

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

EDUARDO HENRIQUE LEDUR

**INFLUÊNCIA DO PROCESSO DE GERMINAÇÃO DE GRÃOS DE
SORGO (*Sorghum bicolor* L. Moench) NAS CARACTERÍSTICAS
TECNOLÓGICAS DO GEL DE AMIDO**

MEDIANEIRA

2022

EDUARDO HENRIQUE LEDUR

INFLUÊNCIA DO PROCESSO DE GERMINAÇÃO DE GRÃOS DE SORGO (*Sorghum bicolor* L. Moench) NAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DO GEL DE AMIDO

Influence of the Germination Process of Sorghum Grains (*Sorghum Bicolor* L. Moench) on the Technological Characteristics of Starch Gel

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Prof^ª. Dra. Nádia Cristiane Steinmacher

MEDIANEIRA

2022



Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao (s) autor (es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

EDUARDO HENRIQUE LEDUR

INFLUÊNCIA DO PROCESSO DE GERMINAÇÃO DE GRÃOS DE SORGO (*Sorghum bicolor* L. Moench) NAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DO GEL DE AMIDO

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 20/junho/2022

Nádia Cristiane Steinmacher
Doutora em Ciência de Alimentos
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Carolina Castilho Garcia
Doutora em Engenharia e Ciência de Alimentos
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Gláucia Cristina Moreira
Doutora em Agronomia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

RESUMO

O sorgo é o quinto cereal mais cultivado ao redor do mundo, de origem africana. Na maioria dos países ele é utilizado basicamente para alimentação animal. Entretanto, tem crescido de forma considerável o interesse no uso do cereal para consumo humano, por ter potencial nutritivo e possivelmente sendo um produto alternativo ao trigo e outros cereais. O amido é caracterizado como um pó branco, inodoro e insolúvel em água fria, com propriedade de formar pasta em água quente, pode ser utilizado como ingrediente e aditivo na indústria de alimentos. A germinação é um processo bioquímico complexo que ocorre com os grãos, é uma forma natural, simples e econômica de reduzir os antinutrientes (como o ácido fítico) e melhorar a qualidade nutricional. O objetivo do trabalho foi analisar a influência de diferentes tempos e temperaturas de germinação do sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) nas propriedades tecnológicas do amido, tendo sido observado que a farinha de sorgo germinado apresentou granulometria e coloração parecida com a do grão não germinado. A firmeza dos géis obtidos de farinha germinada foi significativamente menor que a do gel do controle, porém com retrogradação e sinerese ocorrendo em alguns dos experimentos mais controladamente. Também sendo possível a percepção de que os tratamentos de com maior tempo e temperatura influenciaram de forma a aumentar a solubilidade enquanto o poder de inchamento diminuiu significativamente. Sendo a germinação um método alternativo eficiente e de baixo custo para modificação do amido e de outras características da farinha.

Palavra-chave: Sorgo; Farinhas; Gelação; Amido; Germinação.

ABSTRACT

Sorghum is the fifth most cultivated cereal around the world, of African origin. In most countries it is used primarily for animal feed. However, interest in the use of cereal for human consumption has grown considerably, as it has nutritional potential and is possibly an alternative product to wheat and other cereals. Starch is characterized as a white powder, odorless and insoluble in cold water, with the property of forming paste in hot water, it can be used as an ingredient and additive in the food industry. Germination, a complex biochemical process that occurs with grains, is a natural, simple and cost-effective way to reduce antinutrients (such as phytic acid) and improve nutritional quality. The sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) on the technological properties of starch. It was observed that the germinated sorghum flour presented granulometry and coloration similar to that of the non-germinated grain. The firmness of the gels obtained from germinated flour was significantly lower than that of the control gel, but with retrogradation and syneresis occurring in some of the experiments more controlled. It was also possible to perceive that the treatments with longer time and temperature influenced in order to increase the solubility while the swelling power decreased significantly. Germination is an efficient and low-cost alternative method for modifying starch and other characteristics of flour.

Key-Words: Sorghum; Meal; Gelation; Starch; Germination.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura do grão do sorgo.....	15
Figura 2: Grão do sorgo.....	16
Figura 3: Sorgo germinado.....	19
Figura 4: Etapas do processo de germinação.....	24
Figura 5: Gráfico de análise de poder de inchamento (g/g) 90 °C.....	32
Figura 6: Gráfico de análise de solubilidade (%) à 90 °C	33
Figura 7: Gráfico de análise de firmeza.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Planejamento experimental	22
Tabela 2 – Número de experimentos e variáveis codificadas	23
Tabela 3 – Análises físicas realizadas nos grãos.....	27
Tabela 4 – Análise colorimétrica dos grãos de sorgo	28
Tabela 5 – Cor da farinha do sorgo.....	28
Tabela 6 – Granulometria da farinha e do grão de sorgo.....	30
Tabela 7 – Análise de inchamento e solubilidade.....	30
Tabela 8 – Análise de firmeza do gel.....	34

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivo geral.....	13
2.2	Objetivos específicos.....	13
3	REVISÃO BIBLIOGRAFICA	14
3.1	Sorgo	14
3.1.1	Cultivo do sorgo.....	14
3.1.2	Estrutura do grão.....	14
3.1.3	Utilização do sorgo na produção de alimentos	17
3.2	Amido	17
3.3	Germinação.....	19
3.3.1	Alterações bioquímicas e físicas	19
3.3.2	Modificação das propriedades termofísicas do amido.....	20
4	MATERIAIS E MÉTODOS	21
4.1	Matéria prima	21
4.2	Métodologia	21
4.2.1	Determinação de impurezas e materiais inertes.....	21
4.2.2	Determinação de cor	21
4.2.3	Determinação do tamanho dos grãos.....	22
4.2.4	Planejamento experimental	22
4.2.5	Germinação.....	23
4.2.6	Obtenção da farinha	24
4.2.7	Granulometria da farinha.....	25
4.2.8	Firmeza dos géis	25
4.2.9	Poder de inchamento e solubilidade.....	26
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1	Características dos grãos de sorgo.....	27
5.2	Características físicas da farinha de sorgo germinada	28
5.3	Poder de inchamento e solubilidade	30
5.4	Firmeza do gel	33

6 CONCLUSÃO 33
REFERÊNCIAS..... 37

1 INTRODUÇÃO

O sorgo é o quinto cereal mais cultivado ao redor do mundo, é de origem africana, embora algumas evidências mostrem que possa ter havido duas regiões de dispersão independente, África e Índia. De acordo com registros arqueológicos, a domesticação do sorgo aconteceu por volta de 5000 AC, quando a prática de cultivo e domesticação de outros grãos foi introduzida pela Etiópia (RIBAS, 2003; FAO, 2019).

Não existe nenhum tipo de registro de como o sorgo chegou ao território brasileiro, no entanto, acredita-se que foi da mesma forma como chegou na América do Norte, através de escravos africanos. No Brasil, mais especificamente no nordeste também é conhecido como milho d'Angola ou milho da Guiné, o que provavelmente indica a localização de chegada das primeiras sementes ao solo brasileiro, no intenso período de tráfico de escravos para as lavouras de açúcar (MAGALHÃES *et al.*, 2000). De acordo com a CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento, 2021), o Brasil é o 9º maior produtor mundial de sorgo.

Na maioria dos países o sorgo é utilizado basicamente para alimentação animal. Entretanto, tem havido crescimento considerável sobre o interesse do uso do cereal para consumo humano, por ter forte potencial nutritivo, além de não possuir proteínas formadoras de glúten, possivelmente sendo um produto alternativo ao trigo (ROONEY, 2007; DICKO *et al.*, 2005). Muitos pesquisadores demonstram que o sorgo é uma ótima fonte de carboidratos, fonte de fibra alimentar e compostos bioativos, como: taninos, ácidos fenólicos e antocianinas. Além de possuir quantidades consideráveis de amido resistente, minerais, tocoferóis e tocotrienóis (AWIKA; ROONEY, 2004; NILSSON *et al.*, 1997; DICKO *et al.*, 2006). A composição química dos grãos de sorgo varia de acordo com o genótipo, sendo em todos eles, o amido o principal macronutriente (entre 70 e 80%), que pode ser usado em várias aplicações industriais, principalmente como ingrediente alimentício (BANDEIRA *et al.*, 2015).

Durante a germinação ocorrem mudanças bioquímicas dentro da semente, as quais desencadeiam alterações físicas, onde partes do embrião emergem dentro do

envoltório, formando uma radícula curvada (SANTOS, 2018). Em termos fisiológicos, a germinação é definida como o processo que inicia com a absorção de água, até a protusão da raiz primária através do tegumento da semente. As regras para análise de sementes da ITSA (International Seed Testing Association) discordam desta definição e descrevem germinação em termos de morfologia de plântula. Uma semente só é considerada como germinada se originar uma plântula (FRANZIN, 2001).

Apesar de ser um fenômeno complexo, a germinação, pode ser definida como um processo no qual o eixo embrionário da semente da continuidade ao desenvolvimento, o qual havia sido interrompido pela maturidade fisiológica. Isso ocorre se as condições forem apropriadas, com fornecimento de água, temperatura desejável e luz (para alguns tipos de sementes), de modo que as duas primeiras condições são os fatores cruciais para que a germinação ocorra (MIRANDA, 2006).

O amido é a principal fonte de reserva de energia dos vegetais, podendo ser encontrado em tubérculos, raízes e sementes. Existem diferentes tipos de amido presentes no milho, arroz, batata, mandioca, sorgo e várias outras fontes. Estes diferentes tipos de amido apresentam propriedades e aplicações diferentes na indústria, por exemplo, nutricional, tecnológico, funcional, sensorial e estético. A sua funcionalidade é atribuída a duas moléculas de polissacarídeos, mais especificamente a amilose e a amilopectina (RIBEIRO, 2007).

O amido é caracterizado como um pó branco, inodoro e insolúvel em água fria, com propriedade de formar pasta em água quente. Quando aquecido, as moléculas começam um intenso processo vibratório, no qual ocorre a quebra das pontes de hidrogênio intermoleculares. Essa quebra permite a entrada de água no grânulo, promovendo assim o processo de gelatinização (MOREIRA *et al.*, 2013). Sob condições favoráveis, após a gelatinização, as moléculas do amido podem sofrer uma nova reestruturação, ocorrendo formação de pontes de hidrogênio intermoleculares e liberação da água existente entre as moléculas (sinérese), voltando a apresentar forma cristalina. Este fenômeno é nomeado de retrogradação, sendo este o efeito

mais importante que leva ao envelhecimento do amido, deixando-o mais rígido e quebradiço (AZEVEDO *et al.*, 2018).

Nem sempre, em sua forma nativa, os amidos possuem as propriedades desejadas para o processamento, sendo assim, muitas vezes os amidos são modificados para serem utilizados na fabricação de alimentos. As modificações do amido têm como intuito melhorar propriedades específicas desejadas para a indústria, aumentando a valorização e o uso do mesmo (SANTOS, 2012). As modificações permitem a obtenção de amidos com grande quantidade de utilizações na indústria, principalmente na área de alimentos para auxiliar no controle de textura, da aparência, umidade, *shelf-life*, entre outros (LEITE, 2019).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a influência de diferentes tempos e temperaturas de germinação nas características tecnológicas do gel de amido de sorgo.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar o grão de sorgo com relação aos aspectos visuais e sujidades;
- Realizar a germinação dos grãos de sorgo
- Avaliar a influência de diferentes períodos e temperaturas de germinação nas características físicas (granulometria e coloração da farinha) dos grãos de sorgo germinado
- Avaliar as propriedades de firmeza dos géis de amido obtidos com farinha de sorgo germinado;
- Avaliar as propriedades de inchamento e solubilidade dos géis de amido obtidos com farinha de sorgo germinado.

3 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

3.1 Sorgo

3.1.1 Cultivo do sorgo

O sorgo é um cereal da família *Poaceae*, uma planta tropical de características xerófilas, sendo assim, possui fácil adaptação de cultivo, principalmente em áreas com déficit hídrico e com altas temperaturas. Este é o principal diferencial quando comparada a outras culturas como de milho e de trigo (VIANA, 2019; OLEMBO *et al.*, 2010).

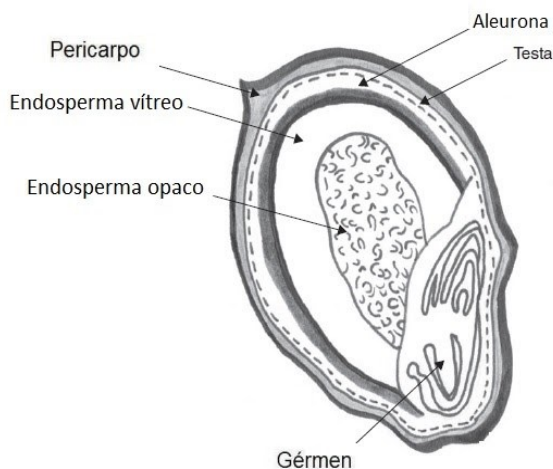
O Brasil, por ter clima privilegiado em várias regiões, tem a possibilidade de serem feitas duas safras de sorgo por ano. Conhecida por safrinha, a segunda safra acontece durante o final do verão e início do outono, onde geralmente ocorrem chuvas instáveis e na maioria das vezes insuficientes. É viabilizada assim, maior rentabilidade por área plantada (ALMEIDA FILHO *et al.*, 2014).

É amplamente cultivado ao redor do mundo. A produtividade mundial em 2016/17 foi de aproximadamente 64,11 milhões de toneladas, cerca de 7% maior do que no ano anterior, 2015/16. EUA, México e Nigéria lideram a lista de maiores produtores nesse período (USDA, 2016).

De acordo com a CONAB (2021), o estado de Goiás é o estado que mais produz sorgo, com aproximadamente 43% do total produzido no país, seguido por Minas Gerais e Bahia, com 31% e 6%, respectivamente.

3.1.2 Estrutura do grão

Os grãos de sorgo geralmente são esféricos e podem ser de coloração branca, vermelha, amarela ou marrom. É constituído por três componentes anatômicos gerais: o pericarpo, o endosperma e o germen (Figura 1) (DENDY, 1994).

Figura 1: Estrutura do grão do sorgo

Fonte: Adaptado de Arendt e Zannini, 2013

O pericarpo é a camada mais externa do grão, também dividido em três camadas: epicarpo, mesocarpo e endocarpo. O epicarpo, é constituído de células retangulares, geralmente com presença de pigmentos, podendo ou não ser coberto por uma camada fina de cera. O mesocarpo, possui uma característica exclusiva do sorgo frente a outros cereais, pequenos grânulos de amido em suas células (EARP *et al.*, 2004; WANISKA, 2000). O endocarpo é formado por células tubulares e cruzadas (SCHÖBER; BEAN, 2008).

O endosperma, possui a uma camada externa chamada de aleurona, seguida pelo endosperma vítreo e mais interno o endosperma opaco. A aleurona é caracterizada por conter grandes quantidades de lipídeos, enzimas e corpos proteicos. O endosperma vítreo é constituído de um grande número de corpos protéicos e com baixo teor de amido. Já o endosperma opaco é caracterizado por possuir espaços de ar entre os grânulos, maior quantidade de amido e menor quantidade de corpos proteicos (SCHÖBER; BEAN, 2008; ARENDT; ZANNINI, 2013).

Figura 2: Grãos de sorgo

Fonte: Site da Gazeta do Povo, 2018

O gérmen é fortemente aderido ao grão, não se separando facilmente durante o procedimento de moagem. Ele é composto por células que são responsáveis por armazenar nutrientes (lipídeos, vitaminas e minerais), no escutelo, e pelo eixo embrionário (MOHARRAM; YOUSSEF, 1995; EARP *et al.*, 2004).

De acordo com Boundries *et al.* (2009) as propriedades físico químicas e funcionais do sorgo são influenciadas pelo seu genótipo e pelo ambiente que foi cultivado. Em pesquisa realizada por Silva (2015), com cem genótipos diferentes de sorgo, foram analisadas as quantidades de amido e de proteína que havia em cada genótipo. Após a análise dos dados, o conteúdo médio de amido e proteínas presente nos genótipos era de 71% e 12,2%, respectivamente.

O sorgo não possui proteínas formadoras de glúten, assim se tornando uma excelente fonte de matéria prima para o mercado de produtos sem glúten, como na área de panificação e massas (QUEIROZ *et al.*, 2015). As proteínas do sorgo são consideradas de baixa qualidade nutricional, pois possuem baixa digestibilidade comparada com as de outros cereais (DUODU *et al.*, 2003; SILVA, 2015). O amido é o principal componente do sorgo, representa a principal fonte de energia para a germinação e é composto por amilose e amilopectina, cerca de 20-30% e 70-80% respectivamente (SILVA, 2015).

O conteúdo total de açúcares solúveis pode variar de 0,7 a 4,2%, de açúcares redutores de 0,05 a 0,53% e cinzas de 1,3 a 3,3%. Já a presença de minerais varia de acordo com as condições genéticas e ambientais (RATNAVATHI; PATIL, 2013).

O valor nutritivo do sorgo é inferior quando comparado a outros cereais, por causa da baixa quantidade de alguns aminoácidos essenciais, especialmente a lisina, o triptofano e a treonina, adicionado da presença de taninos e ácido fítico. No entanto, o valor nutricional pode ser significativamente melhorado através da fermentação e do processo de germinação (ARENDETT; ZANNINI, 2013).

3.1.3 Utilização do sorgo na produção de alimentos

O sorgo é uma cultura muito utilizada como base alimentar em diversas partes do mundo, principalmente na Ásia e na África. Calcula-se que mais de 500 milhões de pessoas nos países em desenvolvimento dependem do sorgo como principal ingrediente da base da alimentação (MUTISYA *et al.*, 2009). Já nos países ocidentais como Estados Unidos, Austrália e Brasil ele é mais utilizado para alimentação animal (EMBRAPA, 2015).

A farinha de sorgo tem sido bastante estudada para aplicação em alimentos e de acordo com pesquisas, pode ser amplamente utilizada como substituta da farinha de trigo para produtos sem glúten, como bolos, pães, biscoitos e massas (SCHOBER *et al.*, 2005; QUEIROZ, 2015; FERREIRA *et al.*, 2016). Segundo Sanches (2003) e Duodu *et al.* (2003), normalmente, os produtos à base de sorgo com o pericarpo branco, aparentam coloração clara e sabor neutro, ideais para produtos de panificação.

3.2 Amido

Morfologicamente o amido é encontrado em forma de grânulos. Quando se forma mais de um grânulo em um mesmo amiloplasto (organelas não-pigmentadas especializadas em sintetizar e estocar grânulos de amido), é classificado como composto, quando é formado somente um grânulo é classificado como amido simples.

O trigo, milho, cevada, sorgo e centeio são exemplos de cereais com amido simples, somente aveia e arroz têm amido composto (LAJOLO; MENEZES, 2006; DELCOUR; HOSENEY, 2010).

O amido é formado pela união de dois polímeros de glicose, amilose e amilopectina. A amilose é um polissacarídeo linear, o que lhe confere algumas propriedades, como a formação de complexos com iodo, álcoois e ácidos orgânicos e a tendência a retrogradação, produzindo géis duros (SHAO *et al.*, 2007).

O processo de gelatinização é iniciado quando ocorre a absorção de água livre que está presente na massa pelos grânulos do amido, sem que ocorra o rompimento das micelas, ou, zona cristalina (RIBEIRO, 2007). Quando acontece o aquecimento superior a 60° C, o grau de agitação das moléculas de amido aumenta, ocasionando a quebra das pontes de hidrogênio permitindo a penetração da água nas micelas, quanto maior o aumento da temperatura, mais água penetra nas micelas. O aquecimento prolongado resulta na total perda das zonas cristalinas, a birrefringência desaparece e o amido se torna transparente (CAUVAIN; YOUNG, 2009; SILVA *et al.*, 2021). O ponto de gelatinização é dado na temperatura em que a birrefringência desaparece. Durante a gelatinização o grão incha bastante e a viscosidade da suspensão aumenta, formando uma pasta viscosa (SOUZA; ANDRADE, 2000).

A retrogradação do amido é o processo no qual as moléculas gelatinizadas se reassociam, formando uma estrutura cristalina de dupla hélice. A taxa e o grau de recristalização são determinados pela mobilidade das ramificações externas cristalizáveis da amilopectina (CAUVAIN; YOUNG, 2009). Quando retrogradado, o amido se torna insolúvel em água fria e mais resistente ao ataque enzimático. Por possuir estrutura linear, as moléculas de amilose se reaproximam com uma maior facilidade, sendo as principais responsáveis pelo fenômeno, por outro lado na amilopectina o fenômeno tende a acontecer somente na periferia das moléculas (SPIER, 2010).

3.3 Germinação

3.3.1 Alterações bioquímicas e físicas

A germinação do grão de sorgo pode causar aumento na atividade enzimática, perda da matéria seca total, mudança na composição de aminoácidos, diminuição do conteúdo de amido, aumento no teor de açúcares, leve aumento em lipídios, fibra bruta e em algumas vitaminas e minerais. Podendo diminuir a concentração de taninos em até 43% (ARENDETT; ZANNINI, 2013; LEITE *et al.*, 2016)

Figura 3 - Sorgo germinado



Fonte: Autoria Própria (2022)

A germinação é um processo bioquímico complexo que ocorre nos grãos, é uma forma natural, simples e econômica de reduzir os antinutrientes e melhorar a qualidade nutricional. Em comparação com as sementes não germinadas, isso significa melhor digestão, maior concentração e maior possibilidade de absorção de substâncias. O amido é hidrolisado durante a germinação para aumentar o teor de açúcar e melhorar a digestibilidade (LEITE *et al.*, 2016; BERNI; CANNIATTI-BRAZACA, 2011).

Khole *et al.* (2014), relata em seu estudo que sementes germinadas melhoram a digestão das proteínas e atuam na diminuição dos ácidos graxos saturados totais, triglicerídeos, redução no teor de ácido fítico e em uma maior disponibilidade de ferro.

Estudos feitos na germinação do trigo, relatam que há um aumento de enzimas como a α -amilase e algumas proteases. Essas enzimas degradam o amido e as proteínas, gerando um aumento nos açúcares redutores, fibras solúveis e aminoácidos (SANTOS, 2018; ZILIC *et al.*, 2016).

3.3.2 Modificação das propriedades termofísicas do amido

Ocheme *et al.* (2015) e Contreras-Jiménez *et al.* (2018), observaram que aumentando o tempo de germinação tem-se como resultado um maior grau de gelatinização do amido e também uma maior temperatura de gelatinização. Osguera-Toledo *et al.* (2020), relataram que a germinação diminui drasticamente a viscosidade do amido e que a porcentagem de amilose e de açúcares redutores aumenta significativamente. A diminuição da viscosidade pode ser explicada por causa do ataque enzimático à amilose e as cadeias de amilopectina e pela interação da água com os cristais de amido.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Matéria prima

As sementes de sorgo utilizadas neste estudo foram doadas pela empresa NHD-Foods (Uberaba-MG) e beneficiadas de forma que sujidades, sementes defeituosas e partículas sólidas presentes (como pedras, palhas e insetos) tenham sido quantificadas e removidas manualmente. Após a etapa de beneficiamento as sementes foram fracionadas para a produção da farinha e realização das análises.

4.2 Metodologia

4.2.1 Determinação de impurezas e materiais inertes

Fracionou-se 1 kg de produto em 4 amostras de 250 g, as quais foram retirados os materiais estranhos e sementes defeituosas, para em seguida pesar a amostra limpa novamente. A diferença do peso inicial e do peso final, após a limpeza resultou na quantidade de impurezas e materiais estranhos (BRASIL, 2009).

4.2.2 Determinação de cor

A determinação de cor dos grãos foi realizada em triplicata, onde foram separadas 3 amostras de 150 g e a coloração foi determinada em colorímetro (modelo CR400, Konica Minolta, Nova Jersey, EUA), obtendo-se as coordenadas L* (lightness- luminosidade), a* (redness- avermelhado) e b* (yellow- ness- amarelado).

Para a farinha foram pesadas 90 g de cada amostra e realizada a avaliação colorimétrica em triplicata em pontos diferentes da amostra, obtendo também as mesmas coordenadas obtidas para a cor dos grãos.

4.2.3 Determinação do tamanho dos grãos

Para a determinação do tamanho dos grãos separou-se 3 amostras de 250 g. Utilizou-se o equipamento agitador de peneiras (granulometro), onde foram utilizadas 3 peneiras de malhas com aberturas de 3,35 mm, 2,36 mm, 1,70 mm e a base, dispostas de modo que a maior abertura de malha ficasse no topo e a de menor abertura na base do equipamento (EMBRAPA, 1996). O tamanho médio dos grãos foi determinado pela percentagem retida nas peneiras. Onde o cálculo é feito individualmente em cada uma das peneiras:

$$Pr = Pt - Pp$$

Onde:

Pr= Peso retido na peneira

Pt= Peso da peneira mais a fração retida

Pp= Peso da peneira

4.2.4 Planejamento experimental

Desenvolveu-se um planejamento experimental fatorial 2² para observar os efeitos da germinação com variáveis independentes definidas pelas regras para análise de sementes (BRASIL, 2009), onde as temperaturas utilizadas foram de 20 °C e 30 °C, e as amostras coletadas nos dias 1, 2 e 3, especificados na Tabela 1 e os experimentos e variáveis decodificadas na Tabela 2:

Fatores	-1	0	+1
Temperatura	20° C	25° C	30° C
Tempo	1 dias	2 dias	3 dias

Fonte: Autoria própria (2022)

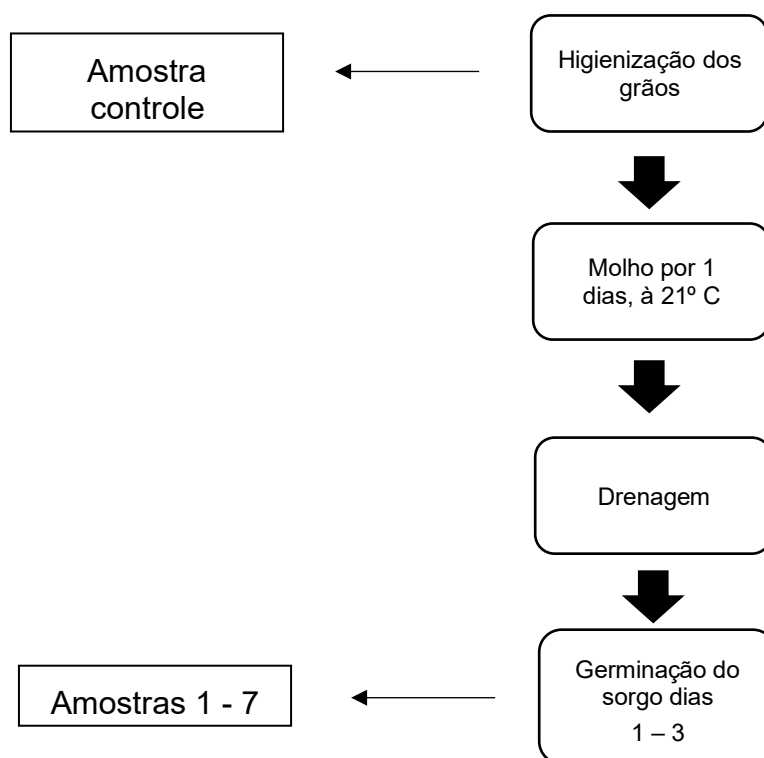
Tabela 2: N° de experimentos e variáveis codificadas

Experimento	Temperatura	Tempo
1	-1	-1
2	-1	1
3	1	-1
4	1	1
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	Controle	Controle

Fonte: Autoria própria (2022)

4.2.5 Germinação

O processo de germinação seguiu as especificações descritas por Contrera-Jiménez (2018) e Ocheme *et al.* (2015), com modificações. O sorgo higienizado foi deixado de molho em água destilada durante um dia a 21 °C, em proporção de 1 kg de grãos para 2,5 litros de água aproximadamente, com troca de água a cada 12 horas. Após o molho, drenou-se a água e os grãos foram dispersados sobre sacos de algodão e colocados em três estufas com temperaturas diferentes, seguindo o planejamento experimental. A germinação foi acompanhada diariamente conforme explicado na Figura 3.

Figura 4: Etapas do processo de germinação

Fonte: Autoria Própria (2021)

4.2.6 Obtenção da farinha

A obtenção da farinha foi realizada através da metodologia descrita por Oliveira e Gonzaga (2000) e Madruga *et al.* (2015), com modificações. Os grãos depois de germinados foram dispersos em formas de alumínio e levados para estufas à 40 °C durante 24 horas para secagem. Após essa secagem os grãos foram triturados em liquidificador durante 5 minutos e depois da moagem foram guardados em recipientes previamente identificados com a numeração de cada amostra a temperatura ambiente.

4.2.7 Granulometria da farinha

A determinação da granulometria da farinha foi realizada em um agitador de peneiras eletromagnético (modelo VP-01 marca Bertel Indústria Metalúrgica Ltda (EMBRAPA,1996), cada amostra foi fracionada em 100 g, com 5 peneiras e a peneira base, dispersas da maior abertura no topo para a menor abertura na parte inferior do equipamento, com aberturas de 850 µm, 600 µm, 300 µm, 250 µm e 150 µm. Todas as peneiras foram previamente pesadas e seus respectivos pesos anotados. As amostras foram dispersas na peneira de maior malha (850 µm), então equipamento foi regulado com temporizador de 15 minutos e agitação 10 rpm. Ao final dos 15 minutos foi calculado o peso da fração da farinha retida em cada peneira:

$$Pr = Pt - Pp$$

Onde:

Pr= Peso retido na peneira

Pt= Peso da peneira mais a fração retida

Pp= Peso da peneira

4.2.8 Firmeza dos géis

Para a análise de firmeza dos géis foi utilizada uma concentração de 50% (p/v), os quais foram homogeneizados em banho maria a 90 °C até a formação do gel, durante 5 minutos. Após o aquecimento armazenou-se 40 mL de cada amostra (em duplicata) em copos de acrílico, previamente identificados, com tampa e colocados em um refrigerador à 15 °C e armazenados até 3 dias.

A análise de firmeza foi realizada em texturômetro, a 25 °C e os dados adquiridos por meio do software Exponent Lite 2016, versão 6.1.16 lite. Os géis foram comprimidos a uma velocidade de 2 mm/s e uma distância de 15 mm com uma probe cilíndrica de 1,0 pol (ou 2,54cm). A partir da curva de penetração foram obtidos os parâmetros de força ou firmeza do gel. A força é definida como força máxima observada durante o ciclo de penetração inicial da probe no gel. O aparelho foi programado para medir de forma direta a firmeza dos géis sendo essa medida expressa em Newtons (N).

4.2.9 Poder de inchamento e solubilidade

A determinação do poder de inchamento e solubilidade da farinha do sorgo germinado seguiu conforme descrito por Zavareze *et al.* (2009), onde 1 g de farinha foi coletado para suspensão em 50 mL de água destilada, aquecida em banho maria até a temperatura de 90 °C. Após 10 minutos de aquecimento, os tubos foram centrifugados a 2000 rpm durante 15 minutos. O sobrenadante foi coletado e seco em estufa até o peso constante para quantificação da fração solúvel. Os tubos utilizados foram tarados previamente, e a amostra intumescida no tubo foi pesada para determinar o poder de inchamento. Calculou-se a solubilidade através da relação de massa solúvel e massa inicial, expressa em percentagem. Enquanto o poder de inchamento foi obtido pela relação da massa final intumescida e pela massa inicial da amostra.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Características dos grãos de sorgo

A Tabela 3 apresenta os dados obtidos através das análises físicas dos grãos de sorgo não germinados. As impurezas retiradas do material no presente trabalho, são classificadas como pedaços de folhas, grãos danificados, insetos e alguns pedregulhos. De acordo com Portaria N° 268, de 22 de agosto de 1984, o sorgo utilizado pode ser classificado como Tipo 1, pois possui uma quantidade total de grãos danificados inferior a 8% do total da amostra (BRASIL, 1984).

Os grãos do sorgo apresentaram uma retenção de mais de 94% na peneira de 2,36 mm, indicando assim o tamanho médio dos grãos e quando comparado com outros tipos de cereais o sorgo apresenta um valor próximo aos grãos de trigo, aveia e cevada, os quais tem em média 3,22 mm, 2,9 mm e 3,5 mm respectivamente (MIRANDA; MORI; LORINI, 2008).

Tabela 3 - Análises físicas realizadas nos grãos

Análises físicas	
Defeitos (%)	7,44 ± 0,53
Tamanho do grão (mm)	2,36 ± 0,00

Valores expressos em média seguidos pelo desvio padrão

Fonte: Autoria Própria (2022)

A Tabela 4 apresenta as médias das coordenadas no espaço de cor L*, a* e b*, onde, L* indica uma luminosidade mais próxima ao preto (0), a* e b* também positivos, indicando assim uma coloração avermelhada e amarelada, coincidindo assim com a análise colorimétrica realizada por Gava Junior (2017), onde os valores se aproximam bastante do apresentado neste trabalho.

Tabela 4 Análise colorimétrica dos grãos de sorgo

Cor dos grãos	
L*	48,28 ± 0,99
a*	10,66 ± 0,59
b*	33,56 ± 0,81

Valores expressos em média seguidos pelo desvio padrão

Fonte: **Autoria Própria (2022)**

5.2 Características físicas da farinha de sorgo germinada

De acordo com Cauvain e Young (2009), quanto mais branca for a farinha melhores serão as suas características e propriedades para a elaboração de produtos na panificação, pois a cor da farinha está ligada ao conteúdo de cinzas, o que pode afetar no desempenho da farinha no desenvolvimento dos produtos.

A Tabela 5 apresenta os componentes colorimétricos das farinhas obtidas após a germinação do sorgo, segundo o planejamento experimental apresentado nas Tabelas 1 e 2

Tabela 5 - Cor da farinha do sorgo

Experimentos	L*	a*	b*
1	73,51 ± 0,144 ^a	1,11 ± 0,115 ^a	19,70 ± 0,299 ^a
2	72,32 ± 0,643 ^a	0,68 ± 0,255 ^a	20,52 ± 0,259 ^a
3	73,53 ± 0,368 ^a	0,75 ± 0,297 ^a	20,35 ± 0,442 ^a
4	72,57 ± 0,471 ^a	0,99 ± 0,225 ^a	21,55 ± 0,300 ^a
5	75,30 ± 0,400 ^a	0,43 ± 0,107 ^a	19,53 ± 0,450 ^a
6	74,32 ± 0,387 ^a	0,81 ± 0,125 ^a	19,02 ± 0,287 ^a
7	74,13 ± 0,920 ^a	0,54 ± 0,356 ^a	18,36 ± 0,341 ^a
8	76,70 ± 0,531 ^a	0,25 ± 0,029 ^b	21,39 ± 0,738 ^a

Letras minúsculas diferentes na mesma coluna mostram diferenças significativas entre as médias dos tratamentos de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$)

Fonte: **Autoria própria (2022)**

Quando comparadas as coordenadas L* e b* de cor entre os experimentos, observou-se que não houve diferença significativa entre si, nem com a amostra controle, onde o grão não foi germinado. No entanto, para a coordenada a*, observou-se diferença significativa da amostra controle quando comparada aos experimentos 1-7, em que os grãos foram germinados para produção de farinha, sendo esta significativamente mais vermelha que a farinha controle. De acordo com Cauduro

(2019), pode ser justificado pelo aumento de componentes sintetizados durante a germinação, tais como o β -caroteno por exemplo.

Os valores de L^* de todas as farinhas foi maior que 70, semelhante aos resultados encontrados por Oliveira (2017), indicando uma farinha de coloração mais clara. Embora esta farinha seja integral, obtida de um grão com pericarpo avermelhado, estes valores podem estar relacionados com o tamanho das partículas após peneiramento não afetou significativamente a claridade da farinha, não tendo sido observado redução do valor de L^* . Partículas maiores poderiam apresentar maiores frações das partes externas dos grãos, diminuindo então o valor de L^* . Quando comparada com a farinha de trigo, percebe-se uma grande diferença de valores, já que a farinha de trigo apresenta coloração bem mais clara, com $L^* > 90$, resultante do processo de refino a qual é submetida no beneficiamento (SILVA, 2012).

Os valores obtidos de a^* variam de +0,25 a +1,11 e os de b^* , de +18,36 a +21,55, indicando coloração amarela e avermelhada, os quais se aproximam do relatado por Oliveira (2017) e Silva (2012), que foram de 70,74 para L^* , +7,58 para a^* e +14,86 para b^* .

A Tabela 6 traz os valores retidos em gramas em cada uma das peneiras na análise de granulometria. Observa-se que em todos os experimentos mais de 67% do peso total das amostras ficaram retidos nas peneiras com abertura entre 0,850 e 0,300 micrometros.

A granulometria é um fator muito importante para a elaboração de produtos de panificação, por afetar as características reológicas da massa e textura do produto final. Martino *et al.* (2012) analisaram a granulometria de diferentes farinhas de sorgo e obtiveram resultados similares, com uma retenção maior das farinhas nas peneiras de abertura de malha de 0,42 mm.

De acordo com Sousa *et al.* (2016), apesar das farinhas de sorgo terem apresentado uma granulometria maior do que as de outros cereais, é possível a elaboração de pães sem glúten com a mesma.

Tabela 6 - Granulometria da farinha e do grão de sorgo

Tamanho peneiras	Exp 1	Exp 2	Exp 3	Exp 4	Exp 5	Exp 6	Exp 7	Exp 8
850 µm	11,74%	12,15%	14,90%	17,21%	10,53%	10,10%	9,95%	11,27%
600 µm	21,03%	30,56%	25,92%	21,30%	21,42%	23,18%	21,46%	22,27%
300 µm	38,52%	48,53%	42,37%	49,13%	37,22%	38,08%	40,07%	53,97%
250 µm	10,53%	4,28%	7,54%	1,25%	9,94%	9,46%	10,80%	4,62%
150 µm	12,40%	3,17%	6,93%	8,48%	13,45%	13,06%	12,35%	5,18%
Base	5,78%	1,32%	2,34%	2,63%	7,44%	6,12%	5,37%	2,69%
Total Retido	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: Autoria própria (2022)

5.3 Poder de inchamento e solubilidade

A Tabela 7 apresenta os valores obtidos para o poder de inchamento e a solubilidade dos géis de amido de sorgo.

O poder de inchamento indica a capacidade de hidratação dos grânulos. Sua determinação consiste em pesar o grânulo inchado (intumesido) e da água oclusa (MARCON; AVANCINI; AMANTE, 2007).

Tabela 7 - Análise de Inchamento e Solubilidade dos grânulos de amido

Experimentos	Temperatura	Tempo (dias)	Inchamento g/g	Solubilidade %
1	20	1	7,582 ± 0,182 ^a	1,345 ± 0,057 ^b
2	20	3	4,653 ± 0,039 ^c	1,742 ± 0,019 ^b
3	30	1	6,415 ± 0,249 ^b	2,617 ± 0,013 ^a
4	30	3	3,885 ± 0,061 ^d	1,930 ± 0,109 ^b
5	25	2	4,064 ± 0,055 ^d	1,779 ± 0,049 ^b
6	25	2	4,203 ± 0,249 ^d	1,697 ± 0,013 ^b
7	25	2	4,185 ± 0,235 ^d	1,730 ± 0,020 ^b
8	0	0	7,642 ± 0,056 ^a	0,538 ± 0,021 ^c

8: Experimento controle, farinha de grãos não germinados

Letras diferentes na mesma coluna mostram diferenças significativas entre as médias de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$)

Fonte: Autoria própria (2022)

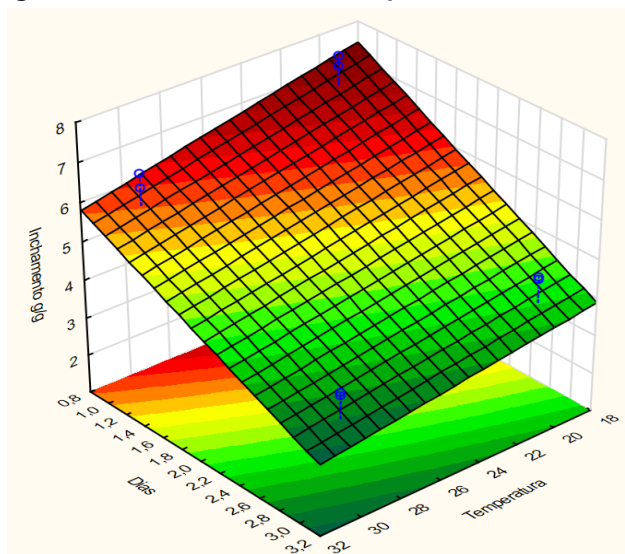
Como esperado o poder de inchamento diminuiu com o aumento do tempo de germinação dos grãos e também para a maior temperatura de germinação, em acordo com estudos realizados por Sun *et al.* (2014) e Singh *et al.* (2015). É reportado por Li

e Yeh (2001) que a amilopectina é o componente primário responsável pelo inchamento do amido e também a principal responsável pela formação da estrutura cristalina do amido. A redução do poder de inchamento se deve à alteração do conteúdo do grânulo de sua estrutura como resultado da atividade enzimática ocasionada pela germinação. Por outro lado, a degradação da α -amilase causa acúmulo de dextrina, oligossacarídeos e açúcares fermentáveis, os quais não possuem poder de inchamento, interferindo na formação dos géis (LI; YEH, 2001).

Ao comparar os dias de germinação dos experimentos 1 e 3, pode-se observar que o aumento de temperatura de 20 °C para 30 °C influenciou negativamente o poder de inchamento, diminuindo seu valor. Da forma semelhante, mantendo a temperatura em 20 °C, mas aumentando o tempo de germinação, o poder de inchamento também diminuiu. Menores tempos e temperaturas de germinação não afetaram o poder de inchamento do amido de sorgo, como pode ser observado pela comparação dos experimentos 1 e 8, cujo poder de inchamento não foram significativamente diferentes.

Ao observar o gráfico de superfície de inchamento (Figura 5), é possível notar uma tendência a diminuição do inchamento de acordo com o aumento do tempo e da temperatura de germinação, porém tendo um destaque maior para o tempo que parece influenciar mais no inchamento do que a temperatura.

Figura 5: Gráfico de análise de poder de inchamento



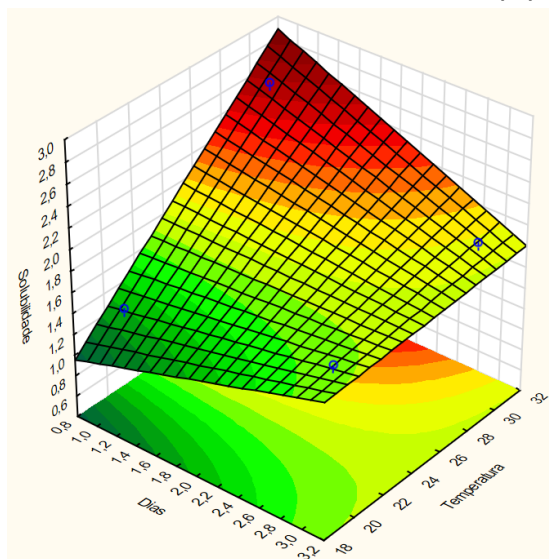
Fonte: Aatoria Própria (2022)

De acordo com estudos realizados por Singh *et al.* (2017) e Elkhalfa e Bernhardt (2009) a solubilidade deve aumentar com o tempo de germinação dos grãos. Com os dados da Tabela 7, comparando as amostras germinadas, experimentos 1 a 7, com a não germinada, experimento 8, verifica-se aumento significativo da solubilidade como resultado da germinação. Dentre as amostras germinadas, o tratamento que mais influenciou a solubilidade do amido, tendo resultado em solubilidade significativamente maior que as demais, foi aquele onde se utilizou maior temperatura em menor tempo de germinação, experimento 3.

Poder de inchamento e solubilidade reduzidos apresentam maior interesse para aplicação em alimentos que exijam um menor grau de intumescimento (ZAVAREZE *et al.* 2009).

Observando o gráfico de superfície de solubilidade (Figura 6), pode-se perceber uma tendência ao aumento da solubilidade juntamente com o aumento do tempo e da temperatura de germinação, dando uma ênfase maior na influência do tempo, como no inchamento, que parece influenciar mais na solubilidade quando comparado a temperatura.

Figura 6: Gráfico de análise de solubilidade (%) à 90 °C



Fonte: Autoria Própria (2022)

5.4 Firmeza dos géis de amido

A firmeza do gel depende de fatores como a deformação e volume dos grânulos, a cristalinidade da amilopectina e a retrogradação em associação com a sinérese. Então, pode-se dizer que géis mais duros tendem a ter cadeias maiores de amilopectina e maior teor de amilose (SANDHU; SINGH, 2007).

Observa-se que o aumento do tempo de tratamento afetou negativamente a firmeza dos géis (Tabela 8), quando comparado os experimentos em que temperaturas maiores (3 e 4) ou entre os experimentos em que temperaturas menores (2 e 3) foram aplicadas. Quanto mais tempo as amostras foram mantidas em processo germinativo, menores índices de firmezas foram registrados, indicando que o tempo tem influência significativa na retrogradação e sinérese dos géis de amido de sorgo germinados.

O tratamento com menor tempo e temperatura de germinação, experimento 1, resultou na maior firmeza quando comparado aos outros experimentos em que o grão sofreu germinação, experimentos 2 a 7, porém menor que a do gel da farinha com grãos não germinados, experimento 8.

Tabela 8 - Análise de firmeza do gel (N)

Experimentos	Temperatura	Dias	Firmeza 24h	Firmeza 48h	Firmeza 72h
1	20	1	104,733 ± 8,405 ^{bB}	108,079 ± 7,205 ^{bB}	179,816 ± 8,676 ^{bA}
2	20	3	14,200 ± 0,856 ^{dA}	15,685 ± 0,01 ^{dA}	15,937 ± 0,644 ^{dA}
3	30	1	23,683 ± 0,849 ^{cB}	25,457 ± 0,766 ^{cB}	52,598 ± 0,136 ^{cA}
4	30	3	6,036 ± 0,016 ^{eB}	6,846 ± 0,212 ^{eAB}	7,253 ± 0,311 ^{eA}
5	25	2	5,891 ± 0,204 ^{eB}	6,245 ± 0,235 ^{eB}	7,381 ± 0,008 ^{eA}
6	25	2	5,628 ± 0,849 ^{eB}	6,165 ± 0,766 ^{eB}	7,815 ± 0,136 ^{eA}
7	25	2	5,730 ± 0,265 ^{eB}	6,171 ± 0,265 ^{eB}	7,462 ± 0,076 ^{eA}
8	0	0	204,346 ± 6,629 ^{aA}	217,221 ± 6,575 ^{aA}	229,023 ± 0,008 ^{aA}

8: Experimento controle, farinha de grãos não germinados

Letras minúsculas diferentes na mesma coluna mostram diferenças significativas entre as médias dos tratamentos de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$)

Letras maiúsculas diferentes na mesma linha mostram a diferença significativa entre as médias dos dias analisados, de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$)

Fonte: A autoria própria (2022)

A firmeza resulta principalmente pela retrogração do gel, a qual é associada à sinerese da água e cristalinização da amilose. Amidos que apresentam maior dureza/firmeza tendem a ter maior conteúdo de amilose e longas cadeias de amilopectina (SANDHU; SINGH, 2007).

Durante a germinação as ramificações mais externas da amilopectina são hidrolisadas pela α -amilase e não são mais capazes de formar grandes cristais de amilopectina. Esses cristais menores, não são capazes de formar uma rede tridimensional para promover aumento na firmeza durante o resfriamento (MARCHINI et al., 2021), o que explica os resultados obtidos no presente trabalho.

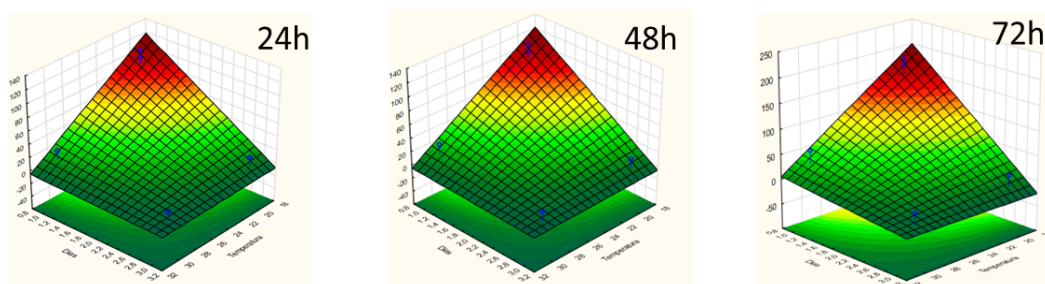
Nota-se na Tabela 8 que a firmeza dos géis aumentou com o tempo de armazenamento, dando indícios de que a retrogradação e sinerese aconteceram. Sabe-se que a retrogradação é um fenômeno termofísico consequente da linearidade das cadeias de amilose, que se reassociam, formando uma estrutura cristalina. Por ser um polímero ramificado, a amilopectina apresenta menor facilidade para retrogradar (DENARDIN; SILVA, 2009).

Esse aumento foi mais notável de 48 para 72 h de armazenamento, com maior tendência nos experimentos em que foi menor o tempo de germinação dos grãos, experimentos 1 e 3. Ocorreu aumento significativo da firmeza a partir de 48 h de armazenamento refrigerado em todos os experimentos (1, 3, 4, 5, 6 e 7), com exceção

do 2, apontando que a germinação prolongada reduz a retrogradação e a sinerése dos géis de amido de sorgo. Os dados da Tabela 8 indicam que a germinação dos grãos sob as condições dos experimentos 2 e 4 tendem a resultar em menor retrogradação ao longo do armazenamento, característica interessante para a área da panificação (FIB, 2018).

A Figura 7 exibem as superfícies de resposta para a firmeza dos géis e, relação aos dias de armazenamento. Observa-se diferença entre as inclinações das superfícies do primeiro e segundo dia de armazenamento em comparação com o terceiro dia. No entanto as extremidades que representam os experimentos 2 e 4 apresentaram menor variação das inclinações, pois o aumento da firmeza não foi significativo entre o segundo e terceiro dia de armazenamento.

Figura 7: Superfície de Análise de Firmeza



Fonte: Autoria Própria (2022)

6 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, observou-se que a germinação do grão do sorgo influencia de maneira geral as propriedades tecnológicas do amido, sendo um método alternativo para modificação do amido e da farinha a um baixo custo.

Grânulos de amido com menor poder de inchamento foram obtidos quando o tratamento aplicado utilizou o maior índice de temperatura (30 °C) em maior tempo (3 dias). O poder de inchamento diminuiu significativamente quando comparado com o controle, enquanto a solubilidade aumentou. A solubilidade foi afetada pela temperatura, onde géis mais solúveis foram observados com aplicação de maior temperatura. Este resultado de comportamento pode ser indicado então para alimentos que exijam menor grau de intumescimento e maior solubilidade dos géis de amido, como por exemplo para molhos e bebidas instantâneas.

A germinação do sorgo diminuiu significativamente a firmeza e a retrogradação no caso dos experimentos 2 (20 °C e 3 dias) e 4 (30 °C e 3 dias), indicando que a germinação prolongada afeta diretamente essas propriedades, tornando esses experimentos mais indicados para a indústria de panificação.

Ademais, é sugerido que pesquisas futuras sejam realizadas para caracterizar propriedades térmicas dos géis de amido de sorgo para corroborar com os resultados obtidos neste estudo. Além disso, a aplicação de géis de amido de sorgo em produtos de diferentes segmentos da indústria de alimentos se faz necessário para verificar o desempenho tecnológico dos produtos e assim contribuir para uma maior diversidade de ingredientes e produtos alimentícios.

REFERÊNCIAS

- ACHI, O. K. The potential for upgrading traditional fermented foods through biotechnology. **African journal of biotechnology**, v. 4, p. 375-380, 2005.
- ACOSTA SANCHEZ, David. **White food-type sorghum in direct-expansion extrusion applications**. Master's thesis, Texas A&M University. 2003
- ALMEIDA FILHO, J. E.; TARDIN, F. D.; DAHER, R. F.; SILVA, K. J.; NETO, J. B. X; BASTOS, E.; LOPES, V. S.; BARBÉ, T. C.; MENEZES, C. B. Avaliação agrônômica de híbridos de sorgo granífero em diferentes regiões produtoras do Brasil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**. v. 13, n. 1, p. 82–95, ago. 2014.
- ARENDRT, Elke K; ZANNINI, Emanuele. Sorghum. *In*: ARENDRT, Elke K; ZANNINI, Emanuele. **Cereal Grains for the Food and Beverage Industries**. [S. l.: s. n.], 2013. cap. 8, p. 283-305.
- AWIKA, J. M.; ROONEY, L. W. Sorghum phytochemicals and their potential aspects on human health. **Phytochemistry, Elmsford**, v. 65, p. 1199-1221, 2004.
- AZEVEDO, Luciana Cavalcanti de *et al*. PROPRIEDADES DO AMIDO E SUAS APLICAÇÕES EM BIOPOLÍMEROS. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 11, p. 351-358, 29 jan. 2018. Disponível em:
<https://www.researchgate.net/publication/328178046_PROPRIEDADES_DO_AMIDO_E_SUAS_APLICACOES_EM_BIOPOLIMEROS>. Acesso em: 11 jul. 2021.
- BANDEIRA, D.; SCHELLIN, W.; PETRARCA, I.; ZAVAREZA, E. R.; ELIAS, M. C. Structural and technological characteristics of starch isolated from sorghum as a function of drying temperature and storage time. **Carbohydrate Polymers**, 133, 46–51, 2015.
- BERNI, P. R. A.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. **Effect of germination and sanitization on centesimal Composition, dietary fiber, fat, tannins and minerals availability in wheat**. *Alim. Nutr. Araraquara*, v. 22, n. 3, p. 407-420. 2011.
- BOUNDRIES, Nadia *et al*. Physicochemical and functional properties of starches from sorghum cultivated in the Sahara of Algeria. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 78, p. 475-480, 2009.

- BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Portaria N° 268, de 22 de Agosto de 1984** / Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Secretaria de Defesa: - Brasília, 1984.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes** / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: Mapa/ACS, 399 p. 2009.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 3. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1988. 424p.
- CAUDURO, Tatiana. **Qualidade tecnológica da farinha de trigo de grão inteiro parcialmente substituída por malte de trigo**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos.) – Universidade de Passo Fundo, 2019.
- CAUVAIN, S. P.; Young, L. S. **Tecnologia da Panificação**. Barueri – SP: Editora Manole, 2009.
- COLMAN, T. A. D.; DEMIATE, I. M.; SCHINITZLER, E. The effect of microwave radiation on some thermal, rheological and structural properties of cassava starch. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, 2012.
- CONAB- Companhia Nacional de Abastecimento. Sorgo, Safra 2020/2021. **Décimo levantamento, julho de 2021**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>> Acesso em: 30/07/2021
- CONTRERAS-JIMÉNEZ, B.; DEAL REAL, A.; MILLAN-MALO, B. M.; GAYTÁN-MARTÍNEZ, M.; MORALES-SÁNCHEZ, E.; RODRÍGUES-GARCÍA, M. E. Physicochemical changes in barley starch during malting. **Journal of the Institute of Brewing**. 2018.
- CORNEJO-RAMÍREZ, Y. I.; MARTÍNEZ-CRUZ, O.; DEL TORO-SÁNCHEZ, C. L.; WONG-CORRAL, F. J.; BORBOA-FLORES, J.; CINCO-MOROYOQUI, F. J. The structural characteristics of starches and their functional properties. **CyTA - Journal of Food**. 2018.
- DELCOUR, J.; HOSENEY, R. C. **Principles of Cereal Science and Technology**. 2010. Disponível em: <<https://issuu.com/scisoc/docs/27632>>. Acesso em 5/08/2021
- DENARDIN, Cristiane Casagrande; SILVA, Leila Picolli da. **Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas**. *Ciência Rural*, Santa Maria. v.39, n.3, p. 945-954, mai-jun, 2009.

DENDY, D. A. V. Structure and chemistry of sorghum and the millets. In: dendy, d. a. v. (ed.) **Sorghum and Millets Chemistry and Technology**. St Paul, MN: AACCC International, Inc. 1994.

DICKO, M. H.; GRUPPEN, H.; TRAORE, A. S.; VAN BERKEL, W. J. H.; VORAGEN, A. J. Evaluation of the effect of germination on phenolic compounds and antioxidant activities in sorghum varieties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 53, p. 2581- 2588, 2005.

DICKO, M. H.; GRUPPEN, H.; TRAORE, A. S.; VORAGEN, A. J.; VANE 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, p. 384-395, 2006.

DUODU, K. G.; TAYLOR, J. R. N.; BELTON, P. S.; HAMAKER, B. R. Factors affecting sorghum protein digestibility. **Journal of Cereal Science**, 38, 117–131, 2003.

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, p. 21–27, 2004.

ELKHALIFA, Abd Elmoneim O; BERNHARDT, Rita. Influence of grain germination on functional properties of sorghum flour. **Food Chemistry. Universität des Saarlandes**, Fachbereich Biochemie, Saarbrücken, Germany, 2009.

EMBRAPA. Método de Determinação da Granulometria de Ingrediente Para Uso em Rações de Suínos e Aves / Dirceu Luiz Zanotto, Claudio Bellaver, editores técnicos. – Concórdia, SC. Embrapa 1996.

EMBRAPA. **Sorgo: o produtor pergunta, a Embrapa responde** / Israel Alexandre Pereira Filho, José Avelino Santos Rodrigues, editores técnicos. – Brasília, DF: Embrapa, 2015.

FAO, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Sorghum and millets in human nutrition**. 1995. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/t0818e/T0818E0f.htm#Chapter%205%20-%20Nutritional%20quality%20of%20foods%20prepared%20from%20sorghum%20and%20millets>>. Acesso em: 11 jul. 2021.

FERREIRA PP. **Extração, caracterização e aplicação de fécula de açafrão (curcuma longa l.) no desenvolvimento de biscoito.** Tese de mestrado.

Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2014

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

FIB (Food Ingredients Brasil). **Solução para Otimização da Produção de Pães de Casca.** Brasil, 2018. Disponível em: < https://revista-fi.com/upload_arquivos/201811/2018110745352001542805283.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2022.

FRANZIN, Simone Medianeira. **O que é vigor de sementes?**. [S. l.], 2001.

Disponível em: <<http://coral.ufsm.br/sementes/images/vigor.pdf>>. Acesso em: 7 jul. 2021.

GAVA JUNIOR, Marcelo. **Aplicação de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e efeito nas propriedades tecnológicas de pães isentos de glúten.** 2017. Trabalho De Conclusão De Curso. Curso De Engenharia De Alimentos. Universidade Tecnológica Federal Do Paraná – Câmpus Medianeira.

GAZETA DO POVO. Grãos de sorgo. **Gazeta do povo.** Disponível em: < <https://tecnoblog.net/responde/como-colocar-fonte-em-imagens-retiradas-da-internet-nas-normas-abnt/>>. Acesso em: 24, dez, 2021.

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

KHOLE, S.; CHATTERJEE, S.; VARIYAR, P; SHARMA, A.; DEVASAGAYAM, T.P.A.; GHASKADBI, S. Bioactive constituents of germinated fenugreek seeds with strong antioxidant potential. **J. Funct. Foods.**, 6 (2014), pp. 270-279.

LAJOLO, F.M.; MENEZES, E.W. **Carboidratos en alimentos regionales Iberoamericanos.** São Paulo: Universidade de São Paulo, 2006.

LEITE, Daniela Dantas de Farias; CAVALCANTI, Mônica Tejo; SILVA, Adriano Sant'Ana; GONÇALVES, Mônica Correia; ALMEIDA, Maria Climene Bezerra de

- Medeiros. Propriedades funcionais da semente do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in natura e germinado. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, PB, v. 11, n. 1, p. 07-11, 2016.
- LEITE, Patricia. **Amido Modificado Faz Mal? O Que é, Alimentos e Mais**. [S. l.], 24 dez. 2019. Disponível em: <<https://www.mundoboaforma.com.br/amido-modificado-faz-mal-o-que-e-alimentos-e-mais/>>. Acesso em: 19 dez. 2021.
- LI, J.Y.; YEH, A.I. Relationships between thermal, rheological characteristics and swelling power for various starches. **J. Food Eng.** 2001
- LORENZ, K. Cereal sprouts: composition, nutritive value, food applications. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 13, n. 4, p. 353-385, 1980.
- MADRUGA, K. M.; BIDUSKI, B.; DA SILVA, F. T.; ZANETTI, G. S.; ZAVAREZA, E. R.; Dias, A. R. G.; **Propriedades de pasta e dureza de gel de amido de sorgo nativo e oxidado**. Semana integrada. 2015. Dissertação (Iniciação científica) – Universidade Federal de Pelotas. 2015.
- MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M., SCHAFFERT, R.E. Fisiologia da planta do sorgo. Sete Lagoas, MG: **Embrapa Milho e Sorgo**, 46p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 3), 2000.
- MARCHINI, M.; MARTI, A.; FOLLI, C.; PRANDI, B.; GANINO, T.; CONTE, P.; FADDA, C.; MATTAROZZI, M.; CARINI, E. Sprouting of Sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench): Effect of Drying Treatment on Protein and Starch Features. **Foods** 2021.
- MARCON, M. J. A; AVANCINI, S. R. P; AMANTE, E. R. **Propriedades Químicas e Tecnológicas do Amido de Mandioca e do Polvilho Azedo**. Florianópolis: Ed. UFSC, 2007.
- MARTINO, HSD; TOMAZ, PA; MORAEZ, EA; CONCEIÇÃO, LL; OLIVEIRA, DS; QUEIROZ, VAV; *et al.* Chemical characterization and size distribution of sorghum genotypes for human consumption. **Rev Inst Adolfo Lutz**. São Paulo, 2012.
- MIRANDA, M. Z. de. Trigo: germinação e posterior extrusão para obtenção de farinha integral extrusada de trigo germinado. Passo Fundo: **Embrapa Trigo**, 2006. 12 p. html. (Embrapa Trigo. Documentos Online, 74). Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do74.htm>. Acesso em: 12/07/2021

- MIRANDA, Martha Z.; MORI, Claudia de; LORINI, Irineu. Qualidade Comercial do Trigo Brasileiro: Safra, 2005. Passo Fundo: **Embrapa Trigo**, 2008
- 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.
- MOREIRA, A.V.; MORAES, E.A.; MARTINO, H.S.D; SCHAFFERT, R.E.; RIBEIRO, S.M.; QUEIROZ, V.A.V. Potencial funcional e tecnologia de processamento do sorgo [Sorghum bicolor (L.) Moench], para alimentação humana. EMBRAPA. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.10, n.3, p. 180-195, 2011.
- MOREIRA, G.L. P.; VIANA, A.E.S; ANDRADE, A.C.B; CARDOSO, A.D.; SANTOS, V.S.; LOPES, S.C. Teores de amilose e amilopectina em genótipos de mandioca (manihot esculenta crantz). In: **XV CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, Salvador**. 2013. **Anais...** Salvador: EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA, 2013.
- MUTISYA, J.; SUN, C.; ROSENQUIST, S.; BAGUMA, Y.; JANSSON, C. Diurnal oscillation of SBE expression in sorghum endosperm. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 166, p. 428- 434, 2009.
- NILSSON, M.; AMAN, P.; HARKONEN, H.; HALLMANS, G.; KNUDSEN, K. E. B.; MAZUR, W.; AADLERCREUTZ, H. Content of nutrients and lignans in roller milled fractions of rye. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London v. 73, p.143-148, 1997.
- OICHEME, O. B. Effect of storage of millet flour on the quality and acceptability of millet flour porridge (Enyiokwolla). **Journal of Food Technology**, 2007
- OICHEME, O. B.; ADEDEJI, O. E.; LAWAL, G.; ZAKARI, U.M. Effect of Germination on Functional Properties and Degree of Starch Gelatinization of Sorghum Flour. **Canadian Center of Science and Education**. 2015.
- OLEMBO, K. N.; M'MBOYI, F.; KIPLAGAT, S.; SITIENEY, J. K.; OYUGI, F. K.; Sorghum Breeding in Sub-Saharan Africa: The success stories. Nairobi: **African Biotechnology Stakeholders Forum**, 2010. 40 p.
- OLIVEIRA, Faustina Maria de; GONZAGA, Carmém Lúcia. **O Sorgo Na Alimentação Humana**: Uma alternativa viável e nutritiva. MG: EMATER - MG, 2000.

- OLIVEIRA, Janaina Lacerda. **Pães sem glúten com farinha de sorgo vermelho: propriedades tecnológicas, proximais e sensoriais**. Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde, 2017.
- OSGUERA-TOLEDO, Miguel E. *et al.* Physicochemical changes of starch during malting process of sorghum grain. **Journal of Cereal Science**, [S. l.], p. 01-09, 10 ago. 2020.
- QUEIROZ, V. A. V.; SILVA, K. S. da.; MENEZES, C. B. de.; SCHAFFERTH, R. E.; GUIMARÃES, F. F. M.; GUIMARÃES, L. J. M.; GUIMARÃES, P. E. de O.; TARDIN, F. D. Nutritional composition of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] genotypes with and without water stress. **Journal of Cereal Science**, Sete Lagoas, vol. 65, p. 103-111, 2015.
- RATNAVATHI, C. V.; PATIL, J. V. Sorghum Utilization as Food. **Journal of Nutrition & Food Sciences**, [S. l.], p. 1-8, 29 nov. 2013.
- RIBAS, Paulo Motta. Sorgo: Introdução e Importância Econômica. Sete Lagoas, MG. **Embralha Milho e Sorgo**. 14p. 2003. Disponível em:
<<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/486642/1/Doc26.pdf>>. Acesso em: 7 jul. 2021
- RIBEIRO, E. P. **Química de alimentos**. São Paulo – SP: Editora Blucher, 2007.
- ROONEY, L. W. Food and nutritional quality of sorghum and millet. **INTSORMIL Annual Report**, Lincoln, p. 91-93, 2007.
- SANDHU, K. S.; SINGH, N. Some properties of corn starch II: Physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties. **Food Chemistry**, v. 101, p. 1499-1507, 2007.
- SANTOS, Iara Regina dos. **EFEITO DA GERMINAÇÃO NO AMIDO, PROTEÍNA E DIGESTIBILIDADE DO TRIGO**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, [S. l.], 2018.
- SANTOS, Thais Paes Rodrigues dos. **PRODUÇÃO DE AMIDO MODIFICADO DE MANDIOCA COM PROPRIEDADE DE EXPANSÃO**. 2012. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, [S. l.], 2012.
- SCHOBER, T. J.; MESSERSCHIMIDT, M.; BEAN, S. R.; PARK, S. H.; ARENDT, E. K. Gluten-free bread sorghum: quality differences between hybrids. **Cereal Chemistry**, Cork, vol. 82, n. 4, p. 394-404, 2005.

SCHOBER, 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.

SHAO, Y. Y.; TSENG, Y. H.; CHANG, Y. H.; LIN, J. H.; LII, C. Y. Rheological properties of rice amylose gels and their relationships to the structures of amylose and its subfractions. **Food Chemistry**, v. 103, n. 4, p. 1324-1329, 2007.

SILVA, G. O. *et al.* **Características físico-Químicas de amidos modificados de grau alimentício comercializados no Brasil**. *Ciênc. Tecnol. Aliment. Campinas*, v. 26, n. 1, p. 188-197, jan./mar., 2006. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/cta/a/bP5GMVtKq3xqXQq8y3C5Rbs/?format=pdf&lang=pt>>

Acessado em: 10/08/2021.

SILVA, J.L.M. D. **Panificação: da moagem do grão ao pão assado**. Barueri – SP: Editora Manole, 2021.

SILVA, Juliana Souza e. **Sustentabilidade e desenvolvimento de cookie desglutinizado para dieta restrita ao glúten**. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, 2012.

SILVA, Natacha; **Quantificação de amido e proteínas totais em grãos de sorgo [Sorghum bicolor (L.) Moench- Família: Poaceae] visando à alimentação humana**. 2015. Monografia. Especialização. Pós-Graduação em Botânica. Universidade de Brasília, 2015.

SINGH, A.K.; REHAL, J.; KAUR, A.; JYOT, G. Enhancement of attributes of cereals by germination and fermentation: A review. **Crit. Rev. Food Sci. Nutr.** 2015

SINGH, H. *et al.* **Influence of prior acid treatment on physicochemical and structural properties of acetylated sorghum starch**. *Starch/Starke*, v. 63, n. 5, p. 291-301, mar./2011.

SOUSA, A. P. de; QUEIROZ, V. A. V.; NEVES, E. O.; NETO, J. I. E.; CORREIA, V. T. da V.; SCHAFFERT, R. E. Avaliação da qualidade tecnológica de genótipos de sorgo para produção de pães sem glúten. **XXXI Congresso Nacional de Milho e Sorgo**. Bento Gonçalves, RS, 2016.

SOUZA, Roberta C. R.; Andrade, Cristina T. Investigação dos processos de gelatinização e extrusão de amido de milho. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 10, nº 1, p. 24-30, 2000.

- SPIER, Franciela. **Efeito dos Tratamentos Alcalino, Ácido e Oxidativo nas Propriedades de Amido de Milho**. 72f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. 2010.
- SUN, Q.; HAN, Z.; WANG, L.; XIONG, L. Physicochemical differences between sorghum starch and sorghum flour modified by heat-moisture treatment. **Food Chem.** 2014.
- USDA - Full Report (All Nutrients) 20648, **Sorghum flour, whole-grain. National Nutrient Database for Standard Reference**, Release 28 slightly revised, 2016.
- VIANA, Fabrício Ferreira. **Os benefícios de plantar sorgo granífero**. [S. l.], 27 set. 2019. Disponível em: <<http://www.pioneersementes.com.br/blog/196/os-beneficios-de-plantar-sorgo-granifero>>. Acesso em: 22 jul. 2021.
- VIEIRA, A.K.S.; DUARTE, G.B.; QUEIROZ, V.A.V.; CORREA, T.R.; SILVA, V.D.M.; ARAÚJO, R.L.B.; GARCIA, M.A.V.T.; FANTE, C.A.; Characterization of starch isolated from different sorghum cultivars (*Sorghum bicolor* L. Moench). **Braz. J. of Develop.** Curitiba, v. 6, n.5, p.24704-24718. 2020.
- 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.
- YOENYONGBUDDHAGAL, S.; NOOMHORM, A. Effect of Physicochemical Properties of High-Amylose Thai Rice Flours on Vermicelli Quality. **Cereal Chemistry Journal.** 2002.
- ZAVAREZE, Elessandra da Rosa *et al.* Poder de inchamento e solubilidade de amido de arroz submetido ao tratamento térmico com baixa umidade. **Brazilian Journal of Food Technology**, [S. l.], p. 31-35, 7 jan. 2009.
- ZILIC, S.; JANKOVIC, M.; BARAC, M.; PESIC, M.; KONIC-RISTIC, A.; SUKALOVIC, V. H. T. Effects of enzyme activities during steeping and sprouting on the solubility and composition of proteins, their bioactivity and relationship with the bread making quality of wheat flour. **Food & Function**, v. 7, n. 10, p. 4323-4331, 2016.