



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS**

YAGO DE OLIVEIRA SILVA

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE INDUSTRIAL DE TRIGO NACIONAL (BRS 264)
PROVENIENTE DE REGIÃO NÃO CONVENCIONAL**

**FORTALEZA
2024**

YAGO DE OLIVEIRA SILVA

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE INDUSTRIAL DE TRIGO NACIONAL (BRS 264)
PROVENIENTE DE REGIÃO NÃO CONVENCIONAL

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Área de concentração: Produtos de Origem Vegetal.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Dorasílvia Ferreira Pontes

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S584a Silva, Yago de Oliveira.
Avaliação da qualidade industrial de trigo nacional (BRS 264) proveniente de região não convencional /
Yago de Oliveira Silva. – 2023.
67 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de
Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Dorasívia Ferreira Pontes.

1. Farinha. 2. Trigo. 3. Panificação. 4. Reológicas. I. Título.

CDD 664

YAGO DE OLIVEIRA SILVA

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE INDUSTRIAL DE TRIGO NACIONAL (BRS 264)
PROVENIENTE DE REGIÃO NÃO CONVENCIONAL

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Área de concentração: Produtos de Origem Vegetal.

Aprovada em: 27/09/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Dorasilia Ferreira Pontes (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dr^a. Maria Nilka de Oliveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dr^a. Stella Regina Arcanjo Medeiros
Universidade Federal do Piauí (UFPI)

Ao Senhor meu Deus, que me deu saúde e
perseverança para concluir aquilo que comecei.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

A Deus, por ter me conduzido a criar este trabalho e por me ensinar que precisamos ter cautela para alcançarmos nosso objetivos.

Aos meus pais, Robéria de Oliveira e Souza e Vladíso Souza Silva, que sempre me apoiaram nos momentos difíceis e me encorajaram nos momentos difíceis.

À Universidade Federal do Ceará, especialmente ao Departamento de Engenharia de Alimentos e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, por me proporcionarem oportunidades e desafios para meu crescimento.

À minha orientadora, Prof^a Dorasílvia Ferreira Pontes, por ter me feito sentir pertencente e me deixar agregar com o meu melhor, pelos ensinamentos e encorajamentos, pela preocupação e cuidado, e por sempre me fazer uma pessoa e uma profissional melhor. Por deixar os dias difíceis mais fáceis de lhe dar.

À Prof^a. Maria Nilka de Oliveira, por sua orientação, apoio, esclarecimentos e praticidade que me auxiliou na concretização deste trabalho.

À Prof^a. Stella Regina Arcanjo de Medeiros, por ter participado da minha banca examinadora, suas contribuições e sua atenção e delicadeza.

À Prof^a. Marcia Maria de Medeiros Leal e Prof^a. Patrícia Beltrão Lessa Constant, por me ajudarem com meus questionamentos e por ótimas sugestões.

Aos meus companheiros de laboratório, Izabel, Leiliane, Claudilane, Kellen, Cristiano, Glauber, Camila, Alane, Lucas, Lais, Maryane, Sara, Barbara, Ananda, Lara e Andrezza pelo apoio, convívio e ajuda imensurável nesses dias de trabalho e nos momentos de confraternização.

Aos meus companheiros de pós-graduação Izabel, Tereza, Eclenia, Fernando Eugênio e Eclênia, por passarem por esse processo comigo e ainda estarmos juntos, nos momentos bons e ruins, sempre nos apoiando.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, Paulo, Egídio, Eledir, Neuma, Luiz, Genevane, Isaias, Helena, Junior e Tereza, pela ajuda para a realização de várias tarefas.

E a todos torceram e contribuíram de alguma forma para a realização deste projeto, Obrigado.

“Não há vida sem correção, sem retificação.”

Paulo Freire

RESUMO

No cotidiano da sociedade moderna utiliza-se muitos alimentos derivados da farinha de trigo, que são considerados essenciais para uma dieta balanceada. Na produção da farinha de trigo, características tecnológicas específicas precisam ser observadas para que a produção final tenha um uso assertivo quanto a finalidade de sua aplicação. Neste trabalho objetivou-se avaliar as propriedades físico-químicas, químicas e promover uma discussão sobre a avaliação das qualidades reológicas da farinha de trigo, proveniente da espécie *Triticum aestifnum* L, oriunda de uma região não convencional. A farinha e suas respectivas formulações serão caracterizadas quanto às duas características químicas e nutricionais (composição centesimal, carboidratos, fibra dietética total – FDT, fibra solúvel – FDS, fibra insolúvel – FDI, glúten, falling number, cor, amido, capacidade de absorção de água e óleo) e reológicas (farinografia, alveografia e extensografia). O teor de umidade (10,37%) da farinha encontra-se dentro dos padrões permitidos pela legislação. Os percentuais de glúten index (94,5%) e úmido (27,7%), denotaram que a amostra possui alta capacidade de retenção de gás carbônico, que permite a expansão da massa. Em relação à alveografia, a amostra é classificada como forte e boa para produtos de panificação. A farinha de trigo cultivada na região Nordeste do Brasil apresenta um rico potencial reológico e pode ser utilizada no desenvolvimento de novos alimentos para panificação, tornando-se uma oportunidade promissora de investimento para as indústrias moageiras.

Palavras-chave: farinha; trigo; panificação; reológicas.

ABSTRACT

In its daily routine, modern society uses a wide range of flour-based foods, which are considered essential for a balanced diet. In the production of wheat flour, specific technological characteristics need to be observed in order for the final product to be used assertively for its intended purpose. The aim of this study was to promote a discussion on the evaluation of the physico-chemical, chemical and rheological qualities of a wheat from an atypical national region, in addition to preparing culinary preparations, enabling its application in the bakery products industry, and to understand how gastronomy professionals perceive this challenge and analyze the physical and sensory characteristics of the final product. The flour and its respective formulations will be characterized in terms of their chemical and nutritional characteristics (centesimal composition, carbohydrates, total dietary fibre - TDF, soluble fibre - SDF, insoluble fibre - IDF, gluten, falling number, color, starch, water and oil absorption capacity) and rheological characteristics (farinography, alveography and extensography). The moisture content (10.37%) of the flour is within the standards allowed by legislation. The percentages of index gluten (94.5%) and wet gluten (27.7%) indicate that the sample has a high capacity for retaining carbon dioxide, which allows the dough to expand. In terms of alveography, the sample is classified as strong and good for bakery products. Wheat flour grown in the northeast of Brazil has a rich rheological potential and can be used in the development of new bakery foods, becoming a promising investment opportunity for the milling industries.

Keywords: flour; wheat; baking; rheological.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura do grão de trigo, com ilustração de suas três principais partes anatômicas.....	16
Figura 2 – Estimativa para a produção de trigo em 2024	18
Figura 3 – Semeadura e colheita da safra de trigo em 2024	19
Figura 4 – Participação do Brasil na produção mundial de trigo conforme USDA (2024).20	
Figura 5 - Fluxograma de desenvolvimento da produção de trigo na região Nordeste do Brasil.....	22
Figura 6 - Fluxograma de desenvolvimento do estudo.....	38
Figura 7 – Grãos de trigo (à esquerda) e farinha de trigo (à direita) do Maranhão.....	39
Figura 8 - Espaço de cor CIE L*a*b* (A) e L*C*h (B).....	42
Figura 9 – Fluxograma de processamento dos pães tipo forma	45
Figura 10 – Pães tipo forma	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características das farinhas de trigo para os diversos tipos de produtos segundo o Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos 2022.....	28
Tabela 2 – Elaboração dos pães tipo forma	45
Tabela 3 – Características nutricionais, físicas e químicas das amostras de Farinha de Trigo Maranhense e Farinha de Trigo Russa	48
Tabela 4 - Propriedades funcionais das amostras de farinha de Trigo Maranhense e Farinha de Trigo Russa	51
Tabela 5 – Análise fitoquímica do grão de Trigo Maranhense	52
Tabela 6 – Características reológicas das amostras de Farinha de Trigo Maranhenses e Farinha de Trigo Russa	53
Tabela 7 – Características nutricionais e física dos pães de forma	54
Tabela 8 – Resultados médios e teste de Tukey dos parâmetros físicos dos pães tipo forma	55

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS	15
2.1	Geral	15
2.2	Específicos	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.1	Origem e características.....	16
3.2	Produção de trigo no Brasil e no mundo	17
3.3	Cultivo de trigo em localidades não convencionais da região Nordeste	21
3.4	Pão	24
3.5	A Evolução do Pão ao Longo da História	25
3.6	Grão de trigo e sua farinha.....	26
3.7	Água	31
3.8	Sal	33
3.9	Glúten	34
3.10	Gordura	34
3.11	Fermento	35
4	MATERIAL E MÉTODOS	38
4.1	Matéria-Prima.....	38
4.2	Moagem	39
4.3	Caracterização Físico-Química das Matérias-Primas.....	39
4.3.1	<i>Umidade</i>	40
4.3.2	<i>Teor de cinzas</i>	40
4.3.3	<i>Teor de proteína</i>	40
4.3.4	<i>Lipídios</i>	40
4.3.5	<i>Carboidratos</i>	40
4.3.6	<i>Fibra Alimentar</i>	41
4.3.7	<i>Valor Calórico</i>	41
4.3.8	<i>Cor.....</i>	41
4.3.9	<i>Número de queda (Falling number).....</i>	42
4.3.10	<i>Amido modificado</i>	42
4.3.11	<i>Caratenóides</i>	42

4.3.12	<i>Teor de glúten</i>	43
4.3.13	<i>Capacidade de absorção de água e óleo.....</i>	43
4.4	Análises Reológicas	43
4.4.1	<i>Alveografia</i>	43
4.4.2	<i>Farinografia</i>	44
4.4.3	<i>Extensografia</i>	44
4.5	Elaboração de Pães de Forma	44
4.5.1	<i>Avaliação Nutricional e Física dos Pães</i>	46
4.5.2	<i>Volume Específico</i>	46
4.5.3	<i>Densidade</i>	47
4.6	Análises Estatísticas	47
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
5.1	Caracterização nutricional, física e química	48
6	CONCLUSÃO	57
	REFERÊNCIAS	58

1. INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum L.*) é o cereal mais consumido no mundo e tem desempenhado um papel fundamental na alimentação humana ao longo da história. Considerado uma das primeiras culturas alimentares a ser domesticada, o trigo tem sido, por mais de 8.000 anos, a base alimentar das principais civilizações, sendo amplamente cultivado em diversas regiões do planeta (FAO, 2016a; SANTOS, 2019; CURTIS, 2019). Atualmente, é a cultura agrícola mais extensivamente cultivada globalmente, abrangendo mais de 218 milhões de hectares. Seu comércio internacional supera o de todas as outras culturas somadas, consolidando o trigo como a principal fonte de grãos para o consumo humano (CURTIS, 2019). Essa ampla capacidade de cultivo permite que o trigo prospere em áreas com uma diversidade de condições climáticas, altitudes e tipos de solo (INTELLIGENCE, 2023).

A Embrapa, através do Programa de Melhoramento Genético de Trigo no Brasil, tem introduzido cultivares superprecoceis na região do Cerrado. Essas variedades apresentam maior produtividade, resistência e tolerância a estresses ambientais e doenças, além de possuírem características específicas para atender às diferentes classes industriais de trigo (ALBRECHT, 2021).

A cultivar BRS 264 alcançou, em 2021, um recorde mundial de produtividade diária no município de Cristalina, GO, atingindo 9.630 kg/ha, o equivalente a 80,9 kg/ha/dia ou 160,5 sacas/ha. Reconhecida como uma solução tecnológica consolidada para o cultivo de trigo irrigado no Cerrado brasileiro, a BRS 264 destaca-se por sua alta produtividade e ampla aceitação pela indústria (EMBRAPA, 2021).

Em termos de segurança alimentar, o trigo é a segunda cultura mais importante nos países em desenvolvimento. De acordo com a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), o trigo é o segundo alimento mais consumido globalmente, ficando atrás apenas do arroz, com cerca de 80 milhões de agricultores dependendo dele para sua subsistência (FAO, 2021). A alta demanda por trigo e seus derivados, como a farinha, está diretamente ligada ao seu papel essencial em diversos alimentos da dieta global. O trigo é crucial para aqueles que buscam uma alimentação equilibrada, sendo uma importante fonte de carboidratos em muitos países. Além disso, globalmente, ele é uma das principais fontes de proteínas, fibras e cálcio, com um teor de proteína variando entre 12% e 15%, o que é relativamente elevado em comparação com outros cereais importantes (KHAN, 2024; SHEWRY, 2015; SARWAR, 2013).

A farinha de trigo desempenha um papel fundamental na elaboração de produtos de

panificação (VIEIRAET, 2015). Para sua produção, é necessário passar pelo processo de moagem, que envolve diversas etapas, desde a recepção do grão até o envase do produto final. Ao chegar aos moinhos, o grão de trigo pode conter impurezas, tornando-se necessário realizar procedimentos de lavagem e purificação durante o recebimento e em outros ganhos do processo, a fim de evitar contaminações (ABITRIGO, 2021).

A atratividade do trigo deve-se à sua capacidade de formar um gel viscoelástico, conhecido como glúten, que retém o dióxido de carbono durante a fermentação. O glúten, um conjunto elástico de proteínas presente no grão de trigo, aprisiona pequenas bolhas de gás carbônico na massa levedada, permitindo que ela cresça. Esse processo confere às massas e aos produtos de panificação suas propriedades únicas. (VIEIRA, *et al.* 2015; CURTIS, 2019). As proteínas gliadina e glutenina presentes na farinha de trigo se combinam com a água durante o processo de mistura, formando o glúten, que é responsável por propriedades como higroscopidade, coesividade, viscosidade e elasticidade da massa (ŠMÍDOVÁ, 2022). A exclusão do glúten impede o desenvolvimento adequado da massa durante a fermentação e o cozimento, resultando em produtos de panificação com baixa qualidade física e aceitação sensorial (AGUIARET, 2022).

De acordo com Caldeira *et al.* (2000), a realização de análises físico-químicas, químicas e reológicas da farinha de trigo é fundamental para determinar sua adequação em diferentes aplicações. Assim como outros produtos alimentícios, a farinha de trigo também passa por análises de qualidade, não apenas para garantir a segurança do consumidor, mas também para orientar a indústria na escolha da melhor aplicação, seja para a produção de massas, biscoitos ou outros produtos panificáveis (BRASIL, 2010).

O consumo de trigo está aumentando globalmente, inclusive em países com climas desfavoráveis para sua produção. Além de ser um alimento básico, o trigo é também uma fonte popular de ração animal, especialmente em anos em que as colheitas são prejudicadas pela chuva, resultando em grãos inadequados para o consumo humano. Esse trigo de qualidade inferior é frequentemente utilizado pela indústria para a produção de adesivos, aditivos de papel, e até mesmo álcool (CURTIS, 2019).

O objetivo deste estudo foi caracterizar e avaliar as propriedades físico-químicas, químicas e promover uma discussão sobre a avaliação das qualidades reológicas da farinha de trigo, proveniente da espécie *Triticum aestiflum* L, oriunda de uma região não convencional, com condições climáticas atípicas, identificando-a como uma oportunidade promissora de investimento para as indústrias moageiras. O baixo custo da farinha nessas regiões apresenta um grande potencial para sua aplicação em larga escala na produção de produtos de panificação.

Além disso, o cultivo de trigo em novas áreas pode contribuir significativamente para aumentar a produção nacional, ajudando a suprir a demanda interna no Brasil.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Caracterizar e avaliar as propriedades físico-químicas, químicas e reológicas da farinha trigo proveniente da espécie *Triticum aestivum L*, oriunda de uma região não convencional.

2.2 Específicos

- Categorizar as farinhas, bem como destiná-las para a aplicação adequada segundo a legislação.
- Comparar as características da farinha de trigo de uma região não convencional com as de uma região tradicional, identificando diferenças significativas na composição centesimal, bem como nas propriedades físicas, químicas, reológicas e de qualidade, como cor e textura.
- Estabelecer a correlação entre as propriedades analisadas e o desempenho da farinha na produção de pães de forma, com foco na avaliação de suas características nutricionais e texturais.

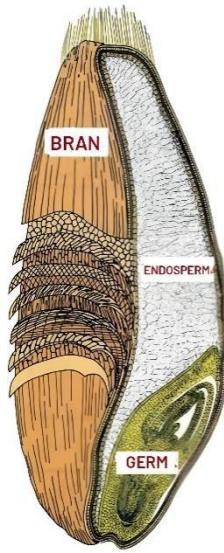
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Origem e características

O termo "trigo" tem origem no latim, derivando da palavra *triticum*, que significa "quebrado" ou "triturado", fazendo referência à atividade de separar o grão de trigo da casca (SCHEUER, 2011). Ao longo dos anos, o trigo tornou-se um dos principais alimentos na dieta humana, juntamente com o arroz, a aveia e o milho. (ABITRIGO, 2021).

Botanicamente, o trigo pertence à família Poaceae, à subfamília *Pooideae* e gênero *Triticum*. Ele apresenta diferentes espécies, classificadas de acordo com o número de cromossomos. O trigo pode ser diplóide, tetraploide e hexaploide. Algumas espécies incluem o *Triticum monococcum*, com 14 cromossomos, o *Triticum durum*, com 28 cromossomos, e o *Triticum aestivum*, também conhecido como trigo comum, com 42 cromossomos (GWIRTZ, 2006; SCHEUER, 2011; SILVA, 2017; MOURA, 2020).

Figura 1 - Estrutura do grão de trigo, com ilustração de suas três principais partes anatômicas.



Fonte: Atwell, Finnie, 2016.

O grão de trigo é composto pelos principais componentes: farelo, gérmen e endosperma. O farelo consiste nas camadas protetoras externas do núcleo do grão e representa aproximadamente 14% de seu peso total, possui fibras insolúvel contribuindo para o bom funcionamento do intestino. É uma parte rica em minerais. O gérmen, que compreende apenas cerca de 3% do peso total do grão, contém a maior parte dos lipídios (camada de aleurona) e nutrientes essenciais, como proteínas, carboidratos, zinco, cálcio, selênio, ferro, vitaminas do complexo B, vitamina E e C, importantes para o sistema circulatório, no combate aos radicais

livres e na metabolização da glicose. Por outro lado, o endosperma, que corresponde a cerca de 83% do grão, é composto principalmente carboidrato e proteínas (ATWELL; FINNIE, 2016; HAN, et al., 2022). Sua farinha integral apresenta fibra e proteína, cujo consumo auxilia na digestão e no ganho de massa muscular, enquanto sua farinha branca, pela retirada da casca e gérmen, é um alimento pobre em vitaminas e fibras, mas fornece energia para o corpo de forma rápida (OLIVEIRA, 2023).

O trigo é um dos principais cereais cultivados e consumidos em todo o mundo, desempenhando um papel fundamental no desenvolvimento da civilização desde tempos pré-históricos. Ele serve como base para diversos produtos alimentares destinados tanto ao consumo humano quanto animal. Apesar de sua importância, a produção e o comércio de trigo exigem cuidados especiais e constituem um mercado de grãos de grande escala, embora apresentem um valor agregado relativamente baixo (FAO, 2016a; MORDOR INTELLIGENCE, 2023).

A produção de trigo engloba 124 países, de acordo com a Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2016b). O trigo desempenha um papel fundamental na alimentação humana e animal, pois é uma fonte de alta energia e possui teores de carboidratos e proteínas. Além disso, não há substituto direto que encontrou todos os nutrientes encontrados no trigo, o que o torna essencial para a segurança alimentar e um dos cereais mais valorizados (SYNGENTA, 2022).

3.2 Produção de trigo no Brasil e no mundo

A história do cultivo de trigo no Brasil remonta a 1534, quando as primeiras sementes desse cereal chegaram ao país através das embarcações comandadas por Martim Afonso de Sousa. Essas sementes foram plantadas nas terras da Capitania de São Vicente, que correspondem à atual região de São Paulo. A partir desse ponto de partida, o cultivo de trigo se expandiu por todo o território brasileiro, inclusive alcançando a Ilha de Marajó, onde as plantações posteriormente se tornaram notáveis (BRUM, HECK & LEMES, 2004).

Entretanto, no século XIX, as plantações de trigo enfrentam sérios desafios devido a ataques de ferrugens, chegando a quase desaparecer até o período da Primeira Guerra Mundial. Nesse momento crítico, o governo brasileiro começou a demonstrar um interesse crescente na revitalização desse setor, oferecendo prêmios aos produtores e promovendo pesquisas experimentais. Esse apoio governamental impulsionou o renascimento da cultura do trigo no país, resultando no desenvolvimento de novas variedades mais resistentes à ferrugem (FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO PARANÁ, 2006).

Embora seja o segundo maior produtor de trigo na América do Sul, ficando atrás

apenas da Argentina, seu principal fornecedor, devido aos custos mais baixos de importação em comparação com as normas transfronteiriças de outros exportadores. Com a introdução de novas tecnologias e o uso eficiente dos recursos, o Brasil tem o potencial de se tornar um exportador de trigo, orientando sua dependência da importação (MORDOR INTELLIGENCE, 2023).

Segundo a Conab (2023), a estimativa para a safra 2023/24 de trigo (Figura 2), indica uma produção de 295,6 milhões de toneladas, indicando uma redução de 7,6% ou 24,2 milhões de toneladas abaixo do obtido em 2022/23, isso é decorrente das condições climáticas desfavoráveis ocorridas nas principais regiões produtoras (Centro Oeste, Sudeste e Matopiba (acrônimo que denomina a região que se estende por quatro estados do Brasil, formado com as primeiras sílabas dos nomes dessas unidades federativas: Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia)). O trigo brasileiro é cultivado em diversas regiões e épocas distintas, experimentando inúmeros tipos de solo, altitude e condições climáticas, possibilitando o emprego de diferentes pacotes tecnológicos e resultando em produtividades variadas, de acordo com essas condições.

Figura 2 – Estimativa para a produção de trigo em 2024.

Safra	Área (em mil ha)	Produtividade (Kg/ha)	Produção (em mil t)
2018	2.042,4	2.657	5.427,6
2019	2.040,5	2.526	5.154,7
2020	2.341,5	2.663	6.234,6
2021	2.739,3	2.803	7.679,4
2022	3.086,2	3.420	10.554,4
2023	3.473,4	2.331	8.096,8
Fev/24	3.477,0	2.934	10.199,8
2024 Mar/24	3.264,7	2.937	9.587,9

Fonte: CONAB, 2023.

De acordo com o International Trade Center, o Brasil é o sétimo maior importador de trigo do mundo, tendo importado cerca de 6,5 milhões de toneladas em 2019. Apesar de ocupar a 15ª posição no ranking dos maiores produtores de trigo globalmente, de acordo com os dados da USDA (2022), o Brasil ainda precisa realizar internacionalmente para suprir a demanda interna (MORDOR INTELLIGENCE, 2023).

A Figura 3 mostra a semeadura e previsão de colheita de trigo/ safra 2024 (CONAB, 2023), para os oito estados Goiás, Minas Gerais, Bahia, Rio Grande do Sul, Paraná, Santa

Catarina, São Paulo e Mato Grosso do Sul. Um destaque importante é a Bahia, pois é o único estado produtor de trigo da região Nordeste (CONAB, 2024).

Figura 3 – Semeadura e colheita da safra de trigo em 2024.

Unidade da Federação	Semeadura/ Semana até:			*Colheita/ Semana até:		
	2023		2024	2023		2024
	16/set	08/set	15 set	16/set	08/set	15 set
Goiás	100%	100%	100%	85%	95%	97%
Minas Gerais	100%	100%	100%	84%	97%	99%
Bahia	100%	100%	100%	60%	20%	20%
Rio Grande do Sul	100%	100%	100%	0,0%	0,0%	0,0%
Paraná	100%	100%	100%	35%	11%	18%
Santa Catarina	100%	100%	100%	0,0%	0,0%	0,0%
São Paulo	100%	100%	100%	30%	20%	25%
Mato Grosso do Sul	100%	100%	100%	97%	90%	100%
08 estados	100%	100%	100%	22,8%	14,6%	17%

Os oito estados correspondem 99,9% da área cultivada. * Percentual de colheita calculado em relação ao semeado acumulado da semana.

Fonte: CONAB (2024).

Ao analisar os dados disponíveis, é perceptível uma disparidade significativa na produção de trigo entre as diferentes regiões do Brasil. Um destaque importante é a Bahia, que se destaca como a única produtora de trigo na região Nordeste. Além disso, é notável o excelente desempenho alcançado na manufatura, com valores consideravelmente superiores aos registrados nos anos anteriores, especificamente em 2020 e 2021. Essa disparidade na produção de trigo entre as regiões brasileiras é evidente, reforçando o papel relevante da Bahia como principal produtora na região Nordeste e sua notável melhoria em termos de quantidade produzida, comparando-se aos anos anteriores (CONAB, 2022).

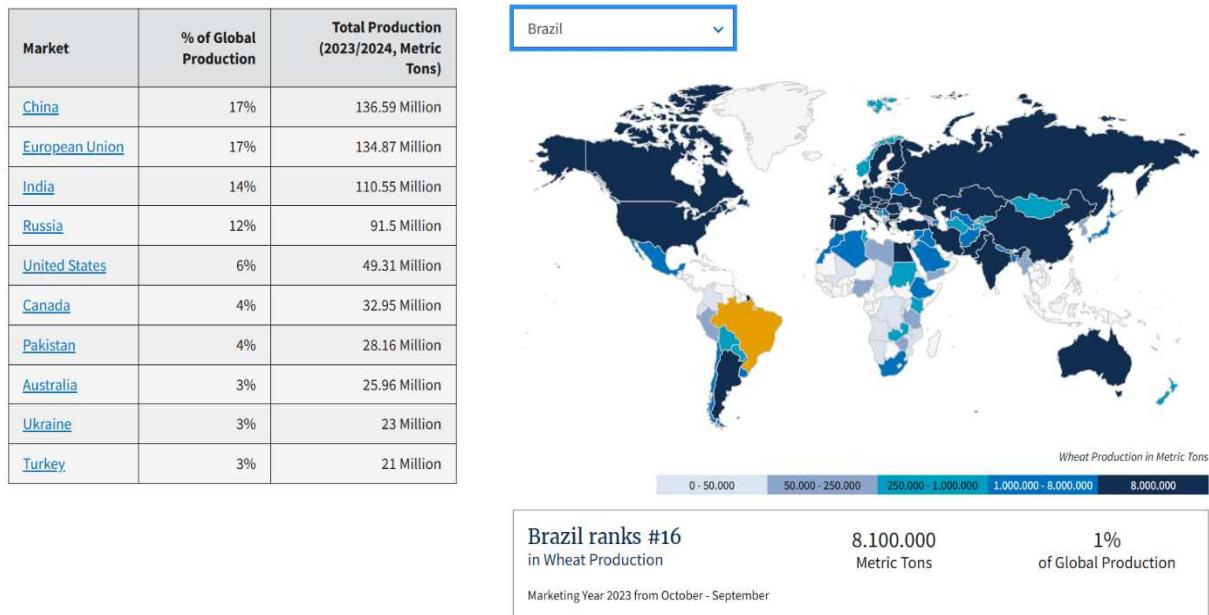
Segundo o *United States Department of Agriculture* (USDA, 2024). A previsão dos maiores produtores de trigo do mundo em 2024 está listada no quadro e mapa abaixo (Figura 4). O Brasil está na posição 16º na produção mundial de trigo, contribuindo com 8.100.000 toneladas, equivalente a 1% da produção global de trigo. De acordo Mordor Intelligence (2023), apesar do progresso significativo na produção de trigo nas últimas décadas, os países em desenvolvimento ainda importam cerca de dois terços de todo o comércio mundial de trigo

devido à crescente demanda interna.

Figura 4 – Participação do Brasil na produção mundial de trigo conforme USDA (2024).

Top Producing Countries

2023/2024 Wheat Production



Tratando-se do mercado global (Figura 4), A China desempenha um papel crucial como consumidora de trigo no mercado global, impactando significativamente a dinâmica do mercado de grãos em todo o mundo. Em 2019, o consumo de trigo na China atingiu 128 milhões de toneladas, um aumento em relação a 2018, quando foram consumidas 125 milhões de toneladas. A produção de macarrão e pães tem impulsionado o mercado de trigo no país (MORDOR INTELLIGENCE, 2022). Em 2021, a produção de trigo na China registrou um aumento considerável devido a condições climáticas favoráveis, disponibilidade de insumos entre os agricultores e maior investimento do governo para impulsionar a produção (MORDOR INTELLIGENCE, 2023).

Dados da Food and Agriculture Organization revelam que, em 2020, a produção global de trigo alcançou 760 milhões de toneladas, com uma área colhida de 219 milhões de hectares. Os principais produtores de trigo do mundo estão concentrados na Ásia, como China, Índia e Austrália, na Europa, como Rússia, França e Alemanha, e na América do Norte, como Estados Unidos e Canadá. Apesar do progresso significativo na produção de trigo nas últimas décadas, os países em desenvolvimento ainda importam cerca de dois terços de todo o comércio mundial de trigo devido à crescente demanda interna (MORDOR INTELLIGENCE, 2023).

Segundo a Forbes (2024), o trigo russo é uma variedade de trigo que é cultivada na Rússia conhecida por sua resistência às condições climáticas adversas e sua capacidade de

produzir grãos de alta qualidade. Ele é especialmente valorizado por sua capacidade de crescer em regiões com climas frios e úmidos. A Rússia, o maior exportador de trigo do mundo, espera uma safra de grãos abundante de 147 milhões de toneladas em 2024.

A safra 2024/25 de trigo no Brasil e na Argentina é extremamente importante para ambos os países. Afinal, eles têm uma importante relação comercial: os argentinos são os principais fornecedores de trigo para os brasileiros. Nesse contexto, são inúmeras as variáveis que podem afetar o mercado de trigo nessas duas nações. Os desafios climáticos e a própria oferta da Rússia afetam os preços e a tomada de decisões dos agricultores em todo o mundo, inclusive no Brasil. Diante da incerteza e necessidade, o Brasil vem importando o trigo da Rússia (MINAMI, 2024).

3.3 Cultivo de trigo em localidades não convencionais da região Nordeste

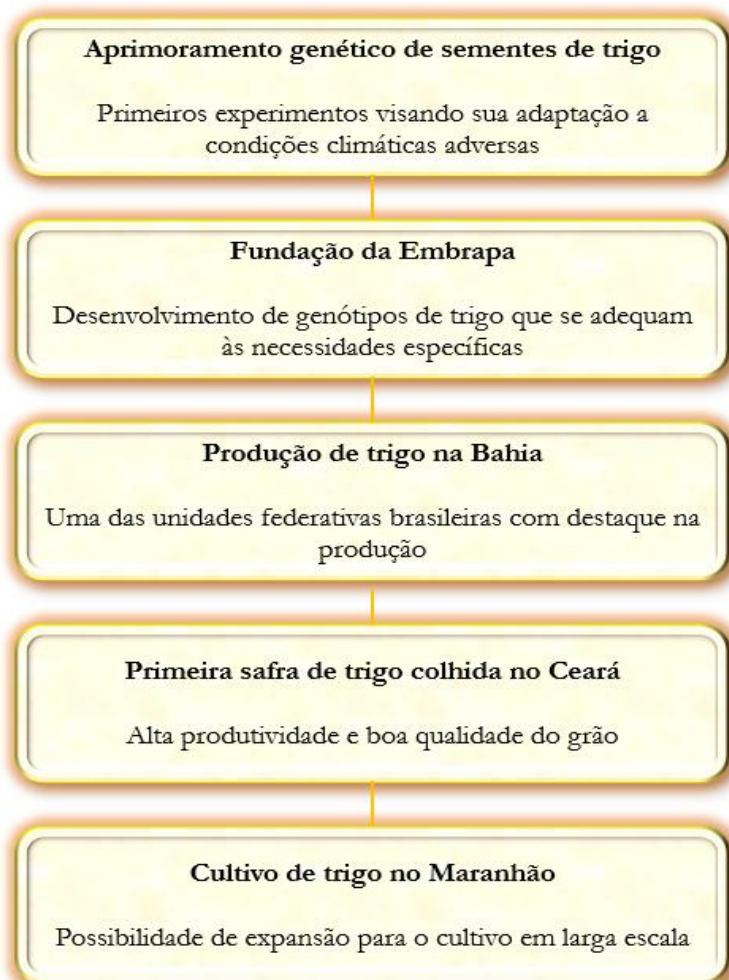
O trigo plantado em regiões não convencionais é o trigo semeado em áreas que não são tradicionalmente usadas para essa cultura. No Brasil, por exemplo, o trigo é historicamente cultivado no Sul do país, onde as condições climáticas são mais favoráveis. No entanto, a pesquisa agrícola tem expandido o cultivo para outras regiões, como o Cerrado e o Nordeste, que apresentam desafios específicos, como estresses térmicos e hídricos, além de solos com diferentes características. Nesse sentido, para superar esses desafios, são desenvolvidas cultivares adaptadas e técnicas de manejo específicas. No Cerrado, por exemplo, o trigo irrigado tem mostrado bom potencial produtivo e é usado na rotação de culturas para melhorar a saúde do solo (CUNHA et al., 2011; EMBRAPA, 2023; EMBRAPA TRIGO, 2024). Veja o fluxograma abaixo referente ao plantio de trigo no Nordeste (Figura 5).

Algumas regiões do nordeste têm sido utilizadas como áreas experimentais para avaliar a possibilidade de produção de trigo em locais não convencionais, devido às condições de solo e clima (CANAL RURAL, 2020). O nordeste do Brasil apresenta três tipos climáticos: tropical, semiárido e equatorial úmido. Essas características proporcionam um ambiente com períodos de seca e altas temperaturas em alguns momentos, além de chuvas irregulares e alta umidade relativa do ar (EMBRAPA, 2020).

Tradicionalmente, a região sul vem produzindo trigo ao longo dos anos, devido suas condições edafoclimáticas que são favoráveis ao cultivo. Nessa região, o clima subtropical apresenta estações bem definidas, com grandes variações de temperatura entre o inverno frio e úmido, que podem incluir geadas e até mesmo neve em algumas áreas. Curiosamente, em algumas situações, as geadas podem até beneficiar a produção de trigo, pois ajudam no controle

de plantas daninhas remanescentes e reduzem o metabolismo e a eclosão de pragas (EMBRAPA, 2020).

Figura 5 - Fluxograma do desenvolvimento da produção de trigo na região Nordeste do Brasil.



Fonte: Próprio Autor, 2023.

Algumas regiões do nordeste têm sido utilizadas como áreas experimentais para avaliar a possibilidade de produção de trigo em locais não convencionais, devido às condições de solo e clima (CANAL RURAL, 2020). O nordeste do Brasil apresenta três tipos climáticos: tropical, semiárido e equatorial úmido. Essas características proporcionam um ambiente com períodos de seca e altas temperaturas em alguns momentos, além de chuvas irregulares e alta umidade relativa do ar (EMBRAPA, 2020).

Em 1919, os pesquisadores começaram a melhorar geneticamente as sementes de trigo usando seleção e cruzamentos artificiais para adaptar a cultura aos climas desfavoráveis, resultando em uma cultivar mais adequada às condições climáticas do Sul do Brasil. No entanto, o grande avanço veio em 1954, com a criação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

(Embrapa), que passou à desenvolver genótipos de trigo considerando as condições ambientais específicas, a resistência a patógenos (especialmente a brusone) e a qualidade do grão produzido. Critérios essenciais para atender às exigências dos moinhos, que podem limitar a comercialização para usos menos rentáveis (CNN BRASIL, 2022).

Após o desenvolvimento de genótipos de trigo e aprimoramento das práticas de manejo, a Bahia tornou-se o primeiro estado do Nordeste a produzir o cereal, consolidando uma significativa manufatura e rentabilidade. Atualmente, a Bahia é um dos principais estados produtores de trigo do Brasil, contribuindo para elevar a produtividade nacional (EMBRAPA, 2021).

O estado da Bahia obteve altos resultados de produtividade no cultivo de trigo, o que em 2019 motivou a escolha do Ceará como segunda sede para a produção do grão. O projeto visa avaliar indicadores benéficos da germinação e qualidade do trigo produzido no estado. Os idealizadores do projeto se inspiraram no sucesso da China em cultivar grandes quantidades de trigo em regiões de baixa altitude e clima seco e decidiram testar a semeadura no Ceará, que já é referência na produção e exportação de frutas e rosas, além de ser o segundo maior moedor e importador de trigo do país. Para isso, foram realizados experimentos com quatro variedades de cultivares - BRS264, BRS354, BRS404 e BR18 - para avaliar a época mais adequada para semeadura, comportamento das cultivares, ciclo e incidências de doenças e pragas (CANAL RURAL, 2020).

A primeira colheita de trigo realizada no Ceará obteve resultados considerados surpreendentes. Mesmo em fase experimental, a produção alcançou 8,5 toneladas em uma área de 1,6 hectares, resultando em uma produtividade de 5,3 toneladas por hectare na primeira colheita. Além disso, a qualidade do trigo obtido foi superior à da região Sul, onde a produção gira em torno de 2,4 toneladas por hectare, e pouco abaixo da obtida na região Centro-Oeste, que chega a cerca de 5,5 toneladas por hectare (CANAL RURAL, 2020).

Alexandre Sales, proprietário do moinho Santa Lúcia, relata que o uso de uma irrigação e adubação adequadas permitiu a obtenção de uma safra de trigo em apenas 75 dias, o que equivale ao período de cultivo do feijão. Em contraste, na região Sul do Brasil, responsável por cerca de 85% da produção de trigo do país, a produtividade média é de 2.500 kg por hectare e a colheita ocorre em um período de 140 a 180 dias (CANAL RURAL, 2020).

A primeira colheita de trigo no Ceará trouxe resultados surpreendentes. Mesmo sendo um experimento, a produção atingiu 8,5 toneladas em uma área de 1,6 hectares, resultando em uma produtividade de 5,3 toneladas por hectare. Além disso, a qualidade do trigo foi superior à da região Sul, onde a produção média é de 2,4 toneladas por hectare, e quase igual

à da região Centro-Oeste, que chega a cerca de 5,5 toneladas por hectare. O produtor Alexandre Salles explicou que a irrigação e adubação adequadas permitiram colher trigo em apenas 75 dias, o mesmo tempo necessário para cultivar feijão. Em comparação, na região Sul do Brasil, que responde por cerca de 85% da produção de trigo do país, a produtividade média é de 2.500 kg por hectare, e a colheita leva entre 140 e 180 dias (AGROSABER, 2020; CANAL RURAL, 2020).

Após a colheita bem-sucedida no Ceará, o projeto foi transferido para o Maranhão com a mesma finalidade, mas a produtividade por hectare ficou abaixo das expectativas. Isso pode ser explicado pela distribuição insuficiente de sementes por hectare e pelas características do solo local, o que exigiu ajustes no plantio. Apesar desses desafios, todas as sementes germinaram e o trigo cultivado apresentou qualidade agradável, sendo bem recebido pela indústria moageira cearense (AGROSABER, 2022; GLOBO RURAL, 2022).

A produção de trigo no Nordeste tem apresentado resultados positivos e indica possibilidade de expansão para cultivo em grande escala. Entre as vantagens observadas durante o cultivo, destacam-se o melhor desempenho da lavoura, a interrupção do ciclo de doenças que mataram a soja, a redução da infestação de nematóides, a prevenção do aparecimento de plantas daninhas, o baixo custo de produção, o aumento da produtividade do cultivo de soja e milho na palhada do trigo, a qualidade do grão produzido que consequentemente melhora a qualidade do solo. Diante desses resultados, a região pode ser a nova fronteira para o cultivo de trigo em larga escala (FOLHA DE SÃO PAULO, 2021).

3.4 Pão

Tradicionalmente considerado um alimento básico desde a antiguidade, o pão é produzido a partir de farinha de trigo, água, sal e fermento. Sua produção inclui a mistura dos ingredientes, fermentação, sova, modelagem e cozimento. Nos tempos antigos, a ausência de qualquer um desses ingredientes significaria que o produto final não seria considerado pão. Com uma variedade de sabores, texturas, tamanhos e formas, o consumo de pão tem crescido no mundo todo, impulsionado pelo aumento populacional (CANELLA-RAWLS, 2005; CHIEN, 2016). Atualmente, o consumo mundial de pães ultrapassa nove bilhões de quilogramas por ano, sendo o pão branco o mais consumido. No Brasil, o setor de panificação alcançou um faturamento de aproximadamente 85 bilhões de reais, mantendo-se entre os seis maiores segmentos industriais do país. O consumo per capita de pão no Brasil é de 34 quilogramas por ano, significativamente abaixo da recomendação da Organização Mundial da

Saúde (OMS), que é de 60 quilogramas (GHODKI, 2019; ABIP, 2021).

De acordo com a Resolução nº 263, de 22 de setembro de 2005 (BRASIL, 2005), pães são produtos obtidos a partir de farinha de trigo e/ou outras farinhas, combinadas com líquidos e submetidas a fermentação ou não, seguidas de cocção. Esses produtos podem conter outros ingredientes, desde que não descharacterizem o produto final. Um pão é considerado de farinhas compostas ou misto quando a farinha de trigo é misturada com uma ou mais farinhas.

As características sensoriais e reológicas do pão, como o miolo, a crosta e o volume, são diretamente influenciadas pelas propriedades físico-químicas da farinha, bem como pelas propriedades reológicas da massa. Os ingredientes utilizados no processo de preparação desempenham funções específicas na formação do pão (ESTELLER LANNES, 2005; PÉREZ., 2017).

Atualmente, cereais e tubérculos que não são tradicionalmente destinados à fabricação de pães estão sendo cada vez mais utilizados, devido à sua valiosa composição química (FRAS, 2018). As farinhas misturadas vem se popularizando devido aos benefícios nutricionais e econômicos. Economicamente falando, usar a mistura de farinhas provenientes de matérias primas disponíveis regionalmente, pode reduzir o consumo de trigo e consequentemente, sua importação onde não há produção autossuficiente (FELLI, 2018). Nesse contexto, outras farinhas bem como outros ingredientes podem ser adicionados para melhorar aspectos tecnológicos da massa, como maciez, volume, estabilidade ou até aumentar a vida de prateleira (FRAS, 2018; GHODKI, 2019).

3.5 A Evolução do Pão ao Longo da História

O domínio das técnicas de manejo e cultivo de cereais marcou uma mudança crucial na vida dos primeiros nômades, permitindo que se estabelecessem em locais fixos. No Oriente Médio, foram encontrados vestígios de agricultura de espécies ancestrais de trigo e cevada, datados de cerca de 9000 a.C. Nessa época, os ancestrais se alimentavam de cereais selvagens, colhidos na natureza e processados de maneira rudimentar (GOBETTI, 2018; VIANNA, 2018).

O pão, assim como muitos outros produtos, foi descoberto por acaso, e a panificação é considerada uma das artes mais antigas da história. Registros históricos indicam que a produção e o consumo de pão datam do período neolítico, aproximadamente oito mil anos atrás (RIZZON, 2017; GOBETTI, 2018).

Segundo Rizzon *et al.* (2017), na antiguidade, o pão era produzido nos vales dos rios Tigre e Eufrates, na antiga Mesopotâmia. Feito com sementes trituradas de trigo, cevada e

aveia, era moldado em formato oval e achatado, com água adicionada para formar uma massa. Essa massa era deixada ao sol até que bolhas aparecessem, resultantes do gás carbônico liberado pela levedura durante a metabolização do açúcar na farinha. Quando o processo de fermentação não era concluído, o resultado era um pão não levedado, chamado de “pão ázimo” ou “flatbread”, mais duro e que ainda é consumido hoje, especialmente na região que hoje corresponde ao Iraque.

O Egito é considerado a pátria do pão fermentado, onde o processo de panificação evoluiu significativamente. A escolha de melhores farinhas de trigo, o uso de peneiras e moinhos, e a introdução de fornos de alta temperatura contribuíram para o desenvolvimento da panificação. Os antigos gregos adotaram o uso da massa de farinha por volta de 800 a.C., seguidos pelos romanos, que contribuíram para a evolução da panificação ao introduzir regulamentos sobre a fabricação e distribuição de pães. Eles também criaram a primeira corporação de padeiros, o “*Collegium pistorum*” (VITI, 2001; GOBETTI, 2018; PAPADIMITRIOU, 2019).

O princípio de que a fermentação podia ocorrer ao misturar água e farinha e deixar a mistura ao ar livre foi explorado até o século XX, quando os padeiros começaram a adicionar fermento para acelerar o processo de fermentação (CANELLA-RAWLS, 2005; VIANNA, 2018). Durante o século XX, a produção de pães aumentou significativamente, acompanhada por melhorias na qualidade, com a substituição de fornos a lenha e tijolo por fornos a gás. Ao longo do tempo, a automação se expandiu, aumentando ainda mais a produção (CANELLA-RAWLS, 2005).

O pão tem um papel central na história da humanidade, presente em eventos bíblicos, tradições medievais e representações artísticas e políticas. É um dos alimentos mais consumidos no mundo e está incluído na lista do patrimônio imaterial da UNESCO (GOBETTI, 2018).

3.6 Grão de trigo e sua farinha

O trigo (*Triticum aestivum*) é uma das três principais culturas de cereais do mundo, ao lado do arroz e do milho. Devido ao seu alto teor de amido, contribui com até 50% da ingestão calórica no mundo ocidental e até 90% nos países em desenvolvimento (WANG, 2017; VALKOVÁ, 2019).

Trata-se de uma espécie alohexaploide complexa ($2n=6X=42$, AABBDD), resultado da hibridização entre o trigo tetraplóide *T. turgidum* L. ($2n=4X=28$, AABB) e a

espécie diplóide *Aegilops tauschii* (Ae. squarrosa, T. tauschii, 2n=2X=14, DD), o que lhe confere 42 cromossomos organizados em seis conjuntos de três espécies diferentes (BACH, 2021).

Os fatores genótipo (cultivar), condições de plantio (solo e clima) e práticas agrícolas de manejo afetam o rendimento, qualidade do grão de trigo, a viabilidade econômica da produção e o fornecimento da segurança alimentar desse alimento. O grão de trigo é fonte de carboidratos, proteínas, gordura, fibra alimentar, minerais (incluindo P, K, Ca e Mg), vitaminas do complexo B e compostos bioativos (KNAPOWSKI et al., 2016; MCARTHUR; MCCORD, 2017; MINHAS et al., 2023; SUŁEK; CACAK-PIETRZAK, 2018).

No endosperma amiláceo do grão de trigo encontram-se suas proteínas, que apresentam grande impacto na qualidade dos produtos de panificação (pão, macarrão e biscoitos). Essas proteínas podem ser classificadas conforme sua solubilidade, em albuminas (solúveis em água), globulinas (solúveis em solução salina), as prolaminas gluteninas (solúveis em álcalis ou ácidos fracos) e gliadinas (solúveis em etanol 70–90%). As duas últimas formam o glúten, representando, aproximadamente, 80–85% do total das proteínas do trigo, conferindo as características viscoelásticas e textura à massa. A gliadina confere extensibilidade à massa, enquanto a glutenina é responsável por dar elasticidade à massa (ARATA et al., 2024; BONILLA et al., 2020).

O processo de obtenção da farinha de trigo envolve a moagem do grão para extrair o endosperma amiláceo, durante o qual cerca de 8% do amido é fisicamente danificado, o que altera sua estrutura, aumentando a capacidade de absorção de água e a propensão à hidrólise enzimática (WANG, 2017; CAPELLI, 2020). A farinha de trigo branca ou refinada, a mais utilizada na produção de pães, contém aproximadamente 26% de amilose e 74% de amilopectina, contribuindo para o endurecimento do miolo e o envelhecimento do pão. A farinha branca representa cerca de 75% do peso do grão original, podendo chegar a 85% com a remoção do gérmen e do farelo (PÉREZ, 2017; PARENTI, 2019).

A farinha de trigo, obtida a partir da moagem do grão, possui propriedades únicas que a tornam adequada para a produção de diversos produtos alimentícios, como pães, bolos e massas. Essas propriedades específicas são principalmente atribuídas às proteínas glutenina, um grupo heterogêneo de proteínas poliméricas, e gliadina, composta por cadeias polipeptídicas simples (monoméricas) (WANG, 2017).

Nos moinhos, geralmente são processados até 16 tipos de farinha a partir de um único lote de trigo. Durante o processo de moagem, o moleiro combina distintas frações de farinha para obter o produto final tencionado. O grau de extração indica a proporção de trigo

convertida em farinha em relação ao total sucedido. Um grau de extração de 72% indica que 72% do trigo foi convertido em farinha, enquanto os 28% remanescentes correspondem ao farelo, farelhinho e germe, os quais são destinados à produção de ração animal. O teor de cinzas da farinha é utilizado como um parâmetro de qualidade, refletindo diretamente o seu grau de extração (BRANDÃO, 2011).

Conforme a quantidade de farinha extraída do grão, há uma atenuação tanto no valor nutricional quanto na qualidade tecnológica. Em termos práticos, a qualidade para panificação diminui: o volume do pão é reduzido, a textura e a estrutura do miolo tornam-se mais ásperas e grosseiras, a cor do miolo escurece, o sabor é alterado e a armazenagem da farinha torna-se mais desafiadora (BRANDÃO, 2011).

Entretanto, uma farinha de trigo com 100% de extração, distinta como farinha integral, apresenta maior estabilidade durante o armazenamento. Do ponto de vista nutricional, é uma farinha rica em proteínas, vitaminas, ferro e fibras. O alto teor de fibras contribui para uma digestão mais lenta, sendo favorável para o funcionamento adequado do intestino. No entanto, seu elevado conteúdo de ácido fítico pode interferir na absorção de minerais como cálcio e ferro (BRANDÃO, 2011).

De acordo com a Instrução Normativa nº 8 de 2 de junho de 2005 (BRASIL, 2005), a farinha de trigo é produzida a partir da moagem de grãos de trigo (*Triticum aestivum L.*) ou de outras espécies do gênero Triticum, utilizando diversas tecnologias de Trituração ou moagem. A composição e qualidade da farinha de trigo podem variar entre as regiões. Conforme a mesma legislação, a umidade da farinha de trigo não deve exceder 15%.

A seguir observa-se a tabela 1, onde segundo Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos (2022) estão as características das farinhas de trigo para os diversos tipos de produtos de panificação.

Tabela 1 - Características das farinhas de trigo para os diversos tipos de produtos segundo o Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos 2022.

Características	Massas	Pães	Bolos	Biscoitos fermentados	Biscoitos doces
Glúten úmido (%)	> 28	> 26	20-25	25-30	20-25
Falling Number	>350	225-275	200-250	225-275	200-250
P/L	>1,5	0,6-1,5	-	0,5-0,9	0,2-0,5
W	>280	180-275	<100	150-200	<100

P/L: relação tenacidade por extensibilidade. W: Força de glúten.

Fonte: INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 2022.

Segundo a FAO (2021), a produção mundial de trigo em 2019 foi de aproximadamente 800 milhões de toneladas, com a Ásia liderando com 44% da produção, seguida pela Europa com 34,8%, as Américas com 15,3%, e a África e Oceania combinadas com 6%. A China é o maior produtor, com 134 milhões de toneladas, seguida pela Índia, Rússia e Estados Unidos. No Brasil, a produção é de cerca de 5,6 milhões de toneladas, posicionando o país no 16º lugar no ranking global de maiores produtores (BRASIL, 2021).

Segundo a Associação Brasileira da Indústria do Trigo (ABITRIGO, 2021), o consumo de trigo no Brasil se manteve em 12 milhões de toneladas em 2019. Para atender a essa demanda, o país importa trigo principalmente da Argentina, Estados Unidos e Paraguai. Isso ocorre porque os grãos utilizados como substitutos da farinha de trigo são deficientes em glúten, o que resulta em propriedades viscoelásticas inadequadas, produzindo pães de menor volume e com pouca estrutura (DUBE, 2020; BRASIL, 2021).

Em relação à farinha destinada à produção de pães, o consumo médio mensal no Brasil aumentou de 634,18 toneladas em 2018 para 658,79 toneladas em 2019 (ABIP, 2021).

O amido, o polissacarídeo mais abundante em plantas e cereais, é uma das principais fontes de carboidratos na dieta humana. Presente nos tecidos vegetais, sua estrutura é composta por dois polissacarídeos: amilose e amilopectina. A amilose, com uma cadeia linear e ligações glicosídicas α 1-4, possui uma estrutura helicoidal (α -hélice) e um grau de polimerização entre 5×10^2 e 6×10^3 unidades de glicose. Já a amilopectina, que possui uma estrutura ramificada e longa com ligações glicosídicas α 1-6, apresenta uma conformação esférica e um grau de polimerização na faixa de 3×10^5 a 3×10^6 unidades de glicose (GOESAERT, 2005; CHANG., 2021). O grânulo de amido possui uma estrutura cristalina que representa cerca de 20-40%, composta por camadas alternadas de amilose amorfa e camadas cristalinas mais densas (GOESAERT, 2005; VALKOÁ, 2019).

Quando o amido é aquecido em água, as pontes de hidrogênio se rompem, resultando na destruição do grânulo e na transformação das zonas cristalinas em estruturas amorfas desordenadas, tornando o amido transparente-a esse processo se dá o nome de gelatinização. Ao ser resfriado, ocorre a retrogradação, na qual as moléculas amorfas passam para um estado mais organizado e cristalino (CHANG, 2021).

Entre as propriedades da farinha de trigo, a capacidade de formar uma massa viscoelástica se destaca, devido à presença das proteínas glutenina e gliadina. Quando hidratadas e submetidas à ação mecânica, essas proteínas formam o glúten, uma rede que dá coesividade e elasticidade à massa, enquanto a gliadina contribui com a extensibilidade e

viscosidade. Essas proteínas constituem 80% das proteínas do trigo, sendo os 20% restantes compostos por albumina, globulina e outras proteínas que não participam da formação da rede de glúten (OOMS, 2019).

O processo de obtenção da farinha de trigo envolve a moagem do grão para extrair o endosperma amiláceo, durante o qual cerca de 8% do amido é fisicamente danificado, o que altera sua estrutura, aumentando a capacidade de absorção de água e a propensão à hidrólise enzimática (WANG, 2017; CAPELLI, 2020).

A farinha de trigo branca ou refinada, a mais utilizada na produção de pães, contém aproximadamente 26% de amilose e 74% de amilopectina, contribuindo para o endurecimento do miolo e o envelhecimento do pão. A farinha branca representa cerca de 75% do peso do grão original, podendo chegar a 85% com a remoção do gérmen e do farelo (PÉREZ, 2017; PARENTI, 2019).

Os problemas relacionados à qualidade da farinha que afetam a panificação podem ser antecipados ou evitados por meio de análises laboratoriais modernas, dispensando a necessidade de produzir o pão para avaliação. Para essa análise, é essencial realizar testes específicos, como os de reologia, ciência que estuda a deformação dos materiais e o comportamento dos fluidos, desempenhando um papel crucial nesse processo. O moleiro conta com uma ampla gama de testes reológicos para identificar os parâmetros que atendem às principais especificações de desempenho de cada tipo de farinha (ALMEIDA, 2022).

A análise da farinha de trigo envolve diversos parâmetros importantes para avaliar sua qualidade e adequação ao uso, como o teor de cinzas, o teor e a qualidade do glúten, o índice de queda (Falling Number) e os alveogramas. O teor de cinzas, por exemplo, está relacionado à coloração da farinha: quanto mais escura, maior a quantidade de sais minerais, como sódio e cálcio, resultantes da incineração da amostra. Farinhas comuns, extraídas da porção próxima à casca do grão, apresentam maior teor de cinzas, enquanto as especiais, extraídas do centro do grão, possuem teor reduzido. Já o glúten, responsável pela viscoelasticidade da massa, é avaliado tanto na sua forma úmida quanto seca, e sua qualidade é determinada após processos de secagem e expansão. O índice de queda mede indiretamente a atividade enzimática da farinha, indicando a presença de alfa-amilase de forma inversamente proporcional ao tempo necessário para a descida de um êmbolo em solução. Por fim, os alveogramas fornecem dados sobre a tenacidade, extensibilidade e força da massa, fundamentais para prever seu desempenho em diferentes aplicações, considerando a relação entre elasticidade (P) e extensibilidade (L) e a força total (W) (ALMEIDA, 2022).

A farinha de trigo branca ou refinada, a mais utilizada na produção de pães, contém

aproximadamente 26% de amilose e 74% de amilopectina, contribuindo para o endurecimento do miolo e o envelhecimento do pão. A farinha branca representa cerca de 75% do peso do grão original, podendo chegar a 85% com a remoção do gérmen e do farelo (PÉREZ, 2017; PARENTI, 2019).

3.7 Água

A água é um ingrediente essencial na panificação, desempenhando um papel crucial na distribuição uniforme dos ingredientes e na formação do glúten. Para que seu uso seja eficaz, é fundamental que seja potável, pois concentrações excessivas de minerais como cálcio (Ca) e magnésio (Mg) podem prejudicar tanto a formação do glúten quanto o processo de fermentação. Dependendo de sua concentração de minerais, a água é classificada como dura (acima de 150 mg/L), moderada (entre 75 e 150 mg/L) ou mole (abaixo de 75 mg/L). A água moderada é considerada ideal para a panificação, já que os sais presentes favorecem o processo fermentativo. Em contrapartida, a água dura retarda a fermentação, enquanto a água mole deixa a massa mais pegajosa e difícil de trabalhar (ALMEIDA, 2022).

Na panificação, é essencial compreender as características da água, pois esse fator tem impacto direto no resultado final do pão. A água dura, por exemplo, contém uma alta concentração de sais minerais, que fortalecem o entrelaçamento molecular do glúten. Nesse caso, é possível reduzir a quantidade de melhoradores utilizados na massa, entre 1% e 0,5% do peso da farinha total. No entanto, deve-se considerar que a água mineral, geralmente usada para se obter água dura, é extraída de nascentes, o que dificulta o acesso para muitos estabelecimentos. Além disso, seu uso comercial não é recomendado, pois eleva o custo da produção e exige laudos frequentes sobre sua potabilidade, conforme regulamentação da Anvisa (VIANNA, 2020).

Por outro lado, a água mole apresenta uma menor quantidade de sais minerais, o que pode causar o amolecimento do glúten, tornando a massa pegajosa. Essa é a água geralmente fornecida pelos sistemas de abastecimento urbano e utilizada pela maioria dos estabelecimentos de panificação. Para equilibrar essa característica, é necessário aumentar a quantidade de sal na massa. Além disso, a adição de melhoradores é padronizada entre 1% e 2% sobre o peso da farinha total, dependendo da formulação e do teor de proteínas formadoras de glúten presente na farinha. É importante lembrar que valores acima de 2% podem conferir um sabor amargo à massa (VIANNA, 2020).

A água clorada, por sua vez, contém um alto teor de cloro, o que pode interferir

tanto na fermentação quanto no sabor do pão. Nesse caso, é necessário ajustar a quantidade de fermento para compensar essa interferência. O procedimento ideal para o uso de água clorada consiste em armazená-la em caixas separadas por pelo menos 24 horas antes de sua utilização, permitindo que o cloro evapore e, assim, não comprometa o processo fermentativo (VIANNA, 2020).

Ao ser incorporada à farinha de trigo, a água hidrata as proteínas gliadina e glutenina, permitindo a formação de uma rede de glúten indispensável para as propriedades viscoelásticas e reológicas da massa, essenciais para a qualidade final do pão (CHEN, 2018).

A água a ser utilizada na elaboração de pães deve ser potável, limpa, incolor, ligeiramente ácida e tenha um pH neutro, para não alterar as características da massa. A quantidade de água utilizada na fabricação de pães geralmente corresponde a cerca de 60% da quantidade de farinha, embora isso possa variar dependendo da qualidade da farinha de trigo e dos ingredientes adicionais (SUGIURA, 2017).

O pH da água também influencia diretamente a fermentação, já que muitas enzimas dependem de um pH ideal em torno de 5 para atuar de maneira eficiente. A presença de sais na água pode alterar o pH, impactando o processo fermentativo. Para equilibrar esses efeitos, aditivos como o fosfato monocálcico podem ser utilizados em pequenas quantidades, especialmente quando a água é muito dura. Já a água clorada tem a vantagem de reduzir o tempo de fermentação e melhorar a qualidade do pão, particularmente ao usar farinhas menos resistentes (BRANDÃO, 2011).

Outro fator importante é a temperatura da água, que afeta diretamente a qualidade da massa e do produto final. Em masseiras de alta velocidade, o aquecimento gerado pode acelerar a fermentação e até prejudicar o glúten. Por isso, a temperatura ideal da massa ao sair da masseira deve ser de até 30 °C. Em regiões de clima quente, onde a temperatura ambiente frequentemente ultrapassa 25 °C, é essencial adicionar gelo à água de amassamento para controlar o aquecimento (BRANDÃO, 2011).

A água também exerce funções fundamentais no processo de panificação, como hidratar a farinha, dissolver ingredientes, unir as proteínas gliadina e glutenina com a força mecânica para formar a rede de glúten, possibilitar a ação enzimática e o desenvolvimento da fermentação. Além disso, a água contribui para o salto de forno ao disponibilizar vapor e ajuda a controlar a temperatura da massa (BRANDÃO, 2011).

Além disso, a água interage com o amido para criar estruturas leves e fortes, facilita a atividade enzimática, e durante o aquecimento, atua como vapor, contribuindo para a textura e consistência da massa. Ela também ajuda a controlar a temperatura da massa durante a

agitação mecânica, distribui os ingredientes uniformemente, e melhora a maciez do produto final. Para o fermento, a água é essencial, pois permite seu desenvolvimento, reprodução e produção de subprodutos que são vitais para o crescimento do pão (RIZZON, 2017).

A quantidade de água utilizada na fabricação de pães geralmente corresponde a cerca de 60% da quantidade de farinha, embora isso possa variar dependendo da qualidade da farinha de trigo e dos ingredientes adicionais (SUGIURA, 2017).

3.8 Sal

O sal de cozinha (cloreto de sódio) é um ingrediente indispensável na produção de pães, desempenhando diversas funções essenciais na massa. Deve ser livre de impurezas e apresentar granulometria homogênea para garantir sua eficácia. Além de realçar o sabor, o sal é utilizado como uma fonte de iodo na alimentação brasileira, contribuindo para a prevenção do bócio, uma doença da glândula tireoide. No entanto, seu consumo excessivo está associado ao aumento do risco de hipertensão. Nas receitas tradicionais, a quantidade utilizada varia de 1,5 a 2,4 g por porção (PASQUALONE, 2019).

O sal desempenha um papel essencial na panificação, indo além de sua função de realçar o sabor do pão. Ele fortalece o glúten, auxilia no controle do tempo de fermentação ao inibir a ação do fermento, atua como branqueador do miolo e age como conservante. No entanto, a dosagem inadequada pode comprometer a qualidade final do pão. A ausência de sal leva ao amolecimento excessivo da massa, achatamento durante o período de descanso, fermentação acelerada e redução do volume. Por outro lado, o excesso de sal reduz a ação do fermento, endurece o glúten de maneira excessiva e resulta em pães pesados e duros (VIANNA, 2020).

Além disso, o sal exerce funções tecnológicas importantes no preparo de pães. O cloreto de sódio aumenta a resistência da massa durante a mistura, contribui para a fixação da água no glúten e reduz a viscosidade ao longo do processamento. Ele também regula a expansão da massa, inibe o crescimento excessivo das leveduras, estabiliza a fermentação e melhora a textura final do pão, proporcionando maciez e retardando o endurecimento. Suas propriedades higroscópicas ainda atuam como conservantes, prolongando a vida útil do produto (BACH, 2021).

Por outro lado, o excesso de sal na massa pode resultar em pães de baixo volume, com pouca ou nenhuma abertura de pestana e crosta escura. A quantidade ideal de sal a ser adicionada à massa é em torno de 2%, podendo variar dependendo da presença de outros

ingredientes (CHEN, 2018; REIBNER, 2019).

3.9 Glúten

Quando a farinha de trigo é hidratada e essa massa é sovada, as proteínas gliadinas e gluteninas reagem quimicamente com a água formando o glúten. As Gliadinas e gluteninas são proteínas armazenadas no endosperma do grão e classificadas como prolamidas. São solúveis em misturas de álcool e água, sendo que as gliadinas se apresentam como monômeros de proteínas e as gluteninas como subunidades reduzidas (MARRA et al., 2024; RUIZ; BERNAL; GIRALDO, 2018).

O glúten, característico de alguns cereais, especialmente do trigo, é uma proteína fundamental para o desenvolvimento do pão, pois forma uma estrutura resistente, semelhante a uma rede, que confere as características típicas da panificação (DIOWKSZ, 2021). Compondo 80% das proteínas do trigo, a glutenina e a gliadina desempenham papéis distintos. Os 20% restantes incluem albumina, globulina e outras proteínas que não contribuem para a formação da rede de glúten (GHODKI, 2019).

A glutenina, de peso molecular médio, é composta por várias cadeias ligadas, confere à massa alta elasticidade e baixa extensibilidade devido ao seu perfil elástico, mas não coesivo. Em contraste, a gliadina, também de peso molecular médio, possui cadeias simples que, ao serem hidratadas, tornam a massa gomosa e coesiva, oferecendo alta extensibilidade, mas baixa elasticidade (FRAS, 2018; GHODKI, 2019).

A formação do glúten ocorre quando as proteínas formadoras são hidratadas e submetidas à ação mecânica, resultando em uma substância elástica, aderente e insolúvel em água. Essa rede emaranhada é essencial para a textura e o volume final do pão, pois retém os gases gerados durante a fermentação e o vapor de água liberado durante o forneamento. A "força de uma farinha" refere-se a essas propriedades, sendo um indicativo de um pão bem aceito pelo consumidor (OOMS, 2019).

3.10 Gordura

Na panificação, as gorduras podem ser utilizadas na forma sólida, como margarina, manteiga ou gordura hidrogenada, quanto na forma líquida, como óleos. A gordura desempenha um papel crucial na panificação ao proporcionar maior maciez à massa e um miolo mais uniforme, contribuindo significativamente para a qualidade do pão (CANELLA-RAWLS,

2005). Além de melhorar a textura e o sabor, a gordura também influencia o valor nutricional e o processo de envelhecimento do pão, tornando-o mais macio (AOKI, 2018). Elas atuam diminuindo a cadeia do glúten, envolvendo e lubrificando-o, o que previne seu superdesenvolvimento e endurecimento. Isso garante a suavidade e a retenção de umidade nos produtos, além de contribuir para a formação do sabor e aroma característicos, textura suculenta e macia, superfície crocante, auxiliar para o aumento do volume do pão, proporciona melhor conservação, diminuir a pegajosidade da massa, auxiliar na retenção de gás e na durabilidade do produto (CENTRAL DO ALIMENTOS, 2024; SENAI, 2016).

A gordura desempenha um papel crucial na panificação ao proporcionar maior maciez à massa e um miolo mais uniforme, contribuindo significativamente para a qualidade do pão (CANELLA-RAWLS, 2005). A gordura também influencia no valor nutricional e no processo de envelhecimento do pão, tornando-o mais macio (AOKI, 2018).

A concentração média de gordura utilizada na preparação de pães é de cerca de 3% em relação à farinha. Quantidades superiores podem prejudicar o desenvolvimento do glúten, resultando em pães com menor volume (EDUN, 2018).

Ao preparar a massa de pão, é recomendado adicionar a gordura somente após toda a farinha de trigo estar hidratada, pois a farinha seca em contato direto com a gordura tem dificuldades de se hidratar, devido as gorduras ser molécula apolar e não afinidade pela água, logo não se misturaram. Essa propriedade ajuda a conservar o pão, pois, com as camadas de gordura bem distribuídas no miolo, a água presente no interior do pão demora mais para ser expelida, retardando o processo de secagem. A boa distribuição da gordura na massa é facilitada pela presença de estabilizantes ou emulsificantes, que estão presentes nos aditivos de misturas prontas ou nos "reforçadores" usados pelas panificadoras. Esses produtos, também conhecidos como melhoradores ou unificados, são essenciais para garantir a qualidade e a durabilidade do pão (SENAI, 206; VIANNA et al., 2020).

3.11 Fermento

O fermento é um ingrediente essencial na panificação e confeitaria, desempenhando funções importantes como deixar o pão macio, conferir sabor e odor agradáveis e garantir o crescimento de bolos. Seu uso na panificação remonta ao Egito há cerca de 6 mil anos, onde os egípcios utilizavam fermento natural. Os padeiros reservavam porções de massa fermentada para “semear” novas produções, prática que perdurou até o século XIX. Na Idade Média, a espuma da fabricação de cerveja era utilizada como fermento. Em 1850, Louis Pasteur

demonstrou que o fermento é um organismo vivo que decompõe açúcar em álcool e gás carbônico (CANELLA-RAWLS, 2005; BRANDÃO, 2011).

Os agentes fermentadores, ou fermentos, são substâncias responsáveis pela dilatação e aumento de volume de massas destinadas a produtos assados. Eles produzem gás carbônico (CO_2), que incorpora ar durante a fermentação, resultando na expansão da massa no forno. Entre as funções principais, destacam-se a transformação de açúcar em gás carbônico, promovendo o crescimento da massa, e a produção de substâncias aromáticas que conferem sabor e aroma aos pães (BRANDÃO, 2011).

Existem diferentes sistemas de fermentação utilizados na panificação. A fermentação física ocorre pela ação da clara de ovo batida em neve, gerando expansão da massa devido à evaporação e dilatação da água emulsificada com gordura. Já a fermentação química, comum na produção de bolos, resulta da reação entre substâncias químicas que liberam CO_2 com a elevação da temperatura e alteração do pH. Um exemplo é o fermento químico em pó, composto por bicarbonato de sódio, fosfato monocálcico e amido de milho. Por sua vez, a fermentação biológica, amplamente utilizada na panificação, envolve leveduras como *Saccharomyces cerevisiae*, que se multiplicam rapidamente em ambientes favoráveis (BRANDÃO, 2011).

A produção comercial de fermento biológico requer fontes de carboidrato, como melaço, e nutrientes como nitrogênio em forma de amônia. Em laboratório, uma cultura inicial é desenvolvida em condições estéreis e propagada em tanques industriais. Após o cultivo, o fermento é concentrado por processos de centrifugação e filtragem, adquirindo formas como fermento extrudado, granulado ou seco. No mercado, os fermentos biológicos são comercializados em três tipos principais: fresco, seco e seco instantâneo, diferenciando-se pela umidade, apresentação e método de armazenamento (BRANDÃO, 2011).

Além dos fermentos comerciais, existe o fermento natural, ou massa madre, produzido a partir da fermentação espontânea de uma mistura de farinha e água exposta a microrganismos presentes no ambiente. Este tipo de fermento gera ácidos como acético e lático, responsáveis por características sensoriais únicas nos pães, como sabor ácido, textura cremosa, crocância e maior durabilidade. O fermento natural é comumente utilizado em pães rústicos, como ciabatta, panetone e pizza italiana, proporcionando sabor e qualidade diferenciados (BRANDÃO, 2011).

De acordo com a Resolução nº 90, de 18 de outubro de 2000, da ANVISA, o fermento biológico natural é obtido por auto seleção de cepas de leveduras e lactobacilos presentes na farinha de trigo. Em contraste, o fermento biológico comercial é produzido

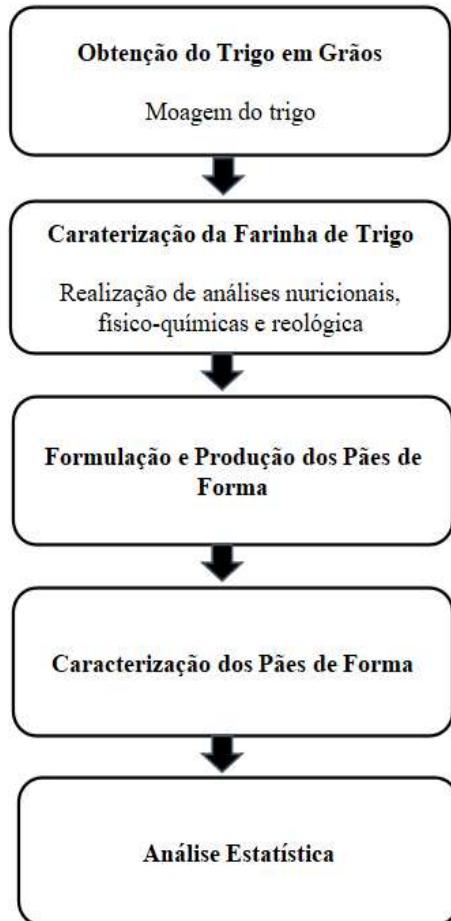
industrialmente a partir da levedura *Saccharomyces cerevisiae* (BRASIL, 2000).

O fermento biológico industrial, que utiliza *Saccharomyces cerevisiae*, atua na fermentação produzindo dióxido de carbono pela metabolização de açúcares como glicose, frutose, sacarose e maltose. Esse processo contribui para o crescimento da massa, a criação de compostos aromáticos característicos e a formação de alvéolos internos. O fermento pode ser encontrado em formas fresca ou seca (BACH, 2021).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para melhor entendimento da sequência dos experimentos desenvolvidos, um fluxograma é apresentado na Figura 6. Estudo prospectivo, de cunho exploratório descritivo e experimental, qualitativo e quantitativo (MARCONI, LAKATOS, 2019). Realizado na cidade de Fortaleza, CE, no Laboratório de Cereais, Raízes e Tubérculos (LABCERT), do Departamento de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará (UFC); Laboratório de Produtos Naturais do Horto de Plantas Medicinais Prof. Francisco José de Abreu Matos da UFC e Análise de Alimentos da Embrapa Agroindústria Tropical.

Figura 6 – Fluxograma de desenvolvimento do estudo.



Fonte: Próprio autor, 2024.

4.1 Matéria-Prima

Os grãos de trigo foram gentilmente cedidos por produtores da Cidade de Balsas - Maranhão e transportados para o Laboratório de Tecnologia de Cereais, Raízes e Tubérculos da Universidade Federal do Ceará, localizada em Fortaleza, CE.

Após a colheita, os grãos foram armazenados em sacos de juta, em seguida realizou-se inspeção visual quanto a hastes, objetos estranhos, pedras e grãos defeituosos. Os grãos foram limpos manualmente, armazenados em recipientes herméticos de polietileno em ambiente fresco e ventilado até o processo de moagem.

Figura 7 – Grãos de trigo (à esquerda) e farinha de trigo (à direita) do Maranhão.



Fonte: Próprio autor, 2024.

4.2 Moagem

A umidade foi determinada em aparelho de condutividade dielétrica, marca Gehaka, modelo G 600. As amostras foram condicionadas para as umidades a 16% e, após 23 horas, foi realizada a moagem em moinho de laboratório marca Chopin, modelo CD1 (Villeneuve-la-Garenne Cedex, França), de acordo com as instruções do manual do fabricante. As frações farinha de quebra, farinha de redução, farelo e farelinho obtidas pelas passagens nos sistemas de quebra e de redução do moinho foram pesadas individualmente, sendo determinado o rendimento de farinha de quebra e de extração de farinha. Após o processo de extração, a farinha foi embalada em potes de polipropileno e armazenada em freezer (-20°C) para posteriores análises.

4.3 Caracterização Físico-Química das Matérias-Primas

As amostras de trigo e da farinha de trigo foram submetidas à caracterização físico-químicas, químicas e reológicas nos Laboratórios Tecnologia de Cereais Raízes e Tubérculos da Universidade Federal do Ceará e no Laboratório de Análise de Alimentos da Embrapa Agroindústria Tropical, ambas localizadas em Fortaleza - CE, com as determinações realizadas

em quintuplicata.

4.3.1 Umidade

O teor de umidade foi determinado segundo o método 925.10 da AACC (2006). Cerca de 2 g de amostra serão pesados em *bags* de filtro, que funciona como um saco para armazenamento da amostra analisada, e levados à estufa com circulação de ar forçada à temperatura de $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 h.

4.3.2 Teor de cinzas

O teor de cinzas foi quantificado segundo o método 923.03 da AACC (2006). Para tanto, cerca de 1,5 g da amostra serão pesados em cadinho de porcelana previamente tarado e submetidos à incineração em forno mufla à 550°C por 6 h.

4.3.3 Teor de proteína

O teor de proteína foi determinado pelo método Dumas em equipamento automático analisador de nitrogênio/proteína NDA 701 Dumas da VELP Scientifica (VELP, 2019), utilizando-se EDTA como padrão e baseando-se no método 992.23 da AACC (2006), que consiste na determinação do nitrogênio e proteína por meio da combustão.

4.3.4 Lipídios

O conteúdo lipídico foi determinado de acordo com método Am 5-04 (AOCS, 2005; ANKOM, 2009) utilizando-se um sistema de extração sob alta temperatura e pressão em equipamento analisador automático de gordura ANKOM, modelo XT15.

4.3.5 Carboidratos

O teor de carboidratos foi determinado conforme BRASIL (2016), a partir da diferença entre o total da amostra, que representa os 100%, e a soma dos valores obtidos para os teores de umidade, cinzas, proteínas e lipídeos.

$$\text{Carboidratos\%} = 100 - (\text{Umidade\%} + \text{Cinzas\%} + \text{Proteína\%} + \text{Lipídios\%})$$

4.3.6 Fibra alimentar

Os teores de fibra dietética alimentar (fração insolúvel – FDI e fração solúvel SDF) foram determinados de acordo com o método 991.43 da AACC (2000), utilizando- se o analisador automático de fibra alimentar TDF da ANKON (ANKON Technology Corporation). A fibra alimentar total foi obtida por meio da soma das frações insolúvel e solúvel, como preconiza o mesmo método.

4.3.7 Valor calórico

O valor calórico foi determinado a partir do cálculo das médias aritméticas dos teores de carboidratos, proteína e lipídios e multiplicando-se por 4 Kcal.g⁻¹, 4 Kcal. g⁻¹ e 9 Kcal.g⁻¹, respectivamente, de acordo os valores de conversão de Atwater (DESSIMONI-PINTO, *et al*, 2011).

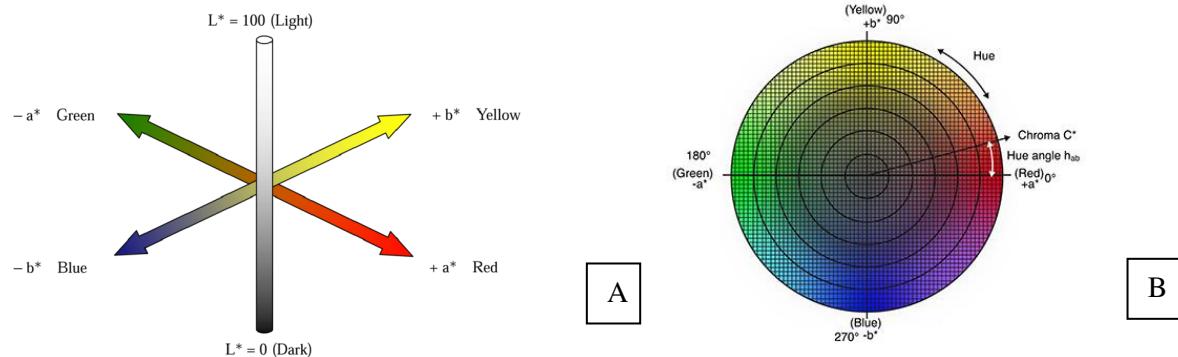
$$(Kcal) = (\text{proteína} \times 4,0) + (\text{carboidratos} \times 4,0) + (\text{lipídios} \times 9,0)$$

4.3.8 Cor

A medida da cor é padronizada pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE) que define a percepção das cores como fundamento entre três elementos, a saber, a luminosidade ou claridade, a matiz ou a tonalidade e a cromaticidade ou a saturação, na qual, considera que o ser humano possui três cores receptoras: verde, azul e vermelho, sendo as demais cores combinações dessas (FERREIRA, 2017).

A determinação da cor foi realizada em colorímetro espectrofotométrico CM-5 (Konica Minolta) previamente calibrado, utilizando-se o iluminante D65 luz do dia e os sistemas de escala de cor L*a*b* (Figura 8A) e L*C*h (Figura 8B), onde L* corresponde à luminosidade, variando de 0 (preto) a 100 (branco), a* está na faixa verde (-60) ao vermelho (+60) e b* está na faixa de azul (-60) ao amarelo (+60), C* (Croma) indica a pureza ou intensidade da cor e h (ângulo Hue) representa a tonalidade. O sistema L*C*h utiliza o mesmo diagrama que o espaço L*a*b*, porém utiliza coordenadas cilíndricas ao invés de coordenadas retangulares. A partir do gráfico, o ângulo de 0° é considerado como a cor vermelha, o ângulo de 90°, amarelo, o ângulo de 180°, verde, e o ângulo de 270°, azul (FERREIRA, 2017).

Figura 8 – Espaço de cor CIE L*a*b* (A) e L*C*h (B).



Fonte: Ferreira, Spricigo, 2017.

O ângulo Hue é, então, definido por meio da relação entre os valores de a^* e b^* , onde se obtém a cor real do objeto que está sendo analisado. O Croma também é formado pelos parâmetros a^* e b^* , indicando a saturação da cor do objeto. Para cálculo do Croma foi utilizada a Equação (1) e, para o cálculo do ângulo Hue, foi utilizada a Equação (2):

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

$$\text{Ângulo de tonalidade } h_{ab} = \tan^{-1} \frac{a^*}{b^*} \quad (2)$$

4.3.9 Número de queda (Falling number)

O Índice de Queda (Falling Number - FN) foi obtido conforme método nº 56-81.03 (AACC, 1999) e do manual do equipamento, expresso em segundos (s).

4.3.10 Amido danificado

Para a determinação do percentual de amido danificado, as leituras para cada amostra foram efetuadas em equipamento SD Matic® (Chopin) conforme metodologia no. 76-31 proposta pela AACC (2006).

4.3.11 Carotenoides

Os carotenoides totais foram determinados seguindo as recomendações de Rodriguez-Amaya (2001) após extração com acetona e hifosúpercel (celite) e partição com

éter de petróleo.

4.3.12 Teor de glúten

Conforme método 38-12.02 AACC (2000), por meio da lavagem de 10g da farinha de trigo com solução de cloreto de sódio a 2%, utilizando-se o aparelho Glutomatic Perten, seguido por centrifugação, com os resultados expressos em porcentagem (%).

4.3.13 Capacidade absorção de água e óleo

A capacidade de absorção de água foi determinada conforme o método descrito por Sosulski (1962), com algumas modificações. Cerca de 0,5 g de farinha será pesado em um tubo de centrífuga de 12 mL e adicionados 10 mL de água destilada. O tubo será agitado em agitador de tubos por 1 min à temperatura ambiente ($25 \pm 2 ^\circ\text{C}$) e deixado em repouso por 20 min. Em seguida, o material será centrifugado (Excelsa II 206 BL) a 3.500 rpm por 10 min, e o sobrenadante, descartado. A diferença em massa entre a quantidade de amostra inicial e amostra final será tomada como medida da absorção de água e expressa como a quantidade de água absorvida por 100 g de amostra (Equação 3).

$$\text{Capacidade de absorção de água} = \frac{\text{Água absorvida pela amostra (g)}}{\text{Peso da amostra (g)}} \quad (3)$$

A capacidade de absorção de óleo será determinada nas fibras secas seguindo os mesmos procedimentos realizados para determinação da capacidade de absorção de água, substituindo-se a água por óleo de milho comercial. A capacidade de absorção de óleo será expressa como a quantidade de óleo absorvido por 100 g de amostra (Equação 4) (LIN *et al.*, 1974).

$$\text{Capacidade de absorção de óleo} = \frac{\text{Óleo absorvida pela amostra (g)}}{\text{Peso da amostra (g)}} \quad (4)$$

4.4 Análises reológicas

4.4.1 Alveografia

A Alveografia foi realizada no alveógrafo da marca Chopin, utilizando o método nº 54-30.02 da AACC (1999), através de uma massa elaborada da pesagem de 250g de farinha e o volume de solução salina (2,5%) baseada na umidade inicial da farinha. Os parâmetros obtidos nos alveogramas são: tenacidade (P) extensibilidade (L) expressos em milímetros e energia de deformação da massa (W) expressa em 10-4 J.

4.4.2 Farinografia

A análise de farinografia foi realizada no equipamento farinógrafo conforme o método AACC 54-21.02 (2011) e Manual de operação do farinógrafo Brabender Mod. nº 8.101.45.001. no qual é feito uma espécie de mistura e registra a resistência de uma massa, sendo utilizado para avaliar a absorção de água das farinhas e para determinar a estabilidade e outras características da massa durante a mistura.

4.4.3 Extensografia

O extensógrafo registra a curva de resistência por extensão para uma peça de massa esticada até a ruptura. As características dessas curvas estão descritas nos extrensogramas, utilizados para avaliar a qualidade geral da farinha e até mesmo sua resposta a agentes melhoradores. Os testes foram realizados conforme o método AACC 54-10 (1999) como a utilização do Extensograph E – Brabender (GMBH, Alemanha).

4.5. Elaboração dos Pães tipo Forma

Para assegurar a segurança alimentar dos pães produzidos, foram seguidas as normas de Boas Práticas de Fabricação (BPF), conforme estabelecido pela RDC nº 216/2004 (Brasil, 2004). A primeira etapa consistiu na separação e pesagem de todos os ingredientes, de acordo com a formulação definida. As formulações dos pães foram desenvolvidas com base em testes prévios e em recomendações da literatura, resultando em uma formulação padrão aplicada a ambas as amostras de farinha, permitindo uma comparação mais precisa entre as duas.

A massa foi preparada utilizando uma batedeira planetária (Britânia BBP515 Turbo) equipada com um batedor plano, até atingir completa homogeneização. O fermento biológico seco foi previamente ativado em água a 35 °C por 5 minutos. Todos os ingredientes secos foram homogeneizados durante 2 minutos antes da adição dos ingredientes líquidos.

As massas foram divididas em porções de 150 g e colocadas em formas metálicas retangulares para pão de forma, sem tampa, com dimensões de fundo de 13 cm x 5,5 cm e parte superior de 14,5 cm x 7 cm x 4,5 cm, previamente untadas com óleo de soja. As formas foram então colocadas em uma câmara de fermentação a 35 °C por 45 minutos. Em seguida, os pães foram assados em forno elétrico Philco 38L a 200 °C por 30 minutos e deixados esfriar à temperatura ambiente. Após o resfriamento, os pães foram armazenados em embalagens de polietileno até a análise posterior (Tabela 2, Figura 9).

Tabela 2 – Elaboração dos Pães tipo forma

Ingredientes (%)	Pães de Forma ¹	
	FM	FR
Farinha de Trigo Maranhense	100	-
Farinha de Trigo Russa	-	100
Água	50	50
Gordura	15	15
Açúcar	10	10
Fermento	3	3
Sal	2	2

Fonte: Autor, 2024. ¹ FM – Pão de forma com farinha de trigo maranhense; FR – Pão de forma com farinha de trigo russo

Figura 9 – Fluxograma de processamento dos pães de forma

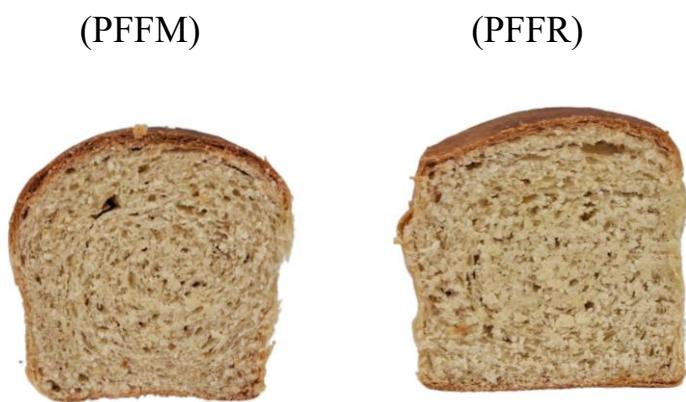


Fonte: Autor, 2024.

4.5.1 Avaliação Nutricional e Física dos Pães

Os pães com Farinha de Trigo Maranhense (FTM) e Farinha de Trigo Russa (FTR) foram triturados até se tornarem farinha (Figura 10) e foram submetidos à caracterização nutricional, incluindo análises de umidade, cinzas, proteínas, lipídios, carboidratos, fibra detergente solúvel (FDS), fibra detergente insolúvel (FDI), fibra detergente total (FDT) e valor energético, utilizando as mesmas metodologias empregadas na caracterização das farinhas de trigo.

Figura 10 – Pães tipo forma.



Fonte: Autor, 2024. À esquerda, Pão de forma com farinha de trigo maranhense (PFFM), à direita, Pão de forma com farinha de trigo russa (PFFR).

A firmeza dos pães foi determinada para avaliar sua textura. Para isso, os testes foram realizados em um texturômetro TA-XT2i (Stable Micro Systems) com uma sonda cilíndrica de alumínio (P/25), utilizando velocidades de pré-teste e pós-teste de 1,0 mm/s, velocidade de teste de 0,50 mm/s, distância de 5 mm, tempo de 5 s e força de gatilho de 5 g. Os resultados foram apresentados como a média aritmética de 10 medições de força realizadas em amostras provenientes de um mesmo ensaio.

4.5.2 Volume Específico

As massas dos pães foram realizadas em triplicata, com o auxílio de balança semianalítica e expressa em gramas. O volume deslocado dos pães foi medido através do atestamento de recipiente plástico e transparente com semente de painço. Parte das sementes foi substituída pela amostra de pão de forma e o volume completado até a borda, onde o nivelamento foi realizado com auxílio de régua plástica. As sementes remanentes,

correspondente ao volume deslocado pela amostra, foram dispostos em uma proveta graduada de 1000 mL, expressando o resultado mL. O volume específico foi calculado pela divisão do volume deslocado do pão (mL) pela sua massa (g), segundo método 72-10 da AACC (1995), como mostra a equação 5:

$$\text{Volume Específico} = \frac{\text{Volume deslocado (mL)}}{\text{Peso da amostra assada (g)}} \quad (5)$$

4.5.3 Densidade

A densidade foi calculada, em triplicata, por meio da relação inversa entre o volume deslocado e o peso da amostra assada, de acordo com a equação 6.

$$\text{Densidade } (\frac{\text{g}}{\text{mL}}) = \frac{\text{Peso da amostra assada (g)}}{\text{Volume deslocado (mL)}} \quad (6)$$

4.6. Análises Estatísticas

Os resultados das caracterizações físico-química, nutricionais, reológicas e texturais submetidos ao cálculo de média, desvio padrão, análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey com nível de 5% de significância para comparação das médias. Todas as análises estatísticas serão realizadas utilizando-se o software XLSTAT Versão 18.01, Nova York, NY, EUA.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização nutricional, física e química das farinhas

Os resultados da caracterização nutricional das farinhas de trigo, estão apresentados na Tabela 3. As duas variedades mostraram diferença significativa ($p \leq 0,05$) para quase todos os parâmetros analisados na composição nutricional, exceto para os teores de fibra dietética insolúvel, solúvel e totais, que não apresentaram diferenças estatisticamente significativas

Tabela 3 – Características nutricionais, físicas e químicas das amostras de Farinhas de Trigo Maranhense e Farinha de Trigo Russa.

Trigo ^{1,2}	FTM	FTR
Características nutricionais		
Umidade (%)	10,37 ± 0,21 ^b	12,40 ± 0,30 ^a
Cinzas (%)	0,75 ± 0,03 ^a	0,50 ± 0,00 ^b
Proteína (%)	9,36 ± 0,18 ^b	9,77 ± 0,14 ^a
Lipídios (%)	1,23 ± 0,01 ^a	1,17 ± 0,00 ^b
Carboidrato ³ (%)	78,27 ± 0,29 ^a	76,13 ± 0,40 ^b
Fibra Dietética Insolúvel – FDI (%)	0,95 ± 0,02 ^a	1,64 ± 0,29 ^a
Fibra Dietética Solúvel – FDS (%)	0,00 ± 0,00 ^a	0,00 ± 0,00 ^a
Fibra Dietética Total – FDT (%)	0,95 ± 0,02 ^a	1,64 ± 0,29 ^a
Carotenoides (mg.100 g ⁻¹)	0,13 ± 0,01 ^b	0,42 ± 0,00 ^a
Valor Energético (Kcal.100 ⁻¹)	361,62 ± 0,83 ^a	354,26 ± 1,24 ^b
Características Físicas e Químicas	FTM	FTR
Luminosidade (L*)	86,89 ± 0,08 ^a	83,35 ± 0,43 ^b
Coordenada de cromaticidade a*	0,76 ± 0,02 ^a	0,70 ± 0,00 ^b
Coordenada de cromaticidade b*	10,56 ± 0,07 ^a	7,98 ± 0,06 ^b
Glúten úmido (%)	22,57 ± 0,31 ^b	27,75 ± 0,28 ^a
Glúten seco (%)	13,55 ± 0,07 ^a	12,45 ± 0,40 ^a
Glúten index (%)	94,05 ± 4,54 ^a	86,33 ± 4,92 ^a
Falling number (%)	388,00 ± 1,00 ^a	361,66 ± 0,57 ^b
Teor de amido danificado (%)	4,656 ± 0,75 ^a	5,07 ± 0,13 ^a

(1) Trigo (*Triticum aestivum L.*): Farinha de trigo maranhense; Farinha de trigo russa.

(2) Valores médios ± desvio padrão. Médias com mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

(3) Calculado por diferença. Fonte: Autor, 2024.

Os teores de umidade observados nas amostras de FTM (10,37%) e FTR (12,40%) estão dentro dos limites estabelecidos pela legislação brasileira. De acordo com a Instrução Normativa N° 8 de 2005 (BRASIL, 2005), o teor máximo permitido de umidade na farinha de trigo é de 15%. Segundo Gutkoski e Neto (2002) e Faroni *et al.* (2002), o percentual de umidade é uma das principais causas que aceleram reações químicas, podendo modificar as características nutricionais, organolépticas e tecnológicas da farinha. Outrossim, a umidade executa um papel crucial na sua preservação e no processo de fabricação. Se a umidade for adequada, ela garante que o glúten se desenvolva corretamente, dando ao pão sua estrutura característica. Sem umidade, nada disso seria possível (LANZARINI et al., 2020).

Os teores de cinzas (FTM 0,75%) encontrados para as variedades neste estudo são superiores aos mencionados por Heberle (2016), que apresentou 0,60%. Conforme a Instrução Normativa 8/2005 de identidade e qualidade do MAPA, o teor máximo permitido de cinzas no grão de trigo é de 2,5% (BRASIL, 2005). Os teores de lipídios (FTM: 1,23%; FTR: 01,17%) foram superiores aos valores apresentados por Heberle (2016), que obteve 1,0%. A diferença nos teores de lipídios pode estar associada às variações na composição nutricional dos alimentos, que podem ser influenciadas por fatores como a variedade da matéria-prima e o ambiente de cultivo. Por outro lado, os percentuais de proteína (FTM: 9,36%; FTR: 9,77%) foram inferiores aos observados no estudo de Guarienti *et al.* (2017), que avaliou a qualidade tecnológica de trigos colhidos e armazenados no Brasil, registrando um teor de 12,04%. Adicionalmente, os teores de fibra dietética total, insolúvel e solúvel nas amostras FTM e FTR não apresentaram diferenças estatisticamente significativas ($p \leq 0,05$).

A cor da farinha é influenciada principalmente pelo teor de carotenoides, proteínas, fibras e pela presença de impurezas durante a moagem. Para a panificação, a farinha de trigo deve ser branca ou levemente amarelada, sem pontos negros visíveis (ICTA, 2022). A análise da cor é essencial para determinar sua influência no aspecto visual do produto final. No segmento de massa fresca, por exemplo, prefere-se farinhas de coloração mais clara, pois o consumidor associa a cor à qualidade. Em contrapartida, para biscoitos e bolos, esse parâmetro é menos relevante, sendo o padrão determinado pelo mercado (BIOTRIGO, 2022). De acordo com a legislação brasileira, a Instrução Normativa N° 8 de 2005 (BRASIL, 2005) estabelece que a farinha de trigo deve ser branca, podendo apresentar tons leves de amarelo, marrom ou cinza, conforme a origem do trigo. As amostras FTM e FTR diferiram estatisticamente na cor, com a amostra FTM apresentando valores mais altos em todos os parâmetros, sendo L^* (FTM - 86,89; FTR - 83,35), indicando uma farinha mais próxima do branco. O valor a^* foi de (FTM - 0,76; FTR - 0,70), enquanto o valor b^* (FTM - 10,56; FTR - 7,98) sugere que a farinha FTM

possui tons mais acentuados de amarelo. A cor é crucial para a liberação de cargas de farinha de trigo pelas indústrias, sendo avaliada pelo controle de qualidade antes do produto chegar ao consumidor. A coloração influencia as características finais dos produtos, com consumidores geralmente preferindo farinhas mais claras. O farelo de trigo é um dos principais responsáveis pelas variações de cor. A qualidade da farinha está vinculada à sua coloração, podendo ser afetada por fatores extrínsecos (secagem, moagem, armazenamento) e intrínsecos (níveis de minerais, proteínas e pigmentos) (LANZARINI et al., 2020; ORTOLAN, 2006),

A determinação do teor de glúten das farinhas baseia-se na insolubilidade do glúten em água e na sua capacidade de formar uma massa plástica ao ser manuseado sob uma corrente de água, eliminando os outros componentes. O glúten assim obtido é composto por globulina, glutenina e gliadina (ICTA, 2022). A amostra de farinha de trigo analisada demonstrou um alto índice de glúten, o que facilita a retenção de gases durante a fermentação, contribuindo para o crescimento adequado dos pães. Quanto ao teor de glúten úmido, Bressiani et al. (2016) destacam que, quanto maior o tamanho das partículas da amostra, maior a dificuldade para as proteínas do glúten se agregarem, devido às interferências das camadas externas do grão. O teor de glúten úmido da amostra FTM (22,5%) foi inferior aos valores encontrados por Silva (2017) e Broca (2021), que analisaram a qualidade de farinhas de trigo em diferentes regiões do Brasil, com teores de 25,2% e 29,08%, respectivamente.

O valor de Falling Number (Tabela 3) é determinado pelo tempo de queda de um bastão em uma solução de farinha. Quando o bastão cai rapidamente, com um tempo inferior a 260 segundos, a farinha possui alta atividade diastásica; se o tempo for superior a 300 segundos, a farinha apresenta baixa atividade diastásica; e valores intermediários, entre 260 e 300 segundos, indicam uma atividade diastásica moderada (ICTA, 2022). Verificar a atividade e o efeito da alfa-amilase é crucial, pois essa enzima quebra moléculas de amido, um polissacarídeo, aumentando a produção de gases durante a fermentação do pão e, consequentemente, o volume específico do produto final. Portanto, é desejável que as farinhas tenham uma atividade diastásica moderada, evitando os extremos (ICTA, 2022). A amostra FTM apresentou um valor de 388,00 segundos, enquanto a FTR registrou 361,66 segundos. Estudos realizados por Silva (2017) e Guarienti (2018) relataram valores de 374,00 e 370,00 segundos, respectivamente. Os resultados obtidos indicam que a farinha deve ser destinada à produção de massas, já que amostras com valores acima de 350 segundos possuem baixa atividade enzimática, conforme o Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos (2022).

As propriedades funcionais das amostras de farinha de trigo maranhense e farinha da farinha de trigo russa encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 – Propriedades funcionais das amostras de Farinha de Trigo Maranhense e Farinha da Trigo Russa.

Características Físicas e Químicas	FTM	FTR
Índice de Absorção de Água – IAA (g/g)	86,89 ± 0,08 ^a	83,35 ± 0,43 ^b
Índice de Solubilidade em Água – ISA (g/100g)	1,76 ± 0,12 ^b	2,56 ± 0,23 ^a
Capacidade de Absorção de Água – CAA (g/g)	3,26 ± 0,42 ^a	3,37 ± 0,13 ^a
Capacidade de Absorção de Óleo – CAO (g/g)	1,19 ± 0,00 ^a	1,19 ± 0,00 ^a
Poder de intumescimento (g/100g)	10,43 ± 0,57 ^a	11,42 ± 0,91 ^a

FTM: farinha de trigo maranhense; FTR: farinha de trigo russa.

Fonte: Autor (2024).

A farinha de trigo maranhense (FTM) apresentou maior índice de absorção de água (IAA) com diferença significativa ($p<0,05$) em relação à farinha de trigo russa (FTR). Mede a resistência à deformação de uma mistura de farinha/água contra lâminas que batem a massa com velocidade e temperatura específica, o torque. Santana et al., (2017) encontraram índice de absorção de água de 1,15%. Paixão (2022) encontrou o índice de absorção de água de 54,8 – 58,7%, para farinha de trigo produzida no Maranhão, valor inferior ao obtido nesse estudo (86,89%). Oro (2013) relatou que quando o IAA fica abaixo de 55% é considerado uma absorção baixa, recomendando que seja superior a 60%. Segundo a Biotrigo (2024), a absorção de água (%), representada pela quantidade de água que a farinha absorve para que a curva do gráfico no farinógrafo se mantenha em 500 unidades farinográficas (UF), é um valor que representa o desenvolvimento completo da rede de glúten. As variações no conteúdo de proteína e amido danificado da massa são os principais fatores de influência na absorção de água. Para Wang et al., (2006), a absorção de água depende da disponibilidade de grupos hidrofílicos, que ligam as moléculas de água, e da capacidade formadora de gel de macromoléculas, como amido gelatinizado. O índice de solubilidade em água da FTM (1,76 g/100 g) apresentou-se maior do que a FTR (2,56 g/100 g). A Capacidade de Absorção de Água (CAA) da FTM (3,26%) e da FTR (3,37%), teores bem próximos sem diferença estatística. A capacidade de absorção de óleo deu igual para ambas as farinhas. E poder de entumecimento bem próximos também (FTM: 10,43) e FTR (10,42%)

Na Tabela 5 encontra-se os resultados das análises fitoquímicas do grão de trigo maranhense.

Tabela 5 – Análise fitoquímica do grão de Trigo Maranhense.

Ensaios realizados	Resultados
Alcalóides	POSITIVO ++ (Mayer, Dragendorff e Bouchard)
Antraquinonas	NEGATIVO
Antocianinas	NEGATIVO
Esteróides e Triterpenos	POSITIVO + (Triterpenos)
Heterosídeos Digitálicos	POSITIVO ++
Saponinas	NEGATIVO
Taninos	NEGATIVO
Flavonoides	NEGATIVO
Cumarinas	NEGATIVO
Amida	POSITIVO +++
Açúcares Redutores	NEGATIVO

Fonte: Autor (2024)

A presença de triterpenos no trigo é um achado esperado, pois esses compostos são comuns em muitos cereais e contribuem significativamente para as propriedades nutricionais e funcionais do grão, como sua atividade antioxidante.

Por outro lado, a alta concentração de amidas no trigo cultivado no Ceará é um dado interessante que merece investigação mais aprofundada, devido ao potencial para aplicações funcionais. A detecção de alcaloides também exige atenção especial, dado o impacto na segurança alimentar. É essencial identificar os tipos específicos de alcaloides presentes no trigo e avaliar seus possíveis efeitos tóxicos. Nesse contexto, técnicas como cromatografia são recomendadas para a quantificação e identificação desses compostos.

A presença de heterosídeos digitálicos no trigo, por sua vez, é particularmente inesperada e demanda uma análise criteriosa. Embora esses compostos possam apresentar propriedades cardioprotetoras, eles também possuem potencial tóxico e não são naturalmente associados ao trigo. Sua detecção pode indicar contaminação ou uma biossíntese atípica.

Portanto, estudos adicionais são fundamentais para compreender os mecanismos moleculares envolvidos na possível biossíntese desses compostos no trigo cultivado no Ceará. Esses estudos deverão avaliar, com rigor, os potenciais benefícios e riscos à saúde humana, buscando esclarecer se tais compostos têm origem natural ou externa.

As características reológicas das amostras de farinha de trigo maranhense e farinha de trigo russa encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6 – Características reológicas das amostras de Farinha de Trigo Maranhense e Farinha de Trigo Russa.

Características Reológicas	Farinha Maranhense	Farinha Russa
Farinografia		
Absorção de água	$54,50 \pm 0,20^{\text{a}}$	$49,40 \pm 0,36^{\text{b}}$
Tempo de desenvolvimento	$8,33 \pm 0,15^{\text{a}}$	$2,46 \pm 0,20^{\text{b}}$
Estabilidade	$3,60 \pm 0,26^{\text{a}}$	$0,70 \pm 0,26^{\text{b}}$
ITM	$33,00 \pm 1,00^{\text{a}}$	$30,33 \pm 0,57^{\text{b}}$
Alveografia		
W	$131,66 \pm 1,52^{\text{a}}$	$125,00 \pm 1,00^{\text{b}}$
P	$92,33 \pm 0,57^{\text{a}}$	$90,00 \pm 1,00^{\text{b}}$
L	$32,66 \pm 1,15^{\text{a}}$	$29,00 \pm 1,00^{\text{b}}$
P/L	$2,87 \pm 0,01^{\text{a}}$	$3,12 \pm 0,02^{\text{b}}$
G	$12,53 \pm 0,20^{\text{a}}$	$11,93 \pm 0,11^{\text{b}}$
Extensografia		
Resistência a extensibilidade (tempo 1 - 45 min)	$34,66 \pm 0,57^{\text{a}}$	$32,00 \pm 1,00^{\text{b}}$
Resistência a extensibilidade (tempo 1 - 90 min)	$32,66 \pm 0,57^{\text{a}}$	$32,66 \pm 1,52^{\text{b}}$
Resistência a extensibilidade (tempo 1 - 135 min)	$32,33 \pm 0,57^{\text{a}}$	$30,00 \pm 0,00^{\text{a}}$

Fonte: Autor (2024)

O teste analisa as propriedades viscoelásticas da massa e reproduz seu comportamento durante a fermentação. A partir dos resultados expressados por W (força de glúten), P (tenacidade), L (extensibilidade), P/L (relação tenacidade por extensibilidade) e Ie (índice de elasticidade), pode-se destinar a farinha ao seu devido uso (BIOTRIGO, 2022).

Com base nas referências apresentadas pelo Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos (2022) é possível observar que a amostra apresentou um elevado valor de “W” que corresponde a força da farinha, tais características destinam o uso da farinha para massas, pois apresentou um alto trabalho de deformação. Estes parâmetros são confirmados quando avaliados os resultados de “P/L”, que atesta a qualidade das proteínas presentes no grão de trigo, principalmente das formadoras do glúten.

Na Tabela 7 encontra os resultados referentes as características nutricionais e físicas dos pães de forma elaborados com as farinhas de trigo Maranhense e Trigo Russo.

Tabela 7 – Características nutricionais e físicas dos pães de forma.

Pães de Forma (PF) ^{1,2}	<i>Características Nutricionais e Físicas</i>	PFFM	PFFR
Umidade (%)		$23,30 \pm 0,17^{\text{a}}$	$27,76 \pm 0,36^{\text{b}}$
Cinzas (%)		$14,77 \pm 0,36^{\text{b}}$	$21,97 \pm 0,49^{\text{a}}$
Proteína (%)		$8,81 \pm 0,24^{\text{a}}$	$7,64 \pm 0,08^{\text{b}}$
Lipídios (%)		$1,42 \pm 0,02^{\text{a}}$	$1,10 \pm 0,01^{\text{b}}$
Carboidrato ² (%)		$51,67 \pm 0,22^{\text{a}}$	$46,71 \pm 0,45^{\text{b}}$
Fibra Dietética Insolúvel – FDI (%)		$5,12 \pm 0,00^{\text{a}}$	$5,41 \pm 0,50^{\text{a}}$
Fibra Dietética Solúvel – FDS (%)		$3,51 \pm 0,00^{\text{a}}$	$0,04 \pm 0,01^{\text{b}}$
Fibra Dietética Total – FDT (%)		$8,64 \pm 0,01^{\text{a}}$	$5,46 \pm 0,48^{\text{b}}$
Valor energético (Kcal.100 ⁻¹)		$254,79 \pm 1,35^{\text{a}}$	$227,35 \pm 2,10^{\text{b}}$
Firmeza (g)		$1571,02 \pm 7,84^{\text{b}}$	$1637,66 \pm 1,14^{\text{a}}$

(1) Pães de forma: PFFM: Pão de forma farinha maranhense – Pão de forma com farinha de trigo russa; PF Farinha Russa – Pão de forma com farinha de trigo russa.

(2) Valores médios \pm desvio padrão. Médias com mesma letra minúscula, na linha, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

(3) Calculado por diferença. Fonte: Autor (2024).

Os teores de umidade nos pães de forma PFFT e PFFR foram de 23,30% e 27,76%, respectivamente, com a PFFR apresentando um teor mais elevado. No entanto, todas as amostras estão dentro do padrão exigido pela ANVISA – Resolução nº 90 (2000), que estabelece um limite máximo de 38% de umidade para pães feitos com farinha de trigo comum ou especial. O resíduo mineral fixo refere-se ao resultado da queima de matéria orgânica presente no alimento, contendo minerais como potássio, magnésio, cálcio, ferro, chumbo, sódio, cloreto, entre outros.

Os teores de cinzas nos pães PFFM e PFFR foram, em média, 14,77% e 21,97%, respectivamente, valores bem superiores aos relatados por Bach (2021), que foram de 2,48%. Isso sugere que os pães avaliados têm uma quantidade significativamente maior de cinzas em sua composição em comparação com o valor previamente reportado. As amostras PFFM e PFFR apresentaram teores de proteínas de 8,81% e 7,64%, respectivamente, valores inferiores aos encontrados em produtos similares disponíveis no mercado. Bach (2021) relatou teores de proteínas de 14,00%, 12,18% e 12,66%, respectivamente, em produtos comparáveis.

Os teores de cinzas na farinha estão diretamente ligados à cor da farinha e à presença de partículas de cascas, mas isso só se aplica quando o trigo é moído sob condições idênticas.

Interessantemente, ao comparar farinhas de trigos diferentes, pode-se encontrar uma farinha mais clara com um teor de cinzas maior que uma farinha mais escura (ICTA, 2024).

No pão elaborado com farinha de trigo maranhence foi encontrado 1,42% de lipídeo, enquanto no fabricado com farinha de trigo Russa encontrou-se 1,10%, teores inferiores ao achado por Oliveira et al (2011), que foi 3,01% de lipídeo. Os três pães podem ser considerados uma opção vantajosa devido ao seu baixo teor de gorduras totais. Isso é especialmente importante nos dias de hoje, onde a ingestão excessiva de gorduras é um dos principais fatores que contribuem para a obesidade, uma doença crônica que também é um fator de risco significativo para outras condições crônicas. Essas doenças representam as principais causas de mortalidade e morbidade na atualidade. Escolher alimentos com baixo teor de gordura é uma maneira eficaz de promover uma dieta mais saudável e prevenir complicações futuras (ALBUQUERQUE et al., 2021).

As amostras dos pães PFFM e PFFR apresentaram teores de proteínas de 8,81% e 7,64%, respectivamente, valores inferiores aos encontrados em produtos similares disponíveis no mercado. Oliveira et al (2011) encontram 6,97% de proteína, enquanto Bach (2021) relatou teores de proteínas de 14,00%, 12,18% e 12,66%, respectivamente, em produtos comparáveis. Nos pães elaborados com farinha de trigo Maranhence e Russa encontrou-se 51,67% e 46,71% de carboidratos, enquanto Oliveira et al (2011) encontram concentração maior 53,87% de carboidratos nos seus pães fabricado com farinha de trigo especial.

Os teores de fibra dietética solúvel (3,51%), fibra dietética total (8,64%), Valor energético (253,79 Kcal.100-1) do pão PFFM foram superiores aos respectivos conteúdos no pão PFFR, que foram 0,04%, 5,46%, 227,35 Kcal.100-1 . Enquanto os pães PFFR apresentaram o conteúdo de fibra insolúvel (5,41%) e a firmeza (1637,66 g) superior aos valores mostrados por PFFM (5,12%), e firmeza (1571,02 g).

Os resultados médios e teste de Tukey dos parâmetros físicos dos pães tipo forma estão presentes na Tabela 8.

Tabela 8 - Resultados médios e teste de Tukey dos parâmetros físicos dos pães tipo forma.

Amostra	PFFM	PFFR
Volume específico (mL/g)	$4,58^a \pm 0,32$	$4,63^a \pm 0,12$
Densidade (g/mL)	$0,21^a \pm 0,01$	$0,21^a \pm 0,00$

PFFM: pão tipo forma de farinha de trigo maranhense. PFFR: pão tipo forma de farinha de trigo russa.

Fonte: Próprio autor.

Em relação aos resultados obtidos dos volumes dos pães tipo forma de farinha de trigo maranhense e farinha de trigo russa, (4,58 mL/g e 4,63 mL/g, respectivamente), não apresentaram diferença significativa. O mesmo foi observado em relação às densidades dos pães elaborados com essas farinhas.

6. CONCLUSÃO

A análise das propriedades nutricionais e físicas das farinhas de trigo maranhense e russo e seus pães revelou diferenças importantes. A farinha farinha de trigo maranhense apresentou maior teor de glúten e melhor cor, sendo mais adequada para a produção de pães e massas. O pão feito de farinha de trigo maranhense teve maiores teores de fibras e valor energético, enquanto o pão de farinha de trigo russo se destacou pela maior firmeza e fibra insolúvel. Ambos os tipos de farinha e seus pães são nutricionalmente adequados, com ênfase no baixo teor de gordura.

A farinha de trigo cultivada na região Nordeste do Brasil apresenta um rico potencial e pode ser utilizada no desenvolvimento de novos alimentos para panificação, tornando-se uma oportunidade promissora de investimento para as indústrias moageiras. Além disso, o baixo custo da farinha nessa região oferece grande potencial para sua aplicação em larga escala na produção de produtos de panificação.

REFERÊNCIAS

AACC - American Association Of Cereal Chemists. Approved Methods Of The AACC.8 Ed.Saint Paul: Aacc, 1999.

AACC - American Association Of Cereal Chemists. Approved Methods Of The AACC.10 Ed.Saint Paul: Aacc, 2000.

AACC. American Association for Cereal Science and Technology -**ICC Standard n° 155:** Determination of wet gluten quantity and quality (gluten index ac. to Perten) of whole wheat meal and wheat flour (*triticum aestivum*) - approved: 1994.

AACC. American Association of Cereal Chemists - **AACC International Method 76-33.01: Damaged Starch - Amperometric Method by SDmatic** - First approval October 10, 2007.

AACC. American Association of Cereal Chemists - **AACC International Method 38- 12.02: Wet Gluten, Water-Binding Capacity, and Gluten Index** - First approval November 8, 2000.

AACC. American Association of Cereal Chemists - **AACC. International Method 54-30.02: Alveograph Method for Soft and Hard Wheat FlourFirst approval.** October 3, 1984, Reapproval November 3,1999.

ABITRIGO. Associação Brasileira de Trigo. 2021. Disponível em: <http://www.abitriago.com.br>. Acesso em: 18 Dez 2022.

AGROSABER. Trigo é colhido pela 1ª vez no Ceará e surpreende. 2020. Disponível em: <https://agrosaber.com.br/trigo-e-colhido-pela-1a-vez-no-ceara-e-surpreende>. Acesso em: 24 set. 2024.

AGUIAR, E. V.; SANTOS, F.G.; FAGGIAN,L.; DA SILVEIRA ARAUJO, M. B.; ARAÚJO, V. A.; CONTI, A. C., CAPRILES, V. D. An integrated instrumental and sensory techniques for assessing liking, softness and emotional related of gluten-free bread based on blended rice and bean flour. **Food Research International**, 154, 2022. Doi: 10.1016/j.foodres.2022.110999

ALBUQUERQUE, T. G.; RODRIGUES, H. I.; SILVA, M. A.; OLIVEIRA, M. B. P. P.; COSTA, H. S. Avaliação dos teores de sal e de gordura em pães de leite e croissants: contributo para o estudo do panorama português em 2020. **Boletim Epidemiológico Observações**, v. 10 (Supl 13), p. 19-22, 2021.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. AACC International. Approved Methods of Analysis. **Physical Dough Tests:** AACCI Method 54-21.02: Farinograph method for flour. 11 ed. St. Paul: AACC International, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1094/AACCIIntMethod-54-21.02> . Acesso em: 30 Jan 2023.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. AACC International. Approved Methods of Analysis. **Physical Dough Tests:** AACCI Method 54 10.01: Extensograph method, general. 11 ed. St. Paul: AACC International, 1999. Disponível em:<http://dx.doi.org/10.1094/AACCIIntMethod-54-10.01>. Acesso em: 05 julho 2021.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists 9º. ed., Saint Paul: AACC, 1995. v. 2

ANKOM. Technology method 2: rapid determination of oil/fat utilizing high temperature solvent extraction. Macedon, p. 2, 2009

AOCS. American Oil Chemists' Society. Official Method Am 5-04, Rapid determination of oil/fat utilizing high temperature solvent extraction. Urbana: Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists Society, 2005.

AOKI, N. Sweet Potato Flour Decreases Firmness of Gluten-free Rice Bread. **Food Science and Technology Research**, v.241, p.105–110, 2018.

ARATA, A. F.; LÁZARO, L.; TRANQUILLI, G. E.; ARRIGONI, A. C.; DINOLFO, M. I.; RONDANINI, D. P. Manipulation of the post-flowering source/sink ratio differentially affects protein composition and gluten quality in contrasting bread wheat genotypes. **Journal of Cereal Science**, v. 117, p. 103900, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2024.103900>.

ATWELL, W. A.; FINNIE, S. **Wheat Flour.** In **S. Finnie & W. A. Atwell (Eds.), Wheat Flour** (pp. 1-16): AACC International Press. 2016.

Avaliação da Qualidade Tecnológica/Industrial da Farinha de Trigo. **Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos – ICTA.** 2022. Disponível em: Avaliação da Qualidade Tecnológica/Industrial da Farinha de Trigo (ufrgs.br) Acesso em: 04 de janeiro de 2022.

ABIP. Instituto Tecnológico da Alimentação, Panificação e Confeitaria. Indicadores do Setor. Jan, 2021. Disponível em: <http://institutoitpc.org.br/indicadores-do-setor/>. Acesso em: 17 maio. 2021.

BACH, Daniele. **Desenvolvimento e caracterização do pão preparado com farinha de trigo branca adicionada de farinha e purê de batata doce utilizando dois métodos fermentativos.** 2021. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2021.

BIOTRIGO. Farinigrafia. Disponível em: <https://biotrigo.com.br/analises/farinografia/>. Acesso em: 27 nov. 2024.

BONILLA, J. C.; ERTURK, M. Y.; KOKINI, J. L. Understanding the role of gluten subunits (LMW, HMW glutenins and gliadin) in the networking behavior of a weak soft wheat dough and a strong semolina wheat flour dough and the relationship with linear and non-linear rheology. **Food Hydrocolloids**, v. 108, p. 106002, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106002>.

BRABENDER. Food Division. Quality Control. Milling/Baking. 25 julho 2021.

BRASIL, MAPA Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa N° 38, de 30 de novembro de 2010.** Brasília, DF. 2010.

BRASIL. Agencia Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Aprova o “Regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade de pão”. Resolução nº90, de 18 de outubro de 2000. Diário Oficial da União, 2000. Disponível em https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/legislacaoalimentos_000fgqfs0fv02wyiv8

020uvkpsom46kk.htm. Acesso em: 03 jan. 2024.

BRASIL. Agência nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Aprova o “Regulamento Técnico que aprova o uso de aditivos alimentares, estabelecendo suas funções e seus limites máximos para a categoria de alimentos 7 – produtos de panificação e biscoitos”. **Resolução nº 383, de 05 de agosto de 1999.** *Diário Oficial da União*, Brasília, 1999^a. Disponível em http://anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/%281%29RES_383_1999_COMP.pdf/00d67817-c095-44ba-9203-07bd673a2f36. Acesso em: 11 jan. 2024.

BRASIL. Agencia Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Aprova o “Regulamento técnico sobre aditivos utilizados segundo as boas práticas de fabricação e suas funções, contendo os Procedimentos para Consulta da tabela e a tabela de aditivos utilizados segundo as Boas práticas de fabricação”. **Portaria nº 386, de 05 de agosto de 1999.** *Diário oficial da União*, Brasília, 1999c. Disponível em <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-386-de-17-de-setembro-de-2021-346341528>. Acesso em: 11 jan. 2024.

BRASIL. Secretaria de Vigilância Sanitária/Ministério da Saúde (SVS/MS). Aprova o “Regulamento Técnico: Aditivos Alimentares – definições, classificação e emprego”. **Portaria nº 540, de 27 de outubro de 1997.** *Diário Oficial da União*; Brasília, 1997. Disponível em <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/portaria-no-540-de-27-de-outubro-de-1997.pdf/view>. Acesso em: 11 jan. 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Ceará planta trigo pela primeira vez e colheita surpreende. 2022.** Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/ceara-planta-trigo-pela-primeira-vez-e-colheita-surpreende#:~:text=Uma%20parceria%20entre%20a%20iniciativa%20privada>. Acesso em: 25 set. 2024.

BRESSIANI, J. **Qualidade da farinha de trigo de grão inteiro em resposta a influência de diferentes tamanhos de partículas.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de alimentos), Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo, 2016.

BROCA, Ângela. **Estudo da qualidade do trigo e da farinha de trigo destinada a panificação em um moinho no sul do Brasil.** 2021. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal da Fronteira do Sul.

CALDEIRA, N. Q. N.; LIMA, Z. L. A.; SEKI, A. R.; RUNJANEK, F. D. **Diversidade de trigo, tipificação de farinhas e genotipagem.** Revista Biotecnologia Ciência Desenvolvimento. Brasília, 2000.

CANAL RURAL. **Ceará colhe trigo pela primeira vez e produtividade chama a atenção.** 2020. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/noticias/agricultura/trigo/ceara-colhe-trigo-pela-primeira-vez-produtividade-chama-atencao/>. Acesso em: 01 Mar 2023.

CANELLA-RAWLS, S. **Pão - Arte e Ciência.** 5 ed. São Paulo: Senac, 2005.

CENTRAL DO ALIMENTOS. **As Melhores gorduras para usar na panificação e confeitoria: comparação entre manteiga, margarina e óleos vegetais.** Disponível em: [\[https://blog.centraldealimentos.com.br/2024/08/20/as-melhores-gorduras-para-usar-na-panificacao-e-confeitoria-comparacao-entre-manteiga-margarina-e-oleos-vegetais/\]\(https://blog.centraldealimentos.com.br/2024/08/20/as-melhores-gorduras-para-usar-na-panificacao-e-confeitoria-comparacao-entre-manteiga-margarina-e-oleos-vegetais/\)](https://blog.centraldealimentos.com.br/2024/08/20/as-melhores-gorduras-para-usar-na-panificacao-e-confeitoria-comparacao-entre-manteiga-margarina-e-oleos-vegetais/)

na-panificacao-e-confeitoria-comparacao-entre-manteiga-margarina-e-oleos-vegetais/). Acesso em: 24 set. 2024.

CHEN, G.; EHMKE, L.; SHARMA, C.; MILLER, R.; FAA, P.; SMITH, G.; LI, Y. Physicochemical properties and gluten structures of hard wheat flour doughs as affected by salt. **Food Chemistry**, v. 275, p. 569-576, 2018.

CHOPIN. **Instruction manual laboratory mill CD1** Villeneuve-la-Garenne: Chopin, 1998. 16 p.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Trigo Análise Mensal**. 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-trigo>. Acesso em: 20 fev 2023.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2023/2024**. Vol.11, n.6. Brasília: Conab, 2023.

CUNHA, G. R da; PASINATO, A.; PIMENTEL, M. B. M.; HAAS, J. C.; MALUF, J. R. T.; PIRES, J. L. F.; DALMAGO, G. A.; SANTI, A. Regiões para trigo no Brasil: ensaios de VCU, zoneamento agrícola e época de semeadura. Capítulo 2. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R da. (Eds.). **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2011.

CURTIS, B.C. **O trigo no mundo**. Disponível online: <http://www.fao.org/3/y4011e/y4011e04.htm>. Acesso em: 21 fev. 2024.

DIONIZIO, Amanda Salgado. **Efeito do camu-camu microencapsulado e liofilizado na reologia da massa e na qualidade do pão de forma**. 2017. 81 f. Dissertação. (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2017.

DIOWKSZ, A.; SADOWSKA, A. Impact of sourdough and transglutaminase on gluten free buckwheat bread quality. **Food Bioscience**, v. 43, 2021.

EDUN, A. A., OLATUNDE, G. O., SHITTU, T. A., ADEOGUN, A.I. Flour, dough and bread properties of wheat flour substituted with orange-fleshed sweet potato flour. **Journal of Culinary Science & Technology**, v. 146, p. 1-16, 2018.

EMBRAPA TRIGO. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento Online 50. 2007. Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/bp/p_bp50_3.htm. Acesso em: 25 set 2024.

EMBRAPA. Trigo Tropical. **Trigo do Brasil Central**. 2023. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1163107/1/Flyer-trigo-tropical-web.pdf>. Acesso em: 25 set. 2024.

ESTELLER, M. S., LANNES, S. C. S. Parâmetros Complementares para Fixação de Identidade e Qualidade de Produtos Panificados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.25, p. 802-806, 2005.

FELLI, R. ; YANG, T. A.; ABDULLAH, W. N. W. ; ZZAMAN, W. Effects of Incorporation of Jackfruit Rind Powder on Chemical and Functional Properties of Bread. **Tropical life**

sciences research, v. 29, p.113-126, 2018.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nation. **Food Outlook**. Binnual Report on Global Food Markets. p. 11-16. 2021.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. World food situation. Rome: FAO. 2016a. Acesso em: <https://www.fao.org/worldfoodsituuation/en/>. Acesso em: 28 fev 2023.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Global wheat and rice harvests poised to set new record. Rome: FAO. 2016b. Disponível em: <https://www.fao.org/news/story/en/item/445300/icode/>. Acesso em: 28 fev 2023.

FERREIRA, M. D.; SPRICIO, P. C. Instrumentação Pós-colheita em Frutas e Hortalícias. Parte 4: Análises não destrutivas. Capítulo 1: Princípios e Aplicações na Agricultura. P. 210-220 2017. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1084379/1/Parte4cap1Colorimetria...pdf>. Acesso em: 20 Dez 2023.

FORBES. Agricultores russos avaliam reduzir plantio de trigo por queda da lucratividade. Disponível em: <https://forbes.com.br/forbesagro/2024/03/agricultores-russos-avalam-reduzir-plantio-de-trigo-por-queda-da-lucratividade/>. Acesso em: 25 out. 2024.

FRAŚ, A.; GOŁĘBIIEWSKI, D.; GOŁĘBIIEWSKA, K.; MAŃKOWSKI, D. R.; GZOWSKA, M.; BOROS, D. Triticale-oat bread as a new product rich in bioactive and nutrient components. **Journal of Cereal Science**, v. 82, p. 146-154, 2018.

GUARENTI, E. M.; PIRES, J. L. F.; CUNHA, G. R. da; MIRANDA, M. Z. de; GUARENTI, E. M.; MIRANDA, M. Z. de; CUNHA, G. R. da; NICOLAU, M.; TIBOLA, C. S.; FORCELLINI, S.; VIEIRA, D. C. da C.; LIMA, M. V. de. **Qualidade tecnológica de trigo colhido e armazenado no Brasil safras 2015/2016 e 2016/2017.** 2018. Embrapa Trigo. Documentos online, 178. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1115403/qualidade-tecnologica-de-trigo-colhido-e-armazenado-no-brasil---safras-2015-2016-e-2017>. Acesso em: 13 fev. 2024.

GUARENTI, E. M.; MIRANDA, M. Z. de; CUNHA, G. R. da; TIBOLA, C. S.; NICOLAU, M. **Qualidade tecnológica de trigo colhido e armazenado no Brasil - safra 2015. 2017.** Embrapa Trigo. Documentos online, 170. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2017. Disponível em: https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=1074733&biblioteca=vazio&b_usca=ELIANA%20GUARENTI&qFacets=ELIANA%20GUARENTI&sort=ano-publicacao&paginaAtual=3. Acesso em: 13 fev. 2024.

GLOBO RURAL. Sem parceiro para plantar trigo no Ceará produtor leva projeto para o Maranhão. 2022. Disponível em: <https://globorural.globo.com/Noticias/Agricultura/Trigo/noticia/2022/03/plantio-experimental-de-trigo-troca-o-ceara-pelo-maranhao.html>. Acesso em: 08 Mar 2023.

GUIA DE QUALIDADE DA FARINHA, 2^a edição. Biotrigo. Disponível em: Guia-de-Qualidade- da-Farinha.pdf (abitrigo.com.br). 2022. Acesso em: 04 de janeiro de 2022.

GHODKI, B. M; DADLANI, G.; GHODKI, D. M; CHAKRABORTY, S. Functional whole

wheat breads: Compelling internal architecture. **LWT - Food Science and Technology**, v.108, p. 301-309, 2019.

GRAY, J. A., BEMILLER, J. N. Bread staling: molecular basisand control. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 2, p. 1-21, 2003.

GOBETTI, M.; DE ANGELIS, M.; DI CAGNO, R.; CALASSO, M.; ARCHETTI, G.; RIZELLO, C.G. Novel insights on the functional features of the sourdough fermentation. **International Journal of Food Microbiology**, v. 302, p. 103-113, 2018.

GUTKOSKI, L. C.; BONAMIGO, J. M. A.; TEIXEIRA, D. M. F.; PEDO, I. Desenvolvimento de barras de cereais à base de aveia com alto teor de fibra alimentar. **Ciênc. Tecnol. Aliment.** [online]. 2007, vol.27, n.2 [cited 2019-06-10], pp.355-363. Available from: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-102612007000200025&lng=en&nrm=iso>. ISSN 0101-2061.<http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612007000200025>.

GWIRTZ, J. A.; WILLYARD M. R.; MCFALL K. L. **Wheat: More than just a plant**. In **L. Popper; W .Schafer; W. Freund (Eds)**. Future of Flour: A Compendium of Flour Improvement. USA, Kansas: Agrimedia. 2006.

HAN, Y.; YANG, M.; LIU, L.; LEI, X.; WANG, Z.; LIU, J.; SUN, B.; YANG, X.; ZHANG, S. Grain mineral concentration of Chinese winter wheat varieties released between 1970 and 2005 under diverse nutrient inputs. **Field Crops Research**, v. 284, p. 108576, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108576>.

International Association for Cereal Science and Technology - ICC Standard nº 172 equivalent to the **AACC International nº 76-33 - Flour from Wheat [triticum aestivum] - Determination of Damage Starch by an Amperometric Method Using the SDMatic** - Approved: 2011.

ICC Standard - International Association for Cereal Science and Technology, nº 107/1: Determination of the “Falling Number” according to Hagberg – Perten as a Measure of the Degree of Alpha-Amylase Activity in Grain and Flour. Approved: 1968; Revised: 1995.

INSTITUTO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS – ICTA. **Avaliação tecnologica e industrial da farinha de trigo**. Disponível em: <https://lume-re-demonstracao.ufrrgs.br/avaliacao-qualidade/1c.php>. Acesso em: 07 out. 2024.

KHAN, M.M. RAHMAN, M.M. HASAN, M.M. AMIN, M.F. MATIN, M.Q.I. FARUQ, G. ALKERIDIS, L.A. GABER, A. HOSSAIN, A. Assessment of the salt tolerance of diverse bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes during the early growth stage under hydroponic culture conditions. 2024. **Helyon**. Volume 10, Issue 7, 15 April 2024, e29042. <https://doi.org/10.1016/j.helyon.2024.e29042>.

KNAPOWSKI, T.; KOZERA, W.; CHMIELEWSKI, J.; GORCZYCA, D.; WSZELACZYNSKA, E.; POBEREZNY, J. Mineral fertilization as a factor determining technological value of grain of *Triticum aestivum* ssp. *spelta* L. **Environmental Protection and Natural Resources**, v. 27, n. 3, p. 8–13, 2016. DOI: 10.1515/OSZN-2016-0021.

KUIAVSKI, M. P.; BEZERRA, J. R. M. V.; TEIXEIRA, Â. M.; RIGO, M. Elaboração de pães com adição de farinha do bagaço de malte. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n.

7, p. 53208- 53221, 2020. DOI:10.34117/bjdv6n7-823.

LANZARINI, D. P.; MARTINS, R. C.; RAUEN, T. G.; BRAVO, C. E. C.; PINTO, E. P. (2020). Controle de qualidade aplicado a farinha de trigo panificável produzida em moinhos do estado do Paraná. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 4, p. 16919-16929, 2020. DOI:10.34117/bjdv6n4-020.

MARRA, D.; ACUNZO, A.; FULGIONE, A.; LUCA, M. de; VILLALONGA, R.; PISANI, F.; BIONDI, L.; CAPUANO, F.; VELOTTA, R.; VENTURA, B. D.; IANNOTTI, V. Advances in gluten detection: A rapid colorimetric approach using core-satellite magnetic particles. **Biosensors and Bioelectronics**: X, v. 21, p. 100545, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.biosx.2024.100545>.

MCARTHUR, J.W.; MCCORD, G. C. Fertilizing growth: Agricultural inputs and their effects in economic development. **J. Dev. Econ.**, v. 127, p. 133–152, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2017.02.007>.

MILLER, G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugars. **Analytical Chemistry**, Washington, 31:426-8, 1959.

MINAMI, L. Trigo: entenda a situação da safra 2024-25 no Brasil e na Argentina. **Revista Cultivar**. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/noticias/trigo-entenda-a-situacao-da-safra-2024-25-no-brasil-e-na-argentina>. Acesso em: 25 out. 2024.

MINHAS, W. A.; MEHBOOB, N.; YAHYA, M.; REHMAN, H. U.; FAROOQ, S.; HUSSAIN, M. The Influence of Different Crop Mulches on Weed Infestation, Soil Properties and Productivity of Wheat under Conventional and Conservation Production Systems. **Plants**, v. 12, n. 1, p. 9, 2023. <https://doi.org/10.3390/plants12010009>.

MORDOR INTELLIGENCE. **Wheat Seeds Market - Growth, Trends, Impact of Covid-19 And Forecasts (2022 - 2027)**. 2022. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/wheat-seed-market>. Acesso em: 07 mar 2023.

MORDOR INTELLIGENCE. **Wheat Value Chain Analysis - Growth, Trends, Impact of Covid-19 And Forecasts (2023 - 2028)**. 2023. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/wheat-value-chain-analysis>. Acesso em: 05 mar 2023.

MORDOR INTELLIGENCE. **South American Wheat Market - Growth, Trends, Impact of Covid-19 And Forecasts (2023 - 2028)**. 2023. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/south-america-wheat-market>. Acesso em: 07 mar 2023.

MOURA, L.L.F. **Efeito da Substituição Parcial de Farinha de Trigo por Farinha de Trigo Espelta na Reologia da Massa e Qualidade Tecnológica do Pão**. Dissertação de mestrado, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca. 2020. Disponível em: https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/22703/1/Moura_Lidiane.pdf. Acesso em: 16 jan 2023.

NICOLAU, M.; TIBOLA, C. S.; PASINATO, A.; SANTOS, I. B. S. dos S. **Conformidade de requisitos de qualidade tecnológica de trigo para exportação produzido no Rio Grande do Sul**, safras 2015, 2016 e 2017. 2020. Embrapa Trigo. Boletim de Pesquisa e

Desenvolvimento, 94. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1123409/conformidade-de-requisitos-de-qualidade-tecnologica-de-trigo-para-exportacao-produzido-no-rio-grande-do-sul-safras-2015-2016-e-2017>. Acesso em: 13 fev. 2024.

NORNBERG, M.L. BORTOLOTTI, C.M. MINELLA, E. NORNBERG, J.L. Effect of barley flour incorporation on loaf bread quality. 2022. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.8, n.2, p. 10313-10333 feb. 2022. DOI:10.34117/bjdv8n2-124.

PAIXÃO, B. L. A. Controle de qualidade em farinhas de trigo produzidas no Estado do Maranhão: enfase nas análises físico-químicas e reológicas. 57 p. Universidade Federal do Maranhão. Maranhão, 2022.

PASQUALONE, A.; CAPONIO, F.; AMBROGINA PAGANI, M.; SUMMO, C.; PARADISO. M. Effect of salt reduction on quality and acceptability of durum wheat bread. **Food Chemistry**, v. 289, p. 575-581, 2019.

PAVANELLI, A. P. **Aditivos para panificação: conceitos e funcionalidades**. São Paulo: ABIAM/Oxiteno, 2000.

PÉREZ, I.C.; MU, T.-H.; ZHANG, M.; JI, L.-L. Effect of high hydrostatic pressure to sweet potato flour on dough properties and characteristics of sweet potato-wheat bread. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 53 (4), p. 1087–1094, 2017.

OLIVEIRA, C. **Trigo**: entenda os pontos principais da produção, sua origem, características, ciclo, classificações, diferentes tipos e mais. 2023. Disponível em: <https://blog.aegro.com.br/trigo/>. Acesso em: 23 set. 20245.

OLIVEIRA N. M. A. L.; MACIEL, J. F.; LIMA, A. S.; SALVINO, É. M.; MACIEL, C. E. P.; OLIVEIRA, D. P. M. N.; FARIA, L. R. G. Características físico-químicas e sensoriais de pão de forma enriquecido com concentrado proteico de soro de leite e carbonato de cálcio. **Rev Inst Adolfo Lutz**, v. 70, n. 1, p. 16-22, 2011.

OOMS, N.; DELCOUR, J. A. How to impact gluten protein network formation during wheat flour dough making. **Current Opinion in Food Science**, 2019.

ORO, T. **Adaptação de métodos para avaliação tecnológica da farinha de trigo integral**. Tese (Doutorado) – programa de Pós-Graduação en Ciéncia dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2013.

ORTOLAN, F. Genótipos de trigo do Paraná – safra 2004: **caracterização e fatores relacionados à alteração da cor da farinha**. 140f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

RIZZON, M. Z.; CUNHA, G. F; VILLAS-BOAS, V. Bread and Wine Fermentation: A Proposal for Interdisciplinary Action. **Scientia cum Industria**, v. 5, p. 129-136, 2017.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **A guide to carotenoid analysis in foods**. Washington, DC: ILSI Press, 2001

REIBNER, A. M.; WENDT, J.; ZAHN, S.; ROHM, H. Sodium-chloride reduction by substitution with potassium, calcium and magnesium salts in wheat bread. **LWT - Food**

Science and Technology, v. 108, p. 153-159, 2019.

RUIZ, M.; BERNAL, G.; GIRALDO, P. An update of low molecular weight glutenin subunits in durum wheat relevant to breeding for quality. **J. Cereal. Sci.**, v. 83, p. 236–244, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.09.005>.

SANTANA, G. S.; OLIVEIRA FILHO, J. G.; EGEA, M. B. Características tecnológicas de farinhas vegetais comerciais. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 2, p. 88-95, abr./jun. 2017.

SANTOS, F.G; AGUIAR, E.V; CAPRILES, V.D. **Analysis of ingredient and nutritional labeling of commercially available gluten-free bread in Brazil**. International Journal of Food Sciences and Nutrition. Volume 70, 2019 - Issue 5.
<https://doi.org/10.1080/09637486.2018.1551336>

SARWAR, MH; SARWAR, MF; SARWAR, M.; QADRI, NA; MOGHAL, S. A importância da nutrição de cereais (Poaceae: Gramineae) na saúde humana: uma revisão. **J. Cereais Oleaginosas**, 4 , 32–35. 2013.

SCHEUER, P. M., FRANCISCO, A. D., MIRANDA, M. D., & LIMBERGER, V. M. Trigo: características e utilização na panificação. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais.13(2), 211-22. 2011.

SENAI – SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. **Industrialização de pães, massas e biscoitos**. São Paulo: SENAI-SP, 2016.

SHEWRY, P.R.; EI, S. J. A contribuição do trigo para a dieta e saúde humana. **Segurança Alimentar Energética**, 4 , 178–202. 2015.

SILVA, L. P. **Qualidade de farinhas de trigo obtidas em moinho industrial e experimental**. Dissertação de mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2018. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/10311>. Acessado 18 out 2019

SILVA, B. M.; SOUZA, N. F. D.; DIAS, R. M. F.; RAMOS, B. F. M. Composição nutricional de pães com farinha de trigo integral e refinada, comercializados em hipermercados de Salvador- BA / Nutritional composition of breads with whole wheat flour and refined, marketed in hypermarkets of Salvador- BA. **Ciências da Nutrição**, 2017.

SILVA, Mônica Cecília Ferreira Praxedes da. **Influência do ácido ascórbico encapsulado e não encapsulado nas propriedades reológicas da farinha de trigo e no volume do pão francês**. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Pernambuco, 2017.

ŠMÍDOVÁ, Z.; RYSOVÁ, J. Gluten-Free Bread and Bakery Products Technology. Foods, v.11, n. 3, p. 480. 2022. Doi: <https://doi.org/10.3390/foods11030480>.

SUGIURA, F.; ITO, S.; ARAI, E. Effect of pregelatinized starch paste on the ease of swallowing high moisture content bread. **Journal of Food Engineering**, v. 2014, p. 209- 217, 2017.

SUŁEK, A.; CACAK-PIETRZAK, G. The influence of production technology on yield

selected quality parameters of spring wheat cultivars. **Agric. Sci. (Crop Sci. Animal Sci. Res. Rural Develop.)**, v. 2, p. 42–48, 2018. DOI: 10.22616/rrd.24.2018.049.

SYNGENTA. **Dia do trigo: um dos mais nobres cereais**. 2022. Disponível em: <https://portal.syngenta.com.br/noticias/dia-do-trigo-o-mais-nobre-entre-os-cereais/#:~:text=%C3%89%20considerado%20essencial%20tanto%20para,um%20dos%20mais%20nobres%20cereais>. Acesso em: 24 Dez 2022.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURA (USDA). **Produção mundial de trigo**. 2024. Disponível em: Wheat | USDA Foreign Agricultural Service. Acesso em: 23 set. 2024.

VIANNA, F. S. V. **Manual prático de panificação**. São Paulo: SENAC, 2018.

VIANNA, F. S. V.; REDOSCHI, G.; LAGE, M. FA.; IKEMOTO, M. Y.; COELHO, S. T. **Manual prático de panificação do SENAC**. São Paulo: Senac São Paulo, 2020. 352 p.

VIEIRA, T. S.; FREITAS, F. V.; SILVA, L. A. A.; BARBOSA, W.M. **Efeito da substituição da farinha de trigo no desenvolvimento de biscoitos sem glúten**. Brazilian Journal Food Technology, 18 (4), 285-292. 2015. Doi: doi.org/10.1590/1981-6723.1815.

WANG, S. H.; ROCHA, G. O.; NASCIMENTO, T. P.; ASCHERI, J. R. Absorção de água e propriedade espumantes de farinhas extrusadas de trigo e soja. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**,ampinas, 26(2): 475-481, abr.-jun. 2006.