

TATIANA PEREIRA BORGES

**CLASSIFICAÇÃO E MÉTODOS DE COZIMENTO DE
SORGO (*Sorghum bicolor* L. Moench) EM GRÃOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2013

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

B732c
2013

Borges, Tatiana Pereira, 1985-
Classificação e métodos de cozimento de sorgo (*Sorghum
bicolor* L. Moench) em grãos / Tatiana Pereira Borges. – Viçosa,
MG, 2013.

xvi, 60f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Mônica Ribeiro Pirozi.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 46-60.

1. Sorgo - Processamento. 2. Sorgo - Qualidade. 3. Sorgo -
Valor nutritivo. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Tecnologia de Alimentos. Programa de
Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos.
II. Título.

CDD 22. ed. 664.762

TATIANA PEREIRA BORGES

**CLASSIFICAÇÃO E MÉTODOS DE COZIMENTO DE
SORGO (*Sorghum bicolor* L. Moench) EM GRÃOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 1º de agosto de 2013

Hércia Stampini Duarte Martino
(Coorientadora)

José Benício Paes Chaves
(Coorientador)

João Tomaz da Silva Borges

Mônica Ribeiro Pirozi
(Orientadora)

A Deus que me permitiu viver e dar à vida.

À minha filha Sara.

Dedico.

“A mente que se abre a uma nova ideia, jamais voltará ao seu tamanho original”.

(Albert Einstein)

AGRADECIMENTOS

A todos que contribuíram de alguma forma para a realização e conclusão desse trabalho, agradeço sinceramente:

Primeiramente, à Deus, fonte infinita de luz que ilumina meu caminho, me fortalece e incentiva;

Aos meus familiares: meus pais, João e Arlete, por todo apoio e orientação em todas as etapas da minha vida; aos meus irmãos Régis e Taís, pelo exemplo e incentivadores que sempre foram; à minha tia Ifigênia, suporte em um momento sublime, e à todos primos e tios que sempre torceram e vibraram positivamente por mim;

Ao meu companheiro Ariosto, por estar ao meu lado desde o início dessa jornada, acompanhando com paciência cada etapa, sempre me incentivando com seu amor e carinho;

À minha orientadora Prof^a Mônica Ribeiro Pirozi, por ter acreditado em mim e me recebido em sua equipe de trabalho;

Aos meus co-orientadores Prof. José Benício Chaves e Profa. Hércia Stampini Duarte Martino, pela disponibilidade e orientação ao longo do trabalho;

Aos pesquisadores da EMBRAPA Milho e Sorgo, Valéria Aparecida Vieira Queiroz e Flávio Tardin, pela receptividade e fornecimento das amostras;

Ao pesquisador do CTAA/EMBRAPA-RJ, Dr. Carlos Wanderley Piler de Carvalho, pela colaboração nas análises de RVA e DSC;

Aos amigos do LAFA: Ana Paula, Natanielli, Cláudia, Maradini, Flávia, David, Lucas, Mateus, Adriz, Loren e João Tomaz, pelas contribuições, trocas e convivência.

Às amigas: Lalá, Lari, Amanda, Priscila, Tereza e Fernanda, que mesmo de longe mantém essa amizade especial;

Às amigas Michele Harumi Omura e Natália Kokumai Nakamura pelo amor e incentivo nos momentos difíceis;

Aos funcionários e colegas de pós-graduação do Departamento de Tecnologia de Alimentos e do Departamento de Nutrição e Saúde da UFV, que contribuíram de alguma forma;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado.

BIOGRAFIA

Tatiana Pereira Borges, filha de João Borges Filho e Arlete Pereira Borges, nasceu em Juiz de Fora, Minas Gerais, em vinte e quatro de abril de 1985. Nutricionista, formou-se em agosto de 2008, na Universidade Federal de Viçosa (UFV), Minas Gerais. Ingressou no Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos no Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV) em agosto de 2010, concluindo em agosto de 2013.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE QUADROS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	xii
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xv
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo geral	3
2.2. Objetivos específicos	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1. Aspectos gerais da cultura do sorgo	4
3.2. Estrutura do grão de sorgo.....	6
3.3. Composição química do grão de sorgo	8
3.3.1. Proteínas do sorgo.....	9
3.3.2. Amido e demais carboidratos do sorgo.....	10
3.3.3. Compostos fenólicos do sorgo.....	12
3.4. Usos e aplicações atuais.....	13
3.5. Aspectos nutricionais do sorgo.....	16
3.5.1. Digestibilidade e qualidade nutricional protéica do sorgo	17
3.5.2. Obesidade e diabetes	20
3.6. Qualidade de cozimento do grão de sorgo.....	21
4. MATERIAL E MÉTODOS	26

4.1 MATERIAL	26
4.2 MÉTODOS	27
4.2.1 Caracterização do sorgo integral	27
4.2.2 Qualidade de cozimento do sorgo integral.....	28
4.2.4 Delineamento e análise estatística	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
5.1 Caracterização química do sorgo integral	32
5.2 Caracterização tecnológica do sorgo integral.....	33
5.2.1 Propriedades térmicas e de pasta do sorgo integral.....	34
5.2.2 Classificação por tamanho da cariopse do sorgo integral.....	35
5.2.3 Testes preliminares e propriedades de cozimento do grão de sorgo integral	37
5.2.4 Análise de textura e rendimento de grãos cozidos	39
6. CONCLUSÕES GERAIS	44
7. SUGESTÕES DE POSSÍVEIS TRABALHOS	45
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema do grão de sorgo, com detalhe das camadas do pericarpo. E E = eixo embrionário; E = escutelo. Fonte: Earp et al., 2004.	6
Figura 2: Micrografia confocal da proteína de sorgo cozido, coloração por 3-(4-carboxibenzoil) quinolina-2-carboxaldeído (CBQCA), A - forma de rede (<i>web-like</i>); B – forma de folha pregueada (<i>sheet-like</i>) Fonte: Hamaker e Bugusu (2003).	18
Figura 3: Determinação do tempo mínimo de cozimento de grãos de sorgo inteiros. A. cozimento parcial. B. cozimento intermediário. C. cozimento total. Fonte: Zacatares, 2007.	29
Figura 4: Textura força x tempo, onde H1 é o pico de força máxima (N); A1 é a área do pico de força máxima. Fonte: Kim e Rhee 2004 (adaptado).	31
Figura 5 – Classificação por tamanho de cariopse de variedades de sorgo integral, expressa em porcentagem (Peneira #6: < 3,35 mm; Peneira #7: < 2,80 mm; Peneira #8: < 2,36 mm; Peneira #9: < 2,00).	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química do sorgo (g 100 g ⁻¹) na forma de grãos inteiros e de farinha do grão cru.....	8
Tabela 2 - Contribuição calórica (kcal capita dia ⁻¹) de cereais na alimentação humana nos principais países produtores do sorgo.....	14
Tabela 3 – Composição química das variedades de sorgo integral cru, em base seca.	32
Tabela 4 – Propriedades de pasta e térmicas das farinhas de sorgo integral cru.	34
Tabela 5 – Indicadores de qualidade de cozimento de grãos de sorgo integral.	38
Tabela 6 – Médias e desvio padrão da firmeza, deformação e rendimento de grãos de sorgo integral após o cozimento.	40
Tabela 7 – Médias e desvio padrão da firmeza, deformação e rendimento de grãos de sorgo submetidos aos métodos de cocção “arroz” e “feijão”.....	42

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo da ANOVA das medidas de textura e rendimento de grãos do experimento fatorial 3x2 entre variedades de sorgo e métodos de cozimento.....	40
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

RVA	Análise de Viscosidade
DSC	Calorimetria Diferencial de Varredura
TIP	Temperatura Inicial de Pasta
V _{máx}	Viscosidade Máxima
V _{final}	Viscosidade Final
TR	Tendência à Retrogradação
ΔH	Entalpia de Gelatinização
T _g	Temperatura de transição vítrea

RESUMO

BORGES, Tatiana Pereira, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2013. **Classificação e métodos de cozimento de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) em grãos**. Orientadora: Mônica Ribeiro Pirozi. Coorientadores: Hércia Stampini Duarte Martino, José Benício Paes Chaves e Paulo César Stringheta.

O sorgo é o quinto cereal mais produzido no mundo e apresenta alta variabilidade genética, sendo os principais destinos da produção a alimentação humana e a animal. Entretanto, é subutilizado na alimentação humana em comparação a outros cereais como trigo, milho e arroz. Nas regiões onde o consumo humano de sorgo ainda é tradicional, observam-se preparações com o grão inteiro, semelhantes ao arroz, além de outros alimentos a base de sua farinha. Na sua forma integral, apresenta concentração elevada de fitoquímicos e fibras, no entanto, a qualidade nutricional das proteínas é baixa devido à digestibilidade limitada. Essa propriedade, porém, tem sugerido o sorgo como alimento interessante para pacientes diabéticos e, possivelmente, para indivíduos obesos, pois provoca baixa resposta glicêmica. No Brasil, o plantio na entressafra (safrinha) está se consolidando no setor agrícola, porém é utilizado somente na nutrição animal. Em virtude do seu potencial produtivo, bem como de suas características nutricionais, o presente estudo teve como objetivo determinar as propriedades de cozimento do grão de sorgo integral, utilizando dois métodos de processamento, visando sua utilização na alimentação humana. Provenientes da EMBRAPA Milho e Sorgo, foram utilizadas variedades isentas de taninos. Participaram do estudo 2 variedades de pericarpo branco, a 0307091 e a 030751, e uma de pericarpo vermelho, a BRS 310. As amostras foram previamente padronizadas por tamanho e foram caracterizadas quanto à composição química, propriedades de pasta e térmicas e qualidade de cozimento, pelos métodos de cocção “feijão” e “arroz”. Pelo método feijão, com cozimento em excesso de água, foram determinados o tempo de cozimento, a perda de sólidos e a absorção de água dos grãos. O método arroz caracterizou-se por cozimento com limitação de água, sendo realizado com base na absorção de água e tempo de cozimento previamente determinados. Para cada método de cocção foram aferidas medidas de textura

em texturômetro, rendimento de grãos. As análises de composição química revelaram que a variedade BRS 310 apresentou maior teor de proteínas e de matéria mineral, e não houve distinção entre as variedades para os teores de umidade, lipídios e carboidratos totais. As propriedades térmicas e de pasta da BRS 310 pareceu ter se distinguido das demais, caracterizando um grão com maior compactação de estrutura. Entretanto, seu tempo de cozimento foi menor em relação às variedades de pericarpo branco. A espessura e composição do pericarpo pareceu ter sido um fator importante na diferença de tempo de cozimento entre os materiais. A perda de sólidos foi coerente com a textura obtida do grão cozido para cada variedade. A BRS 310 apresentou textura mais firme e menor perda de sólidos em relação às com pericarpo branco. O rendimento de grãos não diferiu entre as variedades e entre os métodos. Ainda na comparação entre os métodos, os grãos submetidos ao cozimento “feijão” gerou um produto mais macio, sendo, por isso, apontando como melhor método, comparado ao “arroz”. Os grãos cozidos pelo método “arroz” apresentaram menor maciez e aparência menos agradável para um alimento que substituiria o arroz na forma tradicionalmente consumida no Brasil. Concluiu-se que o grão de sorgo da variedade 0307511, cozido no método feijão, possui propriedades tecnológicas adequadas, sendo um produto promissor para o consumo humano no mercado brasileiro. Todavia, é importante avaliar mais detalhadamente as variações de processamento, bem como outras características de qualidade sensorial, tecnológica e nutricional, visando sua recomendação ao setor produtivo.

ABSTRACT

BORGES, Tatiana Pereira, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, August 2013. **Size distribution and cooking methods of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) grains**. Advisor: Mônica Ribeiro Pirozi. Co-advisers: Hércia Stampini Duarte Martino, José Benício Chaves and Paulo César Stringheta.

Sorghum is the fifth most produced cereal in the world, and shows high genetic variability, with the main production destinations are for human and animal feed. Although, it is underused in human nutrition as compared to other cereals such as wheat, corn and rice. In regions where human consumption of sorghum is still traditional, there are some preparations with whole grain, similar to rice, and others flour based products. Sorghum is rich in fibers and phytochemicals, but, the nutritional quality of its protein is low due its limited digestibility. This property, however, has suggested sorghum as an interesting food for diabetic patients and possibly for obese individuals, because it causes low glycemic response. In Brazil, the planting of sorghum on second season is consolidating in the agricultural sector, but its use is only performed in animal nutrition. Thinking about the potential productive of sorghum as well as its nutritional characteristics, the present study aimed to determine the cooking properties of whole grain sorghum, using two cooking methods, and evaluate their protein quality *in vivo*, focused in human nutrition. The sorghum cultivars included in this study were from Embrapa Maize and Sorghum, BRS 310 (red pericarp), 0307091 and 0307511 (white pericarp). The samples were previously standardized by size and were characterized for chemical composition, thermal and pasting properties and cooking quality, by two cooking methods, bean and rice. Cooking time, soluble solids loss and water uptake of the grains were determined by the bean method, cooking in excess water. The rice method, characterized by cooking with restriction of water, was done based on water uptake and cooking time previously determined. For each method were made texture measures, yield of cooked grains, *in vivo* nutritional protein quality. The chemical composition assay revealed the BRS 310 as higher protein and mineral matter content cultivar, and there was no distinction between them for moisture, lipids and carbohydrates. The pasting and thermal properties of BRS 310 seem to have been distinguished from the others, featuring a grain with

higher tiny structure. Nevertheless, your cooking time was shorter than white pericarp cultivars. The pericarp thickness and composition appears to have been an important factor in the cooking time difference between the materials. The soluble solids loss was consistent with the texture of the cooked grains obtained for each cultivar. The BRS 310 showed firmer texture and less soluble solids loss in relation to the cultivars with white pericarp. Grain yield did not differ between cultivars and between methods. Still comparing the methods, the grains cooked by bean method produced a softer product, and therefore pointed as the best method than the rice one. The grains cooked by the rice method had less tenderness and appearance less enjoyable for a food that would replace rice, as it is traditionally consumed in Brazil. It was concluded that the grain sorghum of the 0307511cultivar, cooked by the bean method, has adequate technological properties being a promising product for human nutrition in the brazilian market. However, it is important to evaluate in more detail the changes in processing as well as other characteristics of sensory, nutritional and technological quality, to recommend them to the productive sector.

1. INTRODUÇÃO

O aumento de doenças crônicas não transmissíveis causadas por má alimentação cria a necessidade de alternativas de alimentos para constituir dietas mais saudáveis. O sorgo, pelas suas características nutricionais, torna-se uma dessas interessantes opções. Em sua forma integral, o sorgo é boa fonte de fibras e compostos bioativos, como taninos e antocianinas, além de conter amido resistente, minerais e vitamina E (QUEIROZ et al., 2011).

De maneira geral, o sorgo é subutilizado na alimentação humana em comparação a outros cereais como trigo, milho e arroz. Esse cereal originou-se na África central e sul asiático, onde o uso para consumo humano ainda é tradicionalmente realizado, na forma de pães e mingaus fermentados e não fermentados, cuzcuz, bebidas alcoólicas e não alcoólicas, preparações com o grão inteiro, e alimentos para bebês em desmame (FAO, 1995).

Outras regiões produtoras, como América e Austrália, utilizam o sorgo para a alimentação animal. No entanto, em países desenvolvidos, como Estados Unidos e Japão, o consumo humano deste grão vem ganhando popularidade, impulsionado pelo mercado de alimentos sem glúten, e pela evidente necessidade de aumentar os cereais integrais na alimentação humana (PEREIRA et al., 2002; AWIKA e ROONEY, 2004; SCHOBBER e BEAN, 2008).

Diversos produtos já estão disponíveis para consumo, principalmente no exterior. Pipoca de sorgo aromatizada, licor, melado, xarope, extrusados (macarrão, cereal matinal) e panificados (pão, bolo, biscoito, misturas prontas) são alguns exemplos encontrados na internet.

Para obtenção de melhor qualidade dos alimentos à base de sorgo, o estudo de híbridos com características tecnológicas favoráveis podem e estão sendo desenvolvidos no mundo (SCHOBBER e BEAN, 2008). No Brasil, a Embrapa Milho e Sorgo, localizada em Sete Lagoas, MG, realiza tais atividades com excelência. Além de trabalhos para o maior conhecimento nutricional dos genótipos e para o desenvolvimento de novos produtos, como barra de cereais com pipoca de sorgo (MARTINO et al., 2012; MORAES et al., 2012a; MORAES et al. 2012b; PAIVA et al. 2012; QUEIROZ et al. 2012).

Em busca de diversificar o uso do sorgo na alimentação humana, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade de cozimento do grão de sorgo integral, utilizando-se genótipos já estudados pela Embrapa. O grão de sorgo cozido seria um produto processado pelas pessoas, em suas casas, o que reduz o custo de produção para a indústria e o custo de aquisição para o consumidor.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Identificar a classificação por tamanho e as propriedades de cozimento do grão de sorgo integral, visando aplicação para o consumo humano.

2.2. Objetivos específicos

- ✓ Caracterizar a composição centesimal do grão de sorgo cru de três variedades comerciais, sendo duas de pericarpo branco e uma de pericarpo vermelho;
- ✓ Realizar a classificação dos grãos de sorgo por tamanho da cariopse;
- ✓ Determinar as propriedades de cozimento do grão de sorgo cru, por meio de características como tempo de cozimento, absorção de água, perda de sólidos solúveis e rendimento de grãos cozidos, aplicando dois métodos de cocção úmida;
- ✓ Avaliar a textura do grão de sorgo cozido sob os dois métodos de cocção utilizados.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Aspectos gerais da cultura do sorgo

O sorgo pertence à família *Poaceae* e é um cereal com alta variabilidade genética (SCHOBER E BEAN, 2008). Em 1972, Harlen e deWet desenvolveram uma classificação simples, mas ainda em uso, na qual o sorgo cultivado foi dividido em 5 (cinco) espécies básicas: *S. bicolor*, *S. caudatum*, *S. durra*, *S. guinea* e *S. kafir*. A espécie mais cultivada mundialmente é o *Sorghum bicolor* L. Moench (LÉDER, 2004; ICRISAT, 2004).

O sorgo é classificado em quatro tipos: o granífero, o forrageiro para silagem, também chamado de sacarino, o forrageiro para agropecuária, e o vassoura. O tipo granífero (híbridos e variedades) apresenta plantas de porte baixo com densa panícula de grãos, adaptadas à colheita mecânica. O forrageiro (híbridos e variedades) possuem porte alto apropriados para confecção de silagem e/ou produção de açúcar e etanol. O terceiro tipo é utilizado principalmente para pastejo, corte verde, fenação e cobertura morta. E o tipo vassoura, das panículas é confeccionado vassouras (RIBAS, 2003).

De maneira geral, a cultura do sorgo é geneticamente adequada a áreas de clima quente e seco, frequentemente sujeitas à estiagem, nas quais outros cereais têm dificuldade em se desenvolver (FAO/ICRISAT, 1996).

O sorgo é o quinto cereal mais produzido no mundo, abaixo somente do trigo, milho, arroz e cevada. Em 2011 a produção mundial alcançou 62,48 milhões de toneladas, enquanto o milho atingiu 883,25 milhões de toneladas (USDA, 2013). Os países maiores produtores, em ordem decrescente, são Índia, Nigéria, Etiópia, Estados Unidos da América, e, em 2011, a Argentina obteve a 5º colocação (FAOSTAT, 2013).

No Brasil, o plantio do sorgo na entre safra (safrinha) da soja e do milho está se consolidando no setor agrícola, o que já proporcionou expansão, principalmente no Norte do Estado de São Paulo, Estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Região do Triângulo Mineiro. O cultivo na safrinha tem gerado também receita extra aos agricultores. No entanto, seu potencial produtivo não é totalmente explorado, pois ainda é cultivado em

condições marginais às do milho (COELHO et al., 2002; TEIXEIRENSE, 2008; SILVA et al., 2009).

Os principais destinos da produção de sorgo são a alimentação humana e a animal. Entre os países produtores existe uma divisão geoeconômica, de acordo com o modo de produção e seu destino, sendo: grupo (1) produção pela agricultura familiar de subsistência, da qual a maior parte é diretamente consumida como alimento pela população (principalmente África e Ásia); e grupo (2) produção pela agricultura moderna em larga escala, onde é utilizada para alimentação animal (principalmente em países desenvolvidos e na América Latina) (FAO/ICRISAT, 1996).

Apesar de o sorgo representar o alimento base em países de regiões secas e pobres da África e Ásia, houve uma redução no cultivo, desde 1950, devido a subsídios governamentais para o plantio de cereais nobres para atendimento do mercado internacional. O processo de urbanização nesses locais também contribui para essa alteração, pois acarreta na mudança de hábitos da população (ICRISAT, 2010; OECD, 2010).

O ICRISAT (*Internacional Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics*) anunciou como medida estratégica o resgate da cultura do sorgo, com base na agricultura familiar de subsistência orientada para o mercado para alcançar maior segurança alimentar em 2020 em países africanos e asiáticos. Dessa forma, as famílias teriam o seu alimento e contribuiriam com o suprimento do mercado (ICRISAT, 2010).

No Brasil, o consumo humano de sorgo é insólito. A produção dos grãos tem dois destinos primários: o consumo interno ao estabelecimento rural, direcionado a pecuária em composição de sistemas de produção integrados; e a oferta do produto no mercado consumidor, direcionado para industrialização e fabricação de ração (CNPMS/EMBRAPA, 2010).

Para o Brasil, a introdução do sorgo na produção animal é uma alternativa com grande viabilidade econômica. Observa-se que o interesse do setor por esta cultura em substituição ao milho vem aumentando cada vez mais, o que permitiria a este cereal assumir papel estratégico na política de exportação do milho brasileiro, de forma direta ou agregada aos produtos cárneos (RIBAS, 2003).

3.2. Estrutura do grão de sorgo

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é considerado uma cariopse nua, no qual o pericarpo (originado da parede do ovário) é fortemente aderido a membrana da semente (EARP et al., 2004). O grão de sorgo é constituído por três componentes anatômicos gerais: o pericarpo, o endosperma e o gérmen; como representado na Figura 1. Entre o pericarpo e o endosperma, existe a membrana da semente, chamada de testa, na qual pode haver a deposição de taninos condensados (proantocianidinas) de acordo com a genética. A espessura da testa varia com cada cariopse, entre 8 a 40 μm (WANISKA, 2000; SCHOBBER E BEAN, 2008).

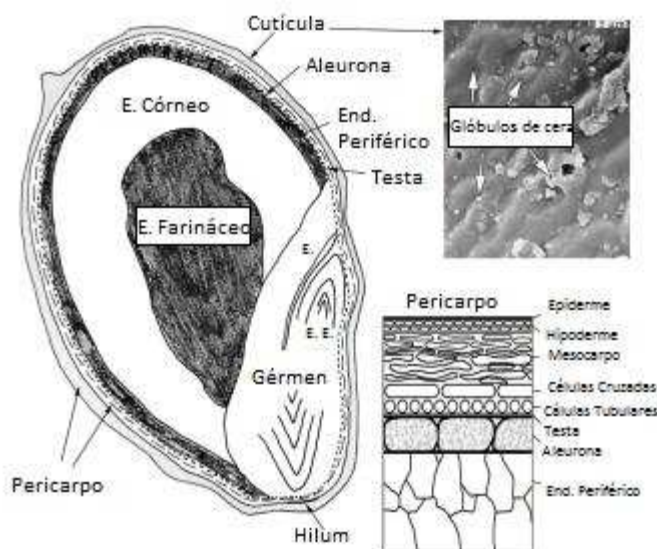


Figura 1: Esquema do grão de sorgo, com detalhe das camadas do pericarpo. E E = eixo embrionário; E = escutelo. Fonte: Earp et al., 2004.

O pericarpo é a parte mais externa do grão e divide-se em três camadas: o epicarpo, o mesocarpo e o endocarpo. O epicarpo é constituído de células retangulares, geralmente com presença de pigmentos, e pode ser ou não coberto por uma fina camada de cera. O mesocarpo possui pequenos grânulos de amido em suas células, característica exclusiva do sorgo perante os outros cereais. A espessura do pericarpo abrange de 8 a 160 μm , variando com a maturação individual da cariopse (WANISKA, 2000; EARP et al., 2004; SCHOBBER E BEAN, 2008). O endocarpo é formado por células tubulares e

cruzadas (WANISKA, 2000; SCHOBBER E BEAN, 2008). O gene Z recessivo homocigoto define cultivares de sorgo com pericarpo mais espesso, sendo maior seu conteúdo de amido (EARP et al., 2004).

O endosperma (tecido de reserva) do sorgo possui uma camada mais externa denominada aleurona, seguida do endosperma vítreo, o qual reveste a parte mais interna, o endosperma opaco. O aleurona consiste de uma camada simples de células retangulares adjacentes a testa, com parede celular espessa. Caracteriza-se por conter grande quantidade de lipídeos, enzimas e corpos protéicos (WANISKA, 2000; SCHOBBER E BEAN, 2008).

O endosperma vítreo apresenta uma estrutura bem organizada, constituído por grande número de corpos protéicos fortemente fixados em uma matriz protéica contínua, e com baixo conteúdo de amido (SECKINGER e WOLF, 1973; HOSENEY et al., 1974; ROONEY e SERNA-SALDIVAR, 2000). Os corpos protéicos são o maior sítio de prolaminas no sorgo, enquanto a matriz protéica é formada por glutelinas, albuminas e globulinas. A espessura desse endosperma é uma característica variável e está relacionada com o total de proteínas do grão (SECKINGER e WOLF, 1973; WATTERSON et al., 1993).

Já o endosperma opaco é caracterizado por maior presença de amido e espaços de ar entre os grânulos. Os corpos protéicos aparecem em menor quantidade e com tamanho reduzido, formando uma matriz protéica descontínua. Observam-se grânulos de amido maiores e em formato esférico, quando comparados ao menor tamanho e forma poligonal daqueles presentes no endosperma vítreo (SECKINGER e WOLF, 1973; HOSENEY et al., 1974).

O gérmen do sorgo é firmemente aderido ao grão, e não se separa facilmente durante o processo de moagem. É composto pelo eixo embrionário, o qual possui a nova planta, e o escutelo, cujas células são responsáveis por armazenar nutrientes (MOHARRAM e YOUSSEF, 1995).

Durante o desenvolvimento da cariopose, as condições ambientais podem afetar acentuadamente a aparência do sorgo, pois a panícula está diretamente exposta a agentes externos. Um ambiente com temperatura e umidade elevadas durante a maturação pode interferir negativamente na qualidade. A cor e espessura do pericarpo, a presença de testa pigmentada e a cor do endosperma são fatores que também influenciam no aspecto final do grão (WANISKA, 2000).

3.3. Composição química do grão de sorgo

O sorgo, como qualquer cereal, é composto em sua maioria por amido e proteínas, e outros elementos importantes, como vitaminas, minerais, fibras, compostos fenólicos e esteróis (AWIKA e ROONEY, 2004). Na Tabela 1 encontra-se a composição média do sorgo em grãos inteiros e na forma de farinha segundo USDA (2011).

Tabela 1 - Composição química do sorgo (g 100 g⁻¹) na forma de grãos inteiros e de farinha do grão cru.

Componente	Grão Inteiro	Farinha
Energia (Kcal)	339	361
Umidade	9,2	10,6
Proteínas	11,3	7,87
Lipídeos Totais	3,3	3,29
Cinzas	1,57	1,31
Carboidratos, por diferença	74,63	77,47
Fibra Alimentar Total	6,3*	6,6
Amido	-	71,37
Açúcares	-	1,87

* Fibra alimentar total para sorgo branco. Para outros tipos de sorgo os valores variam de 8,8-11,1 g 100g⁻¹. Fonte: USDA (2011).

Além das variações genótípicas, as condições ambientais de cultivo e a aplicação de diferentes métodos analíticos geram dados distintos sobre a composição química do grão (SCHOBER E BEAN, 2008).

O teor energético do grão de sorgo é alto, sendo o conteúdo total de lipídios superior em relação ao encontrado no trigo e no arroz. A composição de ácidos graxos é semelhante ao óleo de milho, com predominância dos ácidos linoléico (49 %), oléico (31 %) e palmítico (14 %) (LÉDER, 2004).

O sorgo apresenta os isômeros α e γ tocoferol (vitamina E), além de cálcio, cobre, fósforo, ferro, zinco, magnésio e enxofre, sendo a concentração pouco variável entre as cultivares (MARTINO et al., 2012). Contudo, esses

nutrientes se encontram principalmente na aleurona e gérmen, os quais são eliminados na produção de farinha, quando realizado o processo de decorticação do grão, originando produtos refinados nutricionalmente inferiores (LÉDER, 2004).

Os fitoesteróis pertencem à família do colesterol, e nos cereais são principalmente encontrados nas partes externas do grão. Existem indicações de o sorgo ser uma boa fonte de fitoesteróis, os quais são semelhantes aos encontrados no milho e no arroz. No entanto, os métodos de extração ainda precisam ser explorados (AWIKA e ROONEY, 2004).

3.3.1. Proteínas do sorgo

As proteínas de reserva dos cereais são geralmente classificadas, com base em sua solubilidade, em albuminas, globulinas, prolaminas e glutelinas. No sorgo, estas proteínas são divididas em dois grupos principais, as kafirinas (prolaminas) e as não-kafirinas (BELTON et al., 2006).

As prolaminas possuem alto teor dos aminoácidos prolina e glutamina, e no sorgo compõem a maior parte das proteínas presentes, cerca de 68 a 73 % do total. Entre o grupo das não-kafirinas, têm-se albuminas, globulinas, kafirinas intercruzadas e glutelinas, as quais correspondem de 5,3 a 14,6 % das proteínas (HAMAKER et al., 1995; HAMAKER e BUGUSU, 2003).

As kafirinas compõem os corpos protéicos presentes no endosperma, enquanto as proteínas não-kafirinas são responsáveis pela formação da matriz protéica que engloba os grânulos de amido e os corpos protéicos no endosperma (HAMAKER et al., 1995; HAMAKER e BUGUSU, 2003).

As diversas semelhanças entre as zeínas (prolaminas do milho) propiciou suporte para maior conhecimento das kafirinas (BELTON et al., 2006), as quais se dividiram nas subclasses alfa, beta e gama (SHULL et al., 1991). A alfa-kafirina é a principal prolamina do sorgo e representa 65-85 % do total, enquanto as subclasses beta e gama somam cerca de 7-8 % e 9-12 %, respectivamente (WATTERSON et al., 1993).

Nos corpos protéicos a subunidade alfa-kafirina está disposta na parte central enquanto as subclasses beta e gama, com maior teor do aminoácido cisteína, englobam a alfa-kafirina com uma rede polimérica de ligações

dissulfídicas, formando uma estrutura organizada e compacta (SHULL et al., 1992; ORIA et al., 2000). Apesar de solúvel em água, a gama-kafirina não se solubiliza em estado nativo (no grão), exatamente pela polimerização entre as cadeias polipeptídicas (BELTON et al., 2006).

Em razão da rígida estrutura dos corpos protéicos, as kafirinas são geralmente consideradas não funcionais em formulações de alimentos. Para solucionar essa questão, Hamaker e Bugusu (2003) indicam o rompimento da organização protéica por meio de condições específicas de processamento (ex. alta temperatura, alta pressão) ou por alteração genética.

As proteínas do sorgo são consideradas de baixa qualidade nutricional devido a sua digestibilidade reduzida e ao perfil limitante de aminoácidos indispensáveis como a lisina, o triptofano e a treonina (SHULL et al., 1992; HAMAKER et al., 1995; DUODU et al., 2002; DUODU et al., 2003; HAMAKER e BUGUSU, 2003).

O perfil de aminoácidos varia entre genótipos, condições de cultivo e as frações protéicas encontradas no sorgo. As albuminas e globulinas possuem maior concentração dos aminoácidos indispensáveis em comparação as kafirinas, exceto para a leucina (YOUSSEF, 1998).

De forma geral, a lisina é o principal aminoácido limitante do sorgo, pois compõem menos de 3 % do grão inteiro, sendo o preconizado pela OMS para uma proteína de alta qualidade biológica, a concentração de 5,5 % de lisina (O'KENNEDY et al., 2006). Contudo, existem variedades com alto teor deste aminoácido, as quais possuem corpos protéicos em menor quantidade, menor tamanho e menor organização estrutural (SECKINGER e WOLF, 1973).

3.3.2. Amido e demais carboidratos do sorgo

Como para todos os cereais, o amido é o principal componente do grão de sorgo (50 a 75 %) correspondente ao estoque de reserva energética no endosperma, juntamente com as proteínas (SCHOBBER e BEAN, 2008).

Fatores genéticos e as condições de cultivo do sorgo acarretam em diferenças nas características do amido, como concentração de amilose, propriedades de pasta e propriedades térmicas (BETA e CORKE, 2001). Como exemplo, as variedades de sorgo branco e vermelho produzido na Nigéria,

apresentam cerca de 20 % de amilose (GAFFA et al., 2004). Enquanto variedades com mesma coloração de pericarpo produzidas na região saariana da Argélia possuem concentração de amilose mais elevada (27,1 % branco, 24,8 % vermelho) (BOUDRIES et al., 2009).

Segundo Gaffa et al. (2004), o amido do sorgo possui características estruturais similares ao amido de outros cereais. A distribuição dos comprimentos das cadeias de amilopectina e a média do comprimento das cadeias foram semelhantes ao arroz nesse estudo. Boudries et al. (2009) relataram maior temperatura máxima de gelatinização e menor entalpia de gelatinização do amido do sorgo em comparação ao amido de outros cereais, como trigo, milho e arroz, além de maior poder de inchamento e solubilidade.

O grau de inchamento dos grânulos está relacionado ao pico de viscosidade da pasta de amido (RAGAEE e ABDEL-AAL, 2004). Aparentemente, a concentração de amilose pode ser associada a esse pico (ABOUBACAR e HAMAKER, 1999), entretanto a viscosidade da pasta também é influenciada pela estrutura e peso molecular da amilose, bem como das frações da amilopectina (BETA et al., 2000).

A retrogradação do amido varia bastante entre sorgo, milho e arroz, e também entre as cultivares de sorgo. O comportamento das moléculas de amido na retrogradação durante o período de estocagem é condicionado à presença de cadeias longas da amilopectina, as quais geram maior sinérese do sistema e géis mais firmes. O sorgo apresenta essa característica na estrutura da amilopectina, que não é desejável para a qualidade de alimentos. A menor concentração dessas cadeias reduz a taxa de retrogradação e de envelhecimento dos produtos alimentícios. Assim, o desenvolvimento de genótipos de sorgo com menor concentração dessas cadeias é indicado para melhorar as características de qualidade dos produtos (MATALANIS et al., 2009).

A presença de compostos fenólicos também pode afetar o comportamento do amido do sorgo. No estudo de Beta et al. (2000), o amido proveniente de sorgo com fenólicos apresentou maior pico de viscosidade da pasta. Os pesquisadores observaram ainda que a concentração de amilose e a temperatura máxima de gelatinização do amido eram maiores enquanto a porção macia do endosperma estava em menor proporção no grão.

A composição do amido também atua diretamente em sua digestibilidade. Grãos de sorgo não-ceroso (20 a 30 % amilose) são mais resistentes ao processo digestivo quando comparado aos grãos cerosos (menos 5 % amilose) (WONG et al., 2009). O conteúdo de amilose, bem como a concentração de cadeias de menor tamanho na estrutura fina da amilopectina, parece conferir menor digestibilidade ao sorgo (SANG et al., 2008).

Dentre os demais carboidratos observados no sorgo, destacam-se as fibras alimentares, em quantidade em torno de 6 %, segundo o USDA (2011). Porém variedades brasileiras apresentaram valores de até 15% de fibras totais (MARTINO et al., 2012). Esses compostos são constituintes da parede das células do sorgo, sendo as principais representantes a celulose, a hemicelulose e as beta-glucanas (DUODU et al., 2003). O conteúdo de beta-glucanas é relativamente baixo no sorgo, entretanto, estudo de Niba e Hoffman (2003) verificou aumento no teor dessa fração após autoclavagem dos grãos a 120°C.

O sorgo pode ser considerado, ainda, uma fonte potencial de amido resistente, devido a concentração superior a encontrada em outros cereais e leguminosas (QUEIROZ et al., 2011). Niba e Hoffman (2003) encontraram um teor de 6,46 % de amido resistente em uma cultivar de sorgo, e observaram aumento significativo de sua concentração após imersão dos grãos em água a 37°C.

3.3.3. Compostos fenólicos do sorgo

O sorgo apresenta quantidades apreciáveis de compostos fenólicos, os quais são produtos secundários do metabolismo das plantas, protegendo-as contra insetos e doenças, e também possuem ação antioxidante *in vitro*. A composição quantitativa e qualitativa desses compostos varia conforme o genótipo e as condições ambientais de cultivo (AWIKA e ROONEY, 2004; DYKES et al., 2005).

Os compostos fenólicos encontrados no sorgo são os ácidos fenólicos (principalmente derivados do ácido hidrobenczóico e do ácido hidrocínamico) e os flavonóides (antocianinas e taninos) (AWIKA e ROONEY, 2004). Algumas

cultivares produz grande quantidade de taninos, característica marcante do sorgo perante os outros cereais (DUODU et al., 2003).

Os ácidos fenólicos podem ser encontrados livres (pericarpo, testa e aleurona) ou ligados (paredes celulares), sendo o maior representante o ácido ferúlico (24 a 47 %), derivado do ácido hidrocínamico (DYKES e ROONEY, 2006). Entre os flavonoides, a antocianina mais encontrada no sorgo é a 3-deoxiantocianina, compreendendo as luteolinidinas e apigeninidinas. A conformação deste composto atribui maior estabilidade à molécula quando comparada a outras antocianinas presentes em frutas e hortaliças (AWIKA et al., 2004b). Existe também correlação positiva entre o teor de antocianinas e a atividade antioxidante em amostras de sorgo (AWIKA et al., 2004a; MORAES et al., 2012b).

O tanino condensado também é conhecido por proantocianidinas ou procianidinas. Esses compostos caracterizam-se por acentuar o gosto amargo e a adstringência de produtos com fenólicos, os quais já conferem essas propriedades sensoriais aos alimentos em que se encontram, como banana, pêra, lentilhas e chocolates (QUEIROZ et al., 2011). A concentração de taninos no sorgo varia com as características genéticas (DYKES et al., 2005). Variedades brasileiras provenientes da EMBRAPA Milho e Sorgo apresentaram valores entre 11,6 e 66,9 mgEC.g⁻¹ para taninos (MORAES et al., 2012).

A presença de testa pigmentada, a qual é causadora dos taninos, é gerenciada pelos genes B1 e B2 dominantes. A concentração de antocianinas varia de acordo com a coloração do pericarpo e da planta. A coloração do pericarpo é controlada pelos genes R e Y, variando de branco a vermelho, sendo que alguns genótipos vermelhos podem se tornar negros em função da maturação em presença de luz solar (DYKES et al., 2005).

3.4. Usos e aplicações atuais

O principal destino da produção mundial de sorgo é para a alimentação animal, especialmente em países desenvolvidos, como Estados Unidos e

Austrália, e na América Latina (FAO/ICRISAT, 1996). Para os animais, o sorgo é oferecido como silagem, grãos ou na composição de rações (RIBAS, 2003).

Nos países da África e Ásia o sorgo é tradicionalmente consumido pelo homem como mingau, cuzcuz, produtos de panificação, cervejas e farinhas pré-cozidas para uso instantâneo (DICKO et al., 2006). Nos demais países, o desenvolvimento de produtos e o consumo humano de sorgo vêm ganhando popularidade, principalmente impulsionado pela evidente necessidade de aumentar os cereais integrais na alimentação humana (PEREIRA et al., 2002), e, também, pelo mercado de alimentos sem glúten (AWIKA e ROONEY, 2004).

Entre os principais cultivadores de sorgo, Índia, Estados Unidos da América e Argentina, a contribuição calórica desse cereal na alimentação foi inferior ao trigo, como se pode observar nos dados de 2007 da FAOSTAT (Tabela 2). Outros grandes produtores, como Sudão e Nigéria, apresentaram maior consumo de calorias per capita/dia proveniente do sorgo. Entretanto, na Etiópia, 4º maior produtor de 2010, a contribuição do milho foi superior à do trigo e sorgo, cujos valores são semelhantes (FAOSTAT, 2012).

Tabela 2 - Contribuição calórica (kcal capita dia⁻¹) de cereais na alimentação humana nos principais países produtores do sorgo.

País	Sorgo	Trigo	Milho	Arroz
Índia	48	514	47	703
Estados Unidos	9	612	94	87
Nigéria	343	153	219	211
Etiópia	251	252	387	7
Sudão	612	351	21	18
Argentina	-	647	81	82

Atualmente, diversos produtos à base de sorgo já são comercializados em diferentes países. Em uma simples pesquisa em sites de busca na internet ("*sorghum products*", "*sorghum food products*") encontra-se pipoca de sorgo aromatizada, licor, melado, xarope, extrusados (macarrão, cereal matinal) e panificados (pão, bolo, biscoito, misturas prontas).

Para obtenção de melhor qualidade das massas alimentícias produzidas com sorgo, é comum o uso de aditivos, de acordo com cada produto. Entretanto, híbridos com características tecnológicas melhoradas para

elaboração de alimentos podem ser identificados e selecionados para contribuir na obtenção de melhor qualidade (SCHOBER e BEAN, 2008).

As características tecnológicas das linhagens de sorgo permitem a obtenção de qualidade condizente as características do produto desenvolvido, e, conseqüentemente, boa aceitação pelo consumidor. Sabor, cor, textura, grau de extrusão e expansão, e a granulometria da farinha de sorgo são aspectos foco de estudo (DEGÁSPARI e WASZCZYNSKYJ, 1998; SUHENDRO et al., 2000; MARTINO et al., 2012; QUEIROZ et al., 2012).

No Brasil, as pipocas de sorgo estão sendo testadas no desenvolvimento de barra de cereais, as quais apresentaram alta aceitação em testes sensoriais e longa vida de prateleira (DEGÁSPARI e WASZCZYNSKYJ, 1998; PAIVA et al., 2012; QUEIROZ et al., 2012). Queiroz et al. (2012) observou diferentes capacidades de expansão entre diversos genótipos. As variedades BRS 310 e CMSXS 283 apresentaram melhor rendimento de pipocas.

O processamento aplicado também gera variações no rendimento do produto. Queiroz et al. (2012) verificaram que a aplicação de tratamento hidrotérmico nos grãos antes do pipoqueamento é benéfico para a redução de piruás. Degáspari e Waszczynskyj (1998) também observaram diferentes rendimentos de grão de sorgo expandido entre dois tratamentos com pressão distintas aplicadas no equipamento utilizado (70% para 150 lbf/pol², e 95% para 200 lbf/pol²).

Muitos produtos alimentícios são fabricados a partir da farinha de grãos, assim, a distribuição granulométrica do material cru é muito importante no desenvolvimento de novos produtos. No trabalho de Martino et al. (2012), a maior porcentagem da farinha ficou retida na peneira de 0,42 µm, classificando-a como farinha grossa, semelhante a farinha de milho integral. Segundo os pesquisadores, a farinha obtida é adequada para produção de biscoitos e macarrão, e pode ser aperfeiçoada para fabricar pães e bolos. No entanto, segundo Suhendro et al. (2000), farinhas de sorgo com partículas de menor tamanho rendem melhor macarrão.

Avanços na ciência e tecnologia do sorgo têm possibilitado seu uso também na fabricação de produtos bioindustriais como amido, etanol e plástico (TAYLOR et al., 2006). Além da extração de compostos ativos (fitoquímicos)

provenientes do farelo para uso comercial, como as antocianinas (AWIKA e ROONEY, 2004).

O amido do sorgo apresenta propriedades tecnológicas semelhantes ao amido do milho (AKINGBALA et al., 1982). A partir dessa equivalência, o potencial de aplicação industrial do amido do sorgo tem impulsionado o seu uso para suprir a maior demanda pelo amido do milho, principalmente na produção de alimentos (SINGH et al., 2010).

O uso do grão de sorgo para a produção de bioetanol pode ser interessante em locais onde há pouca chuva e o milho não se desenvolve bem. Nos Estados Unidos, o bioetanol produzido é proveniente, quase em sua totalidade, do milho (TAYLOR et al., 2006). No Brasil, o sorgo sacarino tem sido apontado como uma alternativa promissora na produção de etanol (VIANA, 2009).

Os materiais plásticos produzidos a partir do sorgo decorrem da interação entre proteínas e taninos, resultando em propriedades de tensão. Os filmes de proteína (principalmente gama-kafirina) feitos por ligações com taninos possuem vida-útil maior devido a baixa digestibilidade causada por esta interação (TAYLOR et al., 2007).

3.5. Aspectos nutricionais do sorgo

O sorgo não apresenta proteínas formadoras do glúten, o qual promove reação alérgica em indivíduos com doença celíaca. Por isso, primeiramente, o sorgo constitui-se em uma excelente matéria-prima para o mercado de produtos sem glúten, como produtos de panificação e massas (QUEIROZ et al., 2011).

O sorgo apresenta concentração elevada de fitoquímicos e fibras, nutrientes que têm se correlacionado a benefícios à saúde. O aumento de doenças crônicas não transmissíveis decorrente de maus hábitos alimentares vem impulsionado a busca por fontes alternativas de alimentos. Assim, o sorgo pode ser considerado como uma interessante opção aos cereais convencionais

devido a sua digestibilidade e composição química, como fenólicos, fibras e amido resistente (QUEIROZ et al., 2011).

Os fenólicos são substâncias antioxidantes que contribuem com o sistema de defesa natural do organismo humano (DYKES et al., 2005; DLAMINI et al., 2007). Diversos estudos estão buscando avaliar o efeito da ingestão do sorgo e dos seus extratos fenólicos contra o câncer. Os resultados têm demonstrado grande potencial quimiopreventivo dos extratos (QUEIROZ et al., 2011).

Outros compostos presentes no sorgo são os fitoesteróis e policosanóis, presentes na fração lipídica, os quais estão sendo indicados como os componentes responsáveis pelo efeito nas doenças cardiovasculares, por meio da diminuição das concentrações plasmáticas de colesterol, da melhora da função endotelial e da inibição da agregação plaquetária. Além disso, sua alta concentração de fibras foi associada a redução da concentração plasmática de colesterol em animais alimentados com o cereal (QUEIROZ et al., 2011).

A digestibilidade limitada do sorgo é uma característica marcante perante outros cereais, e sempre foi indicada como um aspecto negativo ao consumo por reduzir seu valor nutricional (WONG et al., 2010). Entretanto, essa propriedade tem sugerido esse cereal como alimento interessante para pacientes diabéticos e, possivelmente, para indivíduos obesos (SANG et al., 2008; QUEIROZ et al., 2011).

3.5.1. Digestibilidade e qualidade nutricional protéica do sorgo

A digestibilidade do sorgo vem sendo estudada desde a década de 70, principalmente, quanto às proteínas. A presença de taninos no sorgo foi identificada como um importante fator antinutricional por reduzir o ganho de massa corporal e provocar efeitos tóxicos no organismo de diferentes animais (ARMSTRONG et al., 1974; PRICE et al., 1980; HAHN et al., 1984; MITARU et al., 1985; BUTLER, 1989; MORAES et al., 2012a).

Outro aspecto importante verificado em estudos anteriores é o efeito deletério da cocção úmida na digestibilidade proteica *in vitro* da farinha de sorgo (AXTELL et al., 1981; HAMAKER et al., 1986; BACH e MUNCK, 1985. CORREIA et al., 2010), o que não ocorre para outros cereais, como trigo,

milho, arroz e milho (MERTZ et al., 1984). A estrutura dos corpos protéicos é indicada como o principal fator responsável pelo grau de digestão de suas proteínas (HAMAKER et al., 1995).

A cocção úmida não prejudica somente a digestibilidade protéica, mas também a gelatinização (CHANDRASHEKAR e KIRLEIS, 1988) e digestibilidade do amido (WONG et al., 2009). Durante o cozimento formam-se novas ligações dissulfídicas entre as proteínas, originando estruturas em formato de rede (*web-like*) e de folha pregueada (*sheet-like*), como se observa na Figura 2. Essas estruturas impedem a ação das enzimas proteolíticas e da alfa-amilase, e, impossibilitam o processo total de inchamento dos grânulos de amido (ORIA et al., 1995; ZHANG e HAMAKER, 1998; DUODU et al., 2002; HAMAKER e BUGUSU, 2003).

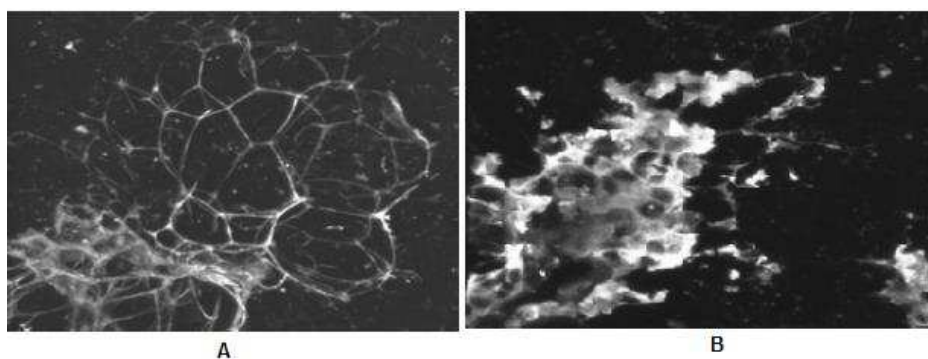


Figura 2: Micrografia confocal da proteína de sorgo cozido, coloração por 3-(4-carboxibenzoil) quinolina-2-carboxaldeído (CBQCA), A - forma de rede (*web-like*); B – forma de folha pregueada (*sheet-like*) Fonte: Hamaker e Bugusu (2003).

Segundo Wong et. al. (2009), as ligações dissulfídicas da matriz protéica (intercruzamento entre kafirinas e entre gluteninas) atuam como moduladoras das propriedades química e estrutural do grão de sorgo, as quais influenciam na digestibilidade das proteínas e do amido de forma concomitante. A composição do endosperma também interfere nessa propriedade. O endosperma vítreo possui maior concentração de polímeros de kafirina e ligações dissulfídicas, e menor taxa de digestão do amido, indicando a interferência das proteínas (EZEUGU et al., 2005).

As condições de cozimento também influenciam na digestão do sorgo. No estudo de Ezeogu et al. (2005), maior tempo de cocção promoveu redução

da digestibilidade da farinha, enquanto o cozimento sob pressão permitiu melhor digestão do amido, o que foi associado ao rompimento da barreira protéica pela alta temperatura. A presença de agentes redutores durante o cozimento constitui em outro processo que aumenta a taxa de digestão das proteínas do sorgo, de forma significativa (HAMAKER et al., 1987; ROM et al., 1992; ELKHALIFA et al., 1999).

A aplicação de outros processamentos indica a água como o fator responsável no efeito negativo da cocção úmida sobre a digestão do sorgo. O uso de calor seco, “popping”, fermentação ou germinação aumentaram sua digestibilidade protéica *in vitro* em comparação ao material não processado (CORREIA et al., 2010).

Entretanto, a qualidade protéica não se traduz na digestibilidade desse cereal. No estudo de Moraes et al. (2012) realizado com ratos observou-se que a digestibilidade verdadeira da dieta com sorgo de diferentes variedades, com e sem tratamento por calor seco, foi igual à dieta de caseína, proteína referência de origem animal. Porém, os indicadores de qualidade protéica, PER (*Protein efficiency ratio*) e NPR (*Net protein ratio*), indicaram crescimento inadequado dos animais. O NPR verifica a capacidade de uma proteína manter o peso e promover crescimento no animal, enquanto o PER considera que toda a proteína consumida será utilizada apenas para o crescimento (BENDER e DOELL, 1957).

Assim, o perfil aminoacídico foi o principal fator limitante na qualidade proteica do sorgo das variedades estudadas, pois foi identificada deficiência em importantes aminoácidos indispensáveis, como lisina, isoleucina, cistina, metionina, valina e treonina. Apesar do perfil do sorgo ser semelhante ao de outros cereais, os resultados de PER e NPR foram inferiores. O valor de NPR (1,91) para a variedade de sorgo com melhores resultados, a BRS 309 com tratamento (pericarpo branco e sem testa), foi inferior ao milho (3,89), farinha de trigo (2,38), arroz (3,62) e quinoa (3,68). Quanto ao PER, o valor (1,06) foi semelhante à farinha de trigo (0,98) e ao milho (0,68), e inferior ao arroz (2,57) e à quinoa (2,13) (MORAES et al., 2012).

Contudo, o genótipo e as condições de cultivo geram variações no perfil de aminoácidos e, conseqüentemente, na qualidade nutricional das proteínas do sorgo. A variedade com taninos, BRS 305, obteve o pior resultado de

qualidade, pois promoveu baixo ganho de peso dos animais devido ao menor teor de aminoácidos indispensáveis e à maior excreção fecal, o que foi associado à presença de taninos. A BRS 310 apresentou resultados semelhantes à BRS 309 (pericarpo branco) para ganho de peso, PER e NPR, o que leva a considerar ambas as variedades com a mesma qualidade proteica (MORAES et al., 2012).

3.5.2. Obesidade e diabetes

Além da digestibilidade limitada, como descrito no item anterior, o sorgo exibe processo digestivo lento devido ao maior teor de fibras alimentares em relação a outros cereais. As fibras proporcionam maior tempo de saciedade, pois promovem esvaziamento gástrico lento, o que confere menor resposta glicêmica se comparado ao trigo e ao arroz, por exemplo. As fibras ainda são capazes de formar complexos com os carboidratos presentes no lúmen, os quais não são absorvidos. Essas propriedades são interessantes para pacientes diabéticos (LAKSHIMI e VIMALA, 1996; DYCKES e ROONEY, 2006).

Outra característica favorável é a alta concentração de amido resistente, o qual não é digerido no intestino delgado, assim como as fibras, contribuindo para a redução da glicemia pós-prandial (AWIKA e ROONEY, 2004). Em estudo recente, verificou-se que a preparação de mingaus com extratos de farelo de sorgo com alta concentração de fenólicos promoveu aumento do teor de amido resistente e redução do índice glicêmico (AUSTIN et al., 2012).

A presença de taninos no sorgo diminui ainda mais a digestão do cereal, e as variedades com taninos são sugeridas por Taylor et. al. (2007) para reduzir a absorção de calorias dos alimentos. Os taninos são capazes de formar complexos com as proteínas e os carboidratos do alimento, os quais não sofrem ação enzimática (AWIKA e ROONEY, 2004), além de inibir diretamente as enzimas, como alfa-amilase e tripsina, e em menor proporção, a lipase (AL-MAMARY et al., 2001). Alguns povos da África preferem variedades com maior teor de taninos, pois confere período maior de saciedade (FAO, 1995), característica interessante para obesos. Contudo, os taninos do sorgo apresentam efeito antinutricional e sua ingestão deve ser avaliada com cuidado (AL-MAMARY et al., 2001; AWIKA e ROONEY, 2004).

Além dos taninos, o sorgo possui em sua composição a apigenidina e a luteonidina, substâncias ausentes em outros cereais e que apresentam alta capacidade antioxidante. Em estudo recente, Moraes et al. (2012b) observaram que o acréscimo de farinha de sorgo à dieta hiperlipídica de ratos Wistar reduziu os indicadores de estresse oxidativo, revelando ação antiinflamatória no tecido adiposo e não alteração do epitélio intestinal. A variedade BRS 310 foi a que se destacou, e os pesquisadores sugerem que os genótipos de sorgo com a presença das antocianinas citadas podem ser uma estratégia efetiva no controle da obesidade.

Apesar das evidências, não existem trabalhos com humanos que avaliam a ingestão de sorgo, ricos em compostos fenólicos, para auxiliar a perda de peso. No entanto, é essencial avaliar a possibilidade de utilizar essas informações no combate à obesidade. Alimentos a base de cereais são comuns e amplamente consumidos em várias partes do mundo, e o sorgo e seu farelo podem encontrar uso em diferentes produtos (AWIKA e ROONEY, 2004).

O método e o tempo de preparo culinário do sorgo, bem como o processo fermentativo e o grau de moagem do grão podem afetar a resposta glicêmica do alimento. O pão de sorgo confere maior resposta glicêmica e insulínica se comparado ao mingau em preparações tradicionais do Sudão (ABDELGADIR et al., 2004). O cozimento em água fervente no preparo de pratos típicos indianos é o método que confere menor resposta glicêmica (LAKSHIMI e VIMALA, 1996).

3.6. Qualidade de cozimento do grão de sorgo

O cozimento de grãos consiste na absorção gradual de água, em aquecimento, da superfície para o interior do grão ocasionando a gelatinização do amido e outras modificações físico-químicas (KIM e RHEE, 2004). A cinética da gelatinização do amido *in situ* (grão inteiro) apresenta maior duração, pois os grânulos de amido estão aderidos à matriz do grão, conferindo resistência para a absorção da água (TURHAN e GUNASEKARAN, 2002). Em virtude da

relativa similaridade entre grãos de sorgo e arroz, e da baixa disponibilidade de referências com cozimento de grão inteiro de sorgo, foram considerados aqui os artigos e publicações que versam sobre o tema realizados com arroz.

A taxa de absorção de água pelo grão de arroz varia em função do tempo de cozimento, o qual se altera segundo a temperatura da água de cocção, pois a velocidade de difusão da água é influenciada pela temperatura. Ademais, a entrada de água pode se alterar com o teor de umidade inicial do grão, a variedade, as condições de estocagem, as propriedades físico-químicas e o nível de moagem (KIM e RHEE, 2004).

As propriedades físico-químicas do arroz estão entre os indicadores de qualidade de cozimento mais utilizados para predizer o comportamento do grão durante a cocção (JULIANO, 1985). A qualidade de consumo dos grãos cozidos também se relaciona às características físicas e químicas, sendo a textura o atributo mais importante na aceitação do produto pelo consumidor (SZCZESNIAK, 1963). O teor de amilose e proteínas, e as propriedades de pasta são os componentes mais comuns na avaliação da qualidade do arroz (KIM E RHEE, 2004).

A amilose aumenta a temperatura de gelatinização do amido, e conseqüentemente o tempo de cozimento (JULIANO e PEREZ, 1983; VIDAL et al., 2007), pois reduz o poder de inchamento dos grânulos de amido. Entretanto, a estrutura da amilopectina também interfere no processo de absorção de água (SINGH et al., 2005). Ong e Blanshard (1995) observaram que grãos de arroz com cozimento mais longo apresentavam maior conteúdo de amilose e de cadeias longas da amilopectina em comparação a grãos com menor tempo de processo. A amilose também é amplamente utilizada na classificação de textura do grão de arroz cozido por meio de medidas instrumentais (JULIANO et al. 1981) e sensoriais (MESTRES et al., 2011).

A preferência de textura do arroz é variável entre os países, e, usualmente, é avaliada com base no teor de amilose (KIM E RHEE, 2004). Grãos de arroz com alto conteúdo de amilose dão origem a um produto seco, solto e macio (PEREZ e JULIANO, 1979; CUEVAS e FITZGERALD, 2008; MESTRES et al., 2011), exigência do mercado brasileiro e norte-americano (JULIANO, 1985; BASSINELLO et al., 2005-2010). Nos países do leste asiático

a preferência é pelo arroz molhado e pegajoso após a cocção, resultado de grãos com baixa concentração de amilose (VIDAL et al., 2007).

As proteínas também interferem nas propriedades de pasta do arroz e, em consequência, no perfil de textura dos grãos cozidos (XIE et al., 2008). As cadeias polipeptídicas aumentam a viscosidade e rigidez da pasta por meio das ligações dissulfídicas e da hidratação das moléculas de proteína, o que eleva a concentração da pasta de amido gelatinizado (MARTIN e FITZGERALD, 2002). Assim, grãos de arroz com maior teor protéico são menos macios. O rompimento das ligações dissulfídicas reduz a viscosidade da pasta, alterando a textura final; há aumento na pegajosidade e redução na firmeza dos grãos cozidos (XIE et al., 2008).

Destaca-se que os grãos de arroz com maior teor protéico demandam mais água e maior tempo para cozinhar (YADAV e JINDAL, 2007). As proteínas são os componentes do arroz que possuem maior capacidade de absorção de água, apesar de estarem em proporção menor no grão comparado ao amido (CUEVAS e FITZGERALD, 2008).

Para o sorgo, Cagampang e Kirleis (1984) verificaram que as características químicas do grão também apresentam relação com indicadores de qualidade, como textura, rigidez do gel e adesão. Murty e House (1982) destacam a importância da capacidade de absorção de água pelo grão, e consequente gelatinização do amido, no tempo de cozimento e qualidade final do produto cozido. Os autores relacionam as propriedades de cozimento do grão de sorgo a variações na espessura do pericarpo, tamanho da cariopse, textura do endosperma, nível de moagem e teor de umidade.

A textura do endosperma corresponde à razão entre às suas porções vítrea e opaca (ROONEY e MURTY, 1982). Segundo os resultados encontrados por Beta e Corke (2001), essa estrutura exerce influência na gelatinização do amido, sendo que a fração vítrea apresentou maior valor de entalpia da gelatinização. Os grãos vítreos absorvem água a uma velocidade menor comparados aos opacos devido à organização compacta de sua matriz, caracterizando um tempo de processo mais longo (YOUNG et al., 1990). No estudo de Cagampang e Kirleis (1984) notou-se que os grãos com endosperma vítreo apresentaram maior teor de kafirinas e de amilose total, e menor ganho de massa durante o processo de cozimento.

A composição do amido também interfere no processo de gelatinização do grânulo; o amido de sorgo com alto teor de amilose apresenta temperatura de gelatinização elevada (BETA e CORKE, 2001). Alta temperatura de gelatinização pode ser um indicativo de uma estrutura mais cristalina em grãos de arroz, provendo maior resistência à penetração da água e ao processo de cozimento (YADAV e JINDAL, 2007).

Em geral, o tempo de cozimento dos grãos de sorgo varia de 20 a 55 minutos, enquanto o arroz requer de 20 a 35 minutos. Para o sorgo quanto maior o tamanho da cariopse, mais longo é o tempo de cozimento, e o pericarpo atua como uma barreira física à penetração da água, o que contribui para elevar o tempo de cocção (ZACATARES, 2007). No arroz integral, a difusão da água também é mais lenta em relação ao arroz polido (KIM e RHEE, 2004).

Apesar de menor tempo de cocção, os grãos opacos apresentam maior porcentagem de ruptura durante o cozimento, elevando a perda de sólidos solúveis e reduzindo o rendimento do sorgo (BLANCHET, 1987). Entretanto, no estudo de Zacatares (2007) os grãos vítreos apresentaram maior porcentagem de ruptura devido ao tempo excessivo de cozimento.

A perda de sólidos solúveis durante o processo de cocção é um importante indicador de qualidade e, no arroz, apresenta relação com a estrutura do amido e a textura do produto cozido. Singh et al. (2005) verificaram menor perda de sólidos em variedades de arroz com maior concentração de amilose e de cadeias longas da amilopectina. Mestres et al. (2011) observaram que a maior concentração de amilose e maior relação amilose:amilopectina na água de cozimento resultaram em menor adesividade e pegajosidade dos grãos cozidos.

O grão de sorgo possui textura mais firme em relação ao arroz, e, assim como para o arroz, essa propriedade também varia de acordo com as características físicas e químicas de cada material, como a dureza do endosperma. Genótipos com maior teor de kafirinas e de amilose total apresentam maior firmeza e menos adesão após o cozimento, além de provocarem a formação de géis mais rígidos (CAGAMPANG e KIRLEIS, 1984).

No estudo de Lee et al. (2002), os grãos de sorgo de maior tamanho, decorticados e cozidos, apresentaram maior firmeza, menor coesão e

pegajosidade em relação aos de tamanho pequeno, características semelhantes à preferência do mercado brasileiro de arroz. Vale destacar que os grãos de maior tamanho apresentam mais conteúdo de endosperma vítreo em comparação aos grãos pequenos.

Em diversas regiões da Índia, o sorgo é consumido como um produto semelhante ao arroz após a remoção do pericarpo (MURTY et al., 1982; YOUNG et al., 1993). Grãos de sorgo com 60 a 100 % de endosperma vítreo são preferidos para o preparo desse tipo de alimento (ROONEY e MURTY, 1982), pois permitem melhor rendimento no processo de decorticação, o qual reduz o tempo de cozimento e aumenta a expansão do grão ao cozer, além de diminuir a perda de sólidos e melhorar a maciez do grão cozido (MURTY et al., 1982; ZACATARES, 2007).

No estudo de Zacatares (2007) foi observado que ao decorticar os grãos de sorgo, a perda de sólidos é reduzida, e a maciez do produto final foi melhor. Lee et al. (2002) também encontraram boas características de textura em grãos de sorgo decortificados, e de maior tamanho. Para o sorgo, a firmeza do grão cozido varia também com o tamanho da cariopse, sendo mais macios os grãos de tamanho pequeno (LEE et al., 2002).

Para melhorar a textura e a mastigabilidade do grão de sorgo inteiro algumas alterações nas condições de cozimento podem ser úteis, como o aumento do teor de umidade do grão e/ou a aplicação de um pré-tratamento. Uma prática simples como a maceração pode aumentar o teor de umidade do grão, reduzir a intensidade de cor e melhorar a qualidade de cozimento (ZACATARES, 2007).

O tempo para o preparo do sorgo em grãos é relativamente longo, de modo que o alto gasto de energia e seu custo restringem o consumo nesta maneira de preparo (FAO, 1995). Assim, a aplicação de pré-processamento e de um método mais adequado de cozimento dos grãos pode melhorar a aceitação do sorgo em grãos como alimento (ZACATARES, 2007).

O mercado alimentício tem buscado novos produtos para atender a forte demanda atual por alimentos saudáveis. O sorgo apresenta características nutricionais interessantes que atendem esse novo mercado, como alto teor de fibras e compostos fenólicos. Suas propriedades de cultivo e o plantio na entressafra brasileira mostram-se convenientes à expansão. Além dos

aspectos nutricionais do consumo de cereais integrais, a comercialização do grão inteiro possui menor custo de produção em relação a um produto processado, como a farinha. Assim, conhecer o comportamento do grão de sorgo inteiro submetido à cocção úmida quanto às características tecnológicas e nutricionais *in vivo* pode somar uma nova forma de preparo e consumo, auxiliando na consolidação desse cereal como uma alternativa alimentar viável para o Brasil.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 MATERIAL

As variedades de sorgo utilizadas foram a BRS 310 (pericarpo vermelho, sem tanino), a 0307091 e a 0307511 (pericarpo branco, sem tanino) doados pela EMBRAPA Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, totalizando, respectivamente, uma massa de grãos de 6,8 kg; 7,6 kg e 7,6 kg. Todo o material foi plantado e colhido no ano de 2011, na área agrícola experimental da referida instituição. As análises de composição centesimal e os testes de cozimento dos grãos foram realizados nos laboratórios do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Viçosa/UFV. As propriedades térmicas e de pasta foram avaliadas na Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro - RJ.

Para a avaliação estatística dos dados, a composição centesimal, foi conduzida segundo delineamento inteiramente casualizado com 3 repetições de cada uma das 3 variedades de sorgo, somando 9 unidades experimentais. Para a qualidade de cozimento, o experimento foi montado também seguindo delineamento inteiramente casualizado com 3 repetições em esquema fatorial 3 x 2, sendo 3 variedades de sorgo e 2 métodos de cocção, totalizando 18 unidades experimentais. Todas as análises foram realizadas em triplicada em cada repetição para ambos os delineamentos citados acima. A qualidade de cozimento foi obtida para os grãos de sorgo na forma integral, ou seja, sem decorticação (eliminação do pericarpo).

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Caracterização do sorgo integral

Para as análises de caracterização dos grãos integrais de sorgo cru, uma massa de 150 g de grãos foi previamente preparada por moagem em moinho de martelo (marca Tecnal, modelo 600) com peneira de 1 mm.

4.2.1.1 Composição centesimal

Os grãos crus foram caracterizados quanto ao teor de água (925-10), cinzas (923-03), lipídios (920-85) e proteínas (960-52) seguindo as metodologias descritas pela AOAC (1998). O teor de carboidratos totais foi calculado por diferença percentual, subtraindo-se do total a soma dos demais componentes determinados. A massa de amostra utilizada em cada análise foi: 2 g para o teor de água, 5 g para os lipídios, 0,2 g para a proteína e 2 g para as cinzas.

4.2.1.2 Propriedades térmicas e de pasta

O estudo das propriedades térmicas foi realizado por calorimetria diferencial de varredura (DSC) em equipamento DSC Q200 (TA Instruments, New Castle, USA), seguindo descrição de Carvalho e Mitchell (2001). Aproximadamente 3 mg de amostra foram colocados em um recipiente de alumínio com 10 mg de água e um recipiente vazio utilizado como referência. As análises foram realizadas a uma taxa de aquecimento de $10\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$ entre $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $110\text{ }^{\circ}\text{C}$, sendo determinadas a temperatura de transição vítrea ($^{\circ}\text{C}$) e sua respectiva entalpia (J g^{-1}).

A determinação das propriedades de pasta das farinhas de sorgo foi realizada em equipamento *Rapid Visco Analyser* (New Scientific), seguindo o método nº162 do International Cereal Chemistry (1996). Uma massa de 10 g da farinha integral das variedades, obtida na moagem descrita anteriormente, foi acrescida de 90 mL de água destilada e submetida à temperatura de $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 1 minuto. Posteriormente, o material foi aquecido até $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ a uma taxa de $12,16\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$, mantendo essa temperatura por 3 minutos. Em seguida, foi

resfriada até 50 °C à mesma taxa de aquecimento. Os indicadores determinados foram temperatura inicial de pasta (°C), viscosidade máxima (RVU), estabilidade (RVU), tendência à retrogradação (RVU) e viscosidade final (RVU).

4.2.2 Qualidade de cozimento do sorgo integral

As etapas da qualidade de cozimento dos grãos foram realizadas em triplicata dentro de cada repetição do cozimento. Na separação dos grãos por tamanho não foram realizadas replicatas. A avaliação da qualidade de cozimento das variedades de grãos de sorgo em estudo seguiu os passos abaixo:

4.2.2.1 Separação dos grãos por tamanho

Para aplicação dos testes de cozimento, uma massa de 600 g de grãos foi homogeneizada em agitador de peneiras (The W.S. Tyler Company) por 5 minutos, utilizando-se peneiras com malhas de 3,35 mm (#6); 2,80 mm (#7); 2,36 mm (#8) e 2 mm (#9) (adaptado de LEE et al. 2002).

Esses resultados foram avaliados e definiu-se que os grãos utilizados para os testes de cozimento seriam os retidos na peneira #7 (2,80mm), sendo esta mesma fração usada para todas as três variedades.

4.2.2.2 Testes preliminares

Os testes preliminares foram realizados seguindo metodologia da AACC, método 66-50 (1999), com adaptações para o sorgo conforme descritas a seguir. As amostras foram mantidas em maceração por 16 horas antes dos testes para aumentar o teor de umidade nos grãos (ZACATARES, 2007). Após esse período, os grãos foram drenados e água de maceração descartada com objetivo de eliminar fatores antinutricionais possivelmente presentes que podem prejudicar a qualidade protéica do material em estudo.

a. Tempo mínimo de cozimento (TMC)

É o tempo necessário para pelo menos 90 % dos grãos em água fervente quando pressionados entre duas lâminas de vidro não exibirem centro opaco. Esse procedimento é conhecido como teste de Ranghino. Uma massa

de 10 g de grãos, após a maceração, foi colocada em béquer de 1000 mL com 300 mL de água fervente, em pressão atmosférica, mantendo-se a temperatura de ebulição durante o processo por meio de chama direta. A cada 5 minutos, 3 a 5 grãos foram retirados do béquer e pressionados entre duas lâminas de vidro até observar o cozimento no centro do grão, como na Figura 3. Ao alcançar essa condição, o béquer foi removido do aquecimento e verificou-se o tempo dispendido no processo de cozimento dos grãos (adaptado de ZACATARES, 2007).

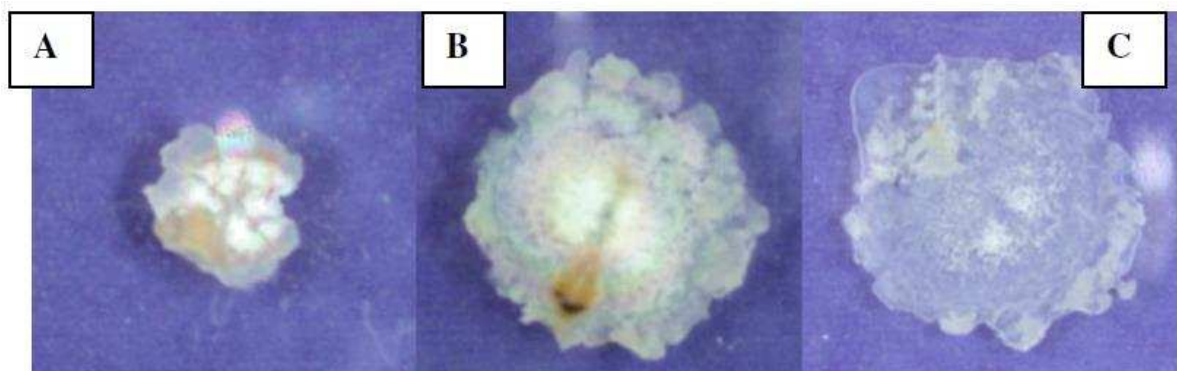


Figura 3: Determinação do tempo mínimo de cozimento de grãos de sorgo inteiros. A. cozimento parcial. B. cozimento intermediário. C. cozimento total. Fonte: Zacatares, 2007.

b. Absorção de água

A absorção de água (%AA) foi determinada pelo ganho de massa de 10g de grãos após ferver pelo período do TMC. Os grãos foram drenados em peneira doméstica (20 cm de diâmetro) por 10 minutos, e a água superficial dos grãos foi removida por toalhas de papel por 2 minutos. A porcentagem de água absorvida foi calculada seguindo a fórmula:

$$\%AA = 100 \times \frac{\text{Massa final (g)} - \text{Massa inicial (g)}}{\text{Massa inicial (g)}}$$

c. Perda de sólidos solúveis

Foi determinada pesando uma alíquota de 1mL da água de cozimento do grão em placa de petri seca e tarada, e novamente pesada após secagem em estufa a 95°C por 5 horas. A perda de sólidos solúveis (%PSS) foi expressa em porcentagem do material cru. O resíduo seco presente na placa após a

secagem são os sólidos perdidos no cozimento. O volume de água é a sobra da água de cozimento após a drenagem dos grãos.

$$\%PSS = 100 \times \text{volume água (mL)} * \text{resíduo seco (g)} / \text{massa crua (g)}$$

4.2.2.3 *Métodos de cocção úmida*

a. Método “Feijão”

Esse método foi realizado do mesmo modo descrito nos teste preliminares, caracterizado pelo cozimento em excesso de água, semelhante à maneira principal de consumo do feijão no Brasil, grãos em caldo. A proporção foi 10 g de grãos para 400 mL de água, pois se considerou as perdas por evaporação. Similarmente, foram também realizadas para estas amostras as análises de TMC, %AA e %PSS.

b. Método “Arroz”

Esse método foi caracterizado pelo cozimento com absorção total de água pelos grãos, buscando obter um produto semelhante à forma como o arroz é principalmente consumido no Brasil. A proporção utilizada foi de 10 g de grãos para 250 mL, em virtude das perdas de água por evaporação.

Neste método, os grãos também passaram pelo mesmo período de maceração descrito.

4.2.2.4 *Rendimento de grãos cozidos*

Foi realizado pelo método de deslocamento de líquidos, medindo-se o volume (mL) de querosene deslocado por 10 g de produto, antes e depois do cozimento, com auxílio de uma proveta (AACC 66-50, 1999).

4.2.2.5 *Análise de textura*

A medida de textura foi aferida em texturômetro modelo TA.XTexpress (Stable Micro Systems, Inglaterra). Os grãos drenados foram resfriados em temperatura ambiente por 1 hora em béquer de 250 mL protegido por filme de PVC. Uma massa de 5 g de grãos cozidos foi arranjada em camada única em um prato colocado na plataforma do texturômetro. Uma probe cilíndrica de 75

mm de diâmetro foi utilizada no teste com as seguintes configurações de corrida: teste com 1 ciclo no modo compressão (força x distância). A distância de penetração da probe nas amostras foi de 3 mm e a velocidade de teste foi de 1 mm.s^{-1} (adaptado de LEE et al., 2002). As medidas de textura foram pico de força máxima de compressão (g) e área do pico de força máxima (g.s), como observado na Figura 4. As propriedades avaliadas foram firmeza, expressa como força máxima no pico; e a deformação, expressa como área do pico de força máxima; segundo os conceitos de Szczesniak (1963).

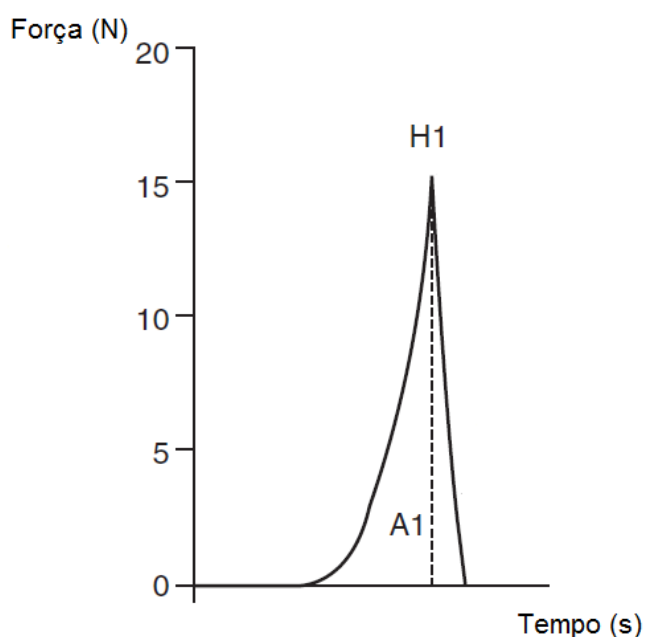


Figura 4: Textura força x tempo, onde H1 é o pico de força máxima (N); A1 é a área do pico de força máxima. Fonte: Kim e Rhee 2004 (adaptado).

4.2.4 Delineamento e análise estatística

Para as análises de caracterização e de propriedades tecnológicas, as variáveis dependentes foram avaliadas pela análise de variância (ANOVA), e as médias foram comparadas utilizando-se o teste de Duncan, com nível de significância de 5 %, assim como no experimento com animais. (PIMENTEL-GOMES, 2000).

O programa estatístico utilizado foi o Statistical Analysis System (SAS), versão atualizada e licenciada para Universidade Federal de Viçosa ano de licença.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização química do sorgo integral

Os dados referentes à composição química aproximada dos grãos de sorgo neste estudo estão apresentados na Tabela 5, em base seca. Observou-se que os teores de água, lipídeos e carboidratos totais não diferiram ($p > 0,05$) entre as variedades. Todas as comparações de composição química a seguir foram realizadas na base seca.

Tabela 3 – Composição química das variedades de sorgo integral cru, em base seca.

Variedade	Teor de água (%)	Base seca			
		Lipídeos (%)	Carboidratos totais* (%)	Proteína (%)	Matéria mineral (%)
BRS 310	11,14 ^a	3,53 ^a	86,73 ^a	12,74 ^a	1,62 ^a
0307091	10,37 ^a	3,59 ^a	83,13 ^a	10,01 ^b	1,13 ^b
0307511	10,55 ^a	3,41 ^a	84,49 ^a	9,44 ^b	1,09 ^b

* por diferença

Médias seguidas de mesma letra verticalmente, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 % probabilidade.

O teor de água do sorgo em grãos pode variar de 8 a 12 % (DICKO et al., 2006). Entre variedades brasileiras a umidade abrange de 10,62 a 13,45 % do grão. As amostras avaliadas nesse trabalho apresentaram valores coerentes à literatura, o que corresponde a um total de matéria seca (cerca de 88 %) adequado para a conservação dos grãos (ANTUNES et al., 2007).

Os valores para lipídeos totais encontrados para a BRS 310 e para as variedades brancas foram superiores aos observados para o mesmo genótipo de pericarpo vermelho e outro de pericarpo branco, a BR 506, no trabalho de MARTINO et al. (2012). Os autores encontraram para a BR 506 2,36 % e para a BRS 310, 2,61 %.

Segundo o trabalho realizado por Dicko et al. (2006) para composição química aproximada do sorgo, os lipídeos podem corresponder de 1,5 a 6 % do

grão. No sorgo, esse componente possui maior concentração de ácidos graxos poli-insaturados, com conteúdo semelhante ao do milho (MEHMOOD et al., 2008).

Para os carboidratos totais, não houve diferença ($p > 0,05$) entre as variedades. Os resultados de todos os materiais estão acima da variação de carboidratos encontrada para genótipos de sorgo da EMBRAPA Milho e Sorgo, 65,03 % a 73,42 %, em base seca (MARTINO et al., 2012). O valor obtido para a BRS 310 foi superior (86,7 %) ao observado nesse trabalho (70,92 %).

A concentração de proteínas foi superior ($p < 0,05$) para a variedade de pericarpo vermelho (BRS 310) em relação às de pericarpo branco (0307091 e 0307511), as quais não diferiram entre si. Em comparação aos dados expostos por Martino et al. (2012), a BRS 310 apresentou valor próximo (13,29 %) ao encontrado no presente estudo (12,74 %). As variedades brancas 0307091 e 0307511 obtiveram valores inferiores (10,01 % e 9,44 %) a outra variedade branca da EMBRAPA, a BR 506 (12,97 %).

Para o conteúdo de matéria mineral as variedades brancas (1,13 % 0307091 e 1,09 % 0307511) apresentaram valores significativamente menores em comparação à variedade vermelha BRS 310 (1,62 %). Em oposição, Martino et al. (2012) encontraram para a variedade branca BR 506 1,93 %, de matéria mineral, enquanto a variedade vermelha BRS 310 obteve 1,46 %, em base seca.

Segundo Subramanian e Jambunathan (1982), o conteúdo de cinzas e de proteína apresenta correlação positiva. No atual estudo, observa-se comportamento condizente a essa observação, apesar de não ter sido realizada análise de correlação. A variedade BRS 310 apresentou maior teor protéico e matéria mineral em relação às variedades brancas. No entanto, o estudo de Martino et al. (2012) não observou tal relação, o que pode ser explicado pela safra.

5.2 Caracterização tecnológica do sorgo integral

5.2.1 Propriedades térmicas e de pasta do sorgo integral

As propriedades de pasta e térmicas das farinhas dos grãos analisadas estão apresentadas na Tabela 6. Pelo perfil amilográfico obtido com a variedade BRS 310 com maior valor absoluto para temperatura inicial de pasta (TIP) sugere-se maior compactação dos componentes estruturais do grão, evidenciado pela maior necessidade de energia, na forma de calor, para promover o inchamento do grânulo de amido. O maior teor de proteína desta variedade (Tabela 5) também pode determinar maior TIP, em comportamento similar ao que é relatado para o grão de arroz (YADAV e JINDAL, 2007).

Tabela 4 – Propriedades de pasta e térmicas das farinhas de sorgo integral cru.

Variedade	TIP (°C)	RVA				DSC	
		V _{máx} (RVU)	V _{final} (RVU)	Estabilidade (RVU)	TR (RVU)	ΔH (J/g)	T _g (°C)
BRS 310	88,8	902,5	2718,5	-7,0	1809,0	2,703	73,59
0307091	79,0	1422,0	3284,5	114	1976,5	3,370	72,63
0307511	86,3	1587,0	3619,0	167,5	2199,5	2,816	73,07

TIP – temperatura inicial de pasta; V_{máx} – viscosidade máxima; V_{final} – viscosidade final; TR – tendência à retrogradação; ΔH – entalpia de gelatinização; T_g – temperatura de transição vítrea.

Observa-se ainda na Tabela 6, que existe uma de a temperatura de transição vítrea (T_g) ser superior para a BRS 310, corroborando a evidência de maior organização estrutural dessa variedade. Esses resultados são coerentes ao observado no estudo de Beta et al. (2000), no qual foi identificado, por meio da correlação de Pearson, relação positiva entre a TIP e a T_g. Segundo esses autores, a estrutura do endosperma influencia as propriedades do amido do sorgo.

A estrutura mais compacta da BRS 310 é também indicada pela tendência de outros valores das propriedades de pasta serem inferiores aos das demais variedades. A viscosidade máxima (V_{máx}), a viscosidade final (V_{final}), a estabilidade e a tendência a retrogradação (TR) indicam baixa capacidade de interação com a água e alta estabilidade à agitação.

Conforme relatado, a Tg (temperatura de transição vítrea) observada estrutural dos componentes do grão de sorgo inteiro, incluindo gérmen, endosperma e pericarpo. Os valores de V_{máx} e TR são muito inferiores no amido do sorgo (332 RVU e 128 RVU) e na farinha do sorgo (204,8 RVU e 146,4 RVU) (BETA et al., 2000; LEE et al., 2002), confirmando a participação de outros constituintes, principalmente proteínas, na transformação do grão.

5.2.2 Classificação por tamanho da cariopse do sorgo integral

A classificação dos grãos por tamanho da cariopse foi sugerida por Wills e Ali (1983) como uma etapa prévia à decorticação do sorgo para otimizar o rendimento do processo. No caso da cocção, separar o material permite um cozimento mais uniforme, sem haver grãos excessivamente cozidos e, outros ainda crus.

Os grãos de maior tamanho possuem maior dureza e são associados à maior qualidade física e química. Maior concentração de proteínas, menor perda de matéria mineral, maior rendimento de moagem, e maior proporção de partículas desejáveis para o cuzcuz de sorgo foram algumas propriedades verificadas (ABOUBACAR e HAMAKER, 1999; LEE et al., 2002).

A classificação obtida antes da aplicação dos testes preliminares pode ser observada na Figura 5. A partir da análise dos dados, nota-se que todas as variedades apresentam maior proporção de grãos com tamanhos intermediários, > 2,80 mm (peneira #7) e > 2,36 mm (peneira #8). A variedade BRS 310 obteve uma porcentagem semelhante de grãos retidos nessas peneiras, enquanto as variedades brancas obtiveram maior quantidade de material na peneira #7.

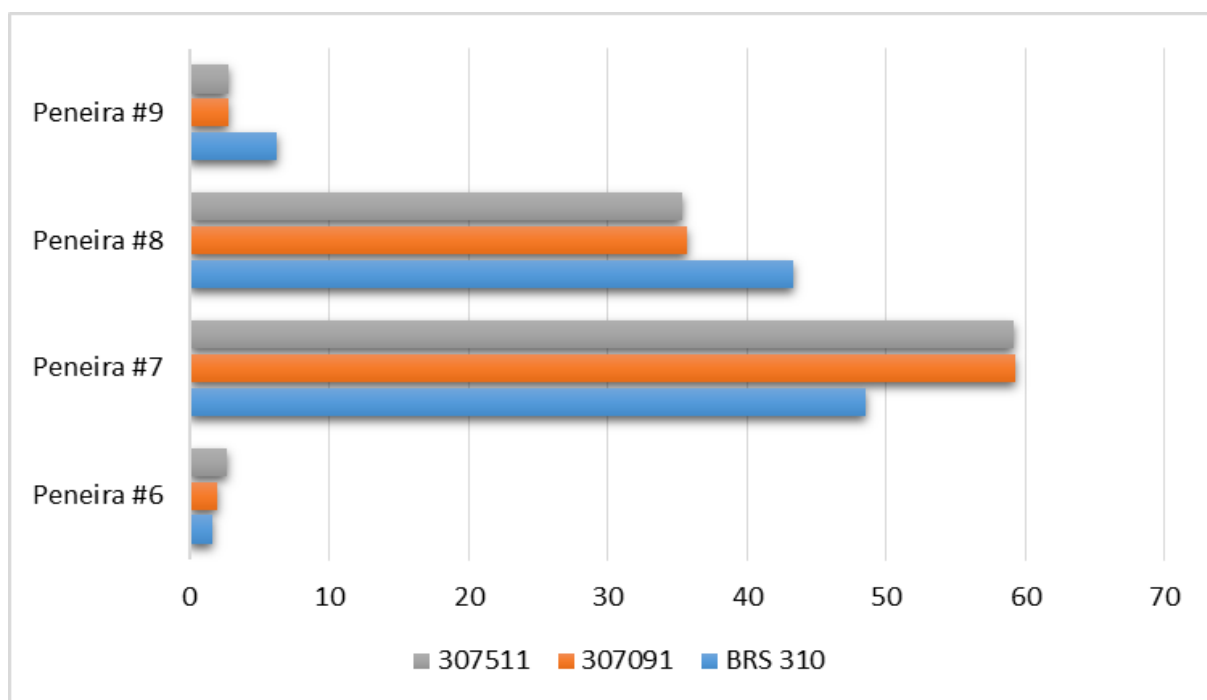


Figura 5 – Classificação por tamanho de cariopse de variedades de sorgo integral, expressa em porcentagem (Peneira #6: < 3,35 mm; Peneira #7: < 2,80 mm; Peneira #8: < 2,36 mm; Peneira #9: < 2,00).

Os grãos de sorgo, com tamanho grande, são geralmente preferidos na alimentação humana (FAO, 1995). Avaliação em texturômetro, revelou maior firmeza, menor pegajosidade e maior coesividade dos grãos > 3,36 mm cozidos (LEE et al. 2002). No entanto, a quantidade de grãos > 3,36 mm (peneira #6) não seria suficiente para a execução de todas as etapas do estudo, e por isso, optou-se por realizar os testes com os grãos > 2,80 mm (peneira #7). Apesar de não ser o maior, acredita-se que esse tamanho de cariopse também deve gerar boa aceitação pelos consumidores (apesar de a avaliação sensorial não ter sido um dos objetivos deste estudo).

Os grãos > 2,36 mm (peneira #8) também poderiam ser testados para a qualidade de cozimento. Grãos de sorgo de menor tamanho possuem alta capacidade de absorção de água (LEE et al., 2002), o que permite menor tempo de cozimento (ZACATARES, 2007), o que consiste em um ponto favorável.

As cariopses na peneira #6 devem ter um tempo de cozimento demasiado longo, e os grãos detidos na peneira #9 são muito pequenos para gerar um bom produto cozido. Essas observações, além do baixo percentual

dessas frações na classificação, inviabilizam o estudo das propriedades de cozimento para esses materiais. Portanto, sugere-se o uso desses grãos na fabricação de farinha de sorgo, bem como aqueles retidos na peneira #8.

A farinha produzida a partir dos grãos > 2 mm (peneira #9) devem gerar um produto com alto teor de fibras, aspecto muito interessante no incentivo à alimentação saudável. Os grãos > 3,35 mm (peneira #6) possuem mais endosperma, e por isso, podem originar farinha integral ou refinada para uso em panificação. O farelo produzido pode ser utilizado como ingrediente em formulações de alimentos ou como matéria-prima para extração de compostos bioativos (KAMATH et al., 2004; YANG et al., 2009; AUSTIN et al., 2012).

Para obter um bom produto cozido, a classificação do sorgo pelo tamanho da caripose tem que ser realizada para homogeneizar o material. No entanto, as frações não utilizadas para o cozimento de grão inteiro, possuem destinação apropriada para o não desperdício das mesmas.

5.2.3 Testes preliminares e propriedades de cozimento do grão de sorgo integral

Os testes preliminares determinaram o tempo de cozimento e a absorção de água adequada dos grãos de sorgo integral para cada uma das variedades estudadas, os quais foram utilizados na realização dos dois métodos de cozimento, “feijão” e “arroz”.

Foi observada diferença significativa ($p < 0,05$) entre as variedades para o tempo de cozimento e para a perda de sólidos, como exposto na Tabela 7. A variedade 0307091 obteve perda de sólidos solúveis igual a 0307511 e maior em comparação à BRS 310. A variedade BRS 310 apresentou menor tempo de cozimento em relação aos grãos de pericarpo branco (0307091 e 0307511), os quais não diferiram entre si.

Tabela 5 – Indicadores de qualidade de cozimento de grãos de sorgo integral.

Variedade	Tempo de Cozimento (min.)	Absorção de água (%)	Perda de sólidos solúveis (%)
BRS 310	47,7 ^b ± 1,3	228,74 ^a ± 7,99	3,40 ^b ± 0,13
0307091	52,7 ^a ± 2,7	235,54 ^a ± 2,13	6,55 ^a ± 2,12
0307511	53,5 ^a ± 1,1	227,64 ^a ± 8,25	5,95 ^{ab} ± 1,51

Médias seguidas de mesma letra verticalmente, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 % probabilidade.

O tempo de cozimento é um importante indicador de qualidade, o qual depende da taxa de absorção de água pelo grão. Embora tenha tempo de cozimento significativamente diferente, a absorção de água dos grãos não diferiu entre as variedades.

A qualidade de cozimento do sorgo, assim como de outros cereais, é influenciada por características físico-químicas do grão, como textura do endosperma, espessura do pericarpo, tamanho do grão, teor de água e grau de moagem (MURTY e HOUSE, 1982). Chama a atenção que a BRS 310 tenha exibido menor tempo de cozimento que a 0307091 e a 0307511, em virtude dos demais resultados de análise não corroborarem tal comportamento.

O endosperma vítreo do sorgo é constituído por uma estrutura proteica bem organizada e compacta (SECKINGER e WOLF, 1973; HOSENEY et. al., 1974; ROONEY e SERNA-SALDIVAR, 2000), o que torna mais longo o tempo de cozimento do grão (ZACATARES, 2007). A textura dessa fração do endosperma é comumente relacionada ao maior teor de proteínas no grão de sorgo (SECKINGER e WOLF, 1973; WATTERSON et. al., 1993). A variedade BRS 310, com maior teor protéico, deveria apresentar maior fração vítrea, e, conseqüentemente, maior tempo de cozimento.

Características intrínsecas dos grânulos de amido também podem influenciar o tempo de cozimento. Os dados das análises de DSC e RVA, todavia, indicam que a BRS 310 possui maior cristalinidade e grão mais compacto o que seria, portanto, compatível com um maior tempo de cozimento.

Os teores de água das variedades de sorgo estudadas foram estatisticamente iguais entre si, e o tamanho dos grãos foi padronizado

previamente para todas as amostras; desta forma também não explicam os resultados obtidos.

O cozimento do grão integral, ou seja, com pericarpo, tanto arroz quanto sorgo, demanda maior tempo e calor, quando comparado aos grãos polidos (JULIANO, 1985; ZACATARES, 2007). No caso do sorgo, a espessura do pericarpo é um fator importante durante o cozimento do grão inteiro (ROONEY et al. 1986 *apud* ZACATARES, 2007). Embora não tenha sido avaliada neste estudo, sugere-se que a espessura e composição do pericarpo na BRS 310 sejam responsáveis pelo menor tempo de cozimento.

Em relação a perda de sólidos solúveis dos grãos de sorgo, o resultado foi coerente ao tempo de cozimento, tendo a variedade BRS 310 apresentado a menor perda de sólidos (3,4 %) em relação às com pericarpo branco (6,55 % para 0307091 e 5,95 % para 0307511).

A perda de sólidos no cozimento de grãos de arroz é um importante indicador de qualidade, pois implica no perfil de textura do produto final (SINGH et al., 2005; MESTRES et al., 2011). Os resultados obtidos na análise de textura dos grãos cozidos foram coerentes ao percentual de perda de sólidos encontrado. A variedade BRS 310 obteve maior firmeza e menor perda de sólidos, a 0307091 apresentou menor firmeza e maior perda de sólidos e, por último, a 0307511 exibiu valores intermediários em ambas as medidas.

5.2.4 Análise de textura e rendimento de grãos cozidos

Pela análise de variância (ANOVA), não houve interação significativa ($p > 0,05$) entre as variedades de sorgo e os métodos de cozimento testados tanto para as medidas de textura quanto para o rendimento de grãos, como pode ser observado no Quadro 1 abaixo. O efeito das variedades foi significativo somente para firmeza. Para o fator “métodos”, houve diferença para firmeza e deformação. Na avaliação do rendimento de grãos não foi detectada diferença estatística para nenhuma das fontes de variação.

Quadro 1 – Resumo da ANOVA das medidas de textura e rendimento de grãos do experimento fatorial 3x2 entre variedades de sorgo e métodos de cozimento.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Firmeza	Deformação	Rendimento de grãos
Variedades	2	1249637,749 *	892669,682 n.s.	2,07480506 n.s.
Métodos de cocção	1	8229421,651 *	4765040,724 *	0,00619756 n.s.
Variedades x Métodos cocção	2	64394,162 n.s.	183521,268 n.s.	1,20748272 n.s.
Resíduo	12			
Total	17			

* Significativo a $p < 0,05$.

n.s. não significativo a $p < 0,05$.

A partir da aplicação do teste de médias, identificou-se que a BRS 310 exibiu maior firmeza (3778,6 g) em relação a 0307091(2986,8 g), como nota-se na Tabela 8. A 0307511 apresentou firmeza igual (3307,5 g) às demais variedades.

Tabela 6 – Médias e desvio padrão da firmeza, deformação e rendimento de grãos de sorgo integral após o cozimento.

Variedades	Firmeza (g)	Deformação (g s)	Rendimento de grãos
BRS 310	3430,3 ^a ± 1163,4	2307,6 ^a ± 1116,7	2,45 ^a ± 0,13
0307091	2522,4 ^b ± 944,1	1553,4 ^a ± 697,4	2,58 ^a ± 0,09
0307511	2895,1 ^{ab} ± 749,1	1789,7 ^a ± 520,8	2,65 ^a ± 0,17

Médias seguidas de mesma letra verticalmente, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5 % probabilidade.

As características químicas do sorgo, assim como para o arroz, interferem nas propriedades de qualidade do produto final. No presente estudo, a variedade com maior teor protéico, a BRS 310, também foi a que apresentou maior firmeza. No arroz, a maior concentração de proteínas resulta em um produto cozido mais firme (VIDAL et al., 2007; XIE et al., 2008; MESTRES et al., 2011). Segundo Martin e Fitzgerald, (2002), a rede protéica formada por

ligações dissulfídicas limita a absorção de água pelo amido do arroz, e por isso, altera o comportamento da pasta, aumentando a viscosidade e rigidez. Um mecanismo semelhante pode explicar o resultado encontrado.

As propriedades do amido apresentadas pelas variedades de sorgo trabalhadas também estão de acordo com o resultado de firmeza dos grãos. A BRS 310 obteve maior TIP e menor $V_{m\acute{a}x}$, as quais indicam menor maciez do grão cozido. Entretanto, no trabalho de Cagampang e Kirleis (1984), as propriedades de pasta, como o pico de viscosidade e a viscosidade da pasta a quente, não apresentaram correlação significativa com a textura e a rigidez do gel de amido.

No caso do arroz, alguns estudos mostram que existe relação entre as propriedades do amido e a textura do grão cozido. A firmeza do grão cozido apresentou relação negativa com estabilidade, e positiva com a $V_{m\acute{a}x}$ e a V_{final} (CHUNG et al., 2003; XIE et al., 2006). Tais resultados corroboram àqueles observados neste estudo.

O preparo de grãos de sorgo como substituto de arroz é feito preferencialmente com grãos com maior proporção de endosperma vítreo, após a remoção do pericarpo (MURTY et al., 1982; YOUNG et al., 1993). Esse tipo de grão, principalmente de maior tamanho, quando cozido apresenta maior firmeza, menor coesão e pegajosidade (LEE et al., 2002), características exigidas pelo mercado brasileiro de arroz (BASSINELLO et al., 2005-2010). No entanto, além do tipo de grão de sorgo, é importante estudar a melhor forma de preparo para obter um produto final com qualidade, boa aceitação sensorial e no menor tempo possível.

A textura é um dos atributos mais importantes para a aceitação do produto final pelo consumidor (SZCZESNIAK, 1963). Para o arroz, além das características químicas, o método de cozimento também interfere na qualidade final do produto cozido (JULIANO, 1985). O procedimento de preparo também implica em diferença de qualidade final do grão de feijão cozido (SIQUEIRA et al., 2013) No presente trabalho, as medidas de textura avaliadas foram diferentes entre os métodos, feijão e arroz, aplicados nos grãos de sorgo, como apresentado na Tabela 9. O método arroz obteve maior firmeza (maior pico de força) e menor deformação (maior área do pico) em relação ao método feijão.

Tabela 7 – Médias e desvio padrão da firmeza, deformação e rendimento de grãos de sorgo submetidos aos métodos de cocção “arroz” e “feijão”.

Método	Firmeza (g)	Deformação (g s)	Rendimento de grãos
Arroz	3625,4 ^a ± 815,3	2398,1 ^a ± 828,6	2,56 ^a ± 0,12
Feijão	2273,1 ^b ± 610,4	1369,1 ^b ± 440,4	2,56 ^a ± 0,18

Médias seguidas de mesma letra verticalmente, não diferem entre si pelo teste t a 5 % probabilidade.

A diferença entre os métodos foi a proporção de água utilizada para a cocção dos grãos. No método arroz, o processo foi realizado com limitação de água, o que pode ter provocado um inchamento limitado dos grãos, tornando-os mais firmes (maior pico) e com maior resistência à deformação (maior área).

A análise de RVA da farinha dos grãos cozidos sob ambos os métodos mostrou que os valores de TIP e estabilidade são superiores para o método arroz comparado ao feijão. Essa informação pode indicar que o método arroz manteve os grânulos de amido mais íntegros em função da limitação de água disponível, corroborando a hipótese sugerida. Nota-se que a textura do sorgo sob o método feijão foi inferior ao método arroz, assim como os dados da literatura para esses grãos.

A textura instrumental do arroz cozido apresenta ampla variação entre os diversos estudos, porém todas foram superiores em comparação aos dados do presente trabalho. Chung et al. (2003) encontraram valores para firmeza que variaram de 7804,7 a 10749,8 g, e para deformação, uma faixa de 122,7 a 478,1 g.s., para 100 amostras de arroz. Singh et al. (2005) obtiveram picos entre 5812,3 g e 27124 g, para 23 cultivares de arroz. No estudo de Ong e Blanshard (1995), grãos de arroz cozidos classificados sensorialmente como macios, obtiveram valores instrumentais de firmeza entre 43541,8 e 57206,1 g.

Estudos de análise sensorial de feijão identificaram que as variedades com maior maciez foram as preferidas entre os consumidores (CARNEIRO et al., 2005; MKANDA, 2007). Os dados encontrados por Siqueira et al. (2013) para firmeza de grãos de feijão, cozidos por diferentes metodologias, são muito inferiores aos observados para o sorgo submetido ao método feijão. O

cozimento com água fervente em fogão por 60 minutos obteve grãos de feijão com 187,3 g de firmeza, e a cocção em autoclave a 115 °C por 20 minutos resultou em firmeza de 78,5g dos grãos.

Quanto ao rendimento de grãos, não foi verificada diferença significativa entre as variedades e entre os métodos, como observado anteriormente no Quadro 1. O rendimento de grãos expressa o aumento de volume adquirido pelos mesmos durante o cozimento. Esse dado está de acordo com os resultados das variedades para absorção de água, os quais também não diferiram estatisticamente entre si.

De acordo com os dados coletados nesse trabalho observaram-se algumas divergências com a literatura entre os indicadores de qualidade e as características químicas das variedades de sorgo estudadas. A BRS 310 apresentou menor tempo de cozimento, apesar do maior teor proteico, e maiores valores para TIP e Tgel. Entretanto, a concentração de proteínas, a perda de sólidos e o perfil de textura foram coerentes para todas as variedades. Para maior elucidação da diferença no comportamento das variedades, deve-se verificar a interferência do pericarpo no cozimento, por meio da análise da qualidade de cozimento e de consumo dos grãos de sorgo após o processo de decorticação. A análise de vitreosidade dos grãos também constitui em informação importante para maiores esclarecimentos.

O sorgo como substituto do arroz deve atender a preferência do mercado consumidor brasileiro, originando um produto com grãos macios, porém secos e soltos. O sorgo cozido sob o método arroz apresentou grãos mais firmes e com aparência menos agradável para um produto que substituiria o arroz. Entretanto, uma análise sensorial, realizada juntamente com o sorgo submetido ao método feijão, permitiria verificar qual desses métodos de cozimento seria mais aceito pelo consumidor. Acredita-se que o método feijão mostrou ser o melhor para a obtenção do sorgo cozido, pois parece ter provocado maior cozimento do grão. Sugere-se, ainda, o estudo de uma preparação a base de sorgo semelhante ao feijão, grãos em caldo, com cozimento sob pressão, a fim de agilizar o processo de cocção e permitir o desenvolvimento de um método caseiro de preparação do sorgo.

6. CONCLUSÕES GERAIS

A composição centesimal do sorgo entre as variedades foi diferente para o teor de proteínas e cinzas. As propriedades de pasta da BRS 310 parece ter se distinguido das demais, caracterizando um grão com maior compactação de estrutura.

Os grãos de tamanho superior a 2,80 mm e inferior a 3,35 mm foram escolhidos para a realização do trabalho, porém o material maior que 2,36 mm também devem ser considerados para a obtenção de sorgo integral cozido. As demais frações podem ser aproveitadas na produção de farinhas integrais ou na extração de compostos bioativos.

O tempo de cocção do sorgo foi superior ao do arroz, conforme dados da literatura. A perda de sólidos foi coerente com a textura obtida do grão cozido para cada variedade. Para o resultado de tempo de cozimento supõe-se que a espessura e composição do pericarpo podem ter sido determinantes no comportamento da variedade BRS 310. Sugere-se, portanto, realizar a decorticação dos grãos a fim de avaliar a interferência do pericarpo na qualidade de cozimento destas variedades.

O método arroz gerou um produto com maior firmeza em relação ao método feijão, porém com aspecto pegajoso. A análise sensorial dos grãos de sorgo cozidos por ambos os métodos permitirão conhecer a forma de consumo desse cereal preferida pelas pessoas.

Finalmente, o grão de sorgo cozido é um produto promissor para introdução no mercado brasileiro, como opção de alimentação. Algumas variações de processo devem ser investigadas em busca de melhor qualidade sensorial, tecnológica e nutricional. A identificação de outros componentes como fenólicos totais, fibras e amido resistente, complementar o estudo das propriedades de cozimento, e permitirá melhor conhecimento das características nutricionais das variedades, o que favorece seu lançamento como produto.

7. SUGESTÕES DE POSSÍVEIS TRABALHOS

A partir das informações obtidas com esse estudo, sugerem-se possíveis trabalhos que podem contribuir para o desenvolvimento de forma caseira de preparação do sorgo, permitindo sua inclusão no cardápio dos brasileiros.

- Qualidade de cozimento dos grãos decorticados processados pelos métodos arroz e feijão, aplicados nesse estudo;
- Qualidade de cozimento dos grãos integrais processados em panela de pressão;
- Qualidade de cozimento dos diferentes tamanhos de cariopse;
- Qualidade de cozimento dos grãos com a presença de outros ingredientes, como óleo de soja e sal;
- Aceitação sensorial de preparações salgadas de sorgo em grãos;
- Qualidade nutricional de proteínas dos grãos cozidos sob o método de maior aceitação sensorial.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC. AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTRY. **Approved methods**. 10th edition. Method 66–50. St. Paul, MN: American Assn. of Cereal Chemistry, 1999.

ABDELGADIR, M.; ABBAS, M.; JÄRVI, A.; ELBAGIR, M.; ELTOM, M.; BERNE, C. Glycaemic and insulin responses of six traditional Sudanese carbohydrate-rich meals in subjects with Type 2 diabetes mellitus. **Diabetic Medicine**, v. 22, pp. 213–217, 2004.

ABOUBACAR, A.; HAMAKER, B. R. Physicochemical properties of flours that relate to sorghum couscous quality. **Cereal Chemistry**, v. 76, pp. 308–313, 1999.

AKINGBALA, JO; ROONEY, LW; PALACIO, LG; SWEAT, VE. Thermal properties of sorghum starches. In: **Proceedings of an International Symposium on Sorghum Grain Quality**, ed by Rooney LW and Murty DS. Hyderabad, India, 28–31 October 1981. ICRISAT. Patancheru, India, pp. 231–241, 1982.

AL-MAMARY, M.; AL-HABORI, M.; AL-AGHBARI, A.; AL-OBEIDI, A. In vivo effects of dietary sorghum tannins on rabbit digestive enzymes and mineral absorption. **Nutrition Research**, v. 21, pp. 1393–1401, 2001.

ANTUNES, R.C.; RODRIGUEZ, N.M.; GONÇALVES, L.C.; RODRIGUES, J.A.S.; BORGES, I.; BORGES, A.L.C.C.; SALIBA, E.O.S. Composição bromatológica e parâmetros físicos de grãos de sorgo com diferentes texturas do endosperma. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.59, n.5, pp.1351-1354, 2007.

AOAC. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. Gaithersburg, MD: AOAC International, 1998.

ARMSTRONG, W. D.; ROGLER, J. C.; FEATHERSTROM, W. R. Effect of Tannin Extraction on the Performance of Chicks Fed Bird Resistant Sorghum Grain Diets. **Poult. Sci.**, v. 53, pp. 714- 720, 1974.

AUSTIN, D.L.; TURNER, N.D.; MCDONOUGH, C.M.; ROONEY, L.W. Effects of Sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] Crude Extracts on Starch Digestibility, Estimated Glycemic Index (EGI), and Resistant Starch (RS) Contents of Porridges. **Molecules**, v. 17, pp. 11124-11138, 2012.

AWIKA, J. M.; DYKES, L.; GU, L.; ROONEY, L. W.; PRIOR, R. L. Properties of 3-Deoxyanthocyanins from Sorghum. **J. Agric. Food Chem.**, v. 52, n. 14, pp. 4388-4394, 2004b.

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

AWIKA, J. M.; ROONEY, L. W.; WANISKA, R. D. Anthocyanins from black sorghum and their antioxidant properties. **Food Chemistry**, v. 90, n. 1-2, pp. 293-301, 2004a.

AXTELL, J.D., KIRLEIS, A.W., HASSEN, M.M., D'CROZ MASON, N., MERTZ, E.T.; MUNCK, L. Digestibility of sorghum proteins. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 78, pp. 1333-1335, 1981

BACH, K. E. K.; MUNCK, L. Dietary fiber content and composition of sorghum and sorghum-based foods. **Journal of Cereal Sciences**, v. 3, pp. 153-164, 1985.

BASSINELLO, P. Z.; ROCHA, M. S.; COBUCCI, R. M. A.; Avaliação de Diferentes Métodos de Cocção de Arroz de Terras Altas para Teste Sensorial. Comunicado Técnico no 84, EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Dez. 2004.

BASSINELO, P. Z.; BOÊNO, J. A.; ASCHERI, D. P. R.; CARVALHO, R. N. Qualidade de grãos. Agência de Informação Embrapa: Arroz, [entre 2005 e 2010]. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fok5vmke02wyiv88bhgp5p9zje7m7.html>> Acesso em: 23 mar. 2012.

BELTON, P. S.; DELGADILLO, I.; HALFORD, N. G.; SHEWRY, P. R.; Kafirin structure and functionality. **J. Cereal Sci.** v. 44, pp. 272-286, 2006.

BENDER, A.E.; DOELL, B.H. Note on the determination of net protein utilization by carcass analysis. **British Journal Nutrition**, v. 11; p. 138-143, 1957.

BETA, T.; CORKE, H. Genetic and environmental variation in sorghum starch. **Journal of Cereal Science**. v. 34, pp. 261-268, 2001.

BETA, T.; CORKE, H.; ROONEY, L. W.; TAYLOR, J. R. N. Starch properties as affected by sorghum grain chemistry. **J Sci Food Agric**. v. 81, pp. 245-251, 2000.

BLANCHET, C. Evaluation of sorghum genotypes for agronomic and food quality characteristics for Pitimi (Rice-like product) Thesis. Texas A&M University, College Station, TX. 1987.

BOUDRIES, N.; BELHANECHÉ, N.; NADJEMI, B.; DEROANNE, C.; MATHLOUTHI, M.; ROGER, B.; SINDIC, M. Physicochemical and functional properties of starches from sorghum cultivated in the Sahara of Algeria. **Carbohydrate Polymers**, v. 78, pp. 475–480, 2009.

BUTLER, L. G. Chapter 5 (Sorghum Phenolics) Toxicants of Plant Origin; In: Cheeke, P. R., Vol. IV, p. 95-121, CRC Press: Boca Raton, FL, 1989.

CAGAMPANG, G.B.; KIRLEIS, A.W. Relationship of grain hardness to selected physical and chemical measurements of grain quality. **Cereal Chem.**, v. 61, n. 2, 1984.

CARNEIRO, J. C. S.; MINIM, V. P. R.; SOUZA Jr., M. M.; CARNEIRO, J. E. S. ARAÚJO, G. A. A. Perfil Sensorial e Aceitabilidade de Cultivares de Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, 25(1), pp. 18-24 jan.-mar. 2005.

CARVALHO, C. W. P.; MITCHELL, J. R. Effect of Sucrose on Starch Conversion and Glass Transition of Nonexpanded Maize and Wheat Extrudates. **Cereal Chem**. v. 78, n 3, pp. 342-348, 2001.

CHANDRASHEKAR, A.; KIRLEIS, A.W. Influence of protein on starch gelatinisation in sorghum. **Cereal Chemistry**. v. 65, pp. 457–462, 1988.

CHUNG, A. HAN, M. SALEH, AND J-F. MEULLENET. Prediction of Long-Grain Rice Texture from Pasting Properties. B.R. Wells Rice Research Studies, **AAES Research Series**, pp. 355 – 361, 2003.

CNPMS/EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa em Milho e Sorgo/ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistemas de Produção, 2 ISSN 1679-012X Versão Eletrônica, 6^a edição Set./2010. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo.htm>. Acesso em 30 de janeiro de 2011.

COELHO, A. M. et al. Seja o doutor do seu sorgo. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 100, pp. 1-24, 2002.

CORREIA, I.; NUNES, A.; BARROS, A. S.; DELGADILLO, I. Comparison of the effects induced by different processing methods on sorghum proteins. **Journal of Cereal Science**. v. 51, pp. 146–151, 2010.

CUEVAS, R. P.; FITZGERALD, M. Linking starch structure to rice cooking quality. **IREC Farmers' Newsletter**, n. 177, pp. 16-17, 2008.

DEGÁSPARI, C. H.; WASZCZYNSKYJ, N. Desenvolvimento de aplicações tecnológicas para sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). Alim. Nutr. São Paulo, v. 9, pp. 17 – 26, 1998.

DICKO, M. H., GRUPPEN, H., TRAORÉ, A. S., VORAGEN, A. G. J., & BERKEL, W. J. H. Sorghum grain as human food in Africa: Relevance of content of starch and amylase activities. **African Journal of Biotechnology**, v. 5, n. 5, pp. 384–395. 2006.

DLAMINI, N. R.; TAYLOR, J.R.N.; ROONEY, L. W. The effect of sorghum type and processing on the antioxidant properties of African sorghum-based foods. **Food Chemistry**, v. 105, pp. 1412–1419, 2007.

DUODU, K. G.; NUNES, A.; DELGADILLO, I.; PARKER, M. L.; MILLS, E. N. C.; BELTON, P. S.; TAYLOR, J. R. N. Effect of Grain Structure and Cooking on Sorghum and Maize in vitro Protein Digestibility. **Journal of Cereal Science**, v. 35, pp. 161–174, 2002.

DUODU, K. G.; TAYLOR, J. R. N.; BELTON, P. S.; HAMAKER, B. R. Factors affecting sorghum protein digestibility. **J. Cereal Sci.** v. 38, pp. 117-131, 2003.

DYKES L. ; ROONEY, L. W.; WANISKA, R. D.; ROONEY, W. L. Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of Sorghum Grains of Varying Genotypes. **J. Agric. Food Chem.**, v. 53, pp. 6813-6818, 2005.

DYKES, L.; ROONEY, L. W. Sorghum and millet phenols and antioxidants. **Journal of Cereal Science** v. 44, pp. 236–251, 2006.

EARP, C.F.; McDONOUGH, C.M.; ROONEY, L.W. Microscopy of pericarp development in the caryopsis of Sorghum bicolor (L.) Moench. **Journal of Cereal Science.** v. 39, pp. 21–27, 2004.

ELKHALIFA, A. E. O.; CHANDRASHEKAR, A.; MOHAMED, B.E.; EI TINAY, A.H. Effect of reducing agents on the in vitro protein and starch digestibilities of cooked sorghum. **Food Chemistry.** v. 66, pp. 323-326, 1999.

EZEOGU, L.I.; DUODU, K.G.; TAYLOR, J.R.N. Effects of endosperm texture and cooking conditions on the in vitro starch digestibility of sorghum and maize flours. **Journal of Cereal Science.** v. 42, pp. 33–44, 2005.

FAO. Sorghum and millets on human nutrition. **FAO Food and nutrition series**, n. 27, 1995. Disponível em: <http://www.fao.org>. Acesso em: 11 de novembro de 2011.

FAO/ICRISAT. The world sorghum and millets economies: facts, trends and outlook. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. 68p. 1996.

FAOSTAT data. (2013). Food and Agricultural Organization of the United Nations. <<http://www.fao.org/>>.

GAFFA, T.; YOSHIMOTO, Y.; HANASHIRO, I.; HONDA, O.; KAWASAKI, S.; TAKEDA, Y. Physicochemical Properties and Molecular Structures of Starches

from Millet (*Pennisetum typhoides*) and Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) Cultivars in Nigeria. **Cereal Chem.** v. 81, n. 2, pp. 255–260, 2004.

HAHN, K. H.; ROONEY, L. W.; EARP, C. R. Tannins and Phenols of Sorghum. **Cereal Foods World**, v. 29, pp. 776-779, 1984.

HAMAKER, B. R., MOHAMED, A. A., HABBEN, J. E., HUANG, C. P., LARKINS, B. A. Efficient procedure for extracting maize and sorghum kernel proteins reveals higher prolamin contents than the conventional method. **Cereal Chem.** v. 72, pp. 583-588, 1995.

HAMAKER, B. R.; BUGUSU, B. A. Overview: sorghum proteins and food quality. In: Belton, P. S. and Taylor, J. R. N. eds. Afripro. **Workshop on the Proteins of Sorghum and Millets**: Enhancing nutritional and functional properties for Africa. Pretoria, South Africa, 2-4 April, 2003. Disponível em <http://www.afripro.org.uk/papers/Paper08Hamaker.pdf>. Acesso em: 11 de janeiro de 2011.

HAMAKER, B.R., MERTZ, E.T., KIRLEIS, A.W. AND AXTELL, J.D. Effect of cooking on the protein profiles and pepsin digestibility of sorghum and maize, **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v. 34, pp. 647-649, 1986.

HAMAKER, B. R.; KIRLEIS, A. W.; BUTLER, L. G.; AXTELL, J. D.; MERTZ, E. T. Improving in vitro Digestibility of Sorghum with Reducing Agents. **Roc. Natl. Acad. Sci.**, v. 4, pp. 626- 628, 1987.

HOSENEY, R.C.; DAVIS, A.B.; HERBERS, L.H. Pericarp and endosperm structure of sorghum grain shown by scanning electron microscopy. **Cereal Chemistry** v. 51, pp. 552–558, 1974.

ICRISAT. ICRISAT Strategic Plan to 2020 Inclusive Market-Oriented Development for Smallholder Farmers in the Tropical Drylands. Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. 60 p. ISBN 978-92-9066-536-6. Order code BOE 052, 2010.

ICRISAT. Sorghum, a crop of substance. (In En.) Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. 97 p. ISBN 92-9066-473-8. Order code GAE 049, 2004.

INTERNATIONAL CEREAL CHEMISTRY; NEWPORT SCIENTIFIC, RVA Applications Manual for the Rapid Visco Analyser, Austrália, 1998; ICC.INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CEREAL SCIENCE AND TECHNOLOGY. **ICC Standard Methods**, 1996, Method n.º 162: Rapid Pasting Method using the Newport Rapid Visco Analyser, Austrália.

JULIANO, B. O. **Rice – Chemistry and Technology**. St. Paul. Minnesota, AACC, 432p. 1985.

JULIANO, B.O., PEREZ, C.M. Major factors affecting cooked milled rice hardness and cooking time. **Journal of Texture Studies**. v. 14, pp. 235-243, 1983.

JULIANO, B.O., PEREZ, C.M., BARBER, S., BLAKENEY, A.B., IWASAKI, T., SHIBUYA, N., KENEASTER, K., CHUNG, S.O., LAIGNELET, B., LAUNAY, B., DEL MUNDO, A., SUZUKI, H., SHIKI, J., TSUJI, S., TOKOYAMA, J., TATSUMI, K., WEBB, B.D. International cooperative comparison of instrument methods for cooked rice texture. **Journal of Texture Studies**, v. 12, pp. 17-38, 1981.

KAMATH, V. G.; CHANDRASHEKAR, A.; RAJINI, P.S. Antiradical properties of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) flour extracts. **Journal of Cereal Science**. v. 40, pp. 283–288, 2004.

KIM, S. K.; RHEE, C. O. Analysing and improving the texture of cooked rice. In: KILCAST, D. **Texture in food** – Volume 2: Solids foods. Woodhead Publishing Ltd and CRC Press LLC, pp. 451-474, 2004.

LAKSHIMI, K. B.; VIMALA, V. Hypoglycemic effect of selected sorghum recipes. **Nutrition Research**, Vol. 16, No. 10, pp. 1651-1658.1996

LÉDER, I. SORGHUM AND MILLETS. In: **Cultivated Plants, Primarily as Food Sources**, [Ed. György Füleky], in Encyclopedia of Life Support Systems

(EOLSS), Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, UK, 2004, [<http://www.eolss.net>].

LEE, W. J.; PEDERSEN, J. F.; SHELTON, D. R. Relationship of sorghum kernel size to physiochemical, milling, pasting and cooking properties. **Food Research International**, v. 35, pp. 643-649, 2002.

MARTIN, M., FITZGERALD, M.A. Proteins in rice grains influence cooking properties! **Journal of Cereal Science**, v. 36, pp. 285-294, 2002.

MARTINO, H. S. D.; TOMAZ, P. A.; MORAES, É. A.; CONCEIÇÃO, L. L.; OLIVEIRA, D. S.; QUEIROZ, V. A. V.; RODRIGUES, J. A. S.; PIROZI, M. R.; PINHEIRO-SANT`ANA, H. M.; RIBEIRO, S. M. R. Chemical characterization and size distribution of sorghum genotypes for human consumption. **Rev Inst Adolfo Lutz**, 71(2), pp. 337-44, 2012.

MATALANIS, A.M.; CAMPANELLA, O.H.; HAMAKER, B.R. Storage retrogradation behavior of sorghum, maize and rice starch pastes related to amylopectin fine structure. **Journal of Cereal Science**, v. 50, pp. 74–81, 2009.

MEHMOOD, S.; ORHAN, I.; AHSAN, Z.; ASLAN, S.; GULFRAZ, M. Fatty acid composition of seed oil of different Sorghum bicolor varieties. **Food Chemistry**, Barking, v. 109, n. 4, pp. 855-859, 2008.

MERTZ, E.T., HASSEN, M.M., CAIRNS-WHITTERN, C., KIRLEIS, A.W., TU, L.; AXTELL, J.D. Pepsin digestibility of proteins in sorghum and other major cereals. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 81, pp. 1-2, 1984.

MESTRES, C.; RIBEYRE, F.; PONS, B.; FALLET, V.; MATENCIO, F. Sensory texture of cooked rice is rather linked to chemical than to physical characteristics of raw grain. **Journal of Cereal Science**, v. 53, pp. 81-89, 2011.

MITARU, B. N.; REICHERT, R. D.; BLAIR, R. Improvement of Nutritive Value of High-tannin Sorghums for Broiler Chickens by High Moisture (reconstitution). **Poult. Sci.**, v. 62, pp. 2065, 1983.

MKANDA, A. V. Relating consumer preferences to sensory and physicochemical properties of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). MSc (Agric) Food Science and Technology. Department of Food Science. University of Pretoria, South Africa, 112p. 2007.

MOHARRAM, Y.G.; YOUSSEF, A.M.A. Sorghum grain and quality of Its edible products. pp. 111-146. In: Charalambous, G. (Ed.), **Food Flavors: Generation, Analysis and Process Influence**, 1995.

MORAES, É. A., QUEIROZ, V. A. V.; SHAFFERT, R. E.; COSTA, N. M. B.; NELSON, J. D.; RIBEIRO, S. M. R.; MARTINO, H. S. D. In vivo protein quality of new sorghum genotypes for human consumption. **Food Chemistry**, 2012a.

MORAES, É. A.; NATAL, D. I. G.; QUEIROZ, V. A. V.; SCHAFFERT; R. E.; CECON, P. R.; DE PAULA, S. O.; BENJAMIM, L. A.; RIBEIRO, S. M. R.; MARTINO, H. S. D. Sorghum genotype may reduce low-grade inflammatory response and oxidative stress and maintains jejunum morphology of rats fed a hyperlipidic diet. **Food Research International**, v. 49, pp. 553–559, 2012b.

MURTY, D. S.; PATIL, H. D.; HOUSE, L. R. Processing and cooking quality characters in sorghum. In: Salunkhe, D.K.; Chavan, J. K. Jadhav, S. J. Nutritional and processing quality of sorghum. **Oxford e IBH Publishing CO.**, pp. 156-170, 1982.

MURTY, D.S.; HOUSE, R.L. Cultivar difference for gel consistency in sorghum. In: **Proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality**, ed by Rooney, L.W. e Murty, ICRISAT. Patancheru, India, pp. 231-241, 1982.

NIBA, L. L.; HOFFMAN, J. Resistant starch and b-glucan levels in grain sorghum (*Sorghum bicolor* M.) are influenced by soaking and autoclaving. **Food Chemistry**, v. 81, pp. 113–118, 2003.

O'KENNEDY, M.M.; GROOTBOOM, A.; SHEWRY, P.R. Harnessing sorghum and millet biotechnology for food and health. **Journal of Cereal Science**. v. 44, pp. 224–235, 2006.

OECD/FAO. Agricultural Outlook 2010-2019. Organization for Economic Co-operation and Development/Food and Agriculture Organization of United Nations. ISBN 978-92-64-08376-9. 2010.

ONG, M. H.; BLANSHARD, J. M. V. Texture determinants in cooked, parboiled rice. I: Rice starch amylose and the fine structure of amylopectin. **Journal of Cereal Science**, v. 21, pp. 251–260, 1995.

ORIA, M. P.; HAMAKER, B. R.; AXELL, J. D.; HUANG, C. P. A highly digestible sorghum mutant cultivar exhibits a unique folded structure of endosperm protein. **Proc. Natl Acad. Sci.**, v. 97, n. 10, pp. 5065-5070, 2000.

ORIA, M. P.; HAMAKER, B. R.; SCHULL, J. M. In Vitro Protein Digestibility of Developing and Mature Sorghum Grain in Relation to alfa, beta, and gama-Kafirin Disulfide Crosslinking. **Journal of Cereal Science**, v. 22, pp. 85-93, 1995.

PAIVA, C. L.; QUEIROZ, V. A. V.; RODRIGUES, J. A. S. Estudos sensoriais para determinação da vida de prateleira de barra de cereais com pipoca de sorgo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.11, n.3, pp. 302-311, 2012.

PEREIRA, M.A.; JACOBS JUNIOR, D.R.; PINS, J.J.; RAATZ, S.K.; GROSS, M.D.; SLAVIN, J.L.; SEAQUIST, E.R. Effect of whole grains on insulin sensitivity in overweight hyperinsulinemic adults. *American Journal of Clinical Nutrition*, v.75, p.848-855, 2002.

PEREZ, C. M.; JULIANO, B. O. Indicators of eating quality for non-waxy rices. **Food Chemistry**, v. 4. pp. 185-195, 1979.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 14 ed. Piracicaba, 2000. 477p.

PRICE, M. L.; HAGERMAN, A. E.; BUTLER, L. G. Tannin in Sorghum Grain: Effect of Cooking on Chemical Assays and Antinutritional Properties in Rata. **Nutr. Rep. Int.**, v. 21, p. 761- 767, 1980.

QUEIROZ, V. A. V.; MORAES, E. A.; SCHAFFERT, R. E.; MOREIRA, A. V.; RIBEIRO, S. M. R.; MARTINO, H. S. D. 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, pp. 180-195, 2011.

QUEIROZ, V. A. V.; CARNEIRO, H. L.; DELIZA, R.; RODRIGUES J. A. S.; VASCONCELLOS, J. H.; TARDIN, F. D.; QUEIROZ, L. R. Genótipos de sorgo para produção de barra de cereais. **Pesq. agropec. bras.**, v.47, n.2, p.287-293, fev. 2012.

RAGAE, S.; ABDEL-AAL, E. M. Pasting properties of starch and protein in selected cereals and quality of their food products. **Food Chemistry**. v. 95, p. 9–18, 2006.

RIBAS, P. M. Sorgo: Introdução e Importância econômica. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, Documentos, 26, 16p, 2003.

ROM, D.L., SHULL, J.M., CHANDRASHEKAR, A. AND KIRLEIS, A.W. Effects of cooking and treatment with sodium bisulfate on in vitro protein digestibility and microstructure of sorghum flour. **Cereal Chemistry**., v. 69, pp. 178-181, 1992.

ROONEY, L. W.; MURTY, D. S. Evaluation of sorghum food quality. **International Symposium on Sorghum**, 2-7 Nov 81, Patancheru, A.P., India. ICRISAT. 1982

ROONEY, L. W.; SERNA-SALDIVAR, S. O. Sorghum. In: Kulp, K. and Ponte, J. G., Jr. eds. **Handbook of Cereal Science and Technology**, 2nd edn. New York: Marcel Dekker, pp. 149-176, 2000.

SANG, Y.; BEAN, S.; SEIB, P. A.; PEDERSEN, J.; SHI, Y. Structure and Functional Properties of Sorghum Starches Differing in Amylose Content. **J. Agric. Food Chem.** v. 56, pp. 6680–6685, 2008.

SCHOBERT, T.J., BEAN, S. Sorghum and Maize. In: Arendt, E.K. and Bello, F.D. editors. **Gluten-Free Cereal Products and Beverages**. **Academic Press**. Chapter 5. p. 101-118, 2008.

SECKINGER, H. L.; WOLF, M. J. Sorghum Protein Ultrastructure as it Relates to Composition. **Cereal Chemistry**, v. 50, n.4, pp. 455-465, 1973.

SHULL, J. M.; WATTERSON, J. J.; KIRLEIS, A. W. Proposed nomenclature for the alcohol-soluble proteins (kafirins) of Sorghum bicolor (L. Moench) based on molecular weight, solubility, and structure. **J. Agric. Food Chem.** v. 39, pp. 83-87, 1991.

SHULL, J.M.; WATTERSON, J.J.; KIRLEIS, A.W. Purification and immunocytochemical localization of kafirins in Sorghum bicolor (L. Moench) endosperm. **Protoplasma**. v. 171, pp. 64–74, 1992.

SILVA, A. G.; BARROS, A. S.; SILVA, L. H. C. P.; MORAES, E. B.; Pires, R.; TEIXEIRA, I. R. Avaliação de cultivares de sorgo granífero na safrinha no sudoeste do estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v. 39, n. 2, pp. 168-174, abr./jun. 2009.

SINGH, H.; SODHI, N. S.; SINGH, N. Characterisation of starches separated from sorghum cultivars grown in India. **Food Chemistry**. v. 119, pp. 95–100, 2010.

SINGH, N.; KAUR, L.; SODHI, N. S.; SEKHON, K. S. Physicochemical, cooking and textural properties of milled rice from different Indian rice cultivars. **Food Chemistry**, v. 89, p. 253–259, 2005.

SIQUEIRA, B. S.; VIANELLO, R. P.; FERNANDES, K. F.; BASSINELLO, P. Z. Hardness of Carioca beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by cooking methods. **LWT - Food Science and Technology** (2013), doi: 10.1016/j.lwt.2013.05.019.

SUBRAMANIAN, V.; JAMBUNATHAN R. Properties of sorghum grain and their relationship to roti quality. In **Proceedings at the International Symposium on Sorghum Grain Quality**, ed. by Rooney LW and Murty DS. Hyderabad, India, 28–31 October 1981. ICRISAT, Patancheru, pp. 280–288, 1982.

SUHENDRO, E. L.; KUNETZ, C. F.; MCDONOUGH, C. M.; ROONEY, L. W.; WANISKA, R. D. Cooking Characteristics and Quality of Noodles from Food Sorghum. *Cereal Chemistry*, v. 77, n. 2, pp. 96 – 100, 2000.

SZCZESNIAK, A. S. Classification of textural characteristics. *J. Food Sci.* v. 28, pp. 385–389, 1963.

TAYLOR , J.; BEAN, S. R.; IOERGER, B. P.; TAYLOR, J. R. N. Preferential binding of sorghum tannins with g-kafirin and the influence of tannin binding on kafirin digestibility and biodegradation. *Journal of Cereal Science*. v. 46., pp. 22–31, 2007.

TAYLOR, J. R. N.; SCHOBBER, T. J.; BEAN, S. R. Novel food and non-food uses for sorghum and millets. *Journal of Cereal Science*. v. 44, pp. 252–271, 2006.

TEIXEIRENSE, M. A. S. Conjuntura Anual do Sorgo em 2008 e um possível cenário para 2009. **CONAB** – Companhia Nacional de Abastecimento, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2008.

TURHAN, M.; GUNASEKARAN, S. Kinetics of in situ and in vitro gelatinization of hard and soft wheat starches during cooking in water. *Journal of Food Engineering*. v. 52, pp. 1–7, 2002.

USDA. Grain: World Markets and Trade. **USDA** – United States Department of Agriculture. Circular series FG 07-13, 2013.

USDA. National Nutrient Database for Standard Reference. Release 24. 2011 Disponível em: <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list_nut_edit.pl>. Acesso em: 07/03/2012.

VIANA, G. F. Sorgo sacarino desponta como alternative promissora na produção de etanol. **Grão em Grão Jornal Eletrônico** da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas/MG, ano 03, edição 14, maio 2009.

VIDAL, V., PONS, B., BRUNNSCHWEILER, J., HANDSCHIN, S., ROUAU, X., MESTRES, C. Cooking behavior of rice in relation to kernel physicochemical

and structural properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 55, p. 336-346, 2007.

WANISKA, R.D. Structure, phenolic compounds, and antifungal proteins of sorghum caryopses. In: **Technical and institutional options for sorghum grain mold management: proceedings of an international consultation**. Chandrashekar, A., Bandyopadhyay, R., and Hall, A.J., eds. Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, 2000.

WATTERSON, J. J.; SHULL, J. M.; KIFLEIS, A. W. Quantitation of alfa, beta, and gama kafirins in vitreous and opaque endosperm of Sorghum bicolor. **Cereal Chem**. v. 70, pp. 452-457, 1993.

WILLS, R. B. H.; ALI, M. R. Evaluation of Cultivar Characteristics, Milling Properties, and Processing of Sorghum for Food Use as a Boiled Whole Grain. In: Gomez, M.I.; House, L.R.; Rooney, L.W.; Dendy, D.A.V. **Utilization of Sorghum and Millets**. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT), 228p., 1992.

WONG, J. H.; LAU, T.; CAI, N.; SINGH, J.; PEDERSEN, J. F.; VENSEL, W. H.; HURKMAN, W. J.; WILSON, J. D.; LEMAUX, P. G.; BUCHANAN, B. B. Digestibility of protein and starch from sorghum (*Sorghum bicolor*) is linked to biochemical and structural features of grain endosperm. **Journal of Cereal Science**. v. 49, pp. 73–82, 2009.

WONG, J. H.; MARX, D. B.; WILSON, J. D.; BUCHANAN, B. B.; LEMAUX, P. G.; PEDERSEN, J. F. Principal component analysis and biochemical characterization of protein and starch reveal primary targets for improving sorghum grain. **Plant Science**, v. 179, pp. 598–611, 2010.

XIE, L.; CHEN, N.; DUAN, B.; ZHU, Z.; LIAO, X. Impact of proteins on pasting and cooking properties of waxy and non-waxy rice. **Journal of Cereal Science**, v. 47, p. 372–379, 2008.

YADAV, B.K.; JINDAL, V.K. Water uptake and solid loss during cooking of milled rice (*Oryza sativa* L.) in relation to its physicochemical properties. **Journal of Food Engineering**, v. 80, pp. 46–54, 2007.

YANG, L.; BROWNING, J. D.; AWIKA, A. Sorghum 3-Deoxyanthocyanins Possess Strong Phase II Enzyme Inducer Activity and Cancer Cell Growth Inhibition Properties. **J. Agric. Food Chem.** v. 57, pp. 1797–1804, 2009.

YOUNG, R.; GOMEZ, M.H.; McDONOUGH, C.M.; WANISKA, R.D. ROONEY, L.W. Changes in sorghum starch during parboiling. **Cereal Chem.**, v. 70, n. 2, pp. 179-183, 1993.

YOUNG, R.; HAIDARA, M.; ROONEY, L. W.; WANISKA, R. D. Parboiled sorghum: development of a novel decorticated product. **Journal of Cereal Science.** v. 11, pp. 277-289, 1990.

YOUSSEF, A. M. Extractability, fractionation and nutritional value of low and high tannin sorghum proteins. **Food Chemistry**, v. 63, n. 3, pp. 325-329, 1998.

ZACATARES, V. R. C. Changes in quality of whole cooked sorghum [Sorghum bicolor (L.) Moench] using pre-cooking methods. Thesis (Master of Science: Food Science and Technology). Texas A&M University, 110p, 2007.

ZHANG, G.; HAMAKER, B. R. Low α -Amylase Starch Digestibility of Cooked Sorghum Flours and the Effect of Protein. **Cereal Chemistry.** v. 75, pp. 710-713, 1998.

frimashotel@frimashotel.com.br

Julierme