



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ

CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos

PARÂMETROS TECNOLÓGICOS E AVALIAÇÃO DE QUALIDADE EM FARINHA DE TRIGO

DENISE DE MORAES BATISTA DA SILVA

MARINGÁ

2023

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

S586p

Silva, Denise de Moraes Batista da

Parâmetros tecnológicos e avaliação de qualidade em farinha de trigo / Denise de Moraes Batista da Silva. -- Maringá, PR, 2023.
33 f. tabs.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Roberto Giriboni Monteiro.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, 2023.

1. Farinha de trigo - Qualidade. 2. Trigo (*Triticum aestivum* L.). 3. Reologia. I. Monteiro, Antonio Roberto Giriboni, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos. III. Título.

CDD 23.ed. 633.11

DENISE DE MORAES BATISTA DA SILVA

"PARÂMETROS REOLÓGICOS E AVALIAÇÃO DE QUALIDADE EM
FARINHA DE TRIGO"

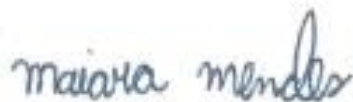
Tese apresentada à Universidade
Estadual de Maringá, como parte das
exigências do Programa de Pós-
graduação em Ciência de Alimentos, para
obtenção do grau de Doutor em Ciência
de Alimentos.



Prof. Dr. Silvio Claudío da Costa



Prof. Dr. Diogo Francisco Rossoni



Profa. Dra. Maiara Pereira Mendes



Profa. Dra. Andresa Carla Feihman



Prof. Dr. Antonio Roberto Giriboni Monteiro
Orientador

Maringá – 2023

Orientador

Antonio Roberto Giriboni Monteiro

Resumo geral

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é um dos alimentos mais produzidos e consumido no mundo, seus produtos e subprodutos podem ser utilizados na indústria de alimentos, o excelente perfil nutricional e parâmetros de qualidade favorecem sua ampla aplicação no preparo de biscoitos, pães, muffins, massas, chapatti e outros salgadinhos. Produção de trigo em 2022 atinge um novo recorde com estimativa de 9,5 milhões de toneladas, o que representa um aumento de 23,7% em relação à safra passada.

A partir do trigo se obtém a farinha de trigo. A qualidade de panificação das farinhas de trigo é determinada principalmente pela qualidade e quantidade de glúten.

Para a obtenção da farinha, o trigo limpo e acondicionado é reduzido por meio de um processo de múltiplos estágios que consiste em sucessivas moagens com rolos ondulados e lisos, peneiramento e purificação. Em cada etapa, uma certa quantidade de farinha é produzida, removida e posteriormente combinada nas proporções para formar a farinha desejada.

É importante avaliar os atributos de qualidade e segurança dos cereais e seus produtos para garantir a qualidade, autenticidade e segurança dos alimentos. Os principais parâmetros de qualidade da farinha de trigo incluem sua composição química, que está relacionada aos teores de umidade, proteína, cinzas e glúten úmido da farinha, e parâmetros tecnológicos, como valor de sedimentação, número de queda e propriedades reológicas da massa de farinha de trigo. A qualidade deste produto é de interesse público, pois está relacionada à qualidade dos produtos de farinha e à saúde humana.

O desenvolvimento desta tese teve como objetivo a identificação da do potencial de panificação do trigo branqueador e a aplicação da metodologia rápida (NIR) no processo de avaliação das de qualidade de farinha de trigo.

Neste trabalho foram empregadas as metodologias relacionadas a análises de qualidade reológica de farinhas de trigo, análises físico-químicas e análises de determinação rápida, visando a qualificação do produto diante das características obrigatórias para a legislação e também para a qualidade tecnológica da farinha de trigo quando empregada na panificação.

Após a finalização dos estudos foi observado que podemos concluir que a farinha de trigo branqueador apresenta características adequadas para ser utilizada na produção de pão tipo francês, a determinação rápida utilizando NIR, já foi aplicada em algumas matrizes de alimentos e os resultados obtidos são satisfatórios, análise rápida por NIR obtiveram estimativas precisas, tanto para as variáveis físico-químicas quanto para as reológicas, quando comparadas com dados obtidos em laboratório.

Abstract

Wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the most produced and consumed foods in the world, its products and by-products can be used in the food industry, the excellent nutritional profile and quality parameters favor its wide application in the preparation of cookies, breads, muffins, pasta, chapatti and other snacks. Wheat production in 2022 reaches a new record with an estimate of 9.5 million tons, which represents an increase of 23.7% compared to the previous harvest.

Wheat flour is obtained from wheat. The baking quality of wheat flours is mainly determined by the quality and quantity of gluten.

In order to obtain the flour, the clean and conditioned wheat is reduced through a range process that consists of successive milling with corrugated and smooth rollers, sieving and purification. At each step, a certain amount of flour is produced, removed and subsequently combined into blends to form the desired flour.

It is important to evaluate the quality and safety attributes of cereals and their products to ensure food quality, reliability and safety. The main quality parameters of wheat flour include its chemical composition, which is related to the flour's moisture, protein, ash and wet gluten contents, and technological parameters such as sedimentation value, falling number and rheological properties of the flour mass wheat. The quality of this product is of public interest as it is related to the quality of flour products and human health.

The development of this thesis aimed to identify the baking potential of whitening wheat and the application of the rapid methodology (NIR) in the process of evaluating the quality of wheat flour.

In this work, methodologies related to the analysis of the rheological quality of wheat flour, physical-chemical analyzes and rapid determination analyzes were used, aiming at the qualification of the product in view of the mandatory characteristics for the legislation and also for the technological quality of the wheat flour when used in baking.

After completing the studies, it was observed that we can conclude that the whitening wheat flour has adequate characteristics to be used in the production of French-type bread, the rapid determination using NIR, has already been applied in some food matrices and the results obtained are satisfactory, rapid analysis by NIR obtained accurate estimates, both for physical-chemical and rheological variables, when compared with data obtained in the laboratory.

Avaliação reológica das farinhas de trigo pão e trigo branqueador e a utilização em panificação

Denise de Moraes Batista da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5698-3654>

Universidade Estadual de Maringá-UEM, Brasil

E-mail: denise_mbsilva@hotmail.com

Antonio Roberto Giriboni Monteiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1894-0765>

Universidade Estadual de Maringá-UEM, Brasil

E-mail: antoniorgm@gmail.com

RESUMO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é um dos alimentos mais produzidos e consumido no mundo, seus produtos e subprodutos podem ser utilizados na indústria de alimentos. O trabalho teve como objetivo realizar a avaliação das características reológicas das farinhas de trigo pão e a farinha de trigo branqueador e posteriormente realizar a panificação dessas farinhas e suas mesclas. Foram preparadas 4 amostras sendo: (T1) 100% farinha de trigo branqueador, (T2) 100% farinha de trigo pão, (T3) 20% de farinha de trigo branqueador e 80% de farinha de trigo pão, (T4) 50% de farinha de trigo branqueador e 50% de farinha de trigo pão e (T5) 80% de farinha de trigo branqueador e 20% de farinha de trigo pão e também foi realizada a panificação das farinhas. As análises realizadas no trabalho foram: alveografia, farinografia, atividade enzimática (Falling Number), determinação do teor de glúten, umidade, cinzas, cor e também foi realizada a panificação das farinhas e as mesclas obtidas e posterior avaliação dos pães segundo os critérios da ABNT e análise do volume específico dos pães obtidos. Os resultados demonstram que farinha de trigo branqueador apresenta características adequadas para ser utilizada na produção de pão tipo francês, essa afirmação é validada pelos resultados obtidos nas análises reológicas deste tratamento.

Palavra-chave: Triticultura, Qualidade, Reologia, Pão francês. Alveografia. Farinografia

ABSTRACT

Wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the most produced and consumed foods in the world, its products and by-products can be used in the food industry. The objective of this work was to evaluate the rheological characteristics of wheat bread flour and whitening wheat flour and subsequently carry out the breeding of these flours and their mixtures. Four samples were prepared: (T1) 100% whitening wheat flour, (T2) 100% bread wheat flour, (T3) 20% whitening wheat flour and 80% bread wheat flour, (T4) 50% of whitening wheat flour and 50% bread wheat flour and (T5) 80% whitening wheat flour and 20% bread wheat flour and breeding of the flours was also carried out. The analyzes carried out in the work were: alveography, farinography, enzymatic activity (Falling Number), determination of the gluten content, humidity, ash, color and also the breeding of the flours and the mixtures obtained and subsequent evaluation of the breads according to the criteria of the ABNT and analysis of the specific volume of bread obtained. The results demonstrate that whitening wheat flour has adequate characteristics to be used in the production of French bread, this statement is validated by the results obtained in the rheological analyzes of this treatment.

Keywords: Triticulture, Quality, Rheology, French bread. Alveography. Farinography

INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é uma das três culturas de grãos mais importantes e é amplamente cultivado em todo o mundo devido ao seu valor como alimento básico e fonte de proteína. O trigo tem um papel essencial na nutrição humana, sendo o principal ingrediente de muitos alimentos (BRÜTSCH *et al.*, 2017).

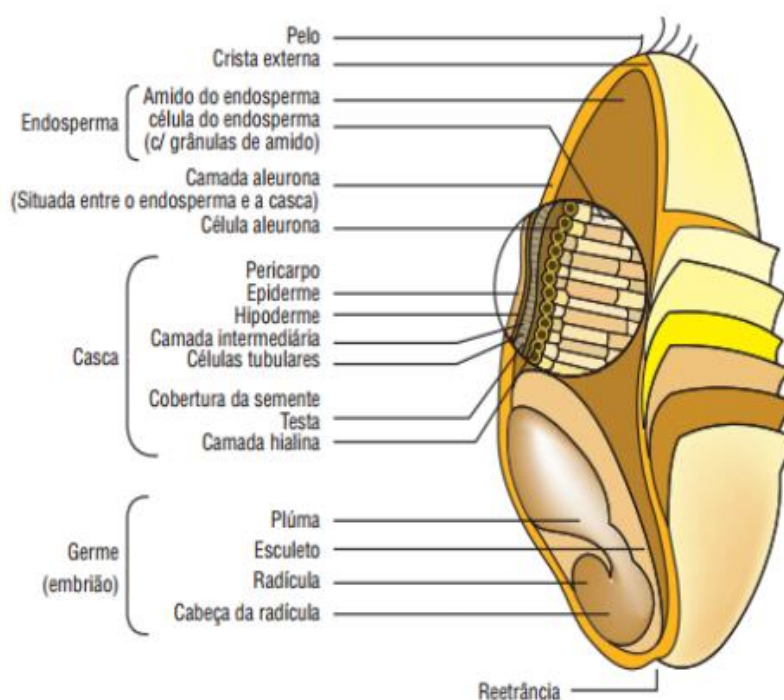
Produção de trigo em 2022 atinge um novo recorde com estimativa de 9,5 milhões de toneladas, o que representa um aumento de 23,7% em relação à safra passada, como indica o 3º Levantamento da Safra

de Grãos divulgado pela Companhia Nacional de Abastecimento (Conab). Se compararmos com o volume colhido em 2019, a produção do cereal praticamente dobra: com uma colheita de 5,1 milhões de toneladas.

O grão de trigo apresenta na literatura diversas classificações botânicas ou taxonômicas, os melhoristas de plantas e cultivares classificaram o trigo com base em diferentes atributos intrínsecos, como (1) estação de crescimento (primavera e inverno-trigo), (2) teor de proteína (trigo mole e trigo duro com teor de proteína de 10% e 15% respectivamente), (3) qualidade do glúten (glúten elástico forte e glúten não elástico forte) e (4) cor do grão (vermelho, amarelo, branco, azul, roxo e preto). Com base nesses atributos, descobriu-se que o trigo mole é adequado para fazer muffins, bolos, pastelaria e pães de crosta crocante, enquanto o trigo duro é usado para fazer pão. O trigo duro é uma exceção ao trigo com base em proteína e é usado para fazer macarrão (Beta *et al.*, 2019).

Os constituintes básicos do grão de trigo são: pericarpo, o endosperma e gérmen. O pericarpo é chamado popularmente de casca, é a parte externa que cobre o endosperma. O gérmen é a parte embrionária da planta, rico em proteínas e lipídios e outros compostos de extrema importância para a germinação do grão. O endosperma é a parte que se visa no processo de moagem, é composto praticamente de amido, e corresponde aproximadamente a 82% do grão (Figura 1). (ROMANO, 2011).

Figura 1: Estrutura do grão de trigo



Fonte: Brandão; Lira (2011).

O trigo branqueador é um exemplo de como técnicas modernas de melhoramento genético evoluíram para atender as demandas do mercado. Conforme o Guia de Cultivares da Biotrigo (2020) as novas sementes desenvolvidas, chegaram para a safra de 2020/2021 no Brasil, adicionando dois diferenciais no segmento: segurança para quem produz esse tipo de grão, através de uma maior resistência às doenças de difícil controle, e aumento do potencial produtivo e destaque no âmbito da ciência e tecnologia

apresentando grande potencial para panificação, isto é demonstrado pelos resultados de P/L balanceado e W acima de 250.

A partir do trigo se obtém a farinha de trigo. A qualidade de panificação das farinhas de trigo é determinada principalmente pela qualidade e quantidade de glúten (GEISLITZ *et al.*, 2018). O excelente perfil nutricional e parâmetros de qualidade favorecem sua ampla aplicação no preparo de biscoitos, pães, muffins, massas, chapatti e outros salgadinhos (DHAUA *et al.*, 2021).

Para que a farinha de trigo seja utilizada na produção de alimentos, a funcionalidade e a interação entre o amido e a proteína formadora de glúten constituem a formação de uma rede viscoelástica única. (MANN *et al.*, 2014).

Para a obtenção da farinha, o trigo limpo e acondicionado é reduzido por meio de um processo de múltiplos estágios que consiste em sucessivas moagens com rolos ondulados e lisos, peneiramento e purificação. Em cada etapa, uma certa quantidade de farinha é produzida, removida e posteriormente combinada nas proporções para formar a farinha desejada (POMERANZ 1988, KENT e EVERS 1969, POSER e HIBBS 2005, OWENS 2001). Os moinhos de rolos são mais utilizados para a produção de farinha de trigo, que posteriormente será empregada na indústria de panificação. Na indústria de alimentos, além da diminuição do consumo de energia, a qualidade da moagem é muito importante. Por exemplo, diferentes condições de moagem da farinha de trigo resultaram em pós moídos de diferentes propriedades físicas (PROTONOTARIOU *et al.*, 2014).

Os consumidores de produtos panificados estão cada vez mais exigentes, este comportamento faz com que indústrias inovem seus produtos e o tricultor busque alternativas para ter mais rentabilidade no negócio, desta forma, o mercado de trigos diferenciados se expande a cada safra.

O objetivo do trabalho foi realizar a avaliação das características reológicas das farinhas de trigo pão e trigo branqueador e de suas mesclas através das análises de alveografia, farinografia, teores de glúten, atividade enzimática (Falling Number) e posteriormente panificar essas farinhas, visto que o trigo branqueador é apresentado como uma cultivar inovadora no segmento de panificação, porém brevemente estudado academicamente.

MATERIAIS E MÉTODOS

A produção, análises e panificação das farinhas foram realizadas no Laboratório de Controle de Qualidade do Moinho de Trigo – Marialva/ PR.

Para a obtenção das farinhas e posterior produção dos pães, os trigos foram obtidos de doação da Cooperativa Agroindustrial Cocamar, sediada em Maringá/ PR, aproximadamente 30 kg de trigo pão previamente seco e limpo e aproximadamente 20 kg de trigo branqueador seco e limpo.

Para a produção dos pães foram utilizados os seguintes ingredientes: farinha de trigo pão e farinha de trigo branqueador (produção própria); água, fermento biológico fresco e sal (NaCl) (adquiridos em mercado local) e aditivo para pão francês Powerzyme Super 2302 D (Prozyn).

Pode ser observado no Quadro 1, a descrição de cada tratamento proposto neste trabalho:

Quadro 1: Modificações apresentadas em cada tratamento.

Tratamentos	Modificações
T1	100% Farinha de trigo branqueador
T2	100% Farinha de trigo pão
T3	20% Farinha de trigo branqueador 80% Farinha de trigo pão
T4	50% Farinha de trigo branqueador 50% Farinha de trigo pão
T5	80% Farinha de trigo branqueador 20% Farinha de trigo pão

Os tratamentos foram utilizados para a determinar as mesclas de farinhas e posteriormente realizar a panificação de cada tratamento.

Para a determinação da umidade dos grãos de trigo, o equipamento G1000 (Gehaka, Brasil).

Para produção das farinhas, foi determinado primeiramente a umidade do trigo e posteriormente, a porcentagem de água a ser adicionada foi determinada por cálculo, levando em consideração a umidade inicial (UI), a umidade desejada (UF) e o peso da amostra, com a seguinte fórmula a seguir:

$$\text{Água adicionada (ml)} = \left(\frac{100 - UI}{100 - UF - 1} \right) \times \text{peso da amostra}$$

Após a adição da água, o trigo descansou por 4 (quatro) horas, a moagem foi realizada em um Moinho Experimental VG 2000i (Vitti Molinos, Brasil).

O teor de umidade das farinhas foi mensurado segundo método nº 44-15 A da AACC (2000). A porcentagem de cinza foi determinada, segundo o método nº 08-01 da AACC (1995).

Para a análise de número de queda seguiu-se o método nº 56-81 B da AACC (2000).

A cor das farinhas foi avaliada 10 vezes em colorímetro Minolta CR-400. Os resultados foram expressos em valores L*, a* e b*, cujos valores de L* (luminosidade ou brilho) variam do preto (0) ao branco (100), os valores do croma a* variam do verde (-) ao vermelho (+) e os valores do croma b* variam do azul ao amarelo, ou seja, de (-) a (+), respectivamente.

Foi utilizado o equipamento para a lavagem do glúten (Yucebas Machinery, Mod. Y070073, Turquia) para a determinação da quantidade e da qualidade do glúten nas farinhas de trigos, segundo o método nº 38-12 da AACC (1995). Foi determinado o índice de glúten, que corresponde ao percentual de glúten úmido que permanece na peneira, parte do equipamento, após a centrifugação (Yucebas Machinery, Mod. Y080067, Turquia). Em seguida, foi determinado o teor de glúten seco, correspondente ao peso (%) da massa lavada após sua secagem entre duas placas aquecidas do secadora de glúten (Yucebas Machinery, Mod. Y090042, Turquia).

As características farinográficas das farinhas de trigos utilizadas no experimento foram avaliadas de acordo com o método nº 54-21 da AACC (1995), utilizando-se Farinógrafo®-AT (Brabender, Alemanha). A partir do farinograma, foram analisados os seguintes parâmetros: absorção de água (ABS); tempo de desenvolvimento (TD); estabilidade (EST), e índice de tolerância à mistura (ITM).

A análise de alveografia foi realizada no equipamento Alveógrafo Chopin, seguindo o método nº. 54-30 A, estabelecido pela AACC (2000).

A produção dos pães tipo francês foi realizada conforme metodologia e formulação ajustada segundo Anvisa 2012. Os ingredientes para a produção dos pães conforme Tabela 1, foram separados e pesados individualmente de acordo com a formulação. Após a pesagem, todos os ingredientes secos foram colocados na masseira da marca Famag modelo AM-08 e homogeneizados por 1 minuto na velocidade I do equipamento, após esse tempo a água gelada e o gelo foram adicionados e misturados por mais 4 minutos na velocidade 1 da masseira. Ao final de 5 minutos em velocidade I, começou-se então a mistura na velocidade II do equipamento, o amassamento foi finalizado no momento que atingiu o ponto de “véu” da massa.

Após o amassamento a massa descansou por 1 minuto na mesa e foi verificado com um termômetro digital tipo espeto a temperatura final após o batimento de cada tratamento, a massa então foi colocada na divisora da marca Venâncio modelo DMV 30 e cortada em 30 partes iguais conforme modelo do equipamento. A etapa posterior consiste em modelar os pães na modeladora marca Venâncio modelo MPV 35. Os pães foram acondicionados em telas de 58x70 cm e levados para a câmara de controle de fermentação marcam Venâncio modelo AC20D, onde permaneceram até o momento do assamento.

O assamento ocorreu em forno marca Prática Technipan modelo NS 74178 por 15 minutos a 170 °C. Após esta etapa, os pães foram armazenados em armário até o momento das análises.

Tabela 1 – Formulação dos pães

Ingredientes (%)	Tratamentos				
	T1	T2	T3	T4	T5
Farinha de trigo branqueador	100	0	20	50	80
Farinha de trigo pão	0	100	80	50	20
Água gelada (50% água + 50% gelo)	54	54	54	54	54
Fermento fresco	2	2	2	2	2
Mix de aditivo	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Autor: própria autora.

Os pães foram pesados e seus volumes determinados por deslocamento de sementes de painço, em recipiente de volume previamente conhecido, em triplicata. O volume específico é usualmente expresso em mililitros por gramas (mL/g) ou centímetro cúbico por gramas (cm³/g) (ABNT, 2013).

Os dados obtidos foram avaliados estatisticamente a partir da análise de variância (ANOVA), com posterior análise das médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade com auxílio do programa Assistat 7.7 (2016).

RESULTADO E DISCUSSÃO

Ao observar os resultados da análise de cor (Tabela 2), todas as amostras apresentaram diferença estatística entre si em todos os parâmetros avaliados.

Ao analisar os dados é observado que o L* médio da amostra T1 é o maior resultado obtido, essa característica tem forte influência nos resultados de L* dos tratamentos T3, T4 e T5, visto que houve um aumento deste valor para estes tratamentos.

Tabela 2 – Resultados obtidos para o parâmetro cor das amostras Luminosidade (L*), Croma a*, Croma b*.

Cor	Tratamentos				
	T1	T2	T3	T4	T5
L*	94,99 ^a ± 0,09	91,14 ^e ±0,04	92,05 ^d ±0,06	93,31 ^c ±0,10	94,39 ^b ±0,03
a*	-0,44 ^e ±0,01	0,03 ^a ±0,01	-0,05 ^b ±0,01	-0,23 ^c ±0,01	-0,35 ^d ±0,00
b*	8,08 ^e ±0,08	12,25 ^a ±0,07	11,07 ^b ±0,07	9,83 ^c ±0,07	8,71 ^d ±0,06

Letras iguais na mesma linha indicam que não houve diferença significativa através do teste de Tukey (p < 0,05).

O glúten é um conjunto de proteínas insolúveis que misturadas à água formam uma rede protéica ligada a grânulos de amido, que durante a panificação retém o CO₂ produzido no processo fermentativo. Muitas das características desejadas do pão são determinadas pela presença do glúten. (MANDARINO, 1993).

Ao observarmos os resultados médios obtidos para os testes de GU e GS (Tabela 3), segundo NITZKE & THYS (2015) farinhas destinadas a panificação devem apresentar teor de GU acima de 26% e GS acima de 8,5%. As amostras apresentaram resultados com valores médios maiores que os de referência na literatura, sendo assim, ao analisarmos esse parâmetro GU e GS, pode-se considerar que estes tratamentos são apropriados para a utilização na panificação.

Tabela 3 – Glúten Úmido (GU), Glúten Seco (GS), Glúten Index (GI).

Atributo	Tratamentos				
	T1	T2	T3	T4	T5
GU (%)	28,29 ^c ± 0,80	32,94 ^a ± 0,56	32,69 ^{ab} ± 0,61	31,28 ^b ± 0,25	29,69 ^c ±0,26
GS (%)	10,04 ^d ±0,26	11,21 ^b ±0,16	11,98 ^a ±0,46	10,70 ^{bc} ±0,04	10,52 ^{cd} ±0,05
GI	98,60 ^a ±1,18	98,47 ^a ±0,72	97,70 ^a ±1,10	97,80 ^a ±1,31	98,18 ^a ±0,24

Letras iguais na mesma linha indicam que não houve diferença significativa através do teste de Tukey (p < 0,05).

Para os resultados de Glúten Index Tabela 3, podemos concluir que as amostras não apresentam diferença significativa entre as médias, os valores de GI variam de 97,70 a 98,60, segundo o ICTA (2018), a qualidade da farinha é avaliada de acordo com o valor de GI, então, esses tratamentos podem ser considerados como “farinhas fortes”, pois apresentaram GI acima de 90%.

Os resultados de umidade presentes na Tabela 4 demonstraram que houve diferença significativa nos tratamentos de mesclas de farinhas. As umidades das farinhas de trigos estão em conformidade com a legislação para farinhas de cereais que prevê umidade máxima de 15% (Brasil 2005). A umidade é um fator

importante a ser analisado pelo fato de estar relacionada com o crescimento microbiano, reações químicas e enzimáticas que podem influenciar a integridade e qualidade do produto (FELISBERTO *et al.*, 2017).

Tabela 4 – Umidade, Falling Number (FN) e Cinzas

Atributo	Tratamentos				
	T1	T2	T3	T4	T5
Umidade (%)	13,44 ^b ±0,09	13,90 ^a ±0,16	13,65 ^{ab} ±0,20	13,71 ^{ab} ±0,14	13,62 ^{ab} ±0,06
FN (s)	334 ^a ±4,93	339 ^a ±0,58	319 ^b ±2,31	318 ^b ±0,00	316 ^b ±3,46
Cinzas B.S (%)	0,57 ^a ±0,01	0,54 ^b ±0,01	0,48 ^c ±0,00	0,43 ^d ±0,02	0,40 ^d ±0,01

Letras iguais na mesma linha indicam que não houve diferença significativa através do teste de Tukey (p < 0,05).

As farinhas obtidas apresentaram resultados do teor cinzas (Tabela 4) que estão em acordo com a Instrução Normativa nº 8 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2005), e assim, podem ser classificadas como farinha de trigo Tipo 1, pois segundo a legislação citada, esse produto deve conter no máximo 0,8 g.100 g de cinzas.

Como pode ser observado na Tabela 4, as farinhas analisadas apresentaram o resultado para o teste Falling Number médias entre 316 e 339 segundos. Assim, podendo ser classificado, segundo a legislação brasileira em vigor, como trigo do tipo 1 (BRASIL, 2010). Tal legislação prevê valores iguais ou acima de 250 segundos, sendo recomendados para produção de pães e massas alimentícias.

A taxa de extração de farinha dos trigos analisados variou entre 52,32 e 62,58%. A moagem experimental, feita em laboratório, utiliza equipamentos que reproduzem, em parte, o processo industrial. Deve ser considerado ainda o tipo de equipamento utilizado. No moinho experimental Vitti Molinos, o rendimento normal de farinha, com uma passagem pelo conjunto de redução é de 50 a 65% (Vitti Molinos, Brasil) e, portanto, todas as amostras apresentaram rendimento.

Tabela 5 – Extração de farinha

	Tipo de Trigo	
	Trigo Pão	Trigo Branqueador
Extração (%)	52,32 ^b ±0,63	62,58 ^a ±0,47

Letras iguais na mesma linha indicam que não houve diferença significativa através do teste de Tukey (p < 0,05).

Os resultados dos parâmetros avaliados no alveógrafo estão disponíveis na Tabela 6. Pode-se observar que o valor médio obtido para o W variou entre 210 e 335 10⁻⁴J, conforme o ICTA, 2018 as amostras apresentadas neste trabalho, podem ser classificadas como indicadas para utilização em produtos de panificação.

Os valores médios obtidos para o parâmetro de P/L nos tratamentos T1, T3, T4 e T5 são inferiores a 0,6, podendo ser classificadas como de glúten extensível conforme GUTKOSKI *et al.*, 2011. Para este atributo somente a amostra T2 estaria em conformidade com a literatura, pois segundo a ICTA, 2018, farinhas utilizadas para panificação devem apresentar P/L a partir de 0,6.

Tabela 6 – Índice de equilíbrio da curva (P/L); Força (W); Absorção de água (ABS); Tempo de desenvolvimento (TD); Estabilidade (EST), e Índice de tolerância à mistura (ITM).

Tratamentos	Atributos
-------------	-----------

	P/L	W (10 ⁻⁴ J)	ABS (%)	TD (min)	EST (min)	ITM (U.B)
T1	0,37 ^c ± 0,02	210 ^b ±10,79	51,3 ^e ±0,2	9,3 ^a ±0,8	17,17 ^a ±1,0	25 ^a ±1,7
T2	0,62 ^a ±0,03	335 ^a ±21,55	60,0 ^a ±0,0	9,2 ^a ±0,5	12,63 ^c ±0,5	26 ^a ±2,6
T3	0,53 ^b ±0,03	311 ^a ±15,31	57,8 ^b ±0,1	9,8 ^a ±0,4	14,40 ^{bc} ±0,4	26 ^a ±3,1
T4	0,41 ^c ±0,05	224 ^b ±21,38	55,3 ^c ±0,3	9,3 ^a ±0,3	15,13 ^b ±0,6	26 ^a ±2,6
T5	0,38 ^c ±0,03	222 ^b ±15,63	52,6 ^d ±0,5	9,1 ^a ±0,3	17,33 ^a ±0,7	26 ^a ±3,0

Letras iguais na mesma coluna indicam que não houve diferença significativa através do teste de Tukey (p < 0,05).

Para os parâmetros reológicos avaliados no farinograma apresentados na Tabela 6, podemos verificar que o TD e o ITM não sofrem variação ao realizar a mescla da farinha do trigo pão com a farinha do trigo branqueador.

Já para o parâmetro de EST, as amostras apresentaram diferença significativa, as médias variaram entre 12,63 e 17,33 minutos, isto demonstra que todas as farinhas são adequadas para utilização na produção de pães, visto que quanto maior o tempo de estabilidade melhor a farinha resiste ao batimento e mantém as características necessárias para a obtenção de um produto de panificação de qualidade.

Para a ABS o ICTA (2018), descreve que farinhas destinadas a produção pães deve apresentar ABS acima de 55%, podemos observar que as amostras T2, T3 e T4 apresentam valores de ABS adequados para a produção de pães.

Na Tabela 7, podemos observar os resultados obtidos para a análise de volume específico dos pães produzidos.

Tabela 7 - Volume específico (VE) dos pães.

Atributo	Tratamentos				
	T1	T2	T3	T4	T5
VE (cm ³ .g)	10,35 ^a ±0,87	11,81 ^a ±0,73	11,01 ^a ±0,08	11,84 ^a ±0,91	10,53 ^a ±0,31

Letras iguais na mesma linha indicam que não houve diferença significativa através do teste de Tukey (p < 0,05).

As amostras não apresentaram diferença estatística entre as médias obtidas para VE, este resultado demonstra que ao mesclar as farinhas obtidas do trigo pão com a farinha do trigo branqueador não provoca variação neste atributo. O volume específico encontrado foi relativamente alto, sendo característico dos ingredientes utilizados, uma vez que a formulação proposta era composta por 1,8% de NaCl e também aditivos e coadjuvantes que visam auxiliar no volume dos pães, tais como os oxidantes e os emulsificantes, que atuam sobre o glúten, fortalecendo-o e a enzima alfa-amilase que favorece a produção de substratos (açúcares) para o fermento, e consequentemente aumentam o volume dos pães. A NBR 16170:201 estipula pontuação máxima para volumes específicos maiores que 6,0 cm³/g, sem especificar um limite para o parâmetro (ABNT, 2013).

Os pães foram avaliados conforme a Norma Brasileira ABNT 16170:2013, as médias estão descritas na Tabela 8. No parâmetro crosta os dados referentes a cor, pestana, crocância e aparência foram vinculados e apresentaram as seguintes médias (Tabela 8), neste parâmetro pode-se observar que a somente as amostras T1 e T5 apresentam diferença significativa entre elas.

No parâmetro de aparência, estão vinculados os dados sobre a integridade e simetria das amostras de pães, os tratamentos não apresentaram diferença significativa entre as médias.

Tabela 8 – Avaliação das características do pão tipo francês, segundo a Norma Brasileira ABNT 16170:2013.

Parâmetro	Tratamentos				
	T1	T2	T3	T4	T5
Crosta	4 ^b ± 0,0	6 ^{ab} ± 2,7	8 ^{ab} ± 2,9	6 ^{ab} ± 2,7	9 ^a ± 1,0
Aparência	5 ^a ± 4,5	7 ^a ± 4,3	7 ^a ± 2,4	9 ^a ± 1,1	10 ^a ± 0,8
Miolo	4 ^b ± 3,5	6 ^{ab} ± 4,7	7 ^{ab} ± 2,7	10 ^a ± 0,8	9 ^a ± 1,0

Letras iguais na mesma linha indicam que não houve diferença significativa através do teste de Tukey (p < 0,05).

O parâmetro miolo está relacionada com os atributos: cor, textura e estrutura das células. Ao analisar os dados relacionados ao parâmetro miolo, somente a farinha do tratamento T1 apresentou diferença significativa das amostras T4 e T5. Os valores médios obtidos para as amostras estão na faixa entre 4 e 10.

CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos podemos concluir que a farinha de trigo branqueador apresenta características adequadas para ser utilizada na produção de pão tipo francês, essa afirmação é validada pelos resultados obtidos nas análises reológicas deste tratamento.

Quando correlacionado os resultados das análises reológicas com os pães obtidos percebe-se que dados obtidos nos resultados do alveógrafo e do farinógrafo, influenciam no produto final para a obtenção das características mais adequadas como: craquelamento de crosta, bom salto de forno, desenvolvimento das pestanas, integridade e simetria dos pães.

A alta luminosidade da amostra T1 produz pães de cor clara, o que não é um resultado desejado no produto final, isso é claramente resultado da matéria-prima, visto que o assamento foi realizado de forma padronizada de tempo e temperatura de forno.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Panificação - Pão tipo francês - Diretrizes para avaliação da qualidade e classificação NBR16170:2013. Rio de Janeiro, 2013.

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

AACC. American Association of Cereal Chemists. Approved Methods, 10. ed. St. Paul: AACC, 2000.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº 38 de 30 de novembro de 2010. Estabelecer o Regulamento Técnico do Trigo, definindo o seu padrão oficial de classificação, com os requisitos de identidade e qualidade, a amostragem, o modo de apresentação e a marcação ou rotulagem, nos aspectos referentes à classificação do produto, na forma dos Anexos à presente Instrução Normativa. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 de novembro de 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 8 de, 2 de julho de 2005. Regulamento técnico de identidade e qualidade de farinha de trigo. 2005. Disponível em: <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=803790937>. Acesso em: 02 de fevereiro de 2021.

BRÜTSCH1, L.; HUGGLER, I.; KUSTER, S.; WINDHAB, E. J. Industrial Roller Milling Process Characterisation for Targeted Bread Quality Optimization. *Food Bioprocess Technol*, v. 10, p.710–719. 2017.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento, 2022. Mercado impulsiona produção de trigo que atinge novo recorde com mais de 9 milhões de toneladas. Disponível em [https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4850-mercado-impulsiona-producao-de-trigo-que-atinge-novo-recorde-com-mais-de-9-milhoes-de-toneladas#:~:text=A%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20trigo%20em,Nacional%20de%20Abastecimento%20\(Conab\)](https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4850-mercado-impulsiona-producao-de-trigo-que-atinge-novo-recorde-com-mais-de-9-milhoes-de-toneladas#:~:text=A%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20trigo%20em,Nacional%20de%20Abastecimento%20(Conab).). Acesso em: 04/06/2023.

DHUA, S., KHETO, A., SINGH, V., SHARANAGAT, SINGH, L., KUMAR, K., NEMA, P. K. (2021). Quality characteristics of sand, pan and microwave roasted pigmented wheat (*Triticum aestivum*). *Food Chemistry*. Volume 365, 15, 130372.

FELISBERTO, M. H. F. et al. Young bamboo culm flour of *Dendrocalamus asper*: Technological properties for food applications. **LWT – Food Science and Technology**, v. 76, n. 1, p. 230-235, 2017.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciência e Agrotecnologia*, v.38, n. 2, p. 109-112, 2011.

GEISLITZ, S.; WIESER, H.; SCHERF, K. A.; KOEHLERB, P. Gluten protein composition and aggregation properties as predictors for bread volume of common wheat, spelt, durum wheat, emmer and einkorn. **Journal of Cereal Science**. V. 83, p. 204–212, 2018.

GUTKOSKI, L. C.; DURIGON, A.; MAZZUTTI, S.; CEZARE, K.; COLLA, L. M. Influência do tipo de farinha de trigo na elaboração de bolo tipo inglês. *Brazilian Journal of Food Technology*, Campinas, v. 14, n. 4, p. 275-282, out/dez. 2011
International Grains Council: Grain Market Report. 2010, www.igc.int/downloads/gmrsummary/gmrsumme.pdf.

ICTA— Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos — UFRGS – 2018.

KENT, N. L.; EVERS, A. D. Variation in protein composition within the endosperm of hard wheat. **Cereal Chemistry**, 46, 293– 300. 1969.

MANDARINO, J. M. G. **Aspectos importantes para a qualidade do trigo**. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1993. 32 p. (EMBRAPA-CNPSo. Documentos, 60).

MANN, J.; SCHIEDT, B.; BAUMANN, A.; CONDE-PETIT, B.; VILGIS, T. A. Effect of heat treatment on wheat dough rheology and wheat protein solubility. **Food Sci Technol Int.**, 20, 341–351. 2014.

NITZKE, J. A.; THYS, R. C. S. Instituto de Ciências e Tecnologia de Alimentos (ICTA). Glúten. Disponível em <http://www.ufrgs.br/napead/repositorio/objetos/avaliacaofarinha-trigo/1e.php>. Acesso em 23/02/2021.

OWENS, W. G. (2001). Wheat, corn and coarse grains milling. In W. G. OWENS (Ed.), **Cereal processing technology** (pp. 27–52). Cambridge UK: Woodhead Publishing.

POMERANZ, Y. Wheat: chemistry and technology. St.Paul, MN, USA: AACC International. 1988.

POSER, E. S., HIBBS, A.N. Wheat flour milling, chapters 5–9, pp- 185-327, AACC International, St. Paul, MN, USA. 2005.

PROTONOTARIOU, S.; DRAKOS, A.; EVAGELIOU, V.; RITZOULIS, I. C. Mandala Sieving fractionation and jet mill micronization affect the functional properties of wheat flour. **J. Food Eng.**, 134. 2014.

ROMANO, André Luiz. Tecnologia de Biscoitos e Massas, 2011. Apostila utilizada no curso de formação profissional em Moagem de Trigo, FAG-Cascavel.

Vitti Molinos. Disponível em http://www.vittimolinos.com.br/equip/moinho_exp.html. Acesso em 27/02/2021.

MÉTODOS CLÁSSICOS E RÁPIDO (NIR) PARA DETERMINAÇÃO DE QUALIDADE EM FARINHA DE TRIGO – UMA REVISÃO.

Denise de Moraes Batista da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5698-3654>

Universidade Estadual de Maringá-UEM, Brasil

E-mail: denise_mbsilva@hotmail.com

Antonio Roberto Giriboni Monteiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1894-0765>

Universidade Estadual de Maringá-UEM, Brasil

E-mail: antoniorgm@gmail.com

Resumo

Os cereais são considerados os alimentos básicos e fontes vitais de vitaminas, minerais, fibras, gorduras brutas, proteínas e ácidos graxos essenciais, que desempenham papéis significativos na vida saudável dos seres humanos. Os principais parâmetros de qualidade da farinha de trigo incluem sua composição química, que está relacionada aos teores de umidade, proteína, cinzas e glúten úmido da farinha, e parâmetros tecnológicos, como valor de sedimentação, número de queda e propriedades reológicas da massa de farinha de trigo. Este trabalho tem como objetivo a busca por conhecimento técnico-científico para a utilização como forma de comparação de metodologias rápidas e tradicionais quando aplicadas na indústria de alimentos, visando o controle de qualidade na produção de farinha de trigo e utilização da farinha em produtos de panificação. Foi realizada uma revisão de literatura, com a finalidade de reunir o conhecimento científico já produzido sobre o tema em estudo, assim podendo identificar e descrever os artigos publicados dos últimos anos. Os estudos encontrados demonstram a viabilidade da utilização do NIR como metodologia rápida no controle de qualidade de farinha de trigo, o método rápido apresenta resultados com grande potencial quando comparado com as metodologias tradicionais.

Palavras-chave: Reologia, alveografia, farinografia, moagem, controle de qualidade.

Abstract

Cereals are considered the staple foods and vital sources of vitamins, minerals, fiber, crude fats, proteins and essential fatty acids, which play significant roles in the healthy life of human beings. The main quality parameters of wheat flour include its chemical composition, which is related to the flour's moisture, protein, ash and wet gluten contents, and technological parameters such as sedimentation value, falling number and rheological properties of the flour mass wheat. This work aims to search for technical-scientific knowledge to use as a way of comparing fast and traditional methodologies when applied in the food industry, aiming at quality control in the production of wheat flour and use of flour in bakery products. A literature review was carried out, with the purpose of gathering the scientific knowledge already produced on the subject under study, thus being able to identify and describe the articles published in recent years. The studies found demonstrate the viability of using the NIR as a fast methodology in the quality control of wheat flour, the fast method presents results with great potential when compared to the traditional methodologies.

Keywords: Rheology, alveography, farinography, grinding, quality control.

Resumen

Los cereales son considerados alimentos básicos y fuentes vitales de vitaminas, minerales, fibra, grasas crudas, proteínas y ácidos grasos esenciales, que juegan un papel importante en la vida saludable de los

seres humanos. Los principales parámetros de calidad de la harina de trigo incluyen su composición química, que está relacionada con el contenido de humedad, proteínas, cenizas y gluten húmedo de la harina, y parámetros tecnológicos como el valor de sedimentación, el índice de caída y las propiedades reológicas de la masa de harina de trigo. Este trabajo tiene como objetivo buscar conocimientos técnico-científicos para utilizarlos como una forma de comparar metodologías rápidas y tradicionales cuando se aplican en la industria alimentaria, con el objetivo de controlar la calidad en la producción de harina de trigo y el uso de la harina en productos de panadería. Se realizó una revisión bibliográfica, con el propósito de recopilar el conocimiento científico ya producido sobre el tema en estudio, pudiendo así identificar y describir los artículos publicados en los últimos años. Los estudios encontrados demuestran la viabilidad de utilizar el NIR como metodología rápida en el control de calidad de la harina de trigo, el método rápido presenta resultados con gran potencial en comparación con las metodologías tradicionales.

Palabras clave: Reología, alveografía, farinografía, molienda, control de calidad.

1. Introdução

Os cereais são considerados os alimentos básicos e fontes vitais de vitaminas, minerais, fibras, gorduras brutas, proteínas e ácidos graxos essenciais, que desempenham papéis significativos na vida saudável dos seres humanos. Grãos amplamente consumidos, como trigo, milho, arroz e cevada, enquanto grãos menores, incluindo centeio, sorgo, aveia e painço, são ótimas fontes para a composição nutricional (GUERRIERI & CVALETTTO, 2018).

As sementes de trigo possuem múltiplas camadas de tecido, que afetam suas propriedades físicas e bioquímicas e são determinantes de suas propriedades qualitativas e quantitativas (ONIFE, JIDEANI, BESWA, 2015).

O método de processamento pós-colheita ou armazenamento de grãos tem um impacto significativo no produto final do trigo. Os fatores que afetam diretamente a funcionalidade das características de qualidade do trigo pode ser dividida em dois grupos principais: fatores ambientais e fatores genéticos. Ao contribuir para a produção de propriedades físico-químicas e bioquímicas ou reológicas apropriadas, eles influenciam a formação de um produto de trigo com propriedades de panificação favoráveis ou não (NADEEM et al, 2016).

É importante avaliar os atributos de qualidade e segurança dos cereais e seus produtos para garantir a qualidade, autenticidade e segurança dos alimentos. Os principais parâmetros de qualidade da farinha de trigo incluem sua composição química, que está relacionada aos teores de umidade, proteína, cinzas e glúten úmido da farinha, e parâmetros tecnológicos, como valor de sedimentação, número de queda e propriedades reológicas da massa de farinha de trigo. A qualidade deste produto é de interesse público, pois está relacionada à qualidade dos produtos de farinha e à saúde humana. Portanto, técnicas analíticas eficientes e convenientes são necessárias para os controles de qualidade da farinha de trigo (ZHANG et al., 2022).

Pão, biscoito, bolo, macarrão e outros produtos à base de farinha de trigo são populares em todas as partes do mundo. O pão é o mais popular entre todos os produtos à base de trigo. Pois esse produto obtido da fermentação da farinha de trigo celebra os prazeres mais ricos e simples da vida diária. Os grãos de cereais têm composições próximas de porcentagem semelhante, mas apenas a massa de farinha de trigo é

capaz de reter gás durante a fermentação e assamento, assim formando uma estrutura de espuma aerada típica que conhecemos como pão. A singularidade da farinha de trigo para fazer produtos de panificação aerados é em grande parte devido à sua proteína denominada glúten (NWANEKEZI, 2013).

A composição e as proporções das frações individuais de glúten são os principais determinantes das propriedades reológicas da massa, que, por sua vez, indicam a qualidade de um determinado trigo. Portanto, a maioria dos parâmetros do método multifuncional que permite a classificação do trigo em grupos qualitativos específicos diz respeito à avaliação quantitativa e qualitativa do glúten. Porém, existem também outros fatores que, além das proteínas, podem afetar as características da massa resultante e determinar a adequação do grão para fins específicos (GUZMÁN & ALVAREZ, 2016)

Os métodos clássicos sofrem de desvantagens de destrutividade e maior demanda de tempo para a obtenção dos resultados, portanto, não podem ser usados para monitoramento, detecção e avaliação on-line. Abordagens emergentes são confiáveis com investigações precisas, rápidas e não invasivas para a autenticação de atributos de segurança e qualidade de grãos de cereais e seus produtos durante o armazenamento e processamento. Essas tecnologias inovadoras podem superar a complexidade, os problemas, a destrutibilidade e a lentidão associados às ferramentas analíticas clássicas (HUSSAIN et al., 2019).

A técnica de espectroscopia de refletância no infravermelho próximo (NIRS) é utilizada para encontrar uma correlação entre as características espectrais e as propriedades, estabelecendo o modelo entre os valores de referência e os dados espectrais (MABOOD et al, 2017). Como um método não destrutivo que preserva a totalidade da amostra e permite a medição de um grande número de parâmetros usando uma única amostra, bem como diminui o custo da análise de rotina (GALASSO et al, 2017), tem sido uma alternativa às técnicas químicas padrão e amplamente utilizado na análise de alimentos (MAGWAZA et al, 2016), (BAGCHI, SHARMA, CHATTOPADHYAY, 2016).

A avaliação do comportamento reológico da massa é essencial no controle de qualidade e no desenvolvimento de novos produtos de panificação, pois pode influenciar a processabilidade, extensibilidade, resistência ao estiramento, a capacidade de retenção de gás da massa, viscoelasticidade e, conseqüentemente, as características físicas e sensoriais do pão assado. Quantificar as propriedades reológicas de massas de farinha de trigo podem ser úteis no processo de melhoria e otimização de técnicas de fabricação (MIRONEASA et al., 2019).

Nesse contexto, objetivou-se identificar e descrever artigos científicos encontrados na literatura sobre utilização de metodologias tradicionais e alternativa para identificação de parâmetros e controle de qualidade em farinhas de trigo por meio de uma revisão na literatura.

2. Metodologia

Foi realizada uma revisão de literatura, com a finalidade de reunir o conhecimento científico já produzido sobre o tema em estudo, assim podendo identificar e descrever os artigos publicados dos últimos anos. Os critérios de inclusão adotados no presente estudo foram conforme a metodologia proposta por Pereira et al.(2018), sendo classificadas publicações como artigo original, revisões bibliográficas e livros, divulgadas em língua inglesa, espanhola e portuguesa, publicações completas com resumos disponíveis e indexados nas bases de dados: Google acadêmico, Scielo, Scopus e Web of Science utilizando-se

termos relacionados ao assunto como: metodologias rápidas, NIR, alveografia, farinografia, reologia e farinha de trigo. Foram excluídos os editoriais, as cartas ao editor, os estudos reflexivos e relatos de caso, bem como, artigos repetidos em diferentes bases de dados, estudos que não abordaram a temática relevante ao objetivo desta revisão e que não se enquadravam no período de publicação nos últimos anos.

Foram utilizados artigos de estudos de caso e que estivessem dentro dos critérios já definidos. Ao finalizar a seleção dos artigos com assuntos relevantes, os mesmos foram organizados para avaliar o rigor e as características de cada estudo, montando-se pequenos resumos das pesquisas selecionadas para então dar-se início a escrita do presente trabalho. Então, foi definida a sequência da escrita dentre os pontos mais importantes da busca.

3. Resultados e Discussão

Para a determinação da qualidade de farinha de trigo podemos verificar os parâmetros utilizando algumas metodologias já consolidadas e também nos últimos anos vem se desenvolvendo a aplicação da metodologia rápida.

Várias abordagens, como métodos volumétricos, gravimétricos e colorimétricos, são frequentemente empregadas em análises químicas úmidas, conhecidas como química de bancada, em que a maioria dos testes é realizada em bancadas de laboratório e assim determinar a qualidade de trigos e farinhas de trigos processadas em moinhos. Esses métodos foram automatizados para a obtenção de resultados mais precisos e mais rápidos, tendo em vista a necessidade de agilidade na indústria.

3.1. Umidade

O teor de umidade mais alto degrada de forma incomum a qualidade dos produtos alimentícios (HEINZE & ISENGARD, 2001). Portanto, é fundamental desenvolver um sistema que possa determinar habilmente o teor de umidade em solventes orgânicos e amostras de alimentos (ANUSUYADEVI & VELMATHI, 2022).

A umidade é um importante parâmetro de qualidade para o armazenamento e processamento da farinha de trigo, e o teor de umidade é tipicamente inferior a 14,5% (KHALID et al., 2017). A legislação brasileira para farinhas de cereais determina uma umidade máxima de 15% (Brasil 2005). Essa determinação centesimal é um fator importante a ser analisado pelo fato de estar relacionada com o crescimento microbiano, reações químicas e enzimáticas que podem influenciar a integridade e qualidade do produto (FELISBERTO *et al.*, 2017).

A umidade, como outro componente importante, apresenta-se tanto como solvente retido por forças moleculares e como água de hidratação mantida por ligações de hidrogênio. O teor de água de alimentos básicos durante o armazenamento influencia fortemente a qualidade de conservação e o sucesso de subsequentes germinações quando se trata de qualidade de sementes armazenadas (SU et al, 2017).

Os perfis de umidade em um material alimentício podem ser medidos usando métodos destrutivos e não destrutivos, métodos como o aquecimento em um forno de convecção fornecem medidas precisas do teor médio de umidade nos materiais, mas não fornecem a distribuição de umidade ao longo da seção

transversal do alimento, características não invasivas e não destrutivas permitem que os experimentos sejam conduzidos sem destruir a estrutura ou modificar as propriedades físicas dos materiais. (XING et al, 2005).

Sua determinação correta é imprescindível para as demais análises, tendo em vista que as metodologias seguidas levam em consideração esse valor determinado e assim após a análise de umidade pode-se desenvolver o restante do processo de classificação da farinha de trigo nas análises reológicas.

3.2. Glúten

Aproximadamente 80% da proteína bruta da farinha de trigo é glúten. Todos constituintes da farinha de trigo afetam seu desempenho de panificação; no entanto, é geralmente aceito que a contribuição mais importante para o desempenho de cozimento é feita por glúten. Tanto a quantidade como a qualidade de glúten têm um impacto no desempenho do cozimento. Glúten qualidade é determinada pela sua composição, mais precisamente pela presença ou ausência de tipos específicos de proteínas e suas concentrações (THANHAUSER et al, 2014).

As proteínas insolúveis presentes no grão de trigo, gliadina e glutenina, possuem a especial característica de formação, quando associadas com a água e trabalho mecânico, de uma rede viscoelástica a que chamamos de glúten, sendo esta a principal característica que diferencia o trigo dos demais cereais (CAUVAIN, 2015).

O glúten de trigo é constituído por essa mistura de proteínas, que contribuem de forma diferente para a viscoelasticidade do glúten. As gliadinas são viscosas e extensíveis, mas carecem de elasticidade. As gluteninas carecem de extensibilidade, mas exibem força e elasticidade substanciais. Enquanto a gliadina não pode reter gás, devido à sua extensibilidade, a glutenina pode reter gás, mas o gás não pode expandir ou crescer devido à sua força (elasticidade). Assim, é a combinação dos dois grupos de proteínas (gliadinas e gluteninas) que confere as propriedades viscoelásticas únicas responsáveis pela retenção de gases na farinha de trigo (NWANEKEZI, 2013).

É conhecido que proteínas podem se desnaturar, perder suas características e funcionalidades tecnológicas quando submetidos a tratamentos físicos ou químicos. As proteínas do trigo formadoras do glúten são sensíveis quando submetidas a tratamentos térmicos, visto que em temperaturas acima de 55 °C as gluteninas e gliadinas acabam sofrendo reações de quebra de pontes dissulfeto (SS) e gerando radicais sulfidrilas (SH) o que desestabiliza sua coesividade (LAMACCHIA, LANDRISCINA & D'AGNELLO, 2016). Sendo assim, quando se tratando de análises de determinação de glúten, deve-se levar em consideração a metodologia para que não haja aquecimento da amostra e assim levando a desnaturação das proteínas e a determinação incorreta da quantidade de proteína na farinha analisada.

A matriz proteica de glúten é um fator chave na panificação. Além de contribuir para a capacidade de absorção de água da massa, o glúten confere extensibilidade, elasticidade e coesividade à massa de pão, permitindo que o gás de fermentação seja ocluído e mantido na fase líquida durante o desenvolvimento da massa, resultando em pães bem desenvolvidos e de alta qualidade (WIESER, 2007). A eliminação do glúten em produtos de panificação resulta em efeitos deletérios em termos de atributos de qualidade dos produtos, características nutricionais e aceitação do consumidor (NAQASH et al, 2017).

3.3. Reologia

A reologia é usada para prever o uso de farinha de trigo em produtos de panificação. Portanto, várias técnicas podem ser utilizadas para estudar o desempenho da massa durante a mistura e fermentação, como farinógrafo, extensógrafo, alveógrafo, reofermentômetro, mixógrafo, consistógrafo e maturógrafo (KTENIOUDAKI et al., 2010, ROSELL et al., 2001, ROSELL et al., 2006).

Variações nas condições de processamento, como teor de água, procedimento de mistura e tempo, bem como nos ingredientes como alguns ingredientes têm grandes efeitos nas propriedades reológicas mensuráveis da massa. Para descrever o impacto de vários ingredientes na massa, diferentes abordagens reológicas são tipicamente usadas. As propriedades reológicas da massa podem ser testadas por um lado com misturadores com hélices (por exemplo, Farinógrafo ou Mixógrafo) e em por outro lado, com testes de extensão de carga (por exemplo, extensógrafo ou alveógrafo). Esses equipamentos são amplamente utilizados para controle de qualidade nas indústrias de panificação e moagem (DOBRASZYCYK & MORGENSTERN, 2003).

As propriedades físicas da farinha de trigo integral, incluindo cultivar de trigo, tamanho de partícula e teor de farelo, têm sido consideradas como os fatores importantes que afetam as propriedades reológicas da massa que estão diretamente associadas à qualidade do produto (DE BONDT et al., 2021, JIN et al., 2020, PACKKIA-DOSS et al., 2019).

Sun et al 2023, estudaram os efeitos da cultivar de trigo, o tamanho de partícula da farinha e o teor de farelo nas propriedades reológicas e microestruturais da massa e na qualidade da textura de produtos de trigo integral, incluindo pães e macarrão. E com o os resultados desta pesquisa apresentaram uma orientação prática para a indústria de panificação para melhorar a aceitabilidade do consumidor de produtos de trigo integral.

Determinar e analisar as características reológicas dos materiais alimentícios é de fundamental importância na concepção de novos produtos. Em aplicações de panificação, as propriedades reológicas das massas afetam tanto a capacidade de manuseio da massa quanto o processo de panificação (HOSENEY & SMEWING, 1999) e, portanto, as características finais do pão (RONDA et al, 2017). As propriedades reológicas fundamentais e empíricas das massas também informam sobre as interações entre os ingredientes e a criação da estrutura em níveis macromoleculares e macroscópicos, respectivamente (RONDA et al, 2014). A reologia é importante durante o processo de panificação, pois as propriedades da massa estão associadas à qualidade do pão (COTOVANU & MIRONEASA, 2021) ^a.

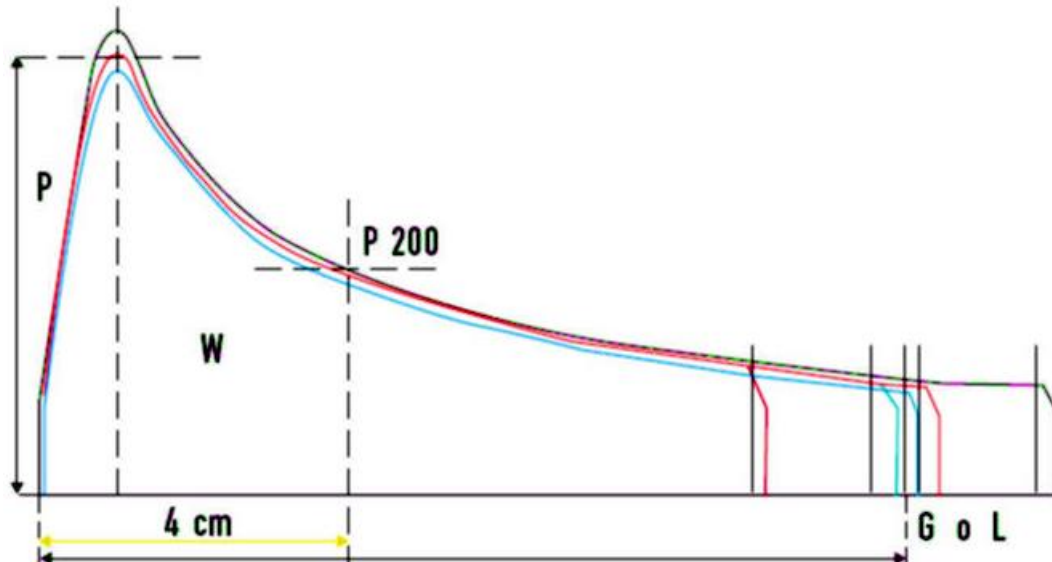
3.3.1. Alveografia

A alveografia é um teste reológico utilizado em vários países para determinar as características qualitativas da farinha de trigo. O termo força do glúten é utilizado para caracterizar a capacidade de uma farinha de tratamento mecânico quando misturada com água, bem como a capacidade de absorver e reter água por meio de seu conteúdo de glúten, que combinado com sua capacidade de retenção de dióxido de carbono pode caracterizar o quão bem um pão irá resistir seu volume, textura e granulometria aberta (DOBRASZYCYK & MORGENSTERN, 2003; MITTELMANN, et al., 2000).

Esse teste é feito em quintuplicata em um alveógrafo, que simula o comportamento da massa durante a etapa de fermentação da panificação. Do gráfico de dados (Figura 1) extraem-se o índice W,

representado pela superfície da curva que quantifica a força do glúten; o índice P, representado pelo máximo no eixo das ordenadas e quantificando a tenacidade da massa; e o índice L, o máximo no eixo das abscissas e quantificando a extensibilidade da massa. A relação P/L expressa o ponto de equilíbrio da massa (YAMAGUCHI et al, 2021).

Figura 1: Alveograma



Fonte: ICTA.

A alveografia mede a pressão máxima da massa ou “P” é considerada com o índice de estabilidade da massa, indicando resistência ao trabalho de deformação e é positivamente correlacionada com a capacidade de absorção de água da farinha. A extensibilidade, ou “L” é um indicativo de volume do pão. Em geral, quando maior o valor de L, maior será o volume do pão. Mas essa característica é dependente do valor de P. Deve existir uma proporcionalidade dos valores de P e L (relação P e L) para, associados ao valor de W (força geral do glúten) expressarem um bom potencial da panificação. A farinha que apresentar valores de P/L abaixo de 0,60 pode ser considerada de glúten extensível, de 0,61 a 1,20 de glúten balanceado, e valores de P/L acima de 1,21 de glúten tenaz (GERMANI, 2007).

3.3.2. Farinografia

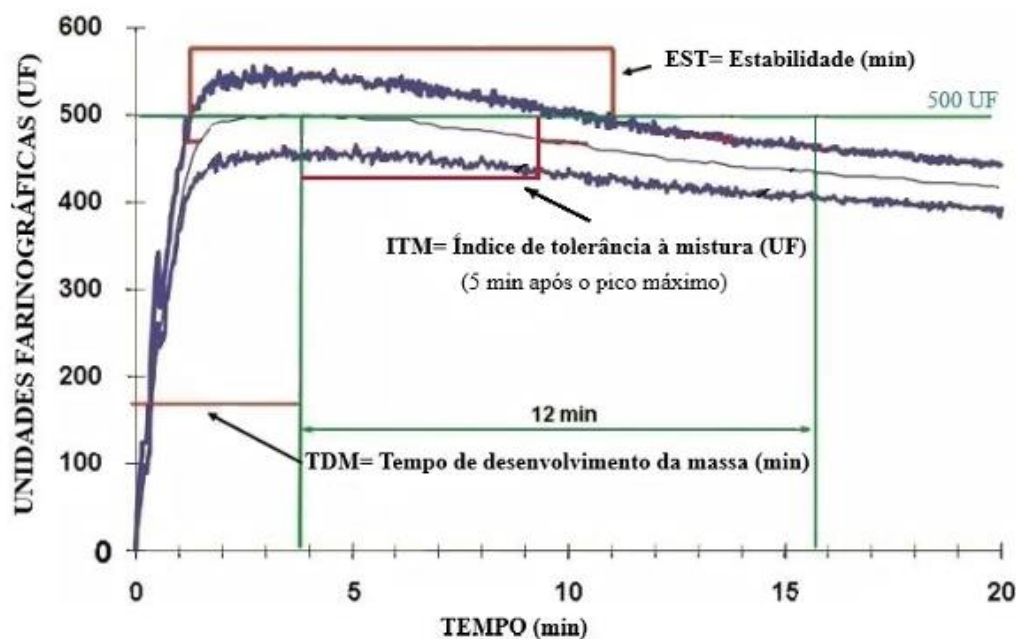
A massa de pão é um material viscoelástico que exibe um comportamento reológico intermediário entre um líquido viscoso e um sólido elástico. A rede viscoelástica desempenha um papel predominante tanto na usinabilidade da massa quanto nas características de textura do pão acabado (COLLAR & ARMERO, 1996; UTHAYAKUMARAN et al, 2000). O processo de mistura, onde a rede de proteínas é formada, e o comportamento viscoelástico, quando a massa de trigo é exposta a grandes deformações uni e biaxiais, foram caracterizados com sucesso por meio de diferentes dispositivos (BOLLAÍN & COLLAR, 2004).

O farinógrafo é um instrumento especial para medir as características de resistência de mistura da massa de farinha de trigo. O comportamento da massa durante o desenvolvimento e mistura da massa é

medido usando um farinógrafo de acordo com o método AACC 54-21 (1995). Conforme observado na Figura 2, os parâmetros obtidos do farinograma são: absorção de água, tempo de desenvolvimento da massa, tempo de estabilidade da massa e grau de amolecimento, índice de tolerância a mistura, tempo de chegada (WANG et al, 2021).

Em geral, a absorção de água das farinhas de trigo formadoras de rede é medida em um farinógrafo. Assim, determina-se a quantidade de água para produzir uma consistência de massa de 500 unidades farinográficas (FU) (TENG, LIU, BAI, & LIANG, 2015).

Figura 2 - Farinograma



Fonte: International, 2013.

Absorção de água é importante devido à produção de massa de consistência trabalhável (SIMMONDS, 1995). A absorção de água na massa pode estar relacionada com a farinha umidade, no entanto, também depende da formulação da mistura e outros fatores. A absorção da farinha é uma consideração importante na produção de todos os tipos de assados. Normalmente, altos valores de absorção são desejáveis.

3.4. NIR

A espectroscopia infravermelha parece ser uma das ferramentas analíticas mais poderosas e convenientes que pode ser usado para estudar os parâmetros de qualidade do trigo em as faixas espectrais, que podem ser relacionadas com os principais componentes químicos dos alimentos (WILLIAMS & NORRIS, 2001). Infravermelho próximo (NIR) a espectroscopia foi usada pela primeira vez em aplicações agrícolas por Norris em 1964 para medir a umidade em grãos. Desde então, tem sido usado para análise rápida principalmente de umidade, proteína, teor de gordura de uma ampla variedade de alimentos agrícolas e produtos (SINGH, 2010).

A espectroscopia de infravermelho próximo (NIR) pode ser usada para identificar a composição química de produtos alimentícios e fornecer identificação detalhada de mudanças nas propriedades físico-

químicas durante o processamento de alimentos, bem como integrá-las em estratégias de controle de qualidade quando relacionado ao processamento industrial e controle de matérias-primas recebidas pela indústria. Tem as vantagens de ser rápido, não destrutivo, de baixo custo, em tempo real, reproduzível e apresenta potencial para futuras aplicações no controle inteligente da produção de alimentos (DEIDDA et al., 2019).

Recentemente, a espectroscopia NIR tem sido usada com sucesso para testes não destrutivos do teor de umidade e atividade de água de maçã (MALVANDI et al., 2022), melão (Netto et al., 2021) e mirtilo (LIU et al., 2021). Isso indica que as propriedades físicas dos alimentos e sua composição química estão fortemente correlacionadas e podem ser refletidas nos espectros NIR característicos.

Sendo assim, a espectroscopia de infravermelho próximo (NIR) já foi utilizada para determinar a composição química (água, proteína, cinzas, amido danificado, acidez oleica, número de queda de Hagberg e TOTOX), perfis analíticos (farinógrafo, alveógrafo e capacidade de retenção de solvente) (LANCELOT et al., 2021, YE et al., 2018). As propriedades físicas dos alimentos e sua composição química estão fortemente correlacionadas e podem ser refletidas nos espectros NIR característicos. O aprendizado de máquina pode ser usado para modelar tais relacionamentos preditivos com base em espectros NIR (JIANG et al., 2023).

Combinada com métodos quimiométricos, a espectroscopia NIR tem sido utilizada para detectar a composição química, parâmetros tecnológicos, desoxinivalenol, adulterantes e aditivos da farinha de trigo. Além disso, a espectroscopia NIR mostrou grande potencial para a análise rápida e online da qualidade e segurança da farinha de trigo (ZHANG et al., 2022).

Os métodos convencionais para a avaliação da qualidade de alimentos básicos são sempre trabalhosos, destrutivos e demorados. Requisitos para monitoramento online de alimentos básicos foram propostos para encorajar o desenvolvimento de técnicas rápidas, sem reagentes e não invasivas. Técnicas espectroscópicas, como espectroscopia de infravermelho visível, espectroscopia Raman, espectroscopia de ressonância magnética nuclear e imagem espectral, foram introduzidas como ferramentas analíticas promissoras e aplicadas para a avaliação da qualidade de alimentos básicos (SU et al., 2017).

Para Mutlu et al 2011, os resultados indicam que esta técnica pode ser considerada como uma ferramenta valiosa para a previsão da qualidade da farinha de trigo, demonstrando um alto nível de precisão para o teor de umidade, teor de proteína, P, P/G, sedimentação de Zeleny e absorção de água. Especialmente, o valor de sedimentação Zeleny é previsto com alta precisão do que os outros estudos na literatura. Comparado com os métodos tradicionais de determinação desses parâmetros, o método desenvolvido no estudo é rápido, simples e repetível. Além disso, é possível realizar análises simultâneas desses parâmetros sem a necessidade de qualquer solvente e/ou produto químico, pessoa treinada e outros equipamentos caros.

4. Considerações finais

Os estudos apresentados neste trabalho demonstram a necessidade da determinação correta e eficaz dos parâmetros de qualidade de farinha de trigo, visando a utilização em produtos de panificação. Sua correta determinação, faz com que o produto obtido da moagem do grão de trigo tenha uma correta destinação, podendo ser aplicado a diversos produtos da indústria de alimentos.

Com o resultado do trabalho realizado podemos verificar que a determinação da qualidade da farinha de trigo quando relacionada às características reológicas, pode ser analisada utilizando tanto a metodologia clássica quanto a metodologia rápida como o NIR, pois os resultados obtidos pelos pesquisadores demonstram o potencial de robustez quando comparados aos obtidos pela metodologia clássica.

Com a utilização desse modelo de metodologia rápida é possível identificar a qualidade da farinha de trigo durante o processo de moagem, podendo assim tornar o controle de qualidade mais eficiente, pois é possível verificar as variações da reologia durante o processamento do trigo e assim determinar a correta finalidade da farinha produzida.

Agradecimentos

Este trabalho conta com o apoio do PROAP/Capes e Fundação Araucária/Paraná.

REFERÊNCIAS

- ANUSUYADEVI, KATHIRESAN., VELMATHI, SIVAN (2022). Aggregation induced bathochromic shift of emission for detection of moisture in organic solvents and food stuffs. *Journal of Molecular Liquids*. Volume 363, 1, 119834.
- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS - AACC. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 9 v. 2. ed. Saint Paul: AACC, 1995.
- BAGCHI, T. B., SHARMA, S., CHATTOPADHYAY, K. (2016). Development of NIRS models to predict protein and amylose content of brown rice and proximate compositions of rice bran, *Food Chem.* 191, 21–27.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 8 de, 2 de julho de 2005.Regulamento técnico de identidade e qualidade de farinha de trigo. 2005. Disponível em: <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=803790937>>. Acesso em: 15 de maio de 2023.
- BOLLAÍN, C., COLLAR, C. (2004). Dough viscoelastic response of hydrocolloid/enzyme/surfactant blends assessed by uni- and bi-axial extensi3n measurements. *Food Hydrocolloids*, 18, pp. 499-507
- COLLAR, C., ARMERO, E. (1996). Physico-chemical mechanisms of bread staling during storage: Formulated doughs as a technological issue for improvement of bread functionality and keeping quality. Recent Research Developments in Nutrition, 1, pp. 115-143
- CAUVAIN, S. (2015). Technology of breadmaking. In Technology of Breadmaking. *Springer International Publishing*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-14687-4>.
- COTOVANU.^a I., MIRONEASA, S. (2021). Impact of different amaranth particle size addition level on wheat flour dough rheology and bread features. *Foods*, 10 (7), pp. 1539-1558, 10.3390/foods10071539
- COTOVANU.^b I., MIRONEASA, S. (2021). Buckwheat Seeds: Impact of Milling Fractions and Addition Level on Wheat Bread Dough Rheology. *Applied Sciences*. 11(4), 1731; <https://doi.org/10.3390/app11041731>.
- DE BONDY, Y., HERMANS, W., MOLDENAERS, P., COURTIN, C. M. (2021). Selective modification of wheat bran affects its impact on gluten-starch dough rheology, microstructure and bread volume. *Food Hydrocolloids*, 113, Article 106348, 10.1016/j.foodhyd.2020.106348
- DEIDDA, R., SACRE, P.-Y., CLAVAUD, M., COİC, L., AVOHOU, H., HUBERT, P., ZIEMONS E., (2019) Vibrational spectroscopy in analysis of pharmaceuticals: Critical review of innovative portable and handheld NIR and Raman spectrophotometers TrAC, *Trends Anal. Chem.*, 114, 251-259.
- DOBRAZYCYK, B. J., MORGENSTERN M., (2003) Rheology and the breadmaking process. *Cereal Chemical*. 38:229–245.
- FELISBERTO, M. H. F. et al. (2017) Young bamboo culm flour of *Dendrocalamus asper*: Technological properties for food applications. *LWT – Food Science and Technology*, v. 76, n. 1, p. 230-235.
- GALASSO, H. L., CALLIER, M.D., BASTIANELLI, D., BLANCHETON, J.P., ALIAUME, C. (2017). The potential of near infrared spectroscopy (NIRS) to measure the chemical composition of aquaculture solid waste, *Aquaculture*. 476, 134–140.

GERMANI, R. Características dos grãos e farinhas de trigo e avaliações de suas qualidades. EMBRAPA – Agroindústria de alimentos. Rio de Janeiro, 2007.

GUERRIERI, N., CAVALETTO, M. Cereals proteins Proteins in food processing, *Elsevier* (2018), pp. 223-244.

GUZMÁN, C., ALVAREZ, J. B. (2016) Wheat Waxy Proteins: Polymorphism, Molecular Characterization and Effects on Starch Properties. *Theor. Appl. Genet.*, 129, 1–16.

HEINZE, P., ISENGARD, H.-D. (2001). Determination of the water content in different sugar syrups by halogen drying. *Food Control*, 12, pp. 483-486

HOSENEY, R. C., SMEWING, J. (1999). Instrumental measurement of stickiness of doughs and other foods. *Journal of Texture Studies*, 30, pp. 123-136

HUSSAIN, N., SUN, D., PU, H., (2019) Classical and emerging non-destructive Technologies for safety and quality evaluation of cereals: A review of recente applications, *Trends in Food Science & Technology*, 91, 598-608.

ICTA – Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/napead/projetos/avaliacao-farinha-trigo/2c.php>. Acesso em: 08 de jun de 2023.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF OPERATIVE MILLERS. Farinograph-TS. Kansas, US: IAOM (8th Annual Southeast Asia Region Conference, 2013). Disponível em: <https://www.iaom.org/wp-content/uploads/07brabendersea17.pdf>. Acessado em: 08 jun. 2023.

JIANG, Q., ZHANG, M., MUJUMDAR, A. S., WANG, D., (2023) Non-destructive quality determination of frozen food using NIR spectroscopy-based machine learning and predictive modelling, *Journal of Food Engineering*, 343, 111374.

JIN, X., LIN, S., GAO, J., WANG, Y., YING, J., DONG, Z., ZHOU, W. (2020). How manipulation of wheat bran by superfine-grinding affects a wide spectrum of dough rheological properties. *Journal of Cereal Science*, 96, Article 103081, 10.1016/j.jcs.2020.103081.

KTENIOUDAKI, A., BUTLER, F., GALLAGHER, E. (2010). The effect of different mixing processes on dough extensional rheology and baked atributes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90 (12), pp. 2098-2104, 10.1002/jsfa.4057

KHALID, K. H., MANTHEY, F., SIMSEK, S. Whole grain wheat flour production using an ultracentrifugal mil Cereal Chem., 94 (2017), pp. 1001-1007, 10.1094/cchem-05-17-0117-r

LAMACCHIA, C., LANDRISCINA, L., & D'AGNELLO, P. (2016). Changes in wheat kernel proteins induced by microwave treatment. *Food Chemistry*, 197, 634–640. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.016>

LANCELOT, E., FONTAINE, J., GRUA-PRIOI, J., LE-BAIL, A., (2021). Effect of long-term storage conditions on wheat flour and bread baking properties, *Food Chemistry*, 346, 128902.

LIU, W., ZHANG, M., BHANDARI, B., YU, D., (2021). A novel combination of LF- NMR and NIR to intelligent control in pulse-spouted microwave freeze drying of blueberry. *LWT (Lebensm. -Wiss. & Technol.)*, 137 (2021), 10.1016/j.lwt.2020.110455.

MABOOD, F., GILANI, S. A., ALBROUMI, M., ALAMERI, S., NABHANI, M., JABEEN, F., HUSSAIN, J., HARRASI, A., BOQUÉ, R., FAROOQ, S., HAMAED, A. M., NAUREEN, Z., KHAN, A., HUSSAIN, Z. (2017). Detection and estimation of super premium 95 gasoline adulteration with premium 91 gasoline using new NIR spectroscopy combined with multivariate methods, *Fuel* 197, 388–396.

MAGWAZA, L. S., NAIDOO, S. I. M., LAURIE, S. M., LAING, M. D., SHIMELIS, H. (2016). Development of NIRS models for rapid quantification of protein content in sweetpotato [*Ipomoea batatas* (L.) LAM.], *LWT, Food Science and Technology* 72, 63–70.

MALVANDI, A., H. FENG, KAMRUZZAMAN, M. (2022), Application of NIR spectroscopy and multivariate analysis for Non-destructive evaluation of apple moisture content during ultrasonic drying. *Spectrochim. Acta Mol. Biomol. Spectrosc.*, 269 Article 120733, 10.1016/j.saa.2021.120733.

MIRONEASA, S., IUGA, M., ZAHARIA, D., MIRONEASA, C., 2019, Rheological analysis of wheat flour dough as influenced by grape peels os diferentes particle sizes and addition levels, 12, 228-245.

MUTLU, A. C., BOYACI, I. H., GENIS, H. E., OZTURK, R., SANAL, T., EVLICE, A. K. (2011). Prediction of wheat quality parameters using near-infrared spectroscopy and artificiais neurais networks. *Eur Food Res Technol.* 233:267–274

NADEEM, M.; ANJUM, F.M.; KHAN, M.R.; SAJJAD, M.; HUSSAIN, S.; ARSHAD, M.S. (2016) Electrophoretic Characteristics of Gluten Proteins as Influenced by Crop Year and Variety. *Int. J. Food Prop.*, 19, 897–910.

NAQASH, F., GANI, A., GANI, A., MASOODI, F. A. (2017). Gluten-free baking: Combating the challenges - a review. *Trends in Food Science & Technology*, 66, pp. 98-107.

NETTO, J. M. S., HONORATO, F. A., AZOUBEL, P. M., KUROZAWA, L. E., BARBIN, D.F. (2021). Evaluation of melon drying using hyperspectral imaging technique in the near infrared region. *LWT (Lebensm.-Wiss. & Technol.)*, 143, Article 111092, 10.1016/j.lwt.2021.111092

NORRIS, K. H. (1964) Design and development of a new moisture meter. *Agric Eng* 45:370–372

- ONIPÉ, O. O.; JIDEANI, A. I. O.; BESWA, D. (2015). Composition and Functionality of Wheat Bran and Its Application in Some Cereal Food Products. *Int. J. Food Sci. Technol.* 50, 2509–2518.
- PACKKIA-DOSS, P. P., CHEVALLIER, S., PARE, A., LE-BAIL, A. (2019). Effect of supplementation of wheat bran on dough aeration and final bread volume. *Journal of Food Engineering*, 252, pp. 28-35, 10.1016/j.jfoodeng.2019.01.014.
- RONDA, F., PÉREZ-QUIRCE, S., VILLANUEVA, M. (2017). Rheological properties of gluten-free bread doughs. Relationship with bread quality. J. Ahmed, P. Ptaszek, S. Basu (Eds.), *Advances in food rheology and applications*, ELSEVIER, Cambridge, pp. 297-334
- RONDA, F., VILLANUEVA, M., COLLAR, C. (2014). Influence of acidification on dough viscoelasticity of gluten-free rice starch-based dough matrices enriched with exogenous protein. *LWT - Food Science and Technology*, 59 (1), pp. 12-20.
- ROSELL, C. M., ROJAS, J. A., BARBER, C. B. (2001). Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. *Food Hydrocolloids*, 15 (1), pp. 75-81. [http://dx-doi.ez79.periodicos.capes.gov.br/10.1016/S0268-005X\(00\)00054-0](http://dx-doi.ez79.periodicos.capes.gov.br/10.1016/S0268-005X(00)00054-0)
- ROSELL, C. M., SANTOS, E., COLLAR, C. (2006). Mixing properties of fibre-enriched wheat bread doughs: A response surface methodology study. *European Food Research and Technology*, 223 (3), pp. 333-340, 10.1007/s00217-005-0208-6.
- SIMMONDS, N. W. (1995) The relation between yield and protein in cereal grain. *J Sci Food Agric* 67:309–315.
- SINGH, C. B., CHOUDHARY, R., JAYAS, D. S., PALIWAL, J. (2010) Wavelet analysis of signals in agriculture and food quality inspection. *Food Bioproc Tech* 3:2–12
- SU, W-H., HE, H-J., SUN, D-W. (2017). Non-Destructive and rapid evaluation of staple foods quality by using spectroscopic techniques: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 57. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1082966>.
- SUN, X., BU, Z., QIAO, B., DRAWBRIDGE, P., FANG, Y. (2023). The effects of wheat cultivar, flour particle size and bran content on the rheology and microstructure of dough and the texture of whole wheat breads and noodles. *Food Chemistry*, 410, 135447.
- TENG, Y., LIU, C., BAI, J., LIANG, J. (2015) Mixing, tensile and pasting properties of wheat flour mixed with raw and enzyme treated rice bran. *Journal of Food Science and Technology*, 52 (5) pp. 3014-3021, 10.1007/s13197-014-1366-y
- THANHAUSER, S. M., WIESER, H., KOEHLER, P. (2014). Correlation of Quality Parameters with the Baking Performance of Wheat Flours. *Cereal Chemistry Journal*, 91(4), 333–341. doi:10.1094/cchem-09-13-0194-cesi.
- UTHAYAKUMARAN, S., NEWBERRY, M., KEENTOK, M., STODDARD, F. L., BEKES, F. (2000). Basic rheology of bread dough with modified protein content and glutenin-to gliadin ratios. *Cereal Chemistry*, 77, pp. 744-749
- WANG, X., LIANG, Y., WANG, Q., ZHANG, X., WANG, J., (2021) Effect of low-sodium salt on the physicochemical and rheological properties of wheat flour doughs and their respective gluten. *Journal of Cereal Science*, 102, 103371. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2021.103371>
- WILLIAMS, P. C., NORRIS, K. H (2001) Near-infrared technology in the agricultural and food industries, 2nd edn. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN
- WIESER, H. (2007). Chemistry of gluten proteins. *Food Microbiology*, 24 (2), pp. 115-119.
- XING, H., TAKHAR, P. S., HELMS, G., HE, B. (2007). NMR imaging of continuous and intermittent drying of pasta. *J. Food Eng.*, 78, págs. 61 - 68 ,10.1016/j.jfoodeng.2005.09.002.
- YAMAGUCHI, M. M., SOUZA, D. F. M.; CARVALHO, P. T., SERAFIM, R. A. (2021). Influence of wheat conditioning duration on the technological qualities of flour. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 1. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i1.11230>
- YE, D., SUN, L., ZOU, B., ZHANG, Q., TAN, W., CHE, W., (2018) Non-destructive prediction of protein content in wheat using NIRS *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 189, 463-472.
- ZHANG, S., LIU, S., SHEN, L., CHEN, S., HE, L., LIU, A. (2022) Application of near-infrared spectroscopy for the nondestructive analysis of wheat flour: A review, *Current Research in Food Science*, 5, 1305 – 1312.
- ZAREEF, M., ARSLAN, M., HASSAN, M. M., AHMAD, W., ALI, S., LI, H., OUYANG, Q., WUC, X., HASIM, M. M., CHEN, Q. (2021) Recent advances in assessing qualitative and quantitative aspects of cereals using nondestructive techniques: A review. *Trends in Food Science & Technology*. 116, 815-828.



Application of NIR for Rapid Determination of Flour Quality by Machine Learning

Denise de M. B. da Silva^a, Icaro C. Francisco^b, Ghiovanni Z. Raniero^c, Claudia C. F. Monteiro^d, Diogo F. Rossoni^d, Antonio R.G. Monteiro^a.

^a Department of Food Engineer, State University of Maringá, Av. Colombo 5790 bloco J45. 87020-900, Maringa-PR, Brazil.

^b Department of Statistics, State University of Maringá, Av. Colombo 5790 bloco E90. 87020-900, Maringa-PR, Brazil.

^c Centre of Agriculture Science, Food Science Post Graduation Program. State University of Maringá, Av. Colombo, 5790

bloco 13. 87020-900, Maringa-PR, Brazil.

^d Department of Desing, State University of Maringá, Av. Colombo 5790. 87020-900, Maringa-PR, Brazil.
argmonteiro@uem.br

Wheat is the most produced cereal in the world, and its varieties, locations and planting times directly interfere with its technological quality and derivatives. Therefore, the quality control of wheat flour is of fundamental importance to guarantee the necessary adjustments in the processes due to the natural variations of the Wheat.

In this context, this work aimed to evaluate the use of Near Infrared Reflectance spectroscopy (NIR) to estimate rapid results for the quality of wheat flours through Regressions Trees, a supervised Machine Learning approach. Sixty-five analyses were performed to obtain the parameters, and 20 repetitions were to confirm the results obtained. For each of the repetitions, different flours were used, which were analysed in the NIR Analyzer Spectrastar XT-R and, in the sequence, the main physical-chemical and rheological characteristics were analysed: Moisture (AACC 54-21 (2000)), ash (AACC 08-01 (1995)). Colour by Minolta CR400 colourimeter, total and dry gluten (Yucebas Machinery, Mod. Y070073, Turkey), farinographic characteristics (AACC 54-21 (1995)), using Farinografo®-AT and alveography (AACC 54-3- (2000) by Alveograph Chopin. It was possible to build decision trees that related physical-chemical and rheological variables with the variables from the NIR, resulting in decision rules with reasonable accuracy. In this way, it is concluded that the NIR can be used as a rapid test for the quality control of wheat flour. However, it is necessary to confirm the results of the rheological analyses for more accurate results.

Introduction

Wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the three most important grain crops and is widely cultivated worldwide due to its value as a staple food and source of protein. Wheat is essential in human nutrition, the main ingredient of many tasty foods (BRÜTSCH et al., 2017). The Whole grain is rich in nutrients such as minerals, protein (8–16%), fat (1–3%) and fibre (12–15%) (SENYA et al., 2021).

Wheat flour is the primary raw material used in various food formulations, providing the base in which the other ingredients are mixed to form the dough (MORAES et al., 2010, HAJNAL et al., 2014, RANZAN et al., 2014, TACER-CABA et al., 2014, COELHO E SALAS-MELLADO, 2015).

To obtain flour, clean and conditioned Wheat is reduced through a multi-stage process of successive milling with corrugated and smooth rollers, sieving and purification. At each step, a certain amount of flour is produced, removed and subsequently combined in proportions to form the desired flour (POMERANZ, 1988, POSER and HIBBS, 2005). Roller mills are most used to produce wheat flour, which will later be used in the bakery industry. In addition to reducing energy consumption, grinding quality is very important in the food industry. For example, different wheat flour milling conditions resulted in milled powders with other physical properties (PROTONOTARIOU et al., 2014).

Wheat flour's quality includes its chemical composition and technological proprieties. Chemical composition is its Moisture, protein, ash and wet gluten contents. Technological proprieties are sedimentation value, falling number and rheological properties of the flour mass wheat. The quality of this product is of public interest, as it is related to the quality of flour products and human health. Therefore, efficient and convenient analytical techniques are needed for wheat flour quality controls (ZHANG et al., 2022).

The rheological quality of wheat flour is mainly determined by the quality and quantity of gluten (GEISLITZ et al., 2018; Monteiro et al., 2021). The excellent nutritional profile and quality parameters favour its wide application in preparing cookies, bread, muffins, pasta and other snacks (DHAUA et al., 2021).

Classical methods have always been used to measure the safety and quality of cereal-based foods with relatively low efficiency compared to emerging nondestructive techniques. Classical methods suffer from the disadvantages of destructiveness and are more time-consuming to obtain results. Therefore, they cannot be used for online monitoring, detection and evaluation. Emerging approaches are reliable with accurate, rapid and non-invasive investigations for authenticating the safety and quality attributes of cereal grains and their products during storage and processing. These innovative technologies can overcome the complexity, problems, destructibility and slowness associated with classic analytical tools (HUSSAIN et al., 2019).

The evaluation of the rheological behaviour of the dough is essential in quality control and the development of new bakery products. It can influence the processability, extensibility, resistance to stretching, gas retention capacity of the dough, viscoelasticity and, consequently, the physical and sensory properties of baked bread. Quantifying the rheological properties of wheat flour doughs can be helpful in the process of improving and optimising manufacturing techniques (MIRONEASA et al., 2019).

The rheological property of wheat flour-based dough influences its processing characteristics, which is crucial for final products (GE et al., 2023). The rheological property of wheat flour is mainly given by the gluten network structure, which was formed by the massive bonds of gluten molecules through disulfide bonds, hydrogen bonds and hydrophobic forces (McCANN and DAY, 2013).

To ensure product compliance with the standards established by the quality control criteria of products received for industrialisation, the need to develop new, simple, fast and low-cost analytical methodologies to determine the quality of wheat flour.

Near-infrared (NIR) spectroscopy can identify the chemical composition of food products. It could be used to provide detailed identification of changes in physicochemical properties during food processing and integrate them into quality control strategies when related to the industrial processing and control of raw materials received by the industry. It has the advantages of being fast, nondestructive, low-cost, real-time, and reproducible and has the potential for future applications in the intelligent control of food production (DEIDDA et al., 2019).

In this scenario, near-infrared (NIR) spectroscopy has already been used to determine the chemical composition (water, protein, ash, damaged starch, oleic acidity, Hagberg drop number and TOTOX), analytical profiles (farinograph, alveograph and solvent retention) (LANCELOT et al., 2021, YE et al., 2018). Foods' physical properties and chemical composition are strongly correlated and can be reflected in characteristic NIR spectra. In addition, machine learning can be used to model such predictive relationships based on NIR spectra (JIANG et al., 2023).

Evaluating the final model is critical to obtain a stable and robust model. The correlation coefficient (R), coefficient of determination (R²) and correlation coefficient for prediction (R_p) are often used to evaluate the performance of constructed models. The best models typically have the highest R and R² or sometimes R_p while having a lower root mean square prediction error (RMSEP) and root mean square cross-validation error (RMSECV) (MINAS et al., 2021). Furthermore, the residual predicted deviation (RPD) is used to assess model stability, and a higher RPD indicates better predictive performance (KUTSANEDZIE et al., 2018).

In this context, the objective of this study was to use machine learning methods to estimate the reliability of NIR spectra compared to traditional methods for wheat flour quality control.

2. Material and methods

Wheat milling

In this work, wheat flour was obtained from industrial and experimental methods. Two-thirds of the samples were from experimental milling, and one-third were from industrial milling. Analyses of 68 samples were performed to build the models and 17 samples to confirm the results.

Milling in experimental mill

To produce flour in an experimental mill, the Moisture of the Wheat was first determined, and later, the percentage of water to be added was determined by calculation, considering the initial Moisture (IM), the desired Moisture (DM) and the weight of the flour sample, according to equation 1.

$$\text{Water added (ml)} = \left(\frac{100-IM}{100-DM-1} \right) \times \text{sample weight eq 1}$$

After adding water, the Wheat rested for 4 four hours, and grinding was performed in an Experimental Mill VG 2000i (Vitti Molinos, Brazil).

Milling in industrial mill

The industrial milling was carried out continuously, where a wetting screw humidifies the Wheat. The initial Moisture of the Wheat is determined; subsequently, the Wheat is humidified and will rest for 16 hours. After the humidified Wheat had rested, the milling was started. The process was basically in 3 stages: Grinding, reduction, and compression.

In the grain-crushing stage, the coarsest product is obtained (a higher percentage of bran). The reduction is where the dressed semolina is worked (endosperm with small amounts of bran). The roller will separate this bran and send it to the finer grindings and the semolina to the compression banks. The cylinder banks will break the semolina and transform it into wheat flour. Sieving is done by plansifters, where each pass has a diagram with screens of different openings to correctly distribute each product to the next pass, according to the desired granulometry.

Conventional analytical methods

Physicochemical analysis

The moisture content of the flour was measured according to method No. 44-15 A of the AACC (2000). The percentage of ash was determined according to method nº 08-01 of the AACC (1995).

The colour of the flours was evaluated using a Minolta CR-400 colourimeter. The results were expressed in L* values, whose L* values (brightness or brightness) range from black (0) to white (100), according to Nakagawa 2019.

Gluten washing equipment (Yucebas Machinery, Mod. Y070073, Turkey) was used to determine the quantity and quality of gluten in wheat flours, according to method nº 38-12 of the AACC (1995). The gluten index was determined, corresponding to the percentage of wet gluten remaining on the sieve, part of the equipment, after centrifugation (Yucebas Machinery, Mod. Y080067, Turkey). Then, the dry gluten content was determined, corresponding to the weight (%) of the washed dough after drying between two heated gluten dryer plates (Yucebas Machinery, Mod. Y090042, Turkey).

Rheological analyses of flour

Method No. 56-81 B of the AACC (2000) was followed to analyse the number of falls.

The farinographic characteristics of the wheat flours used in the experiment were evaluated according to method nº 54-21 of the AACC (1995), using the Farinógrafo®-AT (Brabender, Germany).

From the farinogram, the following parameters were analysed: water absorption (ABS) and development time (TD).

The alveograph analysis was carried out in the Chopin Alveograph equipment, following method no. 54-30 A, established by the AACC (2000).

Fast analysis by NIR

For the quick analysis, the NIR Analyzer Spectrastar XT-R (KPM Analytics, USA) (was used with the calibration provided by the manufacturer to Moisture, Protein, Ash, Alveo P, Alveo W, Color B, Water ABS, Dev Time. Figure 1 shows the calibration of protein sourced by the manufacturer (SpectraStar XT-R Calibration Library, 2021).

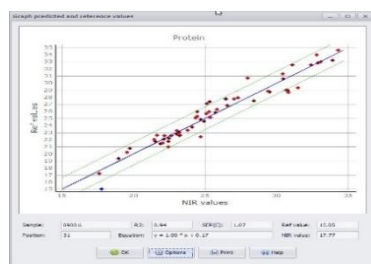


Figure 1. NIR Analyzer XT-R calibration for protein

Statistical analyses

Regression tree learning is a supervised learning approach used in statistics, data mining and machine learning. The regression trees divide the data into subsets: branches, nodes, and leaves. The regression trees select splits that decrease the dispersion of target attribute values. Thus, the target attribute values can be predicted from their mean values in the leaves. In this context, we use the results obtained by NIR Analyzer Spectrastar XT-R (KPM Analytics, USA) to build our regression tree, aiming to predict and compare the results with those obtained in the lab. To verify the quality of the fit and prediction, the database was divided into 80% for training the Machine Learning algorithm and 20% for prediction.

3. Results and discussion

Considering Moisture (AACC 54-21 (2000)) as the response variable, all covariates obtained by the NIR method were used to build the regression tree and subsequent prediction. The tree had 4 nodes, making a total of 5 classifying branches shown in Table 1.

Classificação dos galhos

Regras	Cover
1. quando ALVEO W NIR < 255 & Abs NIR >= 65	11%
2. quando ALVEO W NIR < 255 & Abs NIR < 65	31%
3. quando ALVEO W NIR >= 255 & Gluten Um NIR >= 29 & ALVEO L NIR >= 85	26%
4. quando ALVEO W NIR >= 255 & Gluten Um NIR >= 29 & ALVEO L NIR < 85	18%
5. quando ALVEO W NIR >= 255 & Gluten Um NIR < 29	13%

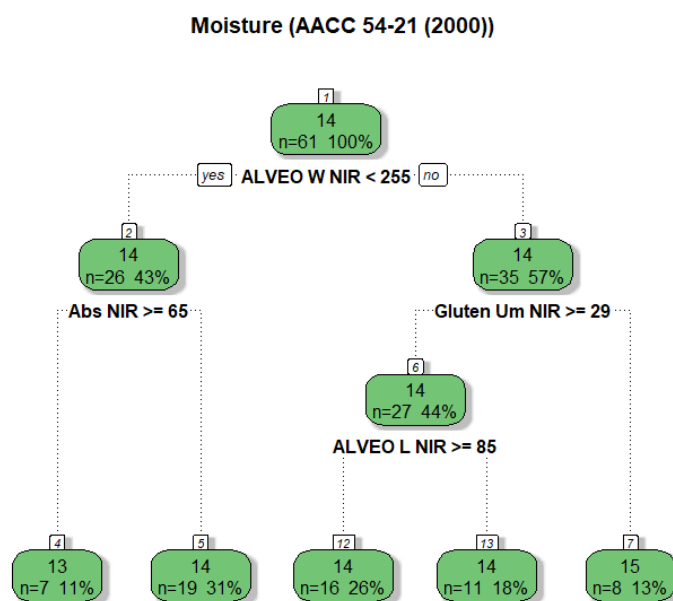


Figure 2. Regression tree for Moisture

The branches, represented by the classification rules, obtained coverage of 31%, 26%, 18%, 13% and 11%. Considering these rules, we have in Table 2 the prediction of Moisture (AACC 54-21 (2000)) values via regression tree, compared with the real data obtained in the laboratory.

Comparação entre resultados de laboratório e previsão de ML por árvore de regressão para umidade (AACC 54-21 (2000))

Lab Results	ML Prediction (Regression Tree)	Error
13,7000	14,0113	-0,3112
14,0500	14,0113	0,0388
13,8600	14,0113	-0,1512
14,4400	14,0113	0,4288
13,4400	14,0113	-0,5712
14,4200	14,0113	0,4088
13,9400	14,0113	-0,0712
14,1300	14,0113	0,1188
13,8600	14,0113	-0,1512
13,8600	14,0113	-0,1512
14,0400	14,0113	0,0288
14,1100	14,0113	0,0988

14,0400	14,0113	0,0288
14,3900	14,0113	0,3788
14,5500	13,8821	0,6679
13,8300	14,0113	-0,1812

Considering the other variables of the study, the prediction of values via regression tree obtained results close to laboratory ones, both for the Physicochemical and Rheological variables. This was verified by the adjustment measures such as the Average Error and the MAE shown in Table 3.

Table 3: Mean values obtained in the laboratory, mean predicted by ML, mean error, and mean absolute error (MAE) for the test database considering each experimental variable.

Variável	Lab (média)	ML Predição (média)	Erro	MAE
Umidade	14,04	14,00	0,04	0,24
Tempo de desenvolvimento	6,14	5,16	0,99	2,84
Glúten Index	32,48	31,39	1,09	1,39
Absorção de água	57,37	56,83	0,54	1,11
Alveógrafo L	105,63	99,78	5,84	17,67
Alveógrafo P	81,25	80,97	0,28	8,47
Alveógrafo W	285,88	275,35	10,52	32,65
Cor	92,03	91,67	0,35	0,78

4. Conclusions

Regression Trees associated with Fast analysis by NIR obtained accurate estimates, both for the Physicochemical and Rheological variables, when compared with data obtained in the laboratory. It was possible to build regression trees with the identification of classifiers by nodes, branches and leaves.

Acknowledgements

This work is supported by PROAP/Capes and Fundação Araucária / Paraná.

References

- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS - AACC. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 9 v. 2. ed. Saint Paul: AACC, 1995.
- AACC. American Association of Cereal Chemists. Approved Methods, 10. ed. St. Paul: AACC, 2000.
- Brütsch, L., Huggler, I., Kuster, S., Windhab, E. J., 2017, Industrial Roller Milling Process Characterisation for Targeted Bread Quality Optimization, Food Bioprocess Technol, 10,710 - 719.
- Coelho, M. S., Salas-Mellado, M. M., 2015, Effects of substituting chia (*Salvia hispanica* L.) flour or seeds for wheat flour on the quality of the bread, LWT - Food Science and Technology, 60, 729-736.
- Deidda, R., Sacre, P.-Y., Clavard, M., Coïc, L., Avohou, H., Hubert, P., Ziemons E., 2019 Vibrational spectroscopy in the analysis of pharmaceuticals: Critical review of innovative portable and handheld NIR and Raman spectrophotometers TrAC, Trends Anal. Chem., 114, 251-259.
- Dhua, S., Kheto, A., Sharanagat, V. S., Singh, L., Kumar, K., Nema, P. K., 2021, Quality characteristics of sand, pan and microwave roasted pigmented Wheat (*Triticum aestivum*), Food Chemistry, 365.
- Senya, E. K., Kwaatema, F., Sitsofe, K.R., 2021, Production and acceptability of Tit-Bits made from Wheat and Tiger nut flour blends, Int. J. Academic and Applied Research, 5, 142-147.
- Ge, W., Xu, Y., Niu, M., Jia, C., Zhao, S. 2023, The differentiation between condensed and hydrolysable tannins with different molecular weights in affecting the rheological property of wheat flour-based dough, Journal of Cereal Science, 111, 103666.
- Geisslitz, S., Wieser, H., Scherf, K. A., Koehler, P., 2018, Gluten protein composition and aggregation properties as predictors for bread volume of common Wheat, spelt, durum wheat, emmer and einkorn, Journal of Cereal Science, 83, 204-212.
- Hajnal, E. J. J., Tomić, J., Torbica, A., Rakita, S., Pojić, M., Živančev, D., Dapčević Hadnađev, T., 2014, Content of free amino groups during postharvest Wheat and flour maturation in relation to gluten quality, Food Chemistry, 164, 158-165.

- Hussain, N., Sun, D., Pu, H., 2019, Classical and emerging nondestructive Technologies for safety and quality evaluation of cereals: A review of recente applications, *Trends in Food Science & Technology*, 91, 598-608.
- Jiang, Q., Zhang, M., Mujumdar, A. S., Wang, D., 2023, Nondestructive quality determination of frozen food using NIR spectroscopy-based machine learning and predictive modelling, *Journal of Food Engineering*, 343, 111374.
- Kutsanedzie, F. Y. H., Chen, Q., Hassan, M. M., Yang, Sun, M. H., Rahman, M.H., 2018, Near infrared system coupled chemometric algorithms for enumeration of total fungi count in cocoa beans neat solution, *Food Chem.*, 240, 231-238.
- Lancelot, E., Fontaine, J., Grua-Priol, J., Le-Bail, A., 2021, Effect of long-term storage conditions on wheat flour and bread baking properties, *Food Chemistry*, 346, 128902.
- McCann, T.H., Day, L., 2013, Effect of sodium chloride on gluten network formation, dough microstructure and rheology in relation to breadmaking, *J. Cereal. Sci.*, 57,444-452.
- Minas, I.S., Blanco-Cipollone, F., Sterle, D., 2021, Accurate nondestructive prediction of peach fruit internal quality and physiological maturity with a single scan using near infrared spectroscopy, *Food Chem.*, 335, Article 127626.
- Mironeasa, S., Iuga, M., Zaharia, D., Mironeasa, C., 2019, Rheological analysis of wheat flour dough as influenced by grape peels os diferente particle sizes and addition levels, 12, 228-245.
- Monteiro A.R.G., Nakagawa A., Pimentel T.C., Sousa I. (2021) Increasing saltiness perception and keeping quality properties of low salt bread using inhomogeneous salt distribution achieved with salt agglomerated by waxy starch LWT, 146, art. no. 111451, DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111451
- Moraes, K.S., Zavareze, E.R., Miranda, M.Z., Salas-Mellado, M.M., 2010, Technological evaluation of cookies with lipid and sugar content variations, *Food Science and Technology*, 30, 233-242.
- Nakagawa A., Mendes M.P., Raniero G.Z., Berwig K.P., Pimentel T.C., Monteiro C.C.F., Monteiro A.R.G. (2019) The use of waxy starch and guar gum in total substitution of vegetable oil in extruded snack aromatisation *Chemical Engineering Transactions*, 75, pp. 283 - 288, DOI: 10.3303/CET1975048
- Pomeranz, Y. 1988, *Wheat: chemistry and technology*. St.Paul, MN, USA: AACC International.
- Poser, E. S., Hibbs, A.N. 2005, *Wheat flour milling, chapters*, AACC International, St. Paul, MN, USA. 5–9,185-327.
- Protonotariou, S.; Drakos, A.; Evageliou, V.; Ritzoulis, I. C., 2014 Mandala Sieving fractionation and jet mill micronisation affect the functional properties of wheat flour. *J. Food Eng.*, 134.
- Ranzan, C., Strohm, A., Ranzan, L., Trierweiler, L.F., Hitzmann, B., Trierweiler J.O., 2014, Wheat flour characterisation using NIR and spectral filter based on Ant Colony Optimization, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 132, 133-140.
- SpectraStar XT-R Calibration Library, 2021 available on https://assets-global.website-files.com/63cf34956bc59159af577c42/63cf34956bc591f56a5785f4_SpectraStar%20XT-R%20Unity%20Calibrations%20V1.1%20April%202021.pdf
- Tacer-Caba, Z., Nilufer-Erdil, D., Boyacioglu, M. H., Ng, P.K.W., 2014, Evaluating the effects of amylose and Concord grape extract powder substitution on physicochemical properties of wheat flour extrudates produced at different temperatures, *Food Chemistry*, 157, 1476-1484.
- Ye, D., Sun, L., Zou, B., Zhang, Q., Tan, W., Che, W., 2018, Nondestructive prediction of protein content in Wheat using NIRS *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 189, 463-472.
- Zhang, S., Liu, S., Shen, L., Chen, S., He, L., Liu, A. 2022, Application of near-infrared spectroscopy for the nondestructive analysis of wheat flour: A review, *Current Research in Food Science*, 5, 1305 – 1312.

As Árvores de Regressão associadas à análise rápida por NIR obtiveram estimativas precisas, tanto para as variáveis físico-químicas quanto para as reológicas, quando comparadas com dados obtidos em laboratório. Foi possível construir árvores de regressão com a identificação dos classificadores por nós, ramos e folhas.