 27 mai. 2025.

COMBRZYŃSKI, M. *et al.* Influência da digestão in vitro na composição, bioacessibilidade e atividade antioxidante de polifenóis alimentares — uma revisão não sistemática. **Nutrients**, v. 12, p. 1401, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/nu12051401>. Acesso em: 28 maio 2025.

CONSOLO, Vincenzo *et al.* Mass spectrometry in the proteome analysis of mature cereal kernels. **National Library of Medicine**, v. 4, 2022.

COZZOLINO, Silvia Maria Franciscato (org.). **Biodisponibilidade de nutrientes**. 6. ed. atual. e ampl. Santana de Parnaíba, SP: Manole, 2020.

CRISTEA, E. *et al.* Influence of pH and ionic strength on the color parameters and antioxidant properties of an ethanolic red grape marc extract. **Journal of Food Biochemistry**, v. 43, n. 5, e12788, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jfbc.12788>. Acesso em: 4 fev. 2025.

DACREMA, M. E. *et al.* Metabolic profiling, in vitro bioaccessibility and in vivo bioavailability of a commercial bioactive *Epilobium angustifolium* L. extract. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 131, p. 110670, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.110670>. Acesso em: 27 mai. 2025.

DAUDIN, J.-D.; KONDJOYAN, A.; SANTÉ-LHOUTELLIER, V. Modelling of pepsin digestibility of myofibrillar proteins and of variations due to heating. **Food Chemistry**, v. 172, p. 265-271, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.food-chem.2014.08.110>. Acesso em: 28 maio 2025.

DICKO, M. H. *et al.* Phenolic compounds and related enzymes as determinants of sorghum for food use. **Biotechnology and Molecular Biology Reviews**, p. 21-38, 2006.

DIXON, R. A.; XIE, D.-Y.; SHARMA, S. B. Proantocianidinas - uma fronteira final em pesquisa de flavonóides? **Novo Fitologista**, v. 165, p. 9-28, 2005. DOI 10.1111/j.1469-8137.2004.01217. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01217.x>. Acesso em: 27 mai. 2025.

DLAMINI, Nomusa; TAYLOR, John; ROONEY, Lloyd. The effect of sorghum type and processing on the antioxidant properties of African sorghum-based foods. **Food Chemistry**, v. 105, n. 4, p. 1412-1419, 2007.

DUARTE, Naiara Lopes. **Cultura do sorgo (Sorghum bicolor [L.] Moench): uma revisão sobre sua versatilidade tecnológica, processamento e pós-colheita**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2020.

DUNN, Ben. Structure and mechanism of the pepsin – like family of aspartic peptidases, **National Library of Medicine**. v. 12, 2002. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12475196/>. Acesso em: 28 mai. 2025.

DUNN, K. *et al.* Interaction of Methods in Enzymology, **Flavonoids and Other Polyphenols**, 2015.

DURÃES, F.; MAGALHÃES, P.; RODRIGUES, W. **Tanino no grão de sorgo**: bases fisiológicas e métodos de determinação. Sete Lagoas: EMBRAPA - CNPMS, 1997.

DYKES, L. *et al.* Phenolic compounds and antioxidant activity of sorghum grains of varying genotypes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 17, p. 6813-6818, 2005. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16104804/>. Acesso em: 27 mai. 2025.

DYKES, L.; ROONEY, L. W. Sorghum and millet phenols and antioxidants. *Journal of Cereal Science*, v. 44, n

EILANDER, A.; NEUFINGERL, N. Ingestão e status de nutrientes em adultos que consomem dietas baseadas em vegetais em comparação com comedores de carne: uma revisão sistemática. **Nutrients**, v. 14, n. 1, p. 29, 2021. DOI 10.3390/nu14010029. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/nu14010029>. Acesso em: 28 maio 2025. EMBRAPA. **Integral Cultivar BRS310**. (Comunicado Técnico; 203). Rio de Janeiro, RJ: Embrapa, [s.d.].

ESPINOSA-RAMÍREZ, J.; SERNA-SALDÍVAR, S. O. Functionality and characterization of kafirin-rich protein extracts from different whole and decorticated sorghum genotypes. **Journal of Cereal Science**, v. 70, p. 57-65, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0733521016300856>. Acesso em: 28 mai. 2025.

EVANS, E. P.; GALLAGHER, J.; KANEKANIAN, A. Casein hydrolysis and peptide mapping. **International Journal of Dairy Technology**, v. 53, n. 1, p. 1-5, 2000.

FANG, Z. *et al.* Sorghum grain: From genotype, nutrition, and phenolic profile to its health benefits and food applications. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 18, n. 6, p. 2025-2046, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12491>. Acesso em: 28 maio 2025.

FANG, Z. *et al.* Grão de sorgo: do genótipo, nutrição e perfil fenólico aos seus benefícios para a saúde e aplicações alimentares. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 18, n. 6, p. 2025-2046, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/1541-4337.12506>. Acesso em: 28 maio 2025.

FAVARATO, Luiz Fernando et al. Avaliação de linhagens de sorgo vassoura na região de viçosa, MG, Brasil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 10, n. 1, p. 82-86, 2011. Disponível em: <https://rbms.sede.embrapa.br/index.php/ojs/article/view/331?articlesBySimilarityPage=10>. Acesso em: 28 mai. 2025.

FENG, S. *et al.* Sorghum tannin extract impedes in vitro digestibility and fermentability of nutrients in the simulated porcine gastrointestinal tract. **Journal of Animal Science**, v. 101, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jas/skad126>. Acesso em: 28 maio 2025.

FOGLIANO, F.; UDENIGWE, C. A survey of deep learning for time series classification. **ACM Computing Surveys**, v. 50, n. 3, p. 57:1-57:45, 2017. DOI 10.1145/3086952. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3086952>. Acesso em: 28 maio 2025.

FOGLIANO, V.; UDENIGWE, C. C. Food-derived bioactive peptides: production, processing, and potential health benefits. **Food & Function**, v. 8, n. 2, p. 2083-2094, 2017. DOI 10.1039/C6FO01683B. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/C6FO01683B>. Acesso em: 28 maio 2025.

FOLTRAN, Dulcineia Elizabete. O sorgo-vassoura como alternativa agrícola regional. **Jornal Pesquisa & Tecnologia**, v. 9, n. 1, jan.-jun. 2012. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/https://repositorio-apta regional.agricultura.sp.gov.br/server/api/core/bitstreams/709d3f20-3bef-4029-85ef-8e52d9964531/content>. Acesso em: 28 maio 2025.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **FAOSTAT. Food and Agricultural Data**. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em: 27 mai. 2025.

FRUTON, J.; INOYE, K. Studies on the specificity of pepsin. **Biochemistry**, v. 6, n. 6, p. 1765-1777, 1967. DOI 10.1021/bi00858a027. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/5340947/>. Acesso em: 28 maio 2025.

GAVA, Juliana Couto. **Efeito hipocolesterolêmico, antiaterogênico, antioxidante e não tóxico in vivo da farinha integral de sorgo e seu hidrolisado**. 2021. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Vegetal) – Universidade Vila Velha, Vila Velha, 2021.

GOMES, Ana Carolina Bianco. **Perfil proteômico, composição centesimal e compostos bioativos do grão e farinha de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) e**

**submetidos a tratamentos térmicos.** Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Vegetal) - Universidade Vila Velha, Vila Velha, 2020. Disponível em: [https://www.oasisbr.ibict.br/vufind/Record/BRCRIS\\_acf53ed9f028500c23cebfd2a8d2c94c](https://www.oasisbr.ibict.br/vufind/Record/BRCRIS_acf53ed9f028500c23cebfd2a8d2c94c). Acesso em: 28 mai. 2025.

GUALTIERI, R.; RAPALLINI, F. **Controle de qualidade:** teoria e aplicações. São Paulo: McGraw-Hill, 1990.

HENRIQUES, J. **Bioacessibilidade e biodisponibilidade:** uma revisão bibliográfica. [Recurso online]. Disponível em: <https://1library.org/article/bioacessibilidade-e-biodisponibilidade-r-evis%C3%A3o-bibliogr%C3%A1fica.q7wgkpmo>. Acesso em: 28 maio 2025.

**Informatics**, v. 15, n. 5, p. 3652-3662, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TII.2019.2903321>. Acesso em: 28 maio 2025.

JOYE, I. Protein digestibility of cereal products. **Foods**, v. 8, n. 6, p. 199, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods8060199>. Acesso em: 28 maio 2025.

KALE, H. *et al.* Biochemical composition of selected lines from sorghum (*Sorghum bicolor* L.) landraces. **Planta**, v. 254, n. 2, p. 26, 2021.

KATIYAR, S. K.; MEERAN, S. M.; SHARMA, S. D. Proantocianidinas dietéticas de semente de uva inibir o estresse oxidativo induzido por UVB e a ativação de proteínas quinases ativadas por mitógenos e sinalização do fator nuclear- $\gamma$  em camundongos sem pelos SKH-1 in vivo. **Câncer Molecular Terapêutica**, v. 6, p. 995-1005, 2007. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:42515566>. Acesso em: 28 maio 2025.

LABUSCHAGNEL, M. T. A review of cereal grain proteomics and its potential for sorghum improvement. **Journal of Cereal Science**, v. 84, p. 151-158, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.10.010>. Acesso em: 28 maio 2025.

LANDAU, Elena Charlotte. **Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas.** v. 4. Brasília, DF: Embrapa, 2020. 414 p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/214957/1/LivroDinamicaAgropec%20B%20R-Vol04.pdf>. Acesso em: 28 maio 2025.

LANDETE, J. M. Updated Knowledge about Polyphenols: Functions, Bioavailability, Metabolism, and Health. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, p. 936-948, 2012.

LENQUISTE, S. A. *et al.* Sorghum flour fractions: correlations among polysaccharides, phenolic compounds, antioxidant activity and glycemic index. **Food Chemistry**, v. 180, p. 116-123, 2015.

LEUFROY, A. *et al.* Use of a continuous leaching method to assess the oral bioaccessibility of trace elements in seafood. **Food Chemistry**, v. 135, n. 2, p. 623-633, 2012.

LI, T. M. *et al.* A novel non-starch polysaccharide degrading enzyme cocktail improved nutrient digestibility in the gastrointestinal tract of growing-finishing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 100, n. 7, p. skac300, 2022. DOI 10.1093/jas/skac300. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jas/skac300>. Acesso em: 28 maio 2025.

LI, X. *et al.* A deep learning approach for fault diagnosis of rolling bearings based on the improved LSTM network. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 15, n. 5, p. 3652-3662, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TII.2019.2903321>. Acesso em: 28 maio 2025.

LI, X. *et al.* Influence of thermal processing on phenolic content and antioxidant activity of cereal grains: A review. **Food Chemistry**, v. 378, p. 131962, 2022.

LI, Z. *et al.* The Effects of Processing on Bioactive Compounds and Biological Activities of Sorghum Grains. **Molecules**, v. 27, n. 10, p. 3246, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules27103246>. Acesso em: 28 maio 2025.

LIN, Y. *et al.* An effective deep learning approach for anomaly detection in time series data. **Wireless Communications and Mobile Computing**, v. 2019, p. 8198598, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2019/8198598>. Acesso em: 28 maio 2025.

LIU, J. *et al.* Anomaly detection in multivariate time series using deep learning: A survey. **IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems**, v. 29, n. 8, p. 1809-1823, 2018. DOI 10.1109/TNNLS.2017.2772257. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TNNLS.2017.2772257>. Acesso em: 28 maio 2025.

LÓPEZ-BARÓN, D. *et al.* Interactions of tannins and other sorghum phenolic compounds with starch and their effects on digestibility. **Journal of Cereal Science**, v. 75, p. 123-130, 2017.

LOSKUTOV, I.; POLONSKIY, V.; SUMINA, A. Papel biológico e benefícios para a saúde de compostos antioxidantes em cereais. **Biological Communications**, v. 65, n. 1, p. 53-67, 2020. DOI 10.21638/spbu03.2020.105. Disponível em: <https://doi.org/10.21638/spbu03.2020.105>. Acesso em: 28 maio 2025.

LU, B. *et al.* The prolamins: from structure, property, to the function in encapsulation and delivery of bioactive compounds. **Food Hydrocolloids**, v. 149, p. 109508, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109508>. Acesso em: 28 maio 2025.

MARTINO, H. S. D. *et al.* Chemical characterization and size distribution of sorghum genotypes for human consumption. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 71, n. 2, p. 337-344, 2012.

MAXSON, E. D.; ROONEY, L. M. Evaluation of methods for tannin analysis in sorghum grain. **Cereal Chemistry**, v. 49, p. 719-729, 1972.

MONTEIRO, B. F. C. G. **Avaliação do efeito do uso da farinha de sorgo como ingrediente em massa alimentícia e das informações nutricionais complementares associadas sobre a intenção de compras utilizando análise**

**conjunta de fatores baseados em escolhas**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Nutrição) – Universidade de Brasília (UnB), Brasília, 2016.

MORAES, E. A. *et al.* Domestic Processing Effects on Antioxidant Capacity, Total Phenols and Phytate Content of Sorghum. **Nutrition & Food Science**, v. 16, n. 4, 2020.

MORAES, E. A. *et al.* Sorghum flour fractions: Correlations among polysaccharides, phenolic compounds, antioxidant activity and glycemic index. **Food Chemistry**, v. 180, p. 116-123, 2015.

MORAES, E. A. *et al.* Whole sorghum flour improves glucose tolerance, insulin resistance and preserved pancreatic islets function in obesity diet-induced rats. **Journal of Functional Foods**, v. 45, p. 530-54, 2018.

**Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA**. Conceitos e definições sobre biodisponibilidade. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/acesoainformacao/perguntasfrequentes/medicamentos/conceitos-e-definicoes>. Acesso em: 29 out. 2024.

NASCIMENTO, R. C. **Impacto glicêmico, características tecnológicas e nutricionais de biscoitos diet, sem glúten, elaborados com farinha de sorgo integral**. 2021. 106 f. Dissertação (Mestrado em Nutrição e Saúde) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências da Saúde, Vitória, 2021.

NAUDÉ, R. J.; OELOFSEN, W.; PLETSCHE, B. I. Ostrich pepsins I and II: a kinetic and thermodynamic investigation. **The International Journal of Biochemistry & Cell Biology**, v. 27, n. 12, p. 1293-1302, 1995. DOI 10.1016/1357-2725(95)00092-4. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/1357-2725\(95\)00092-4](https://doi.org/10.1016/1357-2725(95)00092-4). Acesso em: 28 maio 2025.

NEUHOFF, V. *et al.* Improved staining of proteins in polyacrylamide gels including isoelectric focusing gels with clear background at nanogram sensitivity using Coomassie Brilliant Blue G-250 and R-250. **Electrophoresis**, v. 9, p. 255-262, 1988.

NI, T. A. *et al.* Effects of processing with dry heat and wet heat on the antioxidant profile of sorghum. **Food Chemistry**, v. 152, p. 210-217, 2014.

NIMALARANTE, L. A. **Antioxidants in Chicken Egg Yolk: Effects of Cooking, Storage and Gastrointestinal Digestion**. 2015. Tese (Grau e Área de Concentração não especificados) – University of Alberta, Edmonton, 2015.

NIRO, C. M.; MEDEIROS, J. A. **Pesquisas e atualizações em ciência dos alimentos**. [Livro eletrônico]. [S.l.]: Editora Agron Food Academy, 2022. v. 1.

OLIVEIRA, N. S. S. **Características bromatológicas de genótipos de sorgo submetidos a diferentes densidades de plantas em diferentes épocas de corte**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal de São João Del Rei, São João Del Rei, 2015. Disponível em: <https://ufsj.edu.br/portal2repositorio/file/ceagr/tcc%202015%201%201/caracteristicas>. Acesso em: 13 out. 2023.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA (FAO). **Production yearbook**. [S.l.]: FAO, 2020. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/fe3b44ad-553a-4d2f-b8d9-d0ef1dc509ed/content>. Acesso em: 28 mai. 2025.

OSBORNE, T. B. **The Proteins of the Wheat Kernel**. Washington: Carnegie Institution, 1907.

PAIVA, C. L. *et al.* Características tecnológicas, sensoriais e químicas de massas secas sem glúten à base de farinhas de sorgo e milho. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 22, p. 1-9, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.09518>. Acesso em: 13 out. 2023.

PANNALA, A. *et al.* Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 26, n. 9-10, p. 1231-1237, 1999. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/s0891-5849(98)00315-3). Acesso em: 28 maio 2025.

QIAO, S. Y. *et al.* A digestão microbiana comprometida no intestino posterior, em vez da digestão química no intestino anterior, leva à diminuição da digestibilidade dos nutrientes em porcos alimentados com dietas de baixa proteína. **Nutrients**, v. 14, p. 2793, 2022. DOI 10.3390/nu14142793. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/nu14142793>. Acesso em: 28 maio 2025.

QUEIROZ, V. A. V. *et al.* **O Sorgo na alimentação humana**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. (Circular técnica; n. 133).

QUEIROZ, V. A. V. *et al.* Potencial funcional e tecnologia de processamento do sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], na alimentação humana. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 10, n. 3, p. 180-195, 2011.

RASHWAN, A. K. *et al.* Effect of processing methods on bioactive compounds, antioxidant activity, and protein digestibility of sorghum. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 56, n. 1, p. 14-26, 2021.

ROONEY, L. W.; WANISKA, R. D. Estrutura e química da cariopse do sorgo. *In*: FREDERIKSEN, R. A.; SMITH, W. (eds.). **Sorgo: produção, agronomia, química e utilização**. Nova York: Wiley & Sons, 2000.

ROONEY, L. W.; WANISKA, R. D. Sorghum Utilization in Food. **Advances in Food and Nutrition Research**, v. 44, p. 1-112, 2000.

SCHÄGGER, H.; VON JAGOW, G. Tricine-sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis for the separation of proteins in the range from 1 to 100 kDa. **Analytical Biochemistry**, v. 166, n. 2, p. 368-379, 1987.

SILVA, J. **Maturação, secagem e armazenamento de grãos de soja em condições tropicais**. 2010. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

SILVA, L. C. M. **Cinética de secagem dos grãos e caracterização física e química durante o armazenamento de farinha de sorgo granífero**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, [S. l.], 2019.

SILVA, N. **Quantificação de amido e proteínas totais em grãos de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench - Família: Poaceae] visando à alimentação humana**. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2015.

SMITH, P. K. *et al.* Measurement of protein using bicinchoninic acid. **Analytical Biochemistry**, v. 150, n. 1, p. 76-85, 1985.

SULLIVAN, Andrew C.; PANGLOLI, Philipus; DIA, Vermont P. Impact of ultrasonication on the physicochemical properties of sorghum kafirin and in vitro pepsin-pancreatin digestibility of sorghum gluten-like flour. **Food Chemistry**, v. 240, p. 1121-1130, 2018. DOI 10.1016/j.foodchem.2017.08.046.

TABOSA, J. E.; FERREIRA, M. R.; SILVA, M. A.; SOUZA, F. S. **Sorgo: produção e utilização**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2019.

TABOSA, J. N. *et al.* Importância do melhoramento genético de diferentes tipos de sorgo para as mesorregiões do Agreste, Sertão e afins do Semiárido Brasileiro.

TABOSA, J. N. *et al.* **Sorgo**. In: **Cadernos do Semiárido riquezas & oportunidades**. Recife: CREA-PE: Editora UFRPE, v. 15, n. 2, 2020. ISSN 2526-2556.

TACO. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. 4. ed. Campinas: NEPA-UNICAMP, 2011. 161 p.

UNITED STATES. Department of Agriculture. **National Nutrient Database for Standard Reference Release**. [S. l.]: [s.n.], [s.d.]. Disponível em: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/20067?fgcd=&manu=&format=&coun%20t=&max=25&offset=&sort=default&order=asc&qlookup=Sorghum%20grain&ds=&qt=&qp=&qa=&qn=&q=&ing=>. Acesso em: 10 ago. 2023.

UNITED STATES. Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. **Sorghum explores**. 2022. Disponível em: [https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=0459200&sel\\_year=2022&rankby=Production](https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=0459200&sel_year=2022&rankby=Production). Acesso em: 7 jan. 2025.

UODU, K. G. *et al.* Mini revisão: fatores que afetam a digestibilidade da proteína do sorgo. **Journal of Cereal Science**, v. 38, p. 117-131, 2003. DOI 10.1016/S0733-5210(03)00016-X. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0733-5210\(03\)00016-X](https://doi.org/10.1016/S0733-5210(03)00016-X). Acesso em: 27 mai. 2025.

URAIPOG, N.; ZHAO, Z. Anomaly detection for multivariate time series using deep learning. In: ACM SIGKDD INTERNATIONAL CONFERENCE ON KNOWLEDGE DISCOVERY AND DATA MINING, 2016, San Francisco, CA, EUA. **Proceedings of the 2016 ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining**. New York, NY: ACM, 2016. p. 1903-1912. DOI 10.1145/2939672.2939783. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/2939672.2939783>. Acesso em: 28 maio 2025.

VALADARES FILHO, S. C.; ROCHA JÚNIOR, A. C.; CAPPELLE, M. A. **Controle estatístico de qualidade**. São Paulo: Atlas, 2002.

VELDERRAIN-RODRÍGUEZ, G. *et al.* Efeito da fibra alimentar na bioacessibilidade de compostos fenólicos de manga, mamão e abacaxi por um modelo de digestão in vitro. **Food Science and Technology**, v. 36, p. 188-194, 2016.