

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

MARIA CRISTIANE ANDRADE DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DE ESPECTROSCOPIA DE
INFRAVERMELHO PRÓXIMO PARA TIPIFICAÇÃO DE FARINHA DE
TRIGO**

CAMPO MOURÃO

2026

MARIA CRISTIANE ANDRADE DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DE ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO
PRÓXIMO PARA TIPIFICAÇÃO DE FARINHA DE TRIGO**

**Evaluation of the Application of Near-Infrared Spectroscopy for the Typification
of Wheat Flour**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Alimentos do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Drº Paulo Henrique Março.

CAMPO MOURÃO

2026



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

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



MARIA CRISTIANE ANDRADE DE OLIVEIRA

AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DE ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO PRÓXIMO PARA TIPIIFICAÇÃO DE FARINHA DE TRIGO

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Tecnologia De Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Tecnologia De Alimentos.

Data de aprovação: 01 de Abril de 2026

Dr. Paulo Henrique Marco, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Evandro Bona, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Jose Augusto Da Col, Doutorado - Universidade do Estado de Santa Catarina - Udesc

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 07/07/2026.

Dedico este trabalho à minha família e ao
meu orientador por toda a compreensão.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus e à Virgem Maria, que são o alicerce da minha vida, por me concederem força, fé e perseverança.

À minha família, expresso minha mais profunda gratidão por todo o amor, apoio e compreensão. Em especial, ao meu marido, por estar sempre ao meu lado, por acreditar em mim em momentos em que eu mesma duvidei, e por ser meu maior incentivador. À minha filha, que, por meio da maternidade, me ensinou sobre força, resiliência e amor incondicional, mostrando-me que sou capaz de superar desafios e alcançar meus objetivos, mesmo nos momentos mais difíceis, em que pensei muitas vezes em desistir. Iniciamos juntas nessa caminhada, com você em meu ventre e hoje, terminamos esta etapa com você ao meu lado, dando sentido a tudo que faço e que farei.

Ao meu orientador, deixo meu sincero agradecimento por todo o apoio, dedicação e comprometimento ao longo deste trabalho. Sua orientação foi muito além do que eu poderia esperar, e reconheço que não existem palavras suficientes para expressar plenamente minha gratidão por tudo o que fez por mim. Por não me permitir desistir e fazer muito além do que posso agradecer. Você é um exemplo de ser humano.

Agradeço, de forma especial, ao meu amigo Douglas Carvalho Gregório, por todo o apoio durante os dias no laboratório da UTFPR e também no cotidiano de trabalho, proporcionando momentos de aprendizado, troca de conhecimentos e descontração.

Agradeço à Beatriz Oliveira Secco pelo auxílio em laboratório ao longo da pesquisa. Ao professor Douglas Rutledge por toda contribuição ao trabalho.

Aos meus colegas de trabalho, agradeço pela colaboração na separação das amostras. Estendo também minha gratidão a todos que, de alguma forma, estiveram presentes em minha trajetória.

À banca examinadora, agradeço pela disponibilidade em aceitar o convite, pela compreensão em relação aos prazos e pelas valiosas contribuições para este trabalho.

A todos, o meu muito obrigada.

RESUMO

O trigo e seus derivados, especialmente as farinhas, são amplamente consumidos em todo o mundo. Cada tipo de farinha apresenta características específicas que determinam suas aplicações, tanto no contexto industrial quanto no consumo doméstico. No setor industrial, a qualidade da farinha é monitorada desde o recebimento do trigo em grão até as etapas finais de processamento. No entanto, os métodos tradicionalmente empregados para essa avaliação demandam tempo considerável de análise, e implicam custos elevados decorrentes do uso de reagentes e equipamentos específicos. Nesse contexto, este estudo propõe avaliar o potencial da espectroscopia no infravermelho próximo (NIR, do inglês *Near Infrared*), associada a métodos quimiométricos, como ferramenta para a tipificação de farinhas de trigo. Para isso, foram utilizados dois equipamentos distintos para aquisição dos espectros NIR, buscando-se relacionar os sinais espectrais com parâmetros físico-químicos e reológicos das amostras. Foram considerados o teor de umidade e materiais voláteis, cinzas, proteínas e glúten, além de análises do número de queda (*falling number*), alveografia, farinografia e parâmetros de cor. Ao todo, foram avaliadas 373 amostras de diferentes tipos de farinha de trigo (Tipo 1, Tipo 2, fora de tipo e integral), fornecidas por uma cooperativa agroindustrial da região de Campo Mourão (PR), responsável também pelas análises físico-químicas e reológicas de referência. Para a integração e interpretação dos dados, aplicou-se inicialmente a análise de componentes principais (PCA), seguida da abordagem multiblocos denominada análise por dimensões comuns (ComDim), utilizando como entrada os *scores* obtidos por PCA. Os resultados das análises exploratórias indicam que a espectroscopia no infravermelho próximo apresenta elevado potencial como ferramenta de triagem para a tipificação de farinhas de trigo, fornecendo resultados comparáveis aos obtidos por meio de metodologias convencionais.

Palavras-chave: reologia; quimiometria; NIR; alimentos.

ABSTRACT

Wheat and its derivatives, particularly flours, are widely consumed worldwide. Each type of flour has specific characteristics that determine its applications, both in industrial and household contexts. In the industrial sector, flour quality is monitored from the reception of wheat grains through the final processing stages. However, the methods traditionally employed for this evaluation are time-consuming and often entail high reagent and specialized equipment costs. In this context, the present study aims to evaluate the potential of near-infrared (NIR) spectroscopy, combined with chemometric methods, for wheat flour classification. For this purpose, two instruments were used to acquire NIR spectra, with the aim of relating spectral data to the physicochemical and rheological parameters of the samples. The evaluated parameters included moisture and volatile content, ash, protein, and gluten content, as well as *falling number*, alveography, farinography, and color measurements. A total of 373 samples of different types of wheat flour (Type 1, Type 2, off-type, and whole wheat) were analyzed. The samples were provided by an agro-industrial cooperative located in Campo Mourão, Paraná, Brazil, which also supplied the reference physicochemical and rheological data. For data integration and interpretation, principal component analysis (PCA) was initially applied, followed by the multiblock approach common dimensions analysis (ComDim), using PCA scores as input. The results of the exploratory analyses indicate that near-infrared spectroscopy has strong potential as a screening tool for wheat flour classification, yielding results comparable to those of conventional methods.

Keywords: reology; chemometrics; NIR; food.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Composição do Grão de Trigo	21
Figura 2 - Sistema CIELAB	27
Figura 3 - Representação química da rede de glúten	28
Figura 4 - Influência da atividade enzimática da alfa amilase	32
Figura 5 – Curvas de Alveograma.....	33
Figura 6 - Relação P/L em Alveograma	35
Figura 7 - Gráfico de farinografia.....	37
Figura 8 - Espectros médios obtidos pelo equipamento MicroNIR 1700 JDSU® para amostras de farinha de trigo. (A) Espectros brutos; (B) após processamento.....	49
Figura 9 - Espectros médios obtidos pelo equipamento NIR-S-G1® para amostras de farinha de trigo. (A) Espectros brutos; (B) após processamento .	50
Figura 10 - (A) Scores da PC 1 x PC 2 x PC 3; (B) respectivos loadings.....	51
Figura 11 - Scores das análises físico-químicas das amostras em (A) PC 1; (B) PC 2; (C) PC 3	52
Figura 12 - Scores dos espectros MicroNIR 1700 JDSU® das amostras de farinha: PC 1 x PC 2 x PC 3	54
Figura 13 - Scores dos espectros MicroNIR 1700 JDSU® das amostras de farinha (A) PC 1; (B) PC 2; (C) PC 3	55
Figura 14 - Loadings dos espectros MicroNIR 1700 JDSU® para a (A) PC 1; (B) PC 2; (C) PC 3	56
Figura 15 - Scores dos espectros NIR-S-G1® para a (A) PC 1; (B) PC 2; (C) PC 3	57
Figura 16 - Scores dos espectros NIR-S-G1® das amostras de farinha (A) PC 1; (B) PC 2; (C) PC 3	57
Figura 17 - Loadings dos espectros NIR-S-G1® para a (A) PC 1; (B) PC 2; (C) PC 3	58
Figura 18 - Saliências obtidas após aplicação de ComDim nos dados físico-químicos (FQ), MicroNIR 1700 JDSU® (NIRV) e NIR-S-G1(NIRT)	59
Figura 19 - Scores globais de ComDim para as 6 componentes exploradas	60
Figura 20 - Scores globais de CC 1, CC 2 e CC 3: farinhas de trigo de diferentes tipos.....	61
Figura 21 - Scores locais: bloco de análises físico-químicas	62
Figura 22 - Loadings locais: bloco de análises físico-químicas. (1) Umidade e Material Volátil; (2) Teor Cinzas; (3) Glúten Úmido; (4) Glúten Seco; (5) Proteína Base Seca; (6) Falling Number; (7) Tenacidade; (8) Extensibilidade; (9) Razão entre Tenacidade e Extensibilidade; (10) Índice de Elasticidade; (11) Energia de Deformação; (12) Absorção de Água; (13) Estabilidade; (14) Tempo de Desenvolvimento da Massa; (15) Índice de Tolerância à Mistura; (16) L; (17) a; (18) b.....	63

Figura 23 - Scores locais: bloco de análises espectroscópicas no equipamento MicroNIR 1700 JDSU®.	64
Figura 24 - Loadings locais: bloco de análises espectroscópicas no equipamento MicroNIR 1700 JDSU®.	65
Figura 25 - Scores locais: bloco de análises espectroscópicas no equipamento NIR-S-G1®.....	66
Figura 26 - Loadings locais: bloco de análises espectroscópicas no equipamento NIR-S-G1®.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química do grão de trigo integral, do farelo, do endosperma e do gérmen (% base seca)	21
Tabela 2 - Classificação do trigo de acordo com o pH	22
Tabela 3 - Classificação de farinhas de trigo – Instrução normativa Nº08 de 2005-MAPA.....	23
Tabela 4 - Classificação da qualidade da farinha segundo a interpretação de Farinografia.....	37
Tabela 5 - Especificação de farinha para utilização em produtos de acordo com a Farinografia.....	38

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

LISTA DE ABREVIATURAS

a.C. Antes de Cristo

LISTA DE SIGLAS

ICTA	Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos
USDA	United States Department of Agriculture
AACC	Associação Americana de Químicos de Cereais

LISTA DE ACRÔNIMOS

CIELAB	Sistema Internacional de Cores
MAPA	Ministério da Agricultura e Pecuária
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ABITRIGO	Associação Brasileira da Indústria de Trigo
SINDITRIGO	Sindicato da Indústria do Trigo
ANVISA	Agência Nacional da Vigilância Sanitária
NIR	Espectroscopia de Infravermelho Próximo
PCA	Análise de Componentes Principais

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICO	16
2.1 OBJETIVO GERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1 TRIGO	17
3.2 COMPOSIÇÃO DO GRÃO DE TRIGO E DA FARINHA DE TRIGO	20
3.3 CLASSIFICAÇÃO DO TRIGO E DA FARINHA DE TRIGO	22
4 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA FARINHA DE TRIGO.....	24
4.1 TEOR DE UMIDADE E MATERIAL VOLÁTIL	25
4.2 COLORIMETRIA	26
4.3 DETERMINAÇÃO DE GLÚTEN	27
4.4 DETERMINAÇÃO DE CINZAS	29
4.5 FALLING NUMBER OU NÚMERO DE QUEDA.....	30
4.6 ALVEOGRAFIA	32
4.7 FARINOGRAFIA	35
4.8 DETERMINAÇÃO DE PROTEÍNAS	38
5 ESPECTROSCOPIA POR INFRAVERMELHO NIR	39
6 QUIMIOMETRIA.....	41
6.1 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA)	41
6.2 ANÁLISE POR DIMENSÕES COMUNS (COMDIM)	42
7 MATERIAIS E MÉTODOS.....	44
7.1 MÉTODOS DE REFERÊNCIA.....	44
7.2 MEDIDAS ESPECTROSCÓPICAS POR NIR	47
7.3 TRATAMENTO DOS DADOS	48
8 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
9 CONCLUSÃO.....	76
REFERÊNCIAS.....	77

1 INTRODUÇÃO

O grão de trigo é classificado como pertencente à família *Poaceae*, subfamília *Pooideae* e ao gênero *Triticum*. Sua existência permeia cerca de 30 variedades de trigo sendo apenas metade cultivada para uso industrial e doméstico. Destas, apenas três espécies são cultivadas em escala mundial, correspondendo à 90% deste cultivo. O *Triticum aestivum*, chamado de trigo comum, é o mais cultivado e utilizado para panificação. O *Triticum compactum* por sua vez, é utilizado para a fabricação de biscoitos e bolos, atribuindo características de maior maciez e menor crocância. Em contrapartida devido à composição de glúten, temos o *Triticum durum* indicado para uso em massas alimentícias (ABITRIGO, 2015).

A farinha de trigo, originada da moagem de grãos de trigo, é um produto fundamental na alimentação mundial, fazendo parte da alimentação cotidiana ao transformar-se em pães, massas, bolos e biscoitos, além de fácil utilização em demais formulações alimentares. A farinha extraída do grão é composta sobretudo de amido (70 - 75%), água (12 - 14%), proteínas (8 - 16%) e outros constituintes menores, como polissacarídeos não amiláceos (2 - 3%), lipídeos (2%) e cinzas (1%). O desempenho tecnológico da farinha é decorrente da composição química do grão, o que interfere diretamente nas características funcionais e tecnológicas desta farinha, além de impactar diretamente nas propriedades estruturais e microbiológicas, definindo a qualidade da farinha de trigo (Pereira *et al.*, 2004).

Sabe-se que a definição de qualidade envolve múltiplos aspectos simultâneos, e sofre alterações conceituais ao longo do tempo (Paladini, 1996). Em uma indústria alimentícia de farináceos, é fundamental o conhecimento de características intrínsecas destas farinhas geradas, pois estas exercem impacto direto sobre os resultados dos produtos. Assim, para a manutenção dos padrões de qualidade da farinha em um moinho de trigo, é necessário o acompanhamento da qualidade por meio de análises em laboratório especializado, tanto na matéria-prima (trigo grão) quanto na farinha, ao longo dos diferentes estágios de produção.

Diversos fatores desempenham papéis fundamentais no processo de produção de alimentos. Em farinhas de trigo, suas propriedades de umidade, teor de matéria mineral, teor de proteínas, força e elasticidade (alveografia), absorção e

estabilidade (farinografia), bem como a colorimetria, norteiam a destinação correta de para uso em diversas finalidades (Esteller, 2004).

Uma farinha branca é produzida por meio do peneiramento único do endosperma do trigo, exigindo a remoção do farelo e do germe neste processo. No moinho de trigo, os rolos do equipamento possuem a função de triturar o germe e o farelo, o que faz com que o endosperma fique em pedaços menores. A posterior peneiração neste equipamento remove o germe e segrega o farelo. O purificador deste equipamento por meio de uma corrente de ar controlada, separa o farelo e endosperma. Assim, após várias passagens pelo ciclo de moagem, peneiragem e purificação, o endosperma transforma-se em farinha de trigo (Pinto, 2010).

Industrialmente, a moagem impacta diretamente a qualidade tecnológica da farinha. Uma farinha com cerca de 70% de extração, por exemplo, será composta apenas de endosperma, enquanto farinhas com percentuais de extração mais elevados evidenciam-se escuras, devido ao carregamento de outras partes do grão além do endosperma. Esta extração mais elevada acarreta o aumento nos teores de proteínas e fibras (Germani, 2008).

De acordo com a Instrução Normativa número 08 de 02 de junho de 2005, do Ministério da Agricultura e Pecuária, o teor de umidade máximo da farinha de trigo é de 15%. A necessidade de corrigir a umidade aplica-se diretamente ao processo de moagem do grão, tendo em vista grãos com baixos percentuais de umidade ao serem submetidos à moagem, fornecerem farinhas com cinzas e colorimetria elevados, decorrentes dos elevados percentuais de farelo advindos da extração.

Em uma indústria de farináceos, é fundamental que o controle de qualidade busque por métodos ágeis e confiáveis, que garantam a reprodutibilidade e representem fielmente a qualidade do produto (Zardo, 2010).

Neste sentido, destaca-se a possibilidade do emprego da quimiometria, associada a técnicas analíticas que permitem viabilizar a aplicação de metodologias alternativas às convencionais que demandam de elevados períodos de análise. A quimiometria dedica-se à análise de dados químicos multivariados (Ferreira *et al.*, 1999). Data-se em 1971 por Svante Wold a criação do primeiro programa computacional integrado à métodos químicos e dados estatísticos, nomeado como “ARTHUR” (Ferreira, 2015). Logo, a quimiometria considera-se a relação entre

múltiplas variáveis analisadas simultaneamente, associando matemática e estatística à química, promovendo a interdisciplinaridade entre as áreas (Ferreira, 2015). Seu uso impulsiona uma maior extração de informações ao permitir reconhecimento de padrões e extração de sinais puros, além de calibrações utilizando múltiplas variáveis, formas de classificação utilizando vários parâmetros simultaneamente, e abordagens associadas a comportamentos não lineares de dados (Wold; Esbensen; Geladi, 1987).

Considerando a importância destes conceitos, neste estudo utilizam-se abordagens exploratórias para verificar a relação entre a espectroscopia na região do infravermelho próximo e técnicas de extração de informações físico-químicas e reológicas de farinhas de trigo de diferentes tipos, a fim de oferecer ferramentas alternativas para o controle de qualidade industrialmente, otimizando processos e minimizando a influência de possíveis falhas em metodologias convencionais decorrentes de análises humanas.

2 OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICO

2.1 Objetivo geral

Avaliar a capacidade de aplicar a espectroscopia no infravermelho próximo para tipificar farinhas de trigo.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar, de forma exploratória, a capacidade da espectroscopia NIR em reconhecer padrões de tipos de farinhas utilizando análise de componentes principais;
- Analisar comparativamente a performance de dois equipamentos para medidas no infravermelho próximo na capacidade de tipificação de farinhas de trigo;
- Aplicar a análise multiblocos ComDim para verificar a relação entre as variáveis físico-químicas e reológicas e as regiões espectrais.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Trigo

A agricultura domina diversos setores, principalmente o alimentício em escala mundial. Trata-se de um setor com o cultivo de diferentes culturas, das quais o trigo possui uma história de cultivo e mercado que é datada há 2.000 a. C. e 4.000 a.C., onde os chineses e os egípcios já o cultivavam buscando técnicas que pudessem aprimorar suas metodologias de cultivo e de fermentação para a produção de pães e massas. Além de alimento, a cultura tornou-se também símbolo da vida no cristianismo e, entre os judeus, em suas comemorações da Páscoa judaica (Abitrigo, 2025).

Em território brasileiro, por volta de 1534, esta cultura passou a ser cultivada inicialmente na capitania de São Vicente. Registra-se que em 1737, o estado do Rio Grande do Sul iniciou o cultivo e exportação desta gramínea, impulsionando no desenvolvimento de entidades públicas que buscassem melhoramentos de culturas para viabilidade no mercado de exportações. Além disso, a partir da década de 40, iniciou-se seu cultivo em larga escala, principalmente no Paraná e Rio Grande do Sul (Abitrigo, 2025).

Estas entidades públicas brasileiras iniciaram seu desenvolvimento a partir do ano de 1962, surgindo o Departamento Geral de Comercialização de Trigo Nacional (CTRIN), seguido da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), ambos originados em 1973, e da Associação Brasileira da Indústria do Trigo (ABITRIGO), criada em 1991 (Sinditrigo, 2025). O cultivo dessa gramínea se estendeu por todas as regiões brasileiras, predominantemente na região Sul, especialmente no estado do Paraná.

De acordo com o 5º Levantamento da Safra de Grãos 2024/25, divulgado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), estimava-se que os produtores brasileiros colhariam 325,7 milhões de toneladas de grãos na safra 2024/25, o que representaria um crescimento de 9,4% em relação à safra anterior. Esta estimativa representaria um aumento de 2,1% na área cultivada, estimada em 81,6 milhões de

hectares, bem como uma recuperação de 7,1% na produtividade média das lavouras, prevista em 3.990 kg por hectare (Conab, 2025).

De acordo com o presidente do CONAB, Sr. Edegar Pretto:

O Brasil terá em 2025 a maior safra da história, com previsão de 325,7 milhões de toneladas. Para as culturas de inverno, as primeiras estimativas, resultantes de modelos estatísticos, análise de mercado, previsões climáticas e informações preliminares, indicam a produção de trigo, principal produto cultivado, em 9,1 milhões de toneladas. O início do plantio no Paraná tem início a partir de meados de abril e no Rio Grande do Sul em maio. Os estados representam 80% da produção tritícola do país (Conab, 2025).

De acordo com dados atuais publicados pela SINDITRIGO, o Brasil colheu um volume recorde em 2024/25, conforme o 12º levantamento da Conab. Entretanto, estimava-se para o trigo uma colheita de 7,5 milhões de toneladas, que, por sua vez, registrou uma queda de 4% em relação à temporada anterior. Esta queda esteve relacionada a fatores climáticos, contudo, mesmo diante deste cenário, o volume gerado se manteve para atendimento ao mercado interno (Conab, 2026).

As características do trigo, bem como sua qualidade resulta de seu desenvolvimento durante o cultivo, afetada por seu genótipo, ambiente e pela interação de ambos (Studinick *et al.*, 2016). O grão do trigo pode classificar-se de acordo com o número de cromossomos ou com o genoma. De acordo com Mundstock (1983), o gênero *Triticum* possui sete cromossomos que formam todas as espécies da cultura e as combinações desses cromossomos formam o genoma, denominado A, B e D. Para Fornasieri (2008), o sete espécies constituem o gênero, com as diploides possuindo sete cromossomos chamadas AA, as de 14 cromossomos tetraploides denominadas AABB e as com 21 cromossomos hexaploides denominadas AABBDD, sendo este último o mais utilizado para panificação. Este genoma D é composto por proteínas e glúten que permitem melhor performance panificável, destacando-se as espécies *T. vulgare*, *T. compactum*, *T. spelta* e *T. aestivum* (Mundstock, 1983).

Desta forma, de acordo com suas características de utilização, o trigo em grão e sua semente possuem determinado valor para sua comercialização. Estes valores são estabelecidos conforme o artigo 5º do Decreto-Lei nº 79/1966, em que as propostas de preços mínimos devem considerar os diversos fatores que influenciam

as cotações dos mercados interno e externo, além dos custos de produção (Brasil, 2025).

De acordo com a Portaria nº 780, de 10 de março de 2025, que “*Publica os preços mínimos para o café, a laranja, o sisal, o trigo em grãos e semente de trigo da safra 2025/2026*”, os valores definidos para a comercialização do Trigo de acordo com seu tipo (básico, doméstico, pão e melhorador) em 2026, variaram com aumento de 3% para as regiões Sudeste, Centro-Oeste e Bahia, enquanto para a região Sul, não houve variação. Esta definição de valores dá-se conforme genética, básica e certificada, S1 e S2, classificadas conforme o Artigo 32 do Decreto 10.586, de 18 de dezembro de 2020, que regulamenta a Lei nº 10.711, de 5 de agosto de 2003, estabelecendo os valores comerciais da semente de trigo de acordo com sua qualidade. Os preços do trigo enquanto semente foram de R\$ 3,22 kg, apresentando variação de 0% em relação à safra de 2024/25 (Mapa, 2026).

Devido à sua elevada complexidade genética, às limitações fenotípicas e à variabilidade ambiental que afetam diretamente a cultura, como afetou nos últimos anos, o trigo tem sido amplamente estudado sob a perspectiva do melhoramento genético. Nesse contexto, destacam-se abordagens modernas com uso de redes de dados integradas (genótipo–fenótipo–ambiente), modelagem preditiva com inteligência artificial e exploração de bancos de germoplasma subutilizados, conforme proposto por Rafiei *et al.*, (2024).

Neste contexto, Merrick *et al.*, (2022), também apresentaram um estudo científico avaliando a aplicação da seleção genômica para melhoramento da cultura para promoção de espécies mais produtivas e resilientes à fatores ambientais. O trigo hexaplóide também foi avaliado por Wan *et al.*, (2023), como ampliação da base genética de trigo cultivado, possibilitando o aumento do rendimento e a melhoria das características agronômicas.

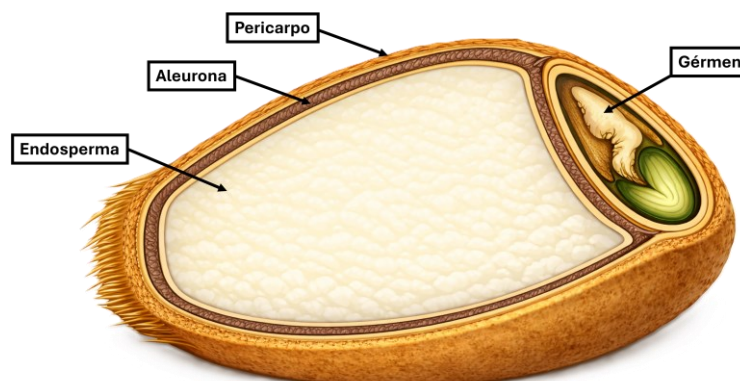
Estes estudos alinham-se às informações apresentadas pelo *United States Department of Agriculture* (USDA, 2016), que destaca a importância do trigo na alimentação mundial. Trata-se de um grão que seu cultivo ocupa mais de 17% das terras cultiváveis mundialmente e representa cerca de 30% da produção mundial de grãos, com grande relevância no quesito de segurança alimentar.

Em território brasileiro, a produção e o desenvolvimento da cultura relacionado ao melhoramento genético e à biossegurança, são regulamentados por um sistema governamental composto por órgãos públicos distintos. Destacam-se, neste sentido, o CTNBio, o MAPA, a ANVISA e o IBAMA, atuando na avaliação de riscos à saúde humana e ao meio ambiente, à biossegurança, bem como na regulação da produção e comercialização. Logo, as discussões relacionadas aos aspectos supracitados demandam de avanços científicos e regulatórios.

3.2 Composição do grão de trigo e da farinha de trigo

O trigo é definido nacionalmente como um cereal nobre, decorrente de sua farinha ser a única com capacidade de formar uma massa viscoelástica ao ser misturada com água. Esta rede é construída por meio da junção de duas proteínas: a gliadina e a glutenina, as quais fornecem características próprias à massa ao serem misturadas com a água e submetidas à tratamentos mecânicos decorrentes da composição bioquímica do grão. Esta massa, por sua vez, promoverá a retenção dos gases produzidos durante o processo de fermentação pelas enzimas, além de elasticidade e tenacidade, bem como extensibilidade (Mandarino, 1994).

A semente de trigo (Figura 1) é constituída pelo pericarpo, endosperma e pelo gérmen (Gwirtz *et al.*, 2014). Este endosperma é formado por amido e as proteínas se concentram nas partes externas. O pericarpo é composto por pentoses, celulose e cinzas. Já o gérmen, por sua vez, possui elevado teor de proteínas, lipídios, açúcares redutores e cinzas (Embrapa, 2006).

Figura 1 - Composição do Grão de Trigo

Fonte: Inteligência Artificial (Copilot, 2026) com base em Conab (2016).

Durante o processo de moagem de uma farinha de trigo, é necessário que a recepção, estocagem, condicionamento (umidificação) e a moagem dos grãos, bem como a estocagem e a embalagem, sejam realizados corretamente, assim como o armazenamento desta farinha em condições ideais (Conab, 2016).

De acordo com a Instrução Normativa nº 38, de 30 de novembro de 2010, do MAPA (Brasil, 2010), o trigo destinado à moagem classifica-se em categorias, sendo: melhorador, pão, doméstico, básico e para outros usos. Dentre essas classes, o trigo melhorador destaca-se como o de maior valor tecnológico, devido à sua composição proteica que promoverá elevada força de glúten e estabilidade. A Tabela 1 apresenta a classificação citada acima.

Tabela 1 - Composição química do grão de trigo integral, do farelo, do endosperma e do gérmen (% base seca)

Parâmetro	Grão Integral	Farelo	Endosperma	Gérmen
Massa	100g	17g	80g	3g
Carboidratos	82%	61%	88%	56%
Proteínas	12%	11%	10%	26%
Lipídios	2%	5%	1%	10%
Fibra Total	2%	14%	>0,5%	3%
Cinzas	1,5%	9%	0,5%	5%

Fonte: Gwirtz *et al.*, (2014).

Durante o processo de moagem, os componentes gerados são carregados diversas vezes para passarem por *plansifter's* para que haja o peneiramento. Para Lovera (2020), em um moinho de porte médio, é possível obter 40 tipos de farinha com características distintas, em diferentes porcentagens.

Os componentes bioquímicos presentes em uma farinha extraída dependem diretamente do trigo moído e do percentual de endosperma, gérmen e farelo extraídos na moagem, constituindo-se de cerca de 70 à 75% de amido, 12 à 14% de umidade, 8 à 16% de proteínas, 2 à 3% de lipídios e apenas 1% de cinzas (Scheuer *et al.*, 2011).

Esta composição da farinha de trigo lhe conferirá características tecnológicas e adequação para ser utilizada em diferentes processos de produção (Indisia, 2025).

3.3 Classificação do trigo e da farinha de trigo

Segundo Nitzke (2020), muitas atividades industriais dependem da interação humana. A classificação da farinha de trigo, por exemplo, é realizada com base em suas características físico-químicas, a fim de destiná-la corretamente à sua utilização.

A classificação de um cereal fundamenta a correta aplicação para diversas finalidades de produtos, garantindo que confira a ele atributos de qualidade. Para o trigo, esta qualidade inicia-se no grão e em sua moagem (Guariente, 1996). A Tabela 2 relaciona o peso hectolitro (avaliado pelo pH) e a classificação dos grãos de trigo:

Tabela 2 - Classificação do trigo de acordo com o pH

pH	Classe
50-70	Trigos anormais
71-73	Trigos leves
74-77	Trigos médios
78-80	Trigos pesados
>80	Trigos muito pesados

Fonte: Senai (2015).

De acordo com a Instrução Normativa nº 38 de dezembro de 2010 (Brasil, 2010), há um limite máximo de impurezas presentes no trigo durante sua classificação

em Grupo I e Grupo II. Trigos do Grupo I destinam-se diretamente à alimentação humana, enquanto o trigo do Grupo II destina-se a outras finalidades. Trigos denominados “Fora de Tipo” não podem ser comercializados como se apresentam, devendo ser rebeneficiados.

No Brasil, o processo de fabricação de farinhas é regulamentado pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), que estabelece sua classificação em categorias Tipo 1, 2 e 3, com limites físico-químicos e granulométricos para a partícula da farinha de trigo após a extração. As categorias estão apresentadas na Tabela 6 (Brasil, 2005). Vale destacar ainda que farinhas integrais, especialmente, são regulamentadas pela RDC nº493 de 15 de abril de 2021, a qual *“Dispõe sobre os requisitos de composição e rotulagem dos alimentos contendo cereais para classificação e identificação como integral e para destaque da presença de ingredientes integrais”*.

Tabela 3 - Classificação de farinhas de trigo – Instrução normativa Nº08 de 2005-MAPA

Tipo	Teor Cinzas % (Matéria Mineral)	Granulometria	Teor de Proteínas % (Mínimo)	Acidez mg de KOH. 100g-1 (máximo)	Teor de Umidade % (máximo)
Tipo 1	0,8	95% - 250 µm	7,5	100	15
Tipo 2	1,4		8	-	-
Tipo 3	2,5		8	100	-

Fonte: Brasil (2005).

4 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA FARINHA DE TRIGO

Para a garantia da qualidade da matéria-prima de produtos alimentícios, não podem ocorrer variações na qualidade desta, o que deve ser minuciosamente controlado no cotidiano industrial, de forma a garantir ao consumidor produtos fiéis que retratem a qualidade assegurada pela empresa (Germani, 2008).

De acordo com Nitzke & Thys (2020), uma farinha de trigo é aquela que atende às especificações de um determinado produto final, garantindo excelentes características organolépticas, nutricionais e de bom valor comercial.

Logo, torna-se crucial que a indústria alimentícia realize o controle de qualidade das farinhas de trigo. Além disso, sabemos que o tempo é precioso em um processo produtivo, sendo necessárias alternativas confiáveis que possam otimizar esses processos, contribuindo significativamente para a inovação na tecnologia de alimentos.

A indústria alimentícia adequa-se rotineiramente às exigências do mercado. Produtos farináceos exigem padrões de qualidade superiores, o que requer um controle adequado dos processos utilizados na rotina para o monitoramento das farinhas de trigo. Diferentes farinhas de trigo são obtidas a partir de graus de extração e de trigos com genótipos distintos, o que impacta diretamente sua composição bioquímica e sua qualidade tecnológica.

Para este controle, estabelecem-se padrões a serem seguidos que permitem distinguir estes produtos. De acordo com a legislação brasileira, as farinhas de trigo devem ser classificadas em produtos destinados à alimentação humana e animal, bem como para outros usos. Para isso, a indústria moageira segue parâmetros de Controle da Qualidade que são monitorados rigorosamente, garantindo características ideais físico-químicas e reológicas. Os parâmetros controlados são: umidade, matéria mineral (cinzas), glúten, proteínas, atividade enzimática (*Falling Number*), alveografia, farinografia e colorimetria (Lanzarini, 2020).

Para a garantia da qualidade da matéria-prima de produtos alimentícios, não podem ocorrer variações na qualidade desta, o que deve ser minuciosamente controlado no cotidiano industrial, de forma a garantir ao consumidor produtos fiéis que retratem a qualidade assegurada pela empresa (Germani, 2008).

De acordo com Nitzke & Thys (2020), uma farinha de trigo ideal é aquela que atende às especificações de um determinado produto final, garantindo excelentes características organolépticas, nutricionais e de bom valor comercial.

Logo, torna-se crucial que a indústria alimentícia realize o controle de qualidade das farinhas de trigo. Além disso, sabemos que o tempo é precioso em um processo produtivo, sendo necessárias alternativas confiáveis que possam otimizar esses processos, contribuindo significativamente para a inovação na tecnologia de alimentos.

4.1 Teor de umidade e material volátil

O controle da umidade da farinha tem importância econômica, pois é comercializada em base úmida e essa matéria-prima com umidade acima de 15% tende a formar grumos, o que interfere diretamente em sua aplicação (Ciaccio & Chang, 1986).

Conforme a Resolução nº 711, de 1º de julho de 2022, para melhor conservação, a umidade da farinha de trigo não deve exceder a 15% (Brasil, 2022), pois em excesso acarretará alterações bioquímicas e microbiológica indesejáveis (Auris; Evelina; Rafael, 2012).

Esta determinação dá-se por meio da secagem por infravermelho, na qual o equipamento registra por meio da diferença de peso entre a amostra inicial e a final o percentual de umidade do produto ao receber radiação na região do infravermelho e evaporar a água contida na matriz (Brasil, 2022).

Este parâmetro também é importante para determinar seu valor comercial e controle da vida útil (Moreta, 2015). Em escala laboratorial o conhecimento do teor de umidade da farinha é fundamental, pois será utilizado em outras análises de qualidade físico-químicas e reológicas, como a alveografia, *falling number*, cinzas, proteína, farinografia e amido danificado.

4.2 Colorimetria

De acordo com as regulamentações nacionais, a farinha de trigo deve apresentar coloração branca, com tons leves de amarelo, marrom ou cinza, na qual a cor dependerá do tempo de armazenamento; o que também pode modificar sensorialmente e nutricionalmente o produto, tornando-se indesejável (Brasil, 2005). Esta colorimetria pode impactar negativamente um produto de forma direta ao evidenciar seu teor de carotenóides, proteínas e fibras, bem como indicar a presença de impurezas decorrentes da moagem (Icta, 2018).

A cor resulta da combinação entre o brilho e o amarelamento da matriz. O “brilho” é influenciado pelo teor de farelo, já o “amarelamento” advém do teor de carotenoides presentes na aleurona do grão. Estas características são inerentes ao grão do trigo e decorrem de suas propriedades genéticas. Contudo, o amarelamento também pode ser atribuído ao armazenamento e aos percentuais de extração durante o processo de moagem (Hidalgo *et al.*, 2014).

Para panificação, a farinha extraída deve ser branca ou levemente amarelada, sem pontos escuros (resíduos de farelo). Para a análise de cor de uma farinha, não há necessidade prévia de preparo da amostra, sendo necessário somente a homogeneização da matriz (Nitzke, 2020).

Esta análise é realizada em laboratório por meio do sistema CIELAB de cores, na qual os valores de L^* vão de 0 a 100, o que significa que, quanto mais branca for a farinha, maior será o valor de L^* , ou seja, estará mais próximo de 100. O 100 corresponde ao branco total enquanto o 0 equivale ao preto total. Para farinhas brancas direcionadas à área de massas é desejável valores acima de 93,00, a depender da finalidade (Ortolan *et al.*, 2006).

Trata-se de uma análise rápida e de fácil interpretação ao captar nuances que o olho humano não é capaz. O colorímetro avalia a cor e as traduz em números (Santos *et al.*, 2015).

De acordo com Bartaburu (2021), este resultado obtido é registrado pelo sistema CIELAB. O equipamento utilizado em laboratórios de controle de qualidade industriais, possui a capacidade de leitura por reflectância, registrando as nuances obtidas no sistema de L , a e b , sendo respectivamente:

L: mede a claridade e varia de 0 a 100

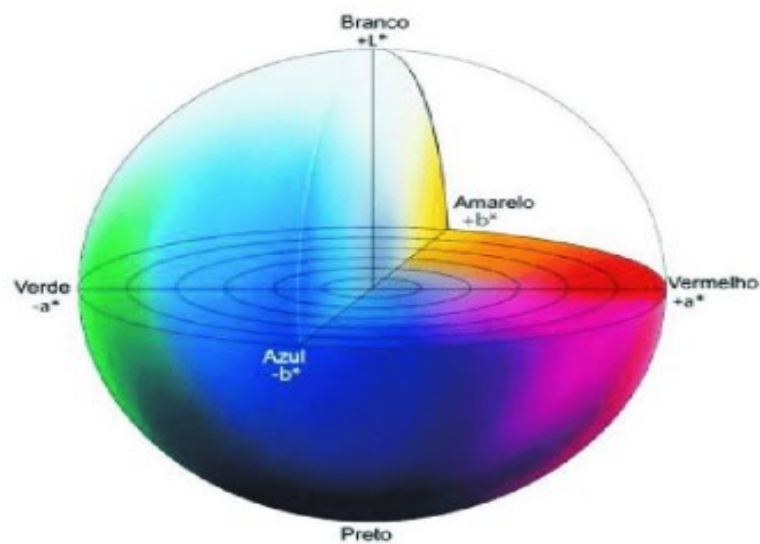
a +: predominante para o vermelho;

a -: predominante para o verde;

b +: predominante para o amarelo;

b -: predominante para o azul.

Figura 2 - Sistema CIELAB

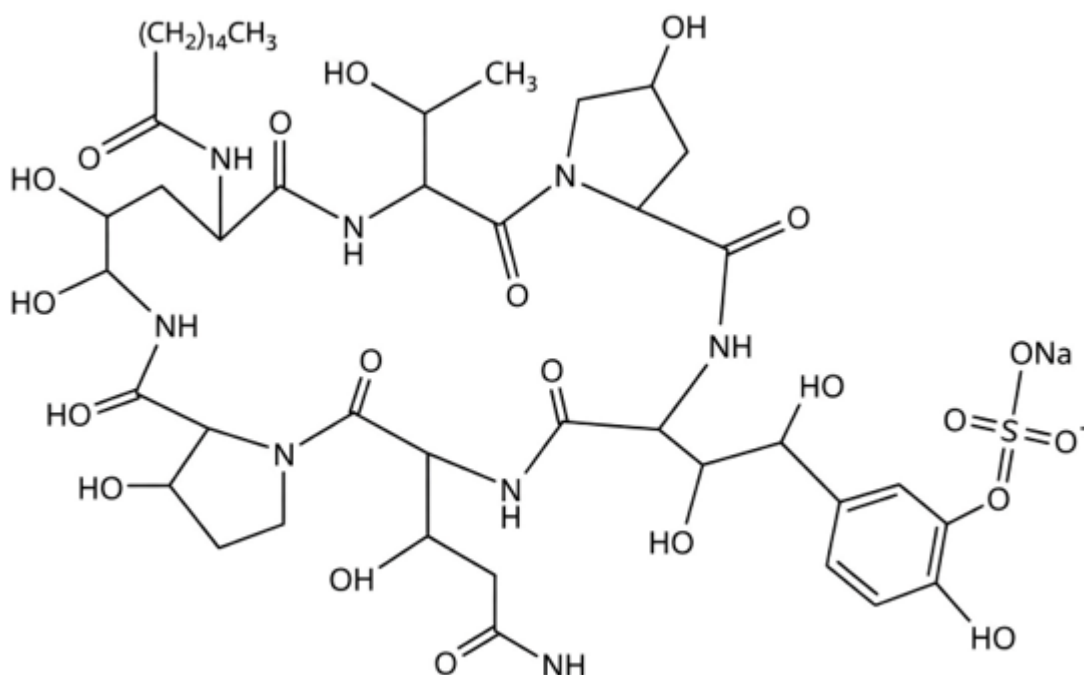


Fonte: Konica Minolta (2026).

4.3 Determinação de glúten

A determinação do teor de glúten em uma farinha permite estimar a quantidade e a qualidade das proteínas que a compõem. O glúten forma-se quando a farinha de trigo e a água são misturadas e submetidas a trabalho mecânico no qual as proteínas insolúveis (gliadina e glutenina) formam a rede proteica denominado glúten (Scheuer *et al.*, 2011).

Figura 3 - Representação química da rede de glúten



Fonte: Sulbach (2015).

Segundo Santos (2015), cerca de 13% do grão de trigo é constituído de proteínas, na qual a rede de glúten proteica formada representa 85% deste total, com impacto direto nas propriedades reológicas da farinha de trigo. O glúten retém a produção de gás carbônico durante o processo de fermentação e fornece as características para pães, enquanto para massas frescas, promove elasticidade e tenacidade.

Farinhas de trigo que apresentam elevados teores de glúten úmido, são classificadas como fortes, enquanto as com baixos teores são denominadas fracas. Contudo, este julgamento deve ser criterioso, uma vez que essa denominação advém da qualidade das proteínas que constituem a rede proteica. A proteína denominada gliadina determina a viscosidade e confere características de fluidez facilitando esticar uma massa. Já a glutenina, confere elasticidade e rigidez à massa, para que submetida à tratamento mecânico, volte rapidamente ao seu estado inicial sem deformações (Neves, 2013).

Segundo Yonemoto (2007), massas de farinha de trigo moles possuem baixo teor de glúten, resultando em massas fracas com baixa absorção de água, destinadas para biscoitos (cookies e crackers), bolos e tortas. Em contrapartida, farinhas fortes, advindas de moagem de trigos *durum*, possuem altos teores de proteínas que favorecem a correta absorção de água, fornecendo maior qualidade tecnológica na rede de glúten para a elaboração de panificados. O trigo *durum*, por sua vez, é comercializado para a produção de sêmolas e semolinas para a produção de massas.

Para a análise desta rede proteica viscoelástica conhecida como “glúten”, industrialmente utilizam-se equipamentos que promovem a lavagem da farinha com uma solução salina resultando na retirada das proteínas solúveis, permanecendo apenas as proteínas insolúveis, que posteriormente passam por processo de centrifugação e secagem, gerando o glúten úmido e seco em percentual por amostra.

Esta rede possui restrição de consumo por pessoas acometidas pela doença celíaca (Brandão, 2011). Devido a esta doença, tornou-se obrigatória na rotulagem a advertência sobre a presença ou não do glúten nos rótulos dos produtos alimentícios industrializados, conforme a Lei nº 10.674 de 2003 (Brasil, 2003).

4.4 Determinação de cinzas

Os minerais estão presentes em uma porção do grão de trigo, com menor concentração no endosperma. Este conteúdo de cinzas é expresso laboratorialmente em porcentagem.

O teor mineral especialmente em farinhas de trigo, possuem a finalidade de indicar o grau de separação do endosperma e do farelo advindos do processo de moagem, pois a aleurona e o farelo possuem maiores teores de minerais do que o endosperma. Este teor de matéria mineral é o principal parâmetro de identificação dos tipos de farinha: quanto mais clara uma farinha, menor é o teor de cinzas; quanto mais escura, maior o teor de cinzas, relacionando-se ao processo de moagem (Cezar, 2012).

Os minerais encontrados nas farinhas são: ferro, sódio, potássio, magnésio e fósforo. Maiores graus de extração promovem maior teor destes minerais e fibras,

além de consequentemente cor mais escura. Este conteúdo de cinzas varia de acordo com a variedade do grão bem como condições de plantio. Conteúdos elevados apresentam consequentemente menor cocção e qualidade da rede de glúten (ICTA, 2013).

As análises de cinzas podem indicar ainda adulterações de produtos, como a adição de areia a farinhas (Ristow, 2015). Esta determinação centesimal é realizada em Muflas com elevada capacidade de aquecimento, variando de 600 °C para farinhas brancas e de 900 °C para farelos.

4.5 Falling number ou número de queda

O número de queda (*Falling Number*), possui a finalidade de caracterizar as farinhas de trigo quanto à atividade das enzimas alfa-amilases, evidenciando sua capacidade de fermentação durante a panificação ao hidrolizar o amido e transformar em açúcares, como as dextrinas, que são hidrolisadas pela beta-amilase, resultando em moléculas de maltose. Este último, por sua vez, melhora as características reológicas do pão ao ser utilizada pelos microrganismos fermenticíveis (Santos *et al.*, 2015).

Trata-se de uma metodologia originalmente sueca que mede, em segundos, o tempo de queda de um êmbolo em um tubo com uma mistura de farinha de trigo e água, para avaliar a atividade enzimática nesta mistura (Calibre, 2019). O êmbolo percorre uma distância fixa neste tubo atravessando uma suspensão de gel de amido, que é liquefeita por hidrólise enzimática. Quanto menor o tempo de percurso, maior é a atividade enzimática e vice-versa. Considera-se um padrão de boa qualidade as farinhas cujos resultados variam entre 250 e 350 segundos (Santos *et al.*, 2015).

A enzima alfa-amilase liquefaz este amido desta mistura em função de sua quantidade atuante. Desta forma, o método assemelha-se às condições de forneamento dos pães (Icta, 2013).

Farinhas com elevada atividade enzimática geram pães pesados de baixo volume e de miolo aglutinoso, proveniente do excesso de dextrinas. Já as farinhas

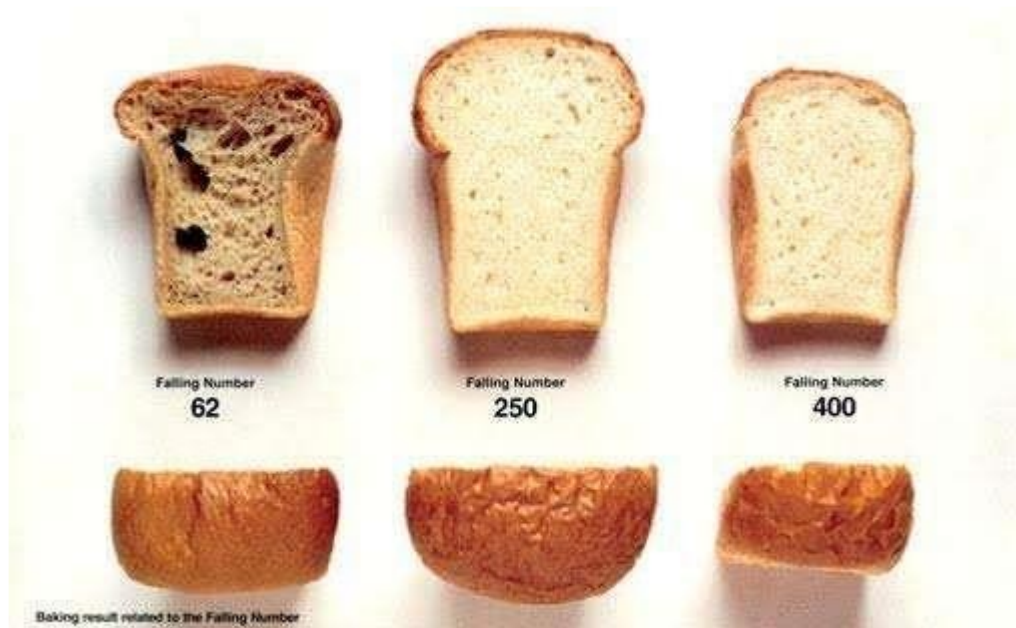
com baixa atividade enzimática tendem a formar pães com baixo volume e miolo ressecado devido à baixa produção de dextrinas (Piekarski, 2009).

De acordo com Piekarski (2009) e Derkx *et al.*, (2020), a verificação da atividade alfa-amilásica em grãos ou em farinhas objetiva a detecção de danos pré-germinativos causados na colheita, tendo em vista esta pré-germinação ativar a enzima alfa-amilase na camada de aleurona comprometendo seu desempenho tecnológico ao degradá-lo. Chamamos comumente de trigo “chuvado” ao apresentar estas características (Derkx; Mares, 2020).

O ideal para uma matriz farinácia, é o equilíbrio dessa relação, pois o excesso de atividade ou em escassez, geram produtos com características indesejáveis industrialmente. A produção de açúcares como substrato para microrganismos fermentescíveis, deve ser equilibrada, garantindo uma boa performance da massa durante o processo fermentativo.

A Figura 4 evidencia diferentes quantidades de alfa-amilase nas farinhas nos pães gerados a partir destas farinhas:

Figura 4 - Influência da atividade enzimática da alfa amilase



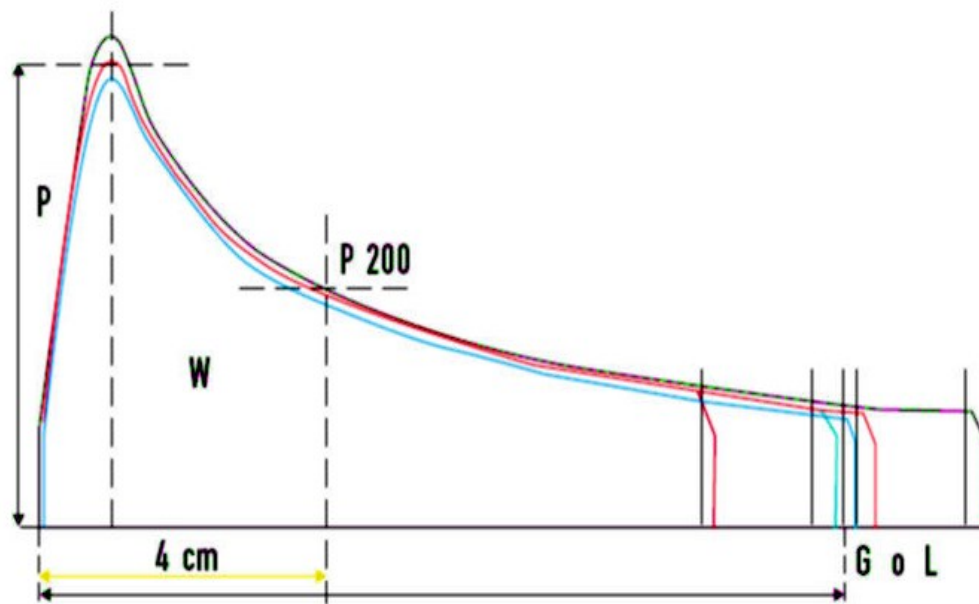
Fonte: Piekarski (2009).

4.6 Alveografia

É um teste laboratorial reológico que determina a força de glúten (W), assim como outras características, e é utilizado para avaliar a capacidade da farinha sofrer um tratamento mecânico ao ser misturada com a água, associando sua capacidade de absorção de água para as proteínas que contribuem na retenção do gás carbônico dos produtos panificáveis (Dobraszczyk & Morgenstern, 2003).

O método consiste em preparar uma mistura de farinha com uma solução de cloreto de sódio (NaCl), na qual o equipamento realiza a extrusão da massa em cinco pedaços, que posteriormente são laminados uniformemente. Este equipamento registrará a média das 5 curvas obtidas quando há a insuflação de ar e posteriormente, permite que o analista avalie rupturas prematuras nas bolhas e exclua-as da média do gráfico, conforme exemplificado na Figura 5 (Silva *et al.*, 2015).

Figura 5 – Curvas de Alveograma



Fonte: Icta (2013).

Segundo a Embrapa (2009), os resultados obtidos são expressos por diferentes parâmetros reológicos que permitem evidenciar o comportamento de uma massa. Os resultados deste método são registrados no alveógrafo. Trata-se de um equipamento é capaz de gerar o alveograma evidenciando o comportamento da massa durante a fermentação (Mandarino, 1993).

O parâmetro **P** (tenacidade) relacionado à resistência da massa à deformação, indica a resistência ao estiramento, relacionando-se inversamente com às proteínas, volume do pão e o teor de glúten. A tenacidade relaciona-se com a elasticidade da massa ao suportar reter o gás produzido durante a fermentação.

O parâmetro **L** (extensibilidade) refere-se à capacidade da massa de se estender sem ruptura. Matrizes com elevada extensibilidade apresentam menor rendimento, uma vez que a massa pode se tornar excessivamente deformável.

O parâmetro **G** (índice de crescimento) indica a média dos valores de expansão de cada bolha insuflada medido pela raiz quadrada do volume de ar (em mL) inseridos na bolha para que ela se rompa.

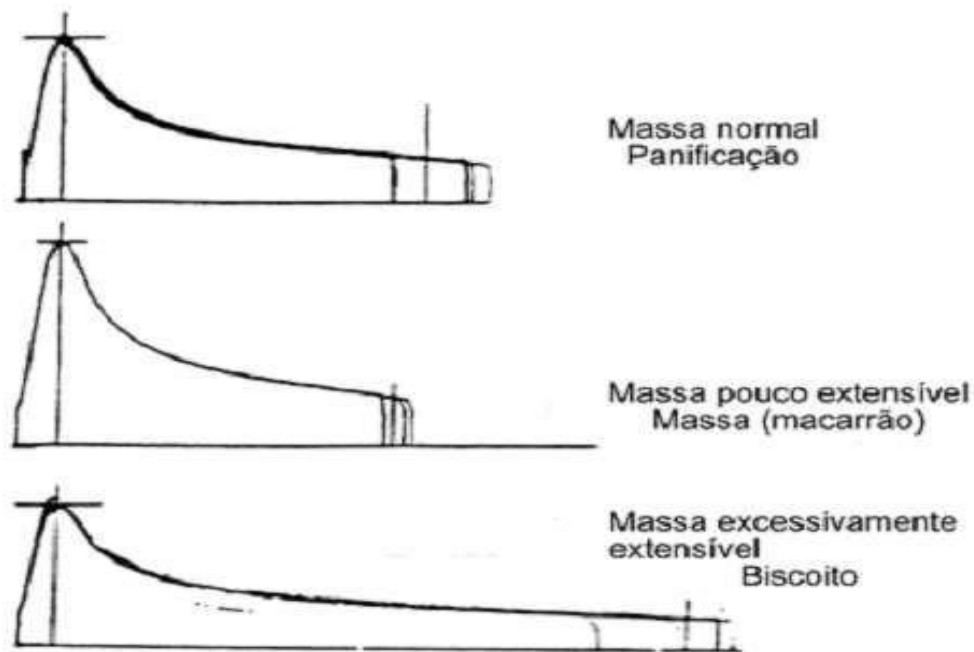
A relação entre o parâmetro de tenacidade e extensibilidade (P/L), evidencia o equilíbrio entre estas propriedades. Valores acima de 1,0 indicam massas mais

tenaz, enquanto valores entre 0 e 0,9 caracterizam farinhas com comportamento mais extensível. A busca da indústria de panificados é de farinhas com P/L equilibrado, enquanto para massas, a busca é de altos. Em contrapartida temos a indústria de biscoitos, que procuram valores menores para seu uso ideal (Abitrigo, 2022).

O parâmetro W na alveografia (energia de deformação da massa), representa o trabalho necessário para deformar esta massa, sendo obtido a partir da média de cinco curvas geradas pelo equipamento, expresso em 10^{-4} J. Esta média expressa a força da farinha, a qualidade das proteínas formadoras de glúten, associadas à capacidade de absorção de água e retenção de gás carbônico. Valores baixos indicam farinhas fracas, enquanto farinhas fortes apresentam resultados elevados. Deseja-se um equilíbrio dessas propriedades para não comprometer a qualidade do produto em panificados (Germani, 2008).

Por fim, o IE (índice de elasticidade) corresponde ao valor obtido após a insuflação de 200 mL de ar na bolha, equivalente a 4 cm a partir do início da curva alveográfica. A figura 6 evidencia três exemplos de alveogramas de farinhas destinadas para massas, panificação e biscoito.

Figura 6 - Relação P/L em Alveograma



Fonte: Icta (2019).

4.7 Farinografia

É um teste reológico realizado em farinógrafos que permite indicar as propriedades de mistura de uma massa e processamento sob condições controladas de velocidade e temperatura, indicando a absorção exata da água feita pela farinha, tendo como base a consistência específica da massa e a capacidade da rede de glúten. De acordo com a Embrapa (2013), os valores para se interpretar o farinograma e avaliar as propriedades da farinha são: absorção de água, tempo de desenvolvimento da massa, estabilidade e índice de tolerância. A diversidade de farinogramas obtidos em análises de trigo varia de acordo com condições genéticas e ambientais, além de composição bioquímica (Holas & Tipples, 1978).

A absorção de água na farinha corresponde à quantidade necessária para que a massa atinja a consistência padrão de 500 unidades farinográficas (UF), considerada ideal (Pereira *et al.*, 2004).

De acordo com o Instituto de Ciências e Tecnologia de Alimentos (ICTA), farinhas com percentuais de absorção menores que 55% não são indicadas para a panificação, pois na produção de pães é necessária a adição de água para as reações indispensáveis, como a união das partículas do glúten que promovem a umidade final do produto, além de dissolver ingredientes, ativar enzimas e promover vapor durante o processo de cocção (Icta, 2013).

Após adição de água na farinha, o equipamento registra em minutos desde o início da mistura até o ponto máximo da curva, o momento em que a massa atinge sua máxima consistência, indicado como o tempo de desenvolvimento da massa (TDM). Esse ponto associa-se à formação adequada da rede de glúten e à capacidade de reter gás. O farinograma apresenta dois picos característicos, sendo o segundo considerado como o ponto ideal de desenvolvimento da massa (Santos *et al.*, 2015).

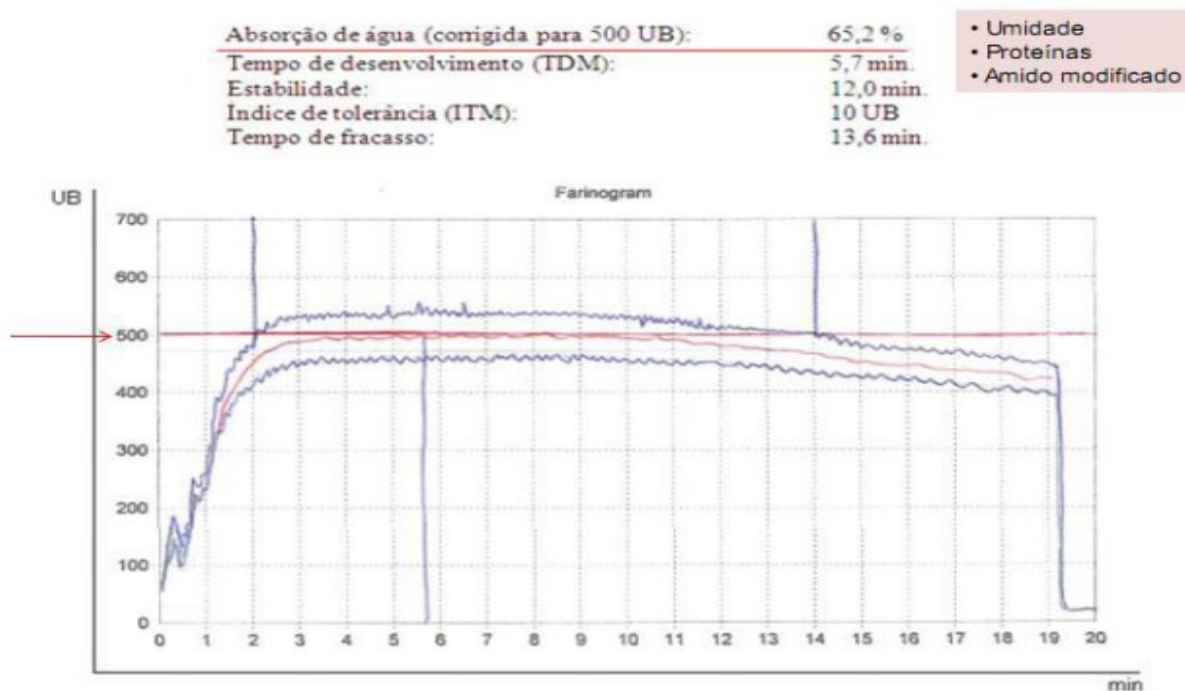
O tempo em minutos que a curva do farinograma permanece em 500 unidades farinográficas (UF) indica a estabilidade (EST). É um parâmetro que permite avaliar a capacidade da mistura resistir ao esforço mecânico e à fermentação, sendo desejável para a produção de produtos panificáveis de melhor qualidade.

A diferença entre o valor da consistência no tempo de pico e o valor registrado cinco minutos após esse ponto é registrado e representado pelo índice de tolerância à mistura (ITM). Esse índice revela o grau de amolecimento da massa durante a mistura, inversamente relacionado à qualidade do glúten. Valores elevados indicam redes viscoelásticas fracas com menor tolerância à mistura, glúten e resistência à mistura. Por outro lado, valores baixos indicam farinhas mais fortes, com maior tolerância ao processo de mistura, glúten e resistência mecânica (Piekarski, 2009).

A estabilidade indica o tempo de batimento das massas. Valores menores que 12 minutos indicam massas que suportam menos tempo de batimento, advindas da prematura quebra da rede de glúten, promovendo aglutinação. Em contrapartida, valores elevados sugerem resistência, que em excesso, contudo, podem gerar prejuízos e desgaste em equipamentos ao elevar a temperatura durante a bateção (Germani, 2008).

Os farinogramas apresentam características próprias decorrentes de cada tipo de farinha, conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7 - Gráfico de farinografia



Fonte: Piekarski (2009).

De acordo o ICTA (2013), com a avaliação destes parâmetros farinográficos, podemos classificar as farinhas em fraca, média e forte, indicando suas aplicações finais, conforme as Tabelas 4 e 5:

Tabela 4 - Classificação da qualidade da farinha segundo a interpretação de Farinografia

Classificação	Tempo de Desenvolvimento (minutos)	Estabilidade (minutos)	Índice de Tolerância UF
Fraca	≤ 2,0	≤ 2,0	≥ 200
Média	2,0 a 4,0	2,0 a 4,0	150 a 199
Forte	8,1 a 10,0	10,1 a 15,0	0 a 49

Fonte: Icta (2013).

Tabela 5 - Especificação de farinha para utilização em produtos de acordo com a Farinografia

Características	Massas	Pães	Bolos	Biscoitos fermentados	Biscoitos doces
Absorção de água (%)	60 – 64	> 55	-	< 55	< 55
Desenvolvimento (min)	8 – 13	4 – 9	1 – 2	3 – 6	1 – 3
Estabilidade (min)	> 15	12 – 18	2 – 4	6 – 12	3 – 4

Fonte: Icta (2013).

4.8 Determinação de proteínas

Os principais constituintes do trigo são as proteínas e o amido, determinantes das características tecnológicas e de cocção de diferentes produtos alimentícios. As características reológicas dependem diretamente da quantidade e da qualidade destas proteínas presentes no grão de trigo, sendo variáveis de acordo com fatores ambientais e do próprio genótipo (Gutkoski, Klein, Pagnussat, 2007).

Segundo Gupta *et al.*, (1991), os trigos com melhor qualidade de panificação estão diretamente relacionados à maior concentração e à melhor qualidade de gluteninas e gliadinas. Esta rede proteica deve ser avaliada qualitativamente e quantitativamente, pois em alguns casos, uma variedade de trigo pode apresentar elevado teor proteico, mas baixa qualidade tecnológica. Muitas vezes, uma variedade de trigo apresenta alta quantidade proteica, mas baixo desenvolvimento, e o contrário também acontece, como baixo teor proteico, mas alta qualidade tecnológica (Sheperd, 1988).

As metodologias utilizadas baseiam-se na quantificação de nitrogênio por meio dos métodos tradicionais, como Kjeldahl, ou do método de Dumas, sendo este último utilizado comumente em escala laboratorial industrial. O método Dumas baseia-se na combustão, redução, separação e detecção, sendo evidenciado pelo equipamento como o conteúdo total de proteína bruta da amostra em cerca de poucos minutos (Neto; Simeone; Guimarães, 2012).

5 ESPECTROSCOPIA POR INFRAVERMELHO NIR

A Espectroscopia por Infravermelho Próximo (NIR), é uma técnica espectroscópica que permite respostas rápidas em relação à métodos tradicionais de análise. Trata-se de uma técnica analítica não destrutiva (Lengowski *et al.*, 2018; Hans; Alisson, 2021) que se tornou ferramenta de escolha em diversos campos de aplicação, que pode ser utilizada em matrizes cujas moléculas evidenciem sobretudo ligações C-H, O-H, N-H, S-H ou C=O (Martins; Sargentelli, 2021).

O emprego desta técnica avalia a interação na faixa de 800 a 2500 nm e número de ondas de 12.500 a 4.000 cm^{-1} , identificando e quantificando componentes em uma matriz (Ozaki *et al.*, 2020).

Esta análise permite que com o desenvolvimento de modelos preditivos baseados em espectros, sejam possíveis o uso de técnicas de análise univariadas ou multivariadas de dados decorrentes da calibração de modelos para prever informações laboratoriais com base nos resultados obtidos em metodologias tradicionais (Nunes, 2022).

De acordo com Estopa *et al.*, (2017), NIR baseia-se na interação da radiação com a matéria, na qual o equipamento incide um feixe de luz sob a amostra que ao ser absorvida, refletida ou transmitida, promoverá vibrações moleculares que serão registradas por meio de espectros. Os espectros gerados necessitam de pré processamentos eliminando ruídos (Pandiselvam *et al.*, 2022).

Esta técnica em alimentos, se tornou uma excelente ferramenta para avaliar a qualidade e determinar condições ideais de cultivo, além das características químicas. Seu uso no controle de qualidade da indústria alimentícia idealiza o aumento produtivo e evita desperdícios ao permitir análises rápidas e método não destrutivo de matrizes, bem como promover a confiança da proteção em relação à possíveis adulterações ilegais (Food Fraud) (Pandiselvam *et al.*, 2022).

O uso do NIR permite reduzir custos de análises e tempo, além de maior segurança de alimentos ao evidenciar-se uma ferramenta de controle de qualidade de alimentos que deve ser explorada (Qu *et al.*, 2014). De acordo com Yang *et al.* (2017), o NIR pode representar cerca de 80% da economia de recursos de laboratório.

Logo, torna-se evidente a importância de empregar métodos modernos para avaliar diferentes matrizes alimentares, como os estudos com NIR para avaliar o valor nutricional de plantas forrageiras (Dias *et al.*, 2023) e de azevém (Rech, 2024), ou na avaliação da qualidade de carnes (Prieto *et al.*, 2017), além de prever a digestibilidade e energia em alimentos destinados para dietas de animais (Noel *et al.*, 2022) e identificação de OGM em diferentes culturas agrônômicas (Sohn *et al.*, 2021).

Esta técnica tem demonstrado amplo potencial também para análises de cereais e outros produtos alimentícios ao longo dos anos. Fontaine *et al.*, (2002) evidenciaram esse potencial ao elaborar calibrações capazes de prever proteínas, umidade e aminoácidos em cereais, como o tritcale, no qual ao obter espectros entre 1100 e 2500 nm, os autores obtiveram modelos eficientes de previsão para esse uso.

A aplicabilidade do NIR também se destacou no estudo de Martins *et al.*, (2015), para prever a digestibilidade da matéria seca do milho por meio da PCA, para prever a digestibilidade de amostras de diferentes regiões do Brasil, apresentando desempenho superior ao dos métodos laboratoriais convencionais.

O uso de NIR aliado à outros métodos, como o uso imagem hiperespectral, permitiu construir modelos preditivos para matrizes heterogêneas, como farinhas, permitindo prever teores de fibras e composição química destas matrizes reforçando o uso estratégico para o controle de qualidade na indústria de alimentos (Badaró, 2021).

Por fim, estudos mais recentes, como o de Fodor *et al.*, (2024), reforçam o avanço do NIR no setor de análises laboratoriais de alimentos, lhe destacando como uma técnica extremamente eficiente para avaliar proteínas em diferentes matrizes e permitir ainda a redução do uso de reagentes químicos e tempo de análise laboratorial, salientando sua importância como ferramenta espectral moderna e eficaz.

6 QUIMIOMETRIA

De acordo com Brown (1995), a quimiometria pode ser considerada como uma área entre a química analítica e a estatística aplicada, ocupando-se da extração de informações a partir de dados químicos por meio de métodos matemáticos e estatísticos. Ela difere da química analítica ao permitir extrair identidades ou quantidades de espécies químicas e da estatística por seu enfoque nos efeitos sistemáticos e menor importância na aleatoriedade dos dados.

O emprego da quimiometria na área de ciência de alimentos possui um grande avanço ao longo dos anos, permitindo a avaliação de conjuntos de dados complexos viabilizando a interpretação (Brereton, 2018; Ferreira, 2015).

6.1 Análise de componentes principais (PCA)

Com a diversidade de técnicas analíticas associadas às ferramentas tecnológicas (microcomputadores e processadores portáteis), há uma imensa disponibilidade de dados que, para serem explorados dependem do uso adequado de metodologias como as oferecidas pela quimiometria. Algumas ferramentas da quimiometria podem auxiliar na extração e na interpretabilidade dos dados, sendo algumas mais populares por razões como a facilidade de uso e da interpretação das respostas produzidas, como é o caso da análise de componentes principais (PCA – do inglês *Principal Component Analysis*, Bro & Smilde, 2014).

A PCA permite explorar a relação entre amostras (linhas) e as variáveis envolvidas (colunas), de modo a visualizar os dados associados às semelhanças e diferenças. As informações são fundamentadas em variância, e as correspondências entre as amostras neste sistema de visualização é tratado como *scores*, enquanto a combinação das variáveis que contribuem para esta visualização (projeção) é denominada de *loadings*, e é gerada através de combinações lineares das variáveis originais. As PC's (componentes principais), são o resultado de combinações lineares não correlacionadas entre si (Ferreira, 2015) (Hongyu; Sandanielo; Júnior, 2015). Pode-se dizer que a PCA trabalha na redução da dimensionalidade dos dados,

estabelecendo novos eixos, nomeados PCs, que trabalham com a máxima variância dos dados.

6.2 Análise por dimensões comuns (ComDim)

Em casos em que se utilizam técnicas distintas para avaliar as mesmas amostras, uma forma adequada de aumentar a interpretabilidade dos dados e de verificar as relações entre as técnicas é recorrer a ferramentas de análise multibloco. Dentre essas, destaca-se a análise por componentes comuns e pesos específicos (CCSWA, do inglês *Common Components and Specific Weights Analysis*), utilizada com algumas modificações com a denominação de análise por dimensões comuns, ou simplesmente ComDim (Jouan-Rimbaud Bouveresse & Rutledge, 2024).

A análise de dados por meio desta técnica tem sido amplamente empregada em diferentes contextos da ciência e tecnologia de alimentos. Nesse sentido, Ferreira et al. (2017), utilizaram essa abordagem para a discriminação de óleos vegetais, com foco na avaliação de sua qualidade e autenticidade. Neste estudo, os autores demonstraram que a técnica viabiliza a integração de conjuntos de dados de distintas técnicas analíticas, evidenciando sua relevância e aplicabilidade na área.

O método também foi aplicado na investigação molecular de queijos no processo de maturação. Nesta avaliação sua aplicação mostrou-se adequada para visualizar diferentes fontes de dados ao identificar padrões estruturais comuns e evidenciar as contribuições mais relevantes (Karoui et al., 2006).

No estudo desenvolvido por Monakhova et al., (2019), verificou-se que a combinação entre a PLS-DA e a Análise por Dimensões Comuns permitiu maior desempenho na classificação dos dados quando comparada à aplicação isolada de cada método. Essa abordagem mostrou-se eficiente na análise de perfis de tomates, reforçando o potencial da fusão de dados multiblocos.

Adicionalmente, Dubin et al., (2016) destacaram esta metodologia multibloco como eficaz no pré-processamento de dados de perfis metabólicos, tendo em vista sua capacidade de integrar múltiplos conjuntos de dados. Ademais, o método permitiu

identificar os blocos de dados mais significativos, atribuindo-lhes maior relevância, ao mesmo tempo em que minimiza a influência de blocos menos representativos.

Diversas aplicações recentes da ComDim também podem ser citadas, destacando a simplicidade e a interpretabilidade das respostas fornecidas por esta ferramenta. A forma tradicional de ComDim se utiliza dos scores de uma PCA, como pode ser visto no caso do estudo da relação entre proteínas de origem animal e origem vegetal, proposto por Zangirolami (2023). Porém, em outros casos, foi verificado que aplicar ComDim com a análise multibloco sendo baseada em ICA ofereceu respostas plausíveis, como no estudo realizado sobre alimento enriquecido com diferentes proteínas (Esteves da Silva *et al.*, 2025).

Em estudo conduzido por You et al. (2023), a aplicação por meio do ComDim permitiu uma avaliação objetiva da qualidade da carne bovina, superando métodos físico-químicos. A integração das diferentes técnicas analíticas contribuiu para a interpretação dos dados, assim como para a redução de possíveis erros associados às análises convencionais.

O uso da técnica melhorando a interpretabilidade de dados também foi relatada para a espectrometria de massas com potencial aplicação na detecção de fraudes em alimentos, promovendo a identificação de padrões que quando associadas à ICA, permitem a separação de sinais independentes e correta classificação (Baqueta *et al.*, 2024).

Adicionalmente, verificou-se também a utilização de Path-ComDim para a integração de dados multiblocos na análise de cachaça ao relacionar características sensoriais e dados espectroscópicos identificando padrões. Esta técnica é uma extensão do ComDim tradicional, incorporando relações estruturais entre blocos de dados, além da identificação de componentes comuns e de pesos específicos (Cruz *et al.*, 2025).

Dessa forma, evidencia-se que a quimiometria aliada à métodos quimiométricos desempenha papel fundamental na avaliação da qualidade de alimentos, possibilitando o tratamento de dados complexos, integrando múltiplas fontes e obtendo resultados precisos para a indústria alimentícia (Andre *et al.*, 2020).

7 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no laboratório da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Campo Mourão, com a colaboração de uma cooperativa agroindustrial da região. Foram coletadas 373 amostras de farinhas de trigo classificadas em Tipo 1, Tipo 2, Fora de Tipo e Integral. A primeira etapa do experimento consiste em verificar a relação entre as técnicas de infravermelho próximo e as técnicas convencionais para medir: (1) teor de umidade e teor de material volátil; (2) análise colorimétrica; (3) teor de cinzas; (4) teor de glúten; (5) Falling Number; (6) alveografia; (7) farinografia; e (8) teor de proteínas. As análises convencionais foram realizadas pela cooperativa.

Em seguida, uma porção das amostras analisadas foi reservada para medidas por espectroscopia na região do infravermelho próximo (NIR), realizadas no laboratório do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Campo Mourão (PPGTA – CM).

Para interpretação das respostas obtidas, os dados foram tratados em *software* Matlab ®, de propriedade da UTFPR, e foi aplicada a ferramenta quimiométrica de ComDim convencional (PCA) para verificar a relação comum entre as técnicas.

7.1 Métodos de referência

As medidas reológicas foram realizadas de acordo com as metodologias convencionais adotadas pelo laboratório de controle de qualidade da indústria, que segue as orientações reconhecidas e validadas pelo MAPA (Ministério da Agricultura e Pecuária) para a classificação da qualidade das farinhas.

Para a análise do teor de umidade e de material volátil, realiza-se uma secagem por vibração molecular em um equipamento que incide radiação no infravermelho (IV 2500), promovendo a evaporação do conteúdo de água da amostra.

A determinação final é realizada por meio da diferença entre o peso inicial e o final da amostra. Cada análise leva aproximadamente 5 minutos.

A análise de colorimetria foi realizada em equipamento Colorímetro Konica Minolta utilizando o sistema CIELAB de cores. Este método consiste em segregar cerca de 100g de amostra homogênea em um recipiente protegido de luz externa para evitar feixes de luz incididos na lente do equipamento, e inserir esta lente na amostra. O equipamento realiza a leitura em cerca de 20 segundos.

Para a determinação do teor de cinzas (matéria mineral), o método convencional AACC 08-12.01, no qual pesam-se de 2 a 2,5 g de amostra, inserida em cadinhos de porcelana previamente calcinados, resfriados, dessecados e pesados em temperatura ambiente, com seu peso já conhecido. A amostragem é direcionada para forno Mufla a 600°C, por um período de duas horas, até obter-se total incineração da matriz. Posteriormente, este material é levado para estufa a 130°C por 15 minutos, seguidos por um resfriamento em dessecadores com sílica até que atinjam a temperatura ambiente, para posteriormente serem pesados. O período total de análise geralmente é de 4 horas, estendendo-se, em caso de reanálises, por mais 4 horas.

O teor de glúten foi analisado de acordo com o Método AACC 38-12, no qual pesam-se exatos 10 g de amostra, a ser adicionada em um suporte com uma fina peneira de nylon, que permite a lavagem da amostra com uma solução salina (NaCl) 2%, fazendo com que as proteínas formadoras do glúten (gliadina e glutenina) fiquem retidas e sejam quantificadas, e as solúveis (albumina e globulina) sejam descartadas com a solução de lavagem. Após a formação da rede de glúten, o mesmo é lavado em água corrente para retirada de sal proveniente da solução empregada, e passa por uma centrifugação para retirada de excesso de água. Têm-se o glúten úmido nesta fase, que é expresso em percentual. Após isso, o mesmo é inserido no equipamento Glutork, para que a massa seja prensada e seca. Têm-se glúten seco nesta fase. Este método é realizado com cerca de 10 minutos por amostra.

Já o *Falling Number* ou Número de Queda, é calculado de acordo com o Método 56-81 da AACC, o qual permite a avaliação da atividade enzimática de uma farinha, consistindo na pesagem de cerca de 7 g de farinha, podendo variar conforme a umidade da amostra, e posteriormente colocá-la em tubo viscosimétrico juntamente com a adição de 25 mL de água deionizada. O tubo com a amostra e a água passa

por agitação em um aparelho específico chamado *Shakematic*, após a inserção de uma haste metálica (*estirrer*). O tubo, após ser agitado, é então colocado no aparelho, que possui um banho em torno de 100°C para promover a gelatinização do amido. O aparelho registra o tempo (em segundos) de queda da haste metálica no tubo contendo a amostra gelatinizada. O tempo desta análise varia conforme a atividade enzimática da amostra.

A alveografia é medida de acordo com o método AACC 54-30.02, no qual pesam-se exatos 250 g de farinha, adicionando-se em uma bureta uma solução salina (NaCl) 2,5%, conforme a umidade da amostra. Adiciona-se a farinha à masseira do alveógrafo e dispensa-se a solução, de modo a formar uma massa homogênea, a ser controlada cronometricamente. A massa, ao ser extrusada após o tempo de homogeneização, é cortada de modo a formar 5 discos de circunferência e espessura uniformes que, posteriormente, são inflados sob pressão constante, com uma quantidade de ar suficiente para a formação de uma bolha de massa, até sua extensão total e ruptura, a qual é registrada no equipamento. A análise total dura cerca de 30 minutos, podendo estender-se por mais 30 minutos em caso de reanálise, tendo em vista tratar-se de uma análise extremamente sensível que requer condução adequada do analista.

Para a análise de farinografia, de acordo com o método AACC 54-21.02, pesa-se cerca de 300 g de farinha, a qual é dependente do teor de umidade da amostra, sendo a mesma inserida na masseira do equipamento já com os dados da amostra no *Software*. Adiciona-se a quantidade de água supostamente absorvida pela farinha para que atinja a consistência de 500 BU, que pode variar entre 480 e 520 BU. Caso o resultado esteja fora deste limiar, a análise é repetida. Os resultados são registrados graficamente de acordo com as características da farinha. O ensaio dura, em média, 30 minutos, podendo estender-se em caso de reanálise.

A determinação do conteúdo de proteínas segue as metodologias AACC 46-30.01 e AOCS Ba 4e-93 e Ba 4f-00, além do Manual de Instrução do Determinador de Nitrogênio LECO SP628. Para a realização da análise, pesa-se de 0,1959 a 0,2050 g de farinha branca/integral, ou de 0,1050 a 0,1150 g de farelo, em cápsulas de estanho. As amostras são colocadas em um gabarito para ordenação das amostras a serem

inseridas no “carrossel” do equipamento. O mesmo realiza a análise completa em cerca de 4 minutos.

7.2 Medidas espectroscópicas por NIR

Cabe ressaltar que, a fim de se minimizar efeitos químicos e bioquímicos, tais como efeitos de oxidação ou alteração de umidade, as farinhas foram acondicionadas em embalagens de polietileno estéreis com fecho do tipo “Ziplock” imediatamente após o processamento e mantidas em dessecador para serem analisadas por espectroscopia no mesmo dia em que foram analisadas na indústria.

As medidas espectroscópicas foram realizadas com as amostras acondicionadas dentro das embalagens, sendo cada uma das 373 amostras medida em pseudo-triplicata (a mesma amostra em 3 pontos distintos da embalagem). Foram utilizados dois equipamentos NIR, sendo um comercializado pela empresa Viavi Solutions (MicroNIR 1700 JDSU®) e o outro pela Inno Spectra Corporation (NIR-S-G1®), ambos para a região entre 900 e 1700 nm, porém com resoluções diferentes.

Os espectros foram adquiridos no modo de reflectância para ambos os equipamentos, e a medida do branco foi realizada a partir de um padrão de reflectância (Spectralon™, coeficiente de reflexão difusa de 99%), inserido em uma embalagem plástica similar à utilizada para as amostras, enquanto a referência escura (simulação da não-reflexão) foi obtida com a fonte do equipamento desligada.

Para o equipamento MicroNIR 1700 JDSU®, as medidas foram realizadas com 6 nm de resolução e 16500 lumens, utilizando 100 varreduras com tempo de integração de 10 ms. As medidas foram realizadas em temperatura ambiente de aproximadamente 22 °C (± 1), enquanto o equipamento indicava temperatura de 45 °C (± 2). No caso do equipamento NIR-S-G1®, a resolução utilizada foi de 1,5 nm, 32 varreduras e tempo de integração de 63 ms. As leituras foram realizadas em cerca de 1 minuto por amostra.

7.3 Tratamento dos dados

Com a finalidade de melhorar a interpretabilidade das respostas, aplicou-se a PCA aos dados obtidos. Para isso, foi utilizado o software PLS_Toolbox 8 (Eigenvector Inc. ®) fornecido pela Embrapa Solos do Rio de Janeiro, executado em ambiente Matlab 2013a de propriedade da UTFPR.

Os dados físico-químicos foram autoescalados para avaliar variáveis de grandezas diferentes com a mesma importância. Os espectros foram analisados utilizando-se o algoritmo proposto por Savitsk-Golay (1964), com polinômio de segunda ordem e janela de 7 pontos para o equipamento MicroNIR 1700 JDSU® e janela de 33 pontos para o equipamento NIR-S-G1®. A diferença no número de pontos da janela se justifica pela maior resolução do equipamento NIR-S-G1®. O ajuste de linha base foi realizado subtraindo-se a menor absorbância global de cada espectro, e em sequência, foram centrados na média.

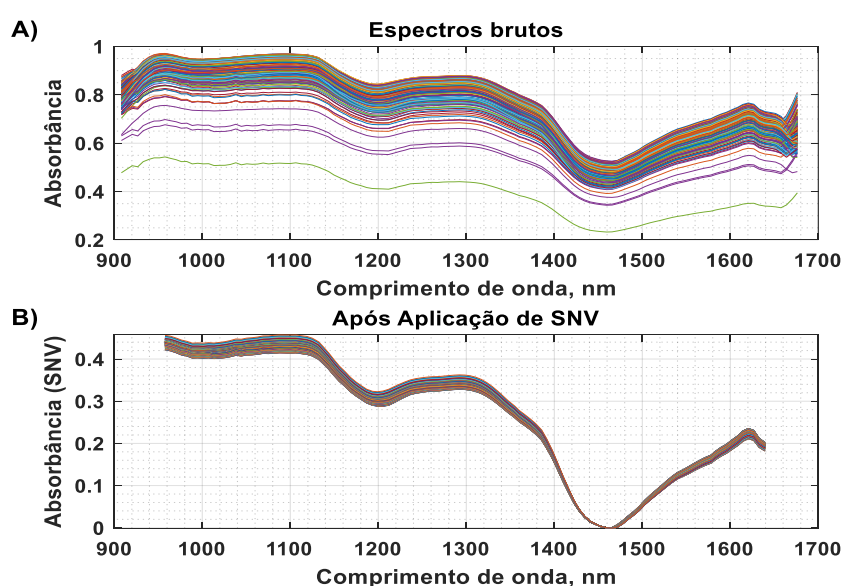
A aplicação de ComDim foi realizada no software Matlab 2025b, de propriedade da UTFPR, com códigos escritos pelos autores, em parceria com o Prof. Dr. Douglas Neil Rutledge. Os dados seguiram o mesmo tratamento utilizado para a execução da PCA.

8 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando que a tipificação de farinhas leva em conta os resultados de análises físico-químicas e reológicas, as 373 amostras de farinhas de trigo avaliadas neste estudo foram classificadas em tipos 1 (CM – T1, AN – T1), 2 (AN – T2) e Fora de Tipo (OUT). Esta classificação dá-se de acordo com a Instrução Normativa N° 08 de 02 de junho de 2005, de acordo com suas características e a qualidade apresentada. Foram avaliados parâmetros de Umidade e Material Volátil (UMV); Teor Cinzas (CNZ); Glúten Úmido (GL-U); Glúten Seco (GL-S); Proteína Base Seca (P-BS); *Falling Number* (FN); Tenacidade (P); Extensibilidade (L); Razão entre Tenacidade e Extensibilidade (P/L); Índice de Elasticidade (I.E.); Energia de Deformação (W); Absorção de Água (ABS); Estabilidade (EST); Tempo de Desenvolvimento da Massa (TDM); Índice de Tolerância à Mistura (ITM); e parâmetros do colorímetro, Cor L; Cor A; Cor B.

Os espectros médios (cada espectro representa a média de 3 espectros) das amostras obtidos pelo equipamento MicroNIR 1700 JDSU® estão apresentados na Figura 8 – A) para os espectros brutos e (B) após processamento.

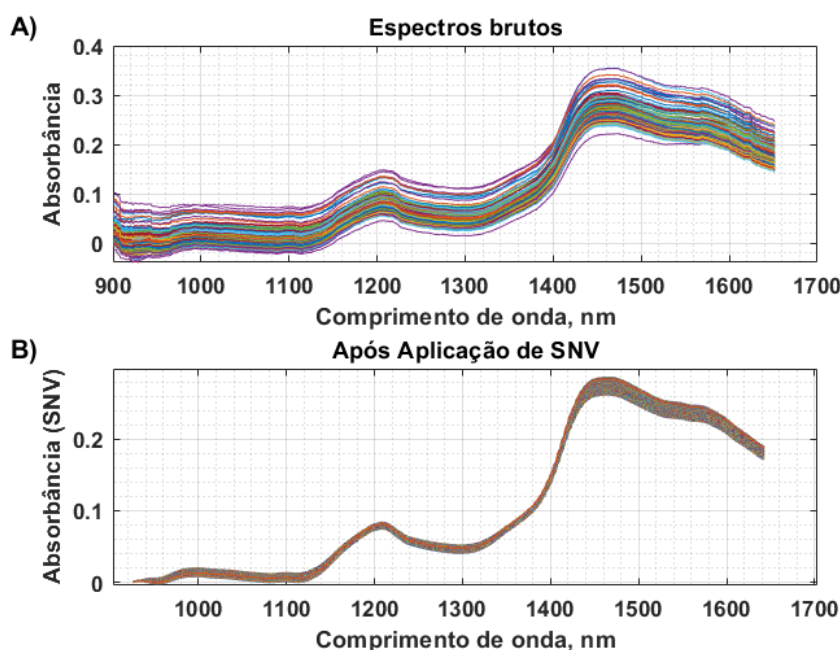
Figura 8 - Espectros médios obtidos pelo equipamento MicroNIR 1700 JDSU® para amostras de farinha de trigo. (A) Espectros brutos; (B) após processamento



Fonte: Autoria própria (2026).

Para o equipamento NIR-S-G1®, os espectros estão apresentados na Figura 9 – A) para os sinais brutos e (B) para os espectros após processamento.

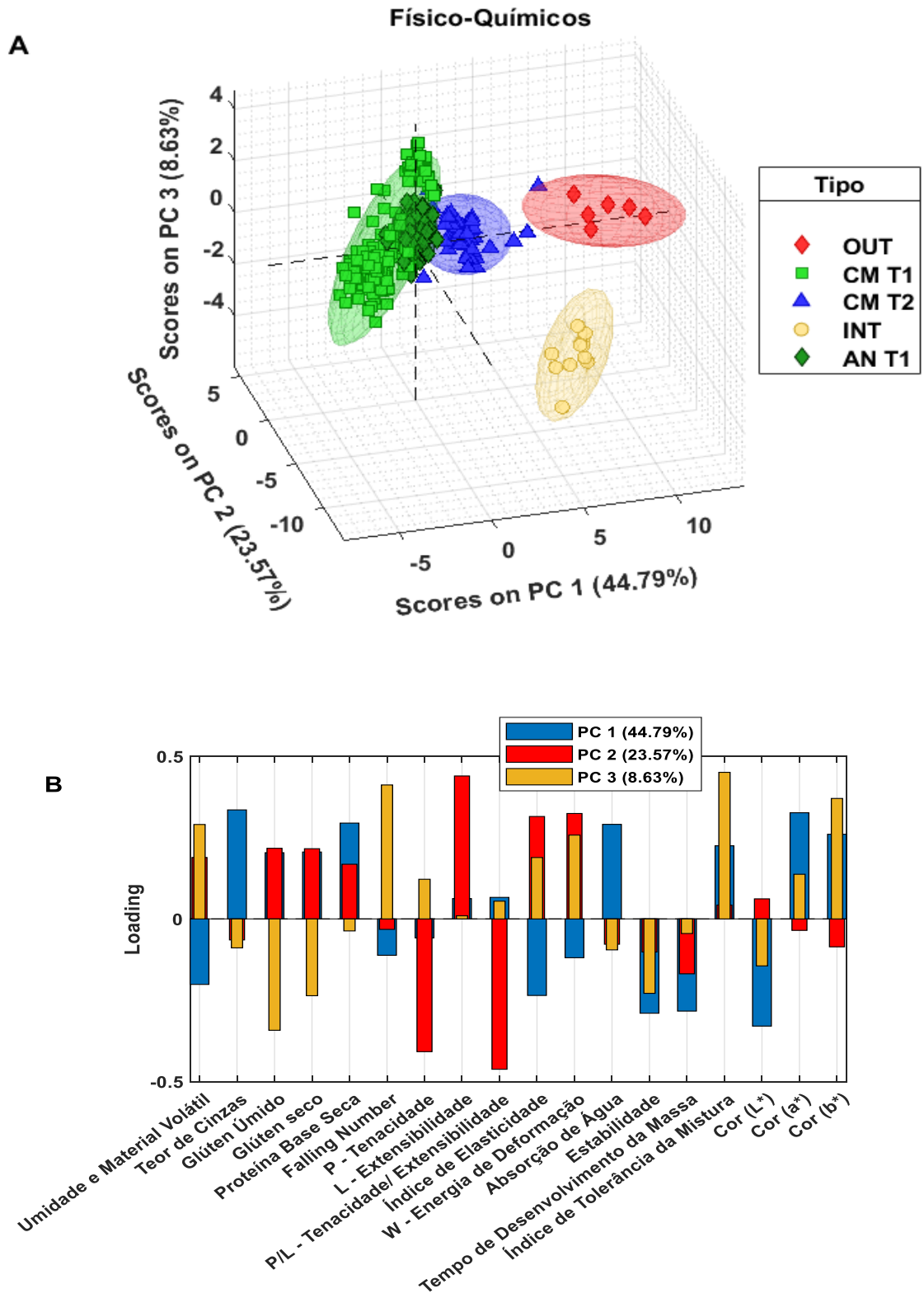
Figura 9 - Espectros médios obtidos pelo equipamento NIR-S-G1® para amostras de farinha de trigo. (A) Espectros brutos; (B) após processamento



Fonte: Autoria própria (2026).

Os dados reológicos normalizados e os espectros processados dos dois equipamentos foram submetidos à PCA. Para isso, os dados físico-químicos foram auto-escalados para que todas as variáveis tivessem a mesma importância, enquanto os espectros processados foram centrados na média. Destaca-se que estes parâmetros servem de referência para a tipificação, de modo que os demais resultados se baseiam nas respostas dessas análises. Os resultados da aplicação de PCA aos dados físico-químicos estão apresentados na Figura 10 – A) para os scores e B) para os loadings. Observa-se, a partir dos scores, uma separação entre os tipos, principalmente entre as farinhas do tipo 1 e as do tipo 2, além de eficiência na separação das farinhas tipo 3 (fora de tipo) das integrais.

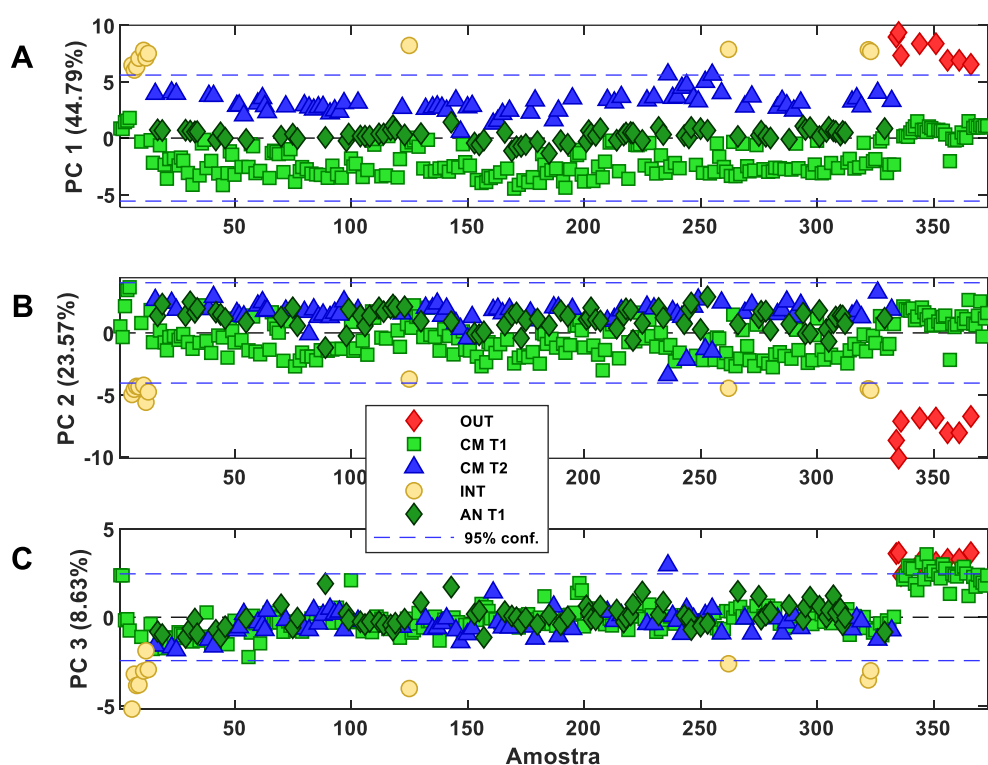
Figura 10 - (A) Scores da PC 1 x PC 2 x PC 3; (B) respectivos loadings



Fonte: Autoria própria (2026).

Para explicar os principais parâmetros responsáveis pela separação entre as amostras, a Figura 11 apresenta, individualmente, a distribuição dos scores das amostras em (A) PC 1, (B) PC 2 e (C) PC 3. Destaca-se que as linhas tracejadas em azul indicam o limite de confiança de 95%. Nota-se que a PC 1 apresenta a projeção dos scores que mais diferenciam entre os tipos, enquanto a PC 2 evidencia a diferença entre as amostras dos tipos 1 e 2, das amostras fora de tipo e integrais. Na PC 3, além da diferença entre os tipos 1 e 2 e entre as amostras fora de tipo e integrais, observa-se um grupo de amostras de farinha do tipo 1 semelhantes às amostras fora de tipo. Para explorar as diferenças, é necessário analisar os loadings apresentados na Figura 10 – B.

Figura 11 - Scores das análises físico-químicas das amostras em (A) PC 1; (B) PC 2; (C) PC 3



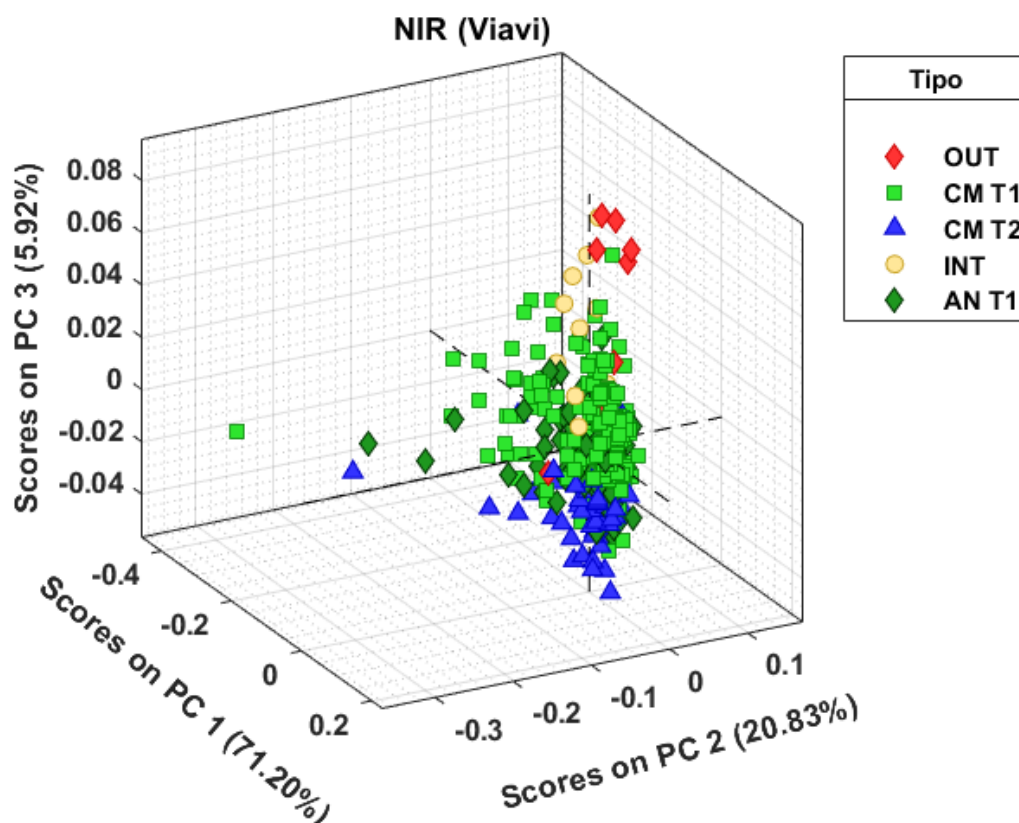
Fonte: Autoria própria (2026).

A PC 1, responsável por separar as amostras por tipo, também é a PC com maior variância (44,79%). Na PC 1, as amostras do tipo 1, especificamente as CM –

T1, apresentam scores negativos, enquanto as amostras do tipo AN – T1 apresentam scores próximos de zero. As amostras CM – T2 apresentam valores levemente positivos e tanto as do tipo 1 quanto as do tipo 2 estão dentro do intervalo de 95% de confiança (linha tracejada azul). As amostras fora de tipo e as integrais têm valores de scores positivos e estão fora do limite de 95% de confiança. Desta forma, de acordo com os loadings da PC 1, as amostras classificadas como sendo do tipo 1 têm maior influência dos parâmetros L* (do colorímetro), estabilidade, tempo de desenvolvimento da massa, índice de elasticidade, umidade e material volátil, energia de deformação e *falling number*, nesta ordem de importância. Logo, as amostras do tipo 2 são altamente influenciadas por teores de cinzas, parâmetro A do colorímetro, teor de proteínas, absorção de água, parâmetro B do colorímetro, índice de tolerância da mistura, glúten e a extensibilidade.

Da mesma forma, aplicou-se a PCA aos dados espectrais obtidos com os equipamentos MicroNIR 1700 JDSU® e NIR-S-G1®. A aplicação da PCA nos dados obtidos através do espectrômetro MicroNIR 1700 JDSU® foram obtidos os scores (PC 1 x PC 2 x PC 3) apresentados na Figura – 12. Observa-se que, embora não se identifiquem padrões dos tipos de amostra com a mesma eficiência do método padrão, há uma considerável diferenciação da maioria das amostras conforme seus respectivos tipos.

Figura 12 - Scores dos espectros MicroNIR 1700 JDSU® das amostras de farinha: PC 1 x PC 2 x PC 3

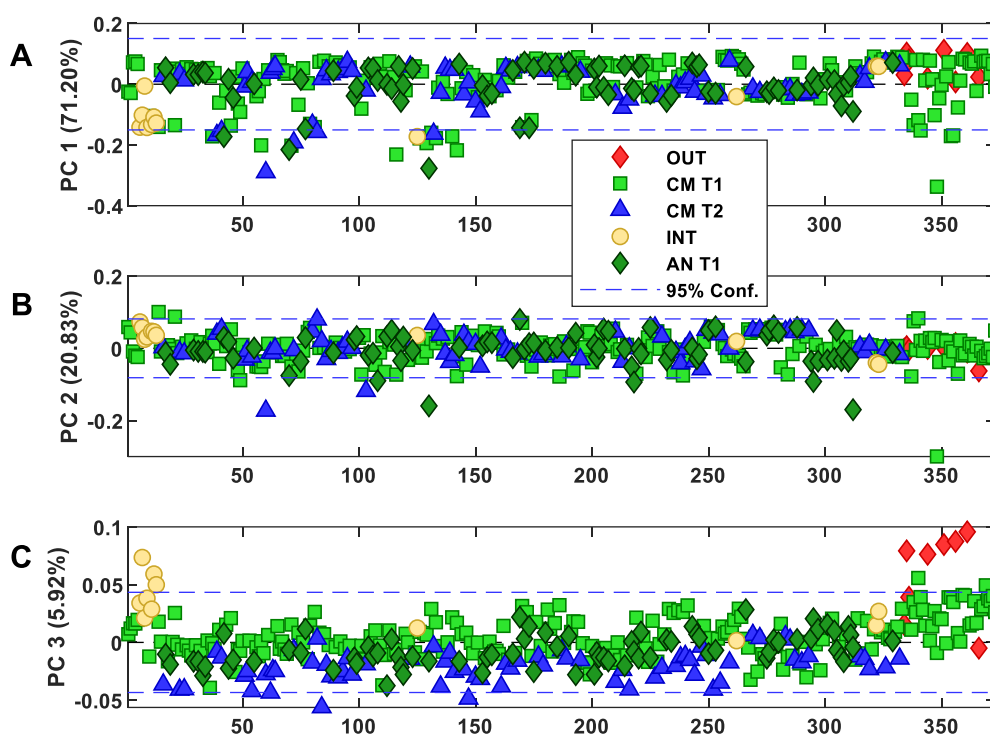


Fonte: Autoria própria (2026).

Para facilitar a visualização, a projeção dos scores está apresentada individualmente para cada PC na Figura 13 – (A) PC 1; (B) PC 2; (C) PC 3. Deve-se ressaltar que a maioria dos espectros apresenta um alto grau de semelhança, de modo que, tanto na PC 1 quanto na PC 2, a maioria das amostras se encontra dentro do intervalo de 95% de confiança. Além disso, os resultados mostram que a maior parte da diferença entre os sinais obtidos não está relacionada ao tipo das amostras, e sim a algum parâmetro não avaliado neste estudo. No entanto, a PC 3, com variância de 5,92%, mostra um padrão de separação, com projeção das amostras do tipo 2 com valores de scores mais negativos, enquanto amostras do tipo 1 com valores de scores em torno de zero, e amostras fora de tipo e integrais com valores de scores positivos, estando a maioria fora do limite de 95% de confiança. Para avaliar as regiões

espectrais mais importantes para esta separação, os loadings das PCs 1, 2 e 3 são apresentados na Figura 14.

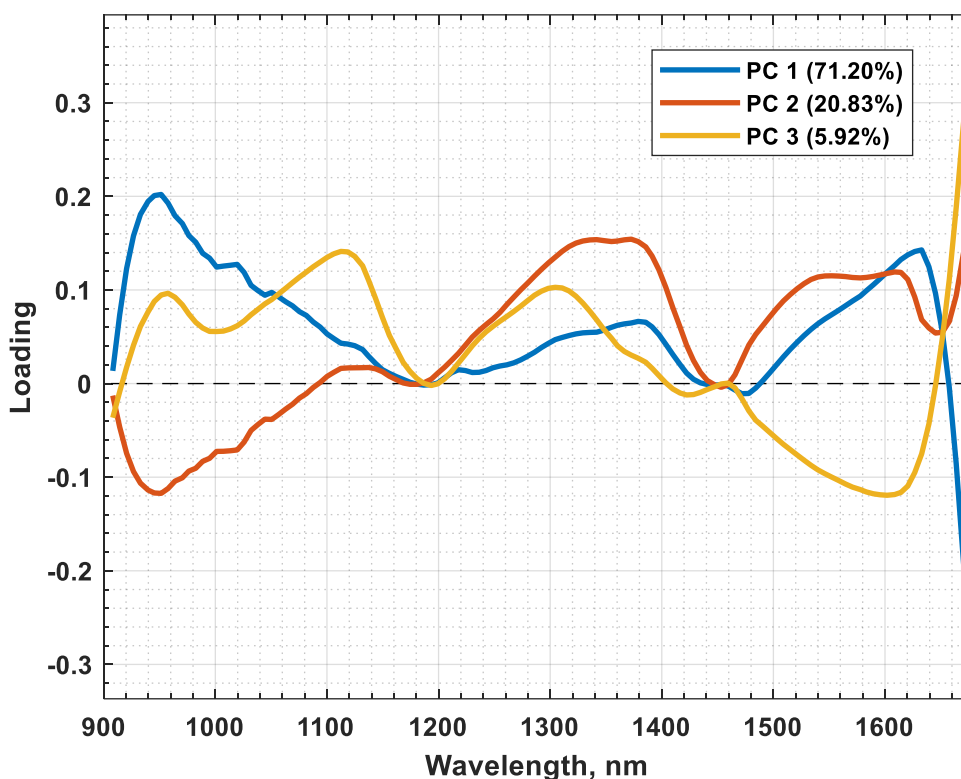
Figura 13 - Scores dos espectros MicroNIR 1700 JDSU® das amostras de farinha (A) PC 1; (B) PC 2; (C) PC 3



Fonte: Autoria própria (2026).

Na PC 3, observa-se que a região entre 1500 – 1650 nm apresenta valores de loadings negativos, estando assim relacionados principalmente com as amostras de farinha do tipo 2. Esta região é associada ao primeiro sobretom de vibrações de estiramento dos grupos N-H primários e secundários (Workman Jr., Jerry; Weyer, 2012). Considerando as análises físico-químicas, observou-se que as amostras de farinha tipo 2 foram influenciadas pelos teores de proteína, o que concorda com os resultados obtidos por espectroscopia.

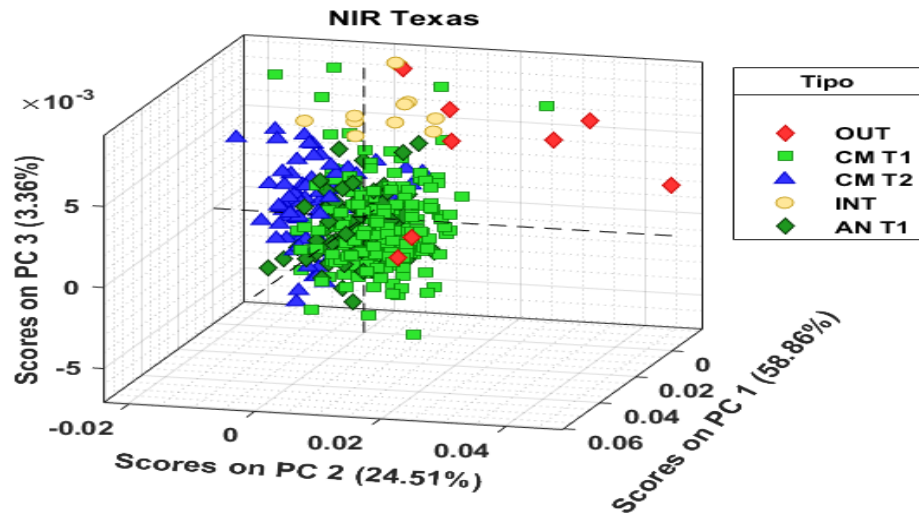
Figura 14 - Loadings dos espectros MicroNIR 1700 JDSU® para a (A) PC 1; (B) PC 2; (C) PC 3



Fonte: Autoria própria (2026).

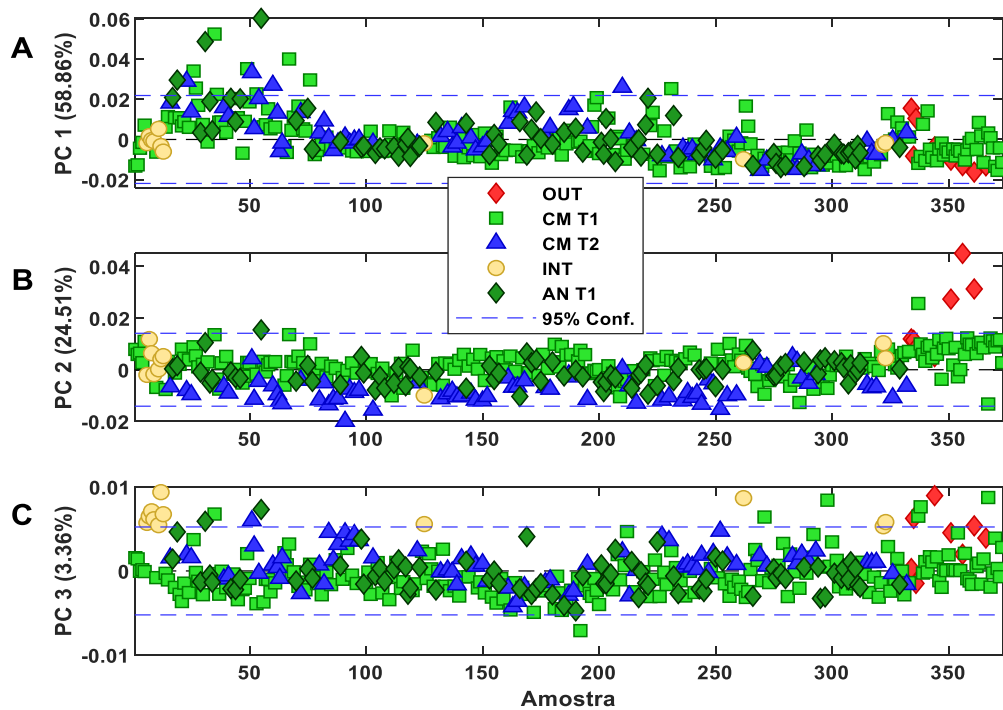
A aplicação de PCA aos dados obtidos com o espectrômetro NIR-S-G1® resultou nos scores de PC 1 x PC 2 x PC 3 apresentados na Figura 15. Da mesma forma que nos resultados da PCA aplicada aos dados do outro equipamento, nota-se uma tendência de projeção nas amostras, o que permite a separação em diferentes tipos. Para melhor explorar os resultados, a Figura 16 apresenta, individualmente, os scores das amostras em (A) PC 1, (B) PC 2 e (C) PC 3. Apesar de terem sido exploradas outras projeções, como as das PCs 4, 5, 6, 7 e 8, concluiu-se que a PC 3 é a que está mais relacionada com os diferentes tipos de farinha. Neste caso, a maioria das amostras do tipo 1 apresenta valores mais negativos do que as amostras do tipo 2, e a maior parte das amostras fora de tipo e integrais está fora do intervalo de 95% de confiança.

Figura 15 - Scores dos espectros NIR-S-G1® para a (A) PC 1; (B) PC 2; (C) PC 3



Fonte: Autoria própria (2026).

Figura 16 - Scores dos espectros NIR-S-G1® das amostras de farinha (A) PC 1; (B) PC 2; (C) PC 3

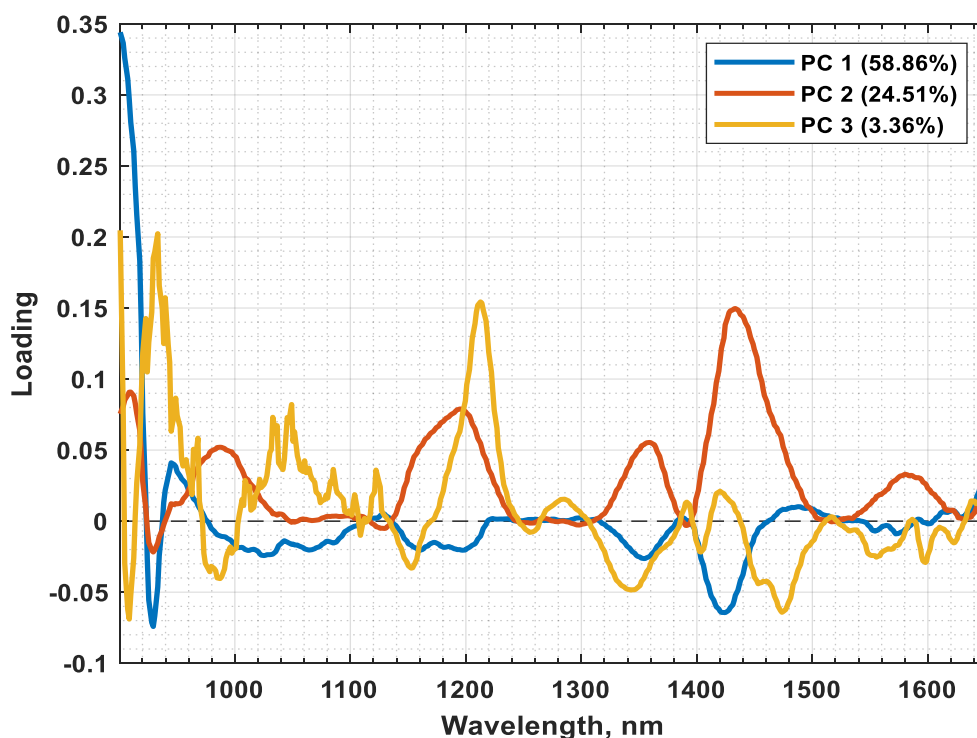


Fonte: Autoria própria (2026).

Os loadings correspondentes aos scores da Figura 15 estão apresentados na Figura 17 – (A) para a PC 1, (B) PC 2 e (C) PC 3. Neste caso, as regiões mais importantes da PC 3 com scores negativos, associadas, portanto, principalmente às amostras do tipo 1, estão localizadas entre 1460 – 1500 nm, 1320 – 1360 nm, 970 – 1000 nm e 1140 – 1160 nm, em ordem decrescente de importância.

A região entre 1460 – 1500 nm é geralmente atribuída ao primeiro sobretom de vibrações de estiramento dos grupos N-H primários e secundários, além do primeiro sobretom de vibrações O-H de todos os tipos, enquanto a região entre 1320 – 1360 nm é atribuída apenas ao primeiro sobretom de vibrações O-H (Workman Jr., Jerry; Weyer, 2012). As vibrações encontradas entre 970 – 1000 nm, além do segundo sobretom de vibrações O-H, são também atribuídas ao terceiro sobretom de estiramento de vibrações S-H, enquanto as vibrações entre 1140 – 1160 nm estão associadas com o 4º sobretom de vibração de ésteres e de amidas secundárias (Workman Jr., Jerry; Weyer, 2012).

Figura 17 - Loadings dos espectros NIR-S-G1® para a (A) PC 1; (B) PC 2; (C) PC 3

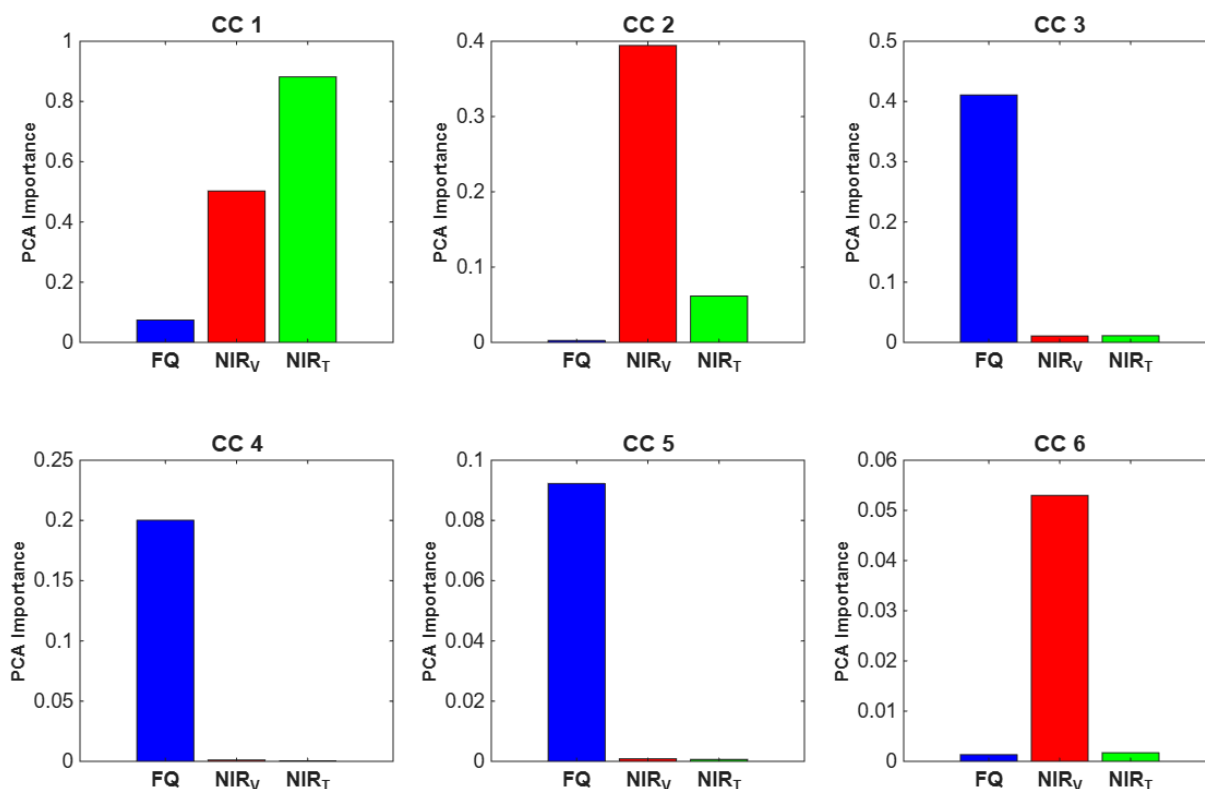


Fonte: Autoria própria (2026).

De forma geral, ao comparar-se o desempenho dos equipamentos, os dados obtidos com o espectrômetro MicroNIR 1700 JDSU® foram mais pertinentes para fornecer informações sobre o tipo de farinha, permitindo, assim, uma melhor distinção fundamentada em tipificação. No entanto, a forma mais conveniente de comparar os resultados de amostras avaliadas por técnicas distintas é por meio de análises multibloco. Neste caso, a análise por dimensões comuns (ComDim) oferece uma abordagem que permite uma comparação mais justa, uma vez que as respostas são ponderadas pela variância resultante da fusão dos blocos após normalização (Cariou *et al.*, 2018; Esteves da Silva *et al.*, 2025; Jouan-Rimbaud Bouveresse & Rutledge, 2022; Qannari *et al.*, 2001). Desta forma, explorou-se a abordagem ComDim para verificar a relação entre as técnicas.

Aplicou-se o ComDim considerando-se 6 dimensões comuns, o que resultou nas saliências apresentadas na Figura 18.

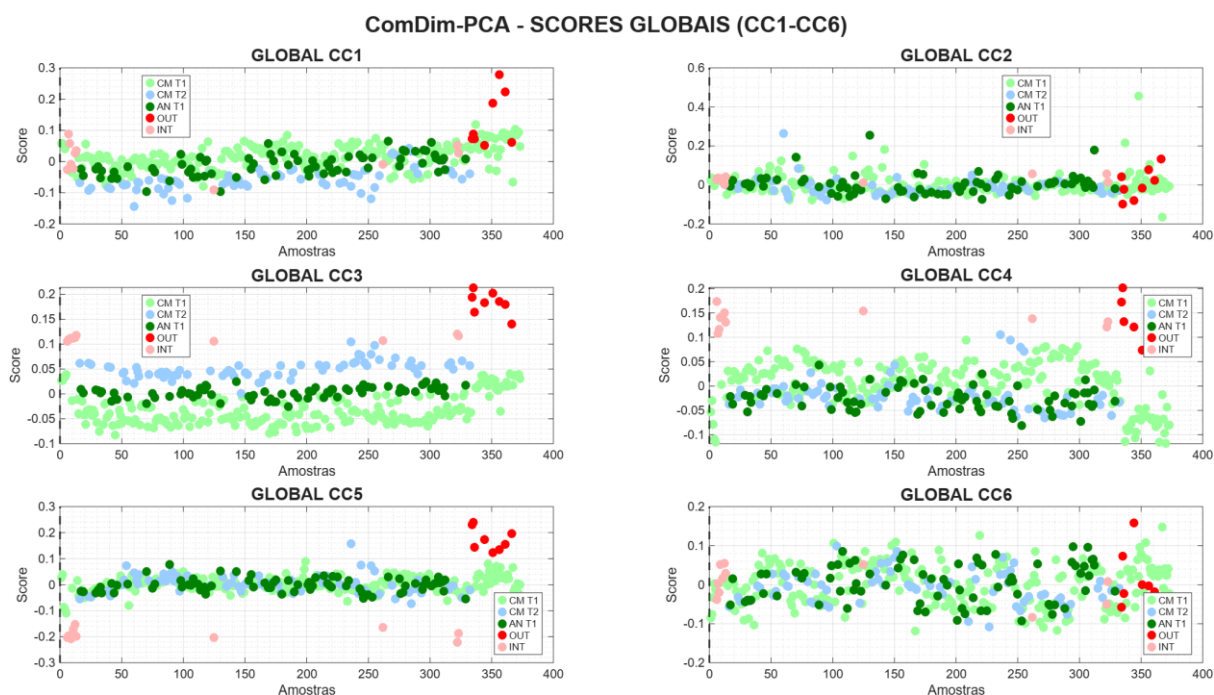
Figura 18 - Saliências obtidas após aplicação de ComDim nos dados físico-químicos (FQ), MicroNIR 1700 JDSU® (NIR_V) e NIR-S-G1(NIR_T)



Fonte: Autoria própria (2026).

A primeira componente comum (CC1) mostra importância para todos os blocos (técnicas) empregados, com pouca importância das análises físico-químicas (FQ), sendo a técnica NIR-S-G1® (NIR_T) a mais importante. Na CC2, apesar de alguma importância do bloco NIR_T, o bloco MicroNIR 1700 JDSU® (NIR_V) é predominante. Os dados das análises FQ são predominantes nas CCs 3, 4 e 5, enquanto, na CC6, o bloco NIR_V é o responsável por fornecer as informações. Desta forma, pode-se dizer que há pouca relação entre as análises físico-químicas e as espectroscópicas, uma vez que as técnicas não compartilham uma dimensão comum com o mesmo nível de importância na distribuição das amostras. Os scores globais correspondentes estão apresentados na Figura 19.

Figura 19 - Scores globais de ComDim para as 6 componentes exploradas

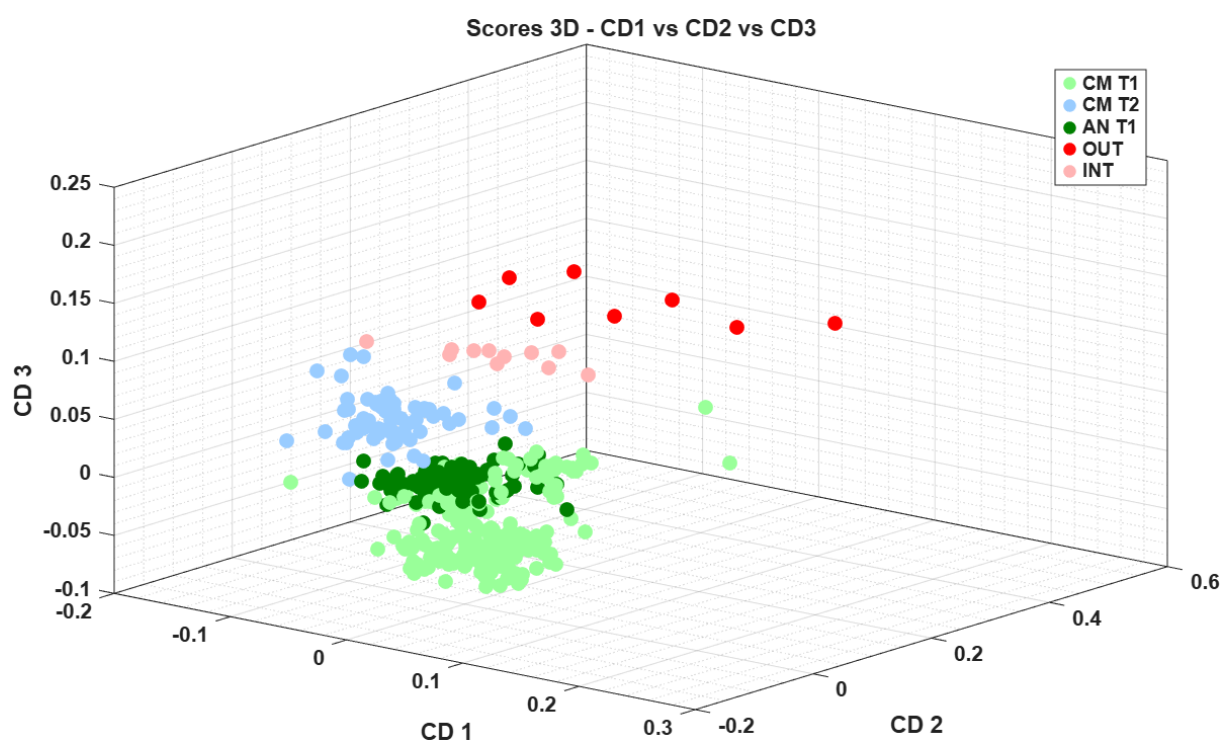


Fonte: Autoria própria (2026).

A partir da análise dos scores globais, é notável que a CC 3 apresenta a separação mais condizente. Porém, as saliências indicam que esta CC apresenta informações apenas das análises físico-químicas. Desta forma, o mais conveniente é analisar combinações de CCs que contenham informações de todas as técnicas estudadas. Por exemplo, ao se combinarem as CCs 1, 2 e 3, obtemos a separação

apresentada na Figura 20, e está sendo considerada a influência de cada uma das técnicas. Outras combinações também podem fornecer informações valiosas para aprofundar os estudos dessas farinhas. Porém, as 3 primeiras dimensões comuns permitem avaliar o objetivo principal deste estudo, que é a capacidade de utilizar a espectroscopia para a tipificação de amostras de farinha de trigo.

Figura 20 - Scores globais de CC 1, CC 2 e CC 3: farinhas de trigo de diferentes tipos

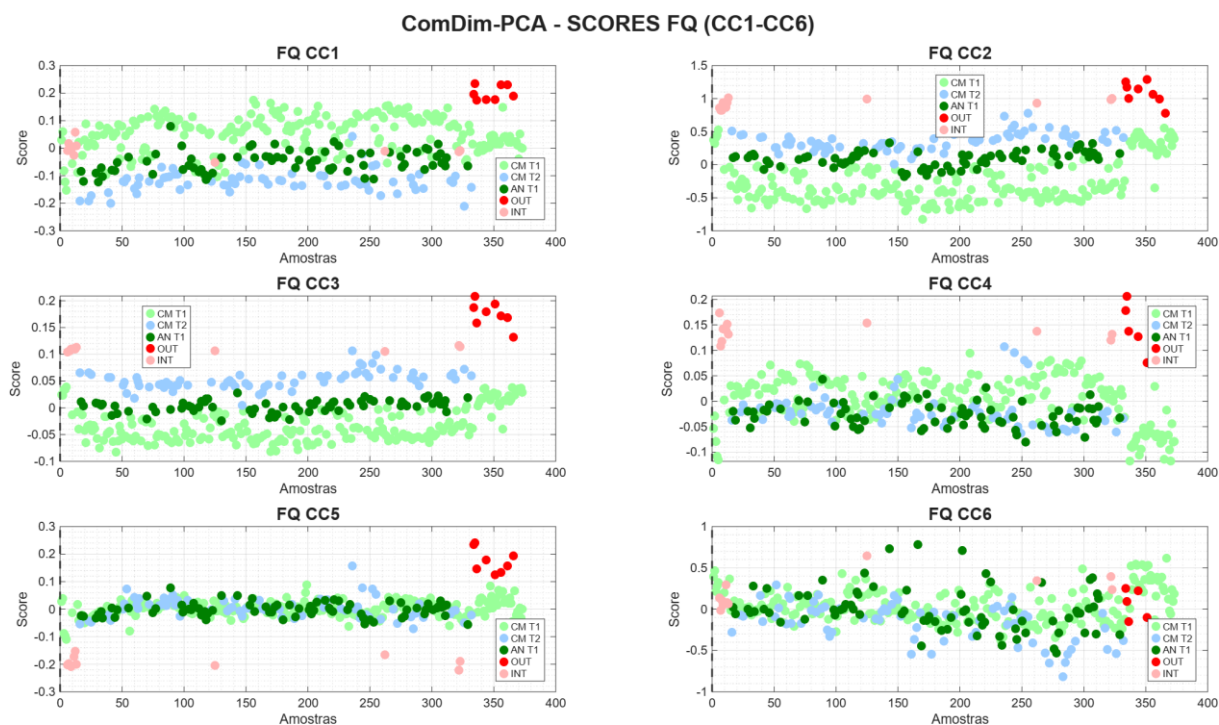


Fonte: Autoria própria (2026).

Uma das vantagens da aplicação do método ComDim é a possibilidade de se explorar os scores locais. Assim, os scores das 6 CCs das análises físico-químicas (FQ) estão apresentados na Figura 21. Observa-se que as componentes comuns de 1 a 3 deste bloco oferecem uma separação bastante conveniente quanto aos tipos de farinha, sendo a CC 3 a componente que apresenta a separação mais condizente com o que se conhece previamente sobre as amostras. No entanto, as saliências indicam que a CC 3 é influenciada quase exclusivamente pelas análises físico-químicas. Por outro lado, a CC 1 apresenta um padrão satisfatório de diferenciação das amostras por tipo, sendo esta CC influenciada, em sua maior parte, pelas análises

espectroscópicas. Desta forma, a combinação destas CCs pode fornecer informações sobre as relações existentes entre as técnicas quanto aos tipos de farinhas.

Figura 21 - Scores locais: bloco de análises físico-químicas

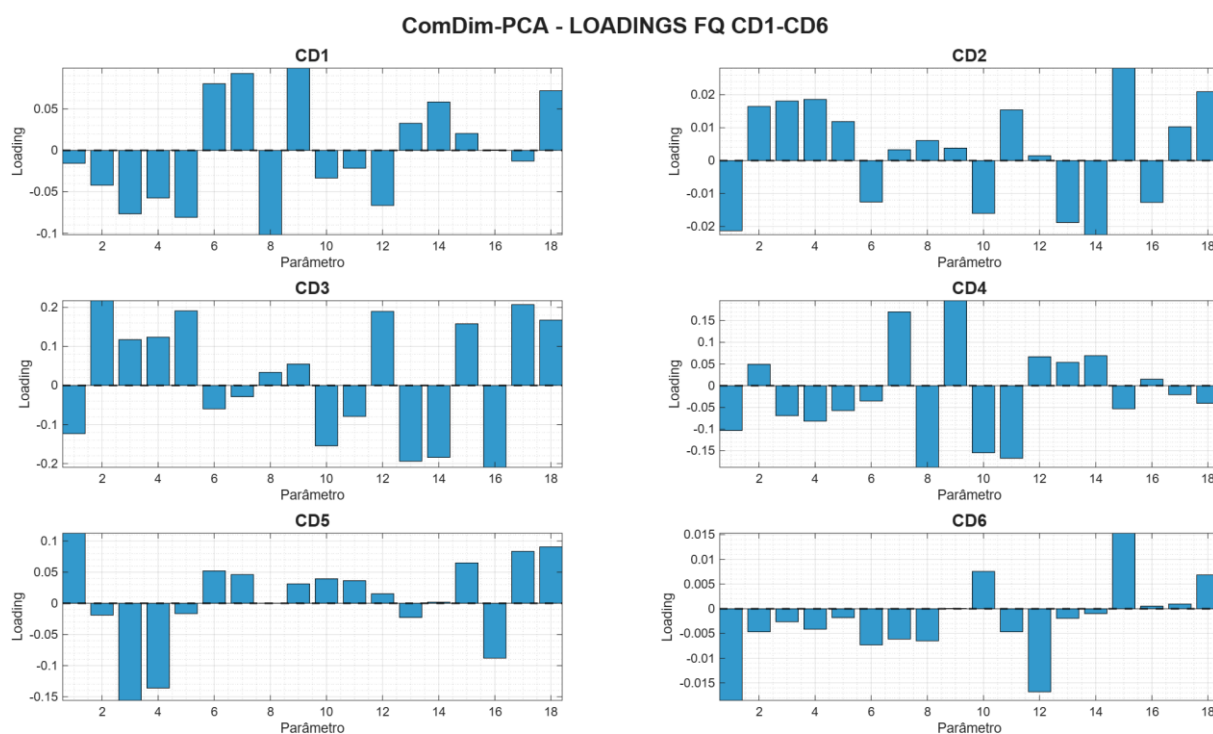


Fonte: Autoria própria (2026).

A relação entre as técnicas poderá ser explorada a partir da avaliação das variáveis importantes (loadings) para cada dimensão comum entre as diferentes técnicas. Os loadings das 6 CCs observados nas análises FQ estão apresentados na Figura 22. A Figura 23 apresenta os scores locais obtidos a partir das análises espectroscópicas realizadas no equipamento MicroNIR 1700 JDSU®. Observa-se que tanto a CC 1 quanto a CC 3 apresentam capacidade satisfatória de diferenciar as amostras. Cabe ressaltar que as análises FQ servem de referência para a tipificação das farinhas. Logo, não se espera que qualquer técnica ou método ofereça resultados capazes de detectar diferenças entre as amostras com a mesma eficiência do padrão.

Assim, pode-se considerar que as análises MicroNIR 1700 JDSU® apresentam alguma relação com as técnicas físico-químicas quanto à capacidade de reconhecer padrões de tipos distintos de farinha, embora as saliências não evidenciem boa sintonia entre as duas técnicas.

Figura 22 - Loadings locais: bloco de análises físico-químicas. (1) Umidade e Material Volátil; (2) Teor Cinzas; (3) Glúten Úmido; (4) Glúten Seco; (5) Proteína Base Seca; (6) Falling Number; (7) Tenacidade; (8) Extensibilidade; (9) Razão entre Tenacidade e Extensibilidade; (10) Índice de Elasticidade; (11) Energia de Deformação; (12) Absorção de Água; (13) Estabilidade; (14) Tempo de Desenvolvimento da Massa; (15) Índice de Tolerância à Mistura; (16) L; (17) a; (18) b

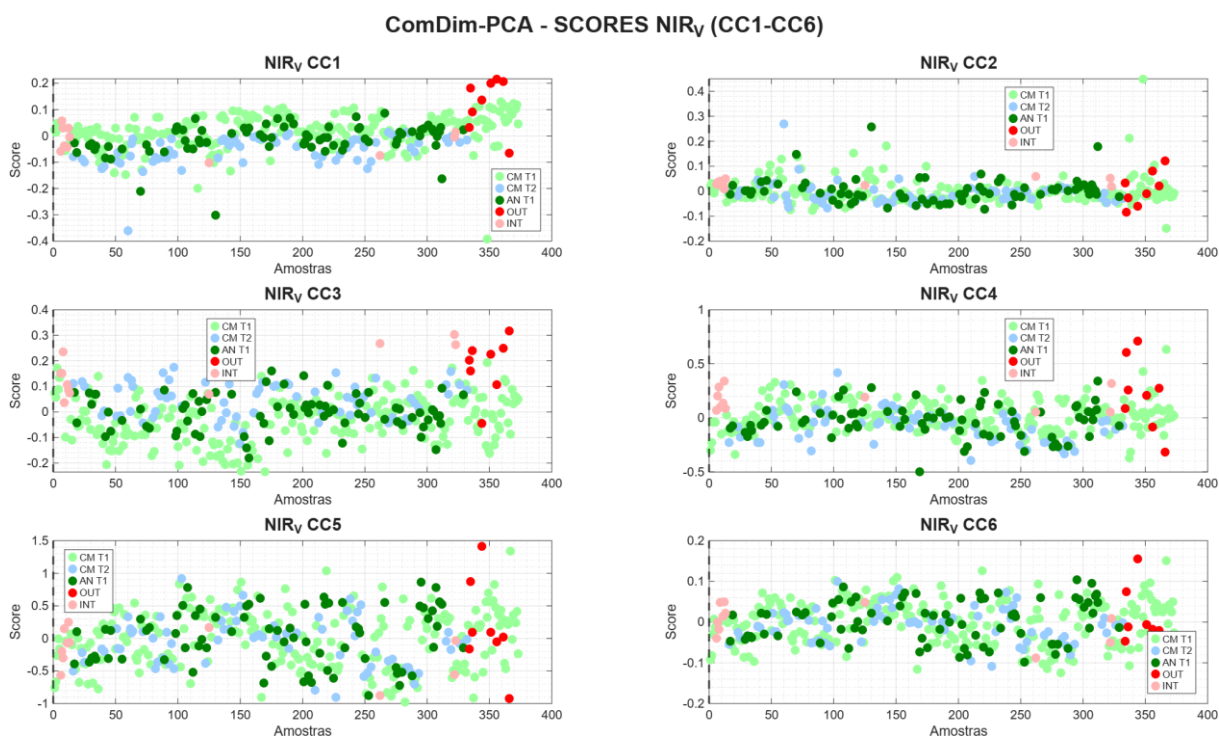


Fonte: Autoria própria (2026).

Na CC 1, as amostras de farinha tipo 1 (CM T1 e AN T1) apresentam valores de scores com valores em média mais positivos que as amostras de farinha tipo 2 (CM T2), o que é compatível com a valoração de scores observada nas análises físico-químicas. Além disso, é possível observar que os scores das amostras CM T1 são mais positivos do que os das amostras AN T1, permitindo diferenciar amostras dentro da classe tipo 1. Porém, nesta CC, as amostras de farinha integral (INT) e as amostras fora de tipo (OUT) também apresentam valores positivos de scores, sendo que os scores das amostras OUT são, em média, os mais elevados. Na CC 3, os scores das amostras CM T1 apresentam os valores mais negativos, seguidos dos valores de

score das amostras AN T1, ambas do tipo 1. As amostras tipo 2 apresentam valores positivos, seguidas de valores ainda mais positivos para amostras tipo OUT e INT.

Figura 23 - Scores locais: bloco de análises espectroscópicas no equipamento MicroNIR 1700 JDSU®.

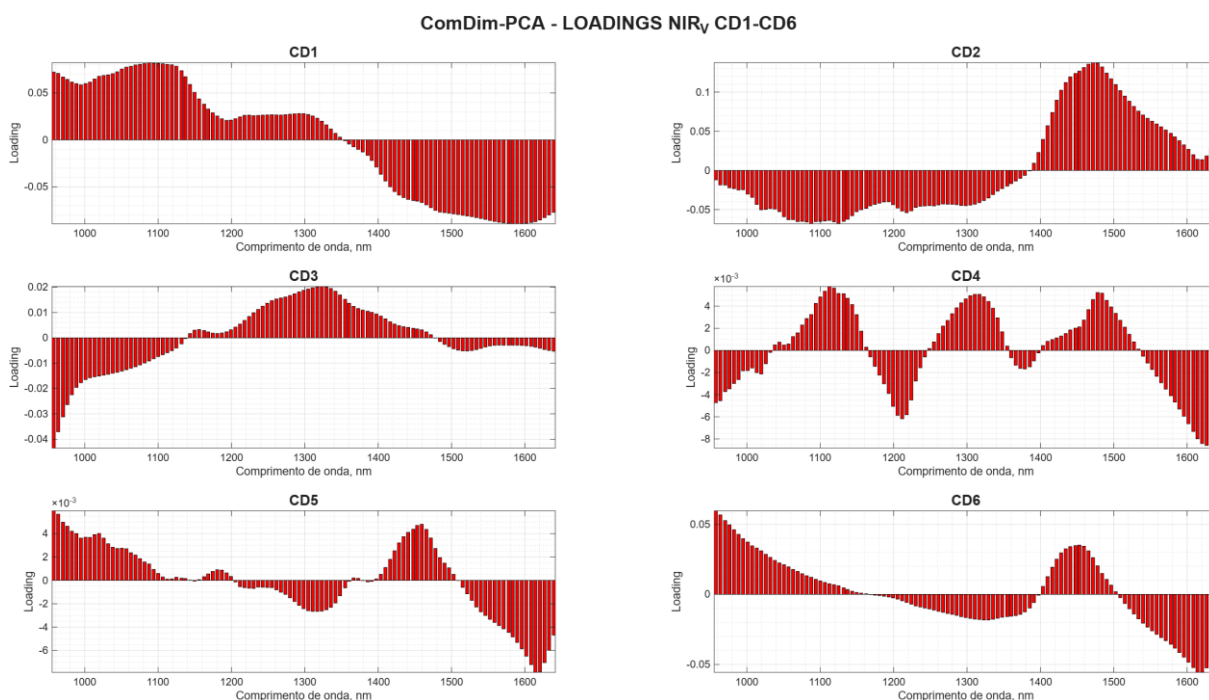


Fonte: Autoria própria (2026).

Para avaliar as variáveis relacionadas aos scores apresentados acima, a Figura 24 apresenta os loadings associados ao MicroNIR 1700 JDSU®. Na CC 1, os loadings da região de 957 a 1350 nm apresentam valores positivos, enquanto os de 1351 a 1639 nm apresentam valores negativos. Desta forma, pode-se associar as amostras tipo 1, INT e OUT às regiões de 957 a 1350 nm e as amostras tipo 2 às regiões de 1351 a 1639 nm. Ou seja, as amostras tipo 1, OUT e INT estão sendo diferenciadas por NIR por apresentarem vibrações atribuídas aos 2º, 3º e 4º sobretons de ligações N-H de aminas primárias e secundárias, além dos 2º e 3º sobretons de vibração das ligações O-H e dos 3º e 4º sobretons de estiramento das ligações S-H (Workman Jr., Jerry; Weyer, 2012). Portanto, estão associadas a (6) *Falling Number*, (7) Tenacidade, (9) Razão entre Tenacidade e Extensibilidade, (13) Estabilidade, (14)

Tempo de Desenvolvimento da Massa, (15) Índice de Tolerância à Mistura e (18) ao parâmetro b do colorímetro.

Figura 24 - Loadings locais: bloco de análises espectroscópicas no equipamento MicroNIR 1700 JDSU®.



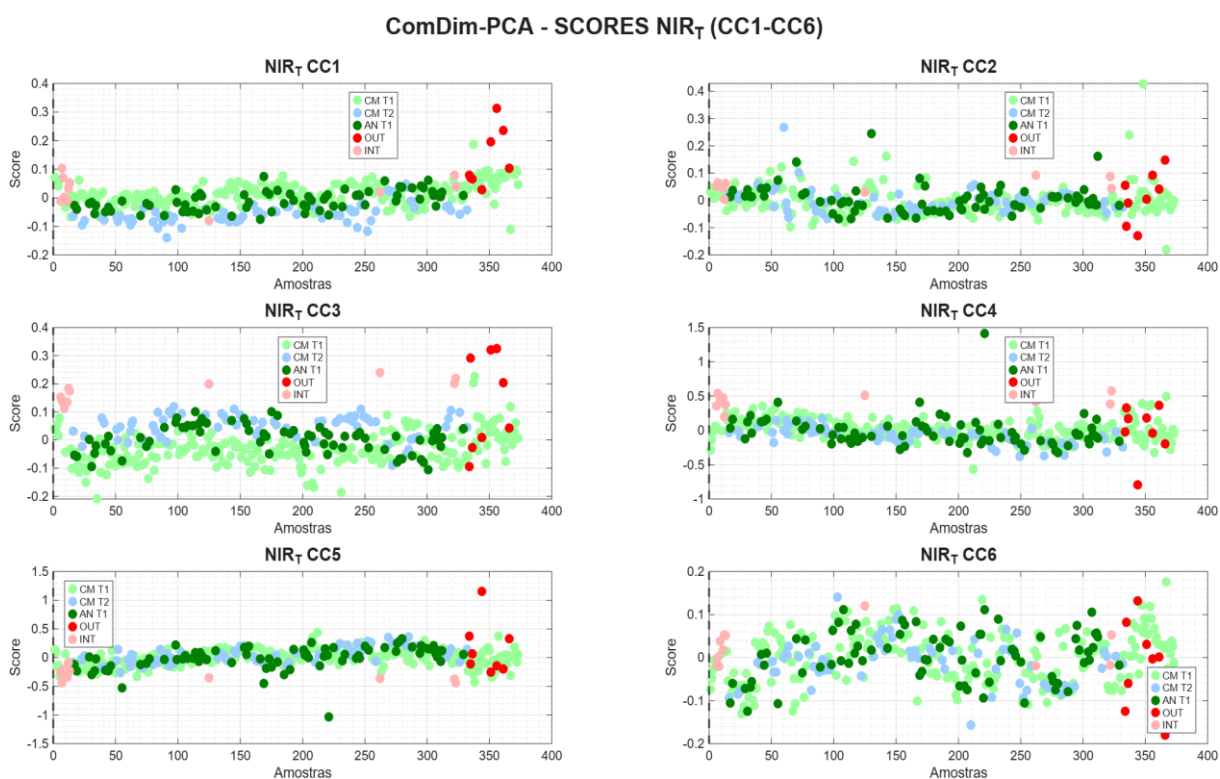
Fonte: Autoria própria (2026).

Na CC 3, que apresenta melhor detecção de padrões de diferenças entre os tipos de amostras, as amostras tipo 1 estão associadas principalmente à região entre 957 e 1137 nm, associada às mesmas vibrações da CC 1, além de estarem associadas, com menor peso, à região entre 1480 a 1639 nm, associada ao 1º sobretom de vibração de ligações N-H de aminas primárias e secundárias e da ligação O-H (Workman Jr., Jerry; Weyer, 2012). Logo, as amostras tipo 1 estão associadas a (1) Umidade e Material Volátil, (6) *Falling Number*, (7) Tenacidade, (10) Índice de Elasticidade, (11) Energia de Deformação, (13) Estabilidade, (14) Tempo de Desenvolvimento da Massa e (16) ao parâmetro L do colorímetro. As amostras tipo 2, OUT e INT estão associadas às vibrações entre 1138 até 1478 nm, que é uma região fortemente associada ao 4º sobretom de vibrações de ligação C=O de grupos

funcionais como ésteres, cetonas, ácidos carboxílicos e, principalmente, amidas secundárias e terciárias (Workman Jr., Jerry; Weyer, 2012).

Por fim, os scores locais dos dados obtidos pelo espectrômetro NIR-S-G1®, apresentados na Figura 25, comportam-se de acordo com o observado para os dados provenientes do equipamento MicroNIR 1700 JDSU®, porém com uma eficiência levemente superior na detecção de padrões de amostras por tipo. Neste caso, tanto a CC 1 quanto a CC 3 apresentam uma separação entre tipos semelhante à observada nas análises físico-químicas.

Figura 25 - Scores locais: bloco de análises espectroscópicas no equipamento NIR-S-G1®

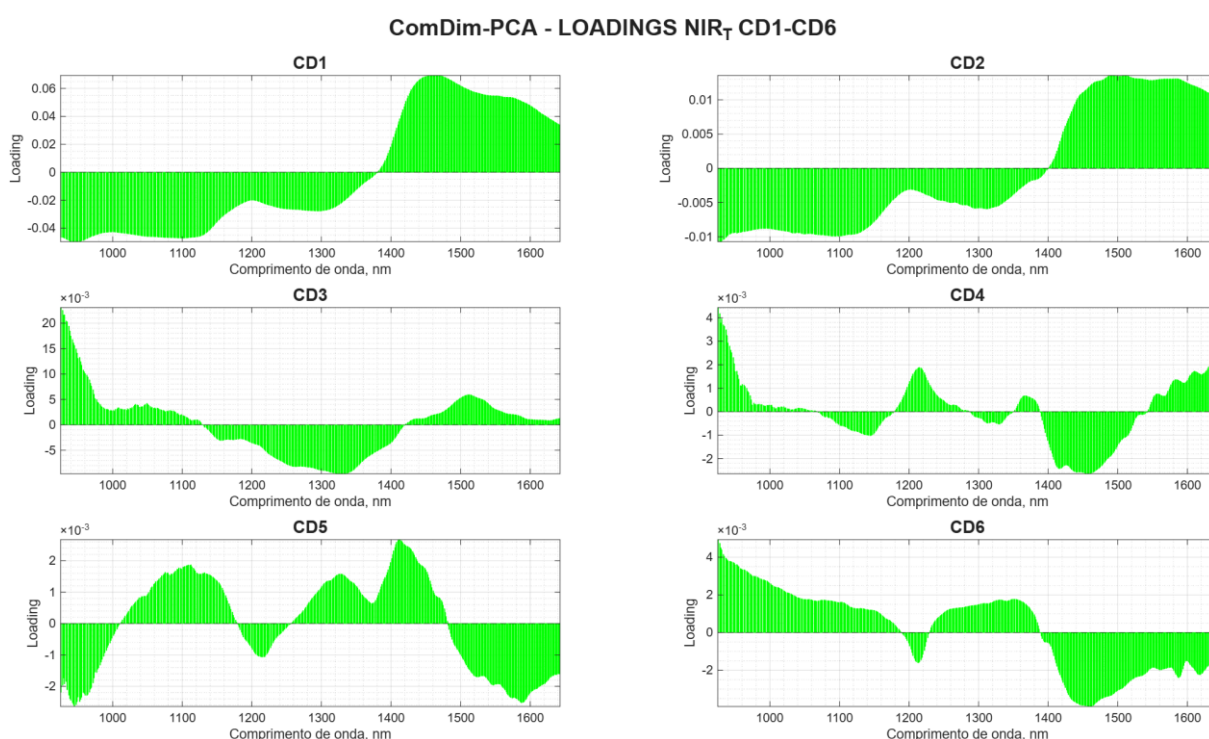


Fonte: Autoria própria (2026).

Os loadings, apresentados na Figura 26, estão invertidos em relação aos obtidos pelo equipamento MicroNIR 1700 JDSU®. Porém, ao observar a Figura 09, constata-se que os sinais dos equipamentos também se apresentam “invertidos”. A explicação para isso vem da forma com que os scores são calculados, ou seja, os scores são calculados multiplicando-se a matriz X (a matriz que contém os espectros)

pelos loadings correspondentes. Logo, os espectros provenientes do equipamento MicroNIR 1700 JDSU® estão invertidos em consequência de também se apresentarem assim. Porém, a distribuição das amostras (scores) é coincidente, ou seja, compartilha um espaço de distribuição comum. No caso dos espectros provenientes do equipamento NIR-S-G1®, os espectros e os loadings são positivos, e, portanto, os scores são gerados positivos também.

Figura 26 - Loadings locais: bloco de análises espectroscópicas no equipamento NIR-S-G1®.



Fonte: Autoria própria (2026).

A composição química de uma farinha é constituída predominantemente por carboidratos e proteínas, destacando-se o amido e as porções proteicas albuminas, globulinas, gliadinas e gluteninas, além de menores concentrações de lipídios e minerais (cinzas). Conforme descrito por Khalid et al. (2023), especialmente as amidas secundárias, apresentam ação direta nas vibrações espectrais obtidas por NIR, com vibrações de estiramento N–H. Tais sinais espectrais reforçam a relação entre os grupos polipeptídicos identificados nos loadings e a composição molecular observada nos parâmetros reológicos dos diferentes tipos de farinha.

No estudo realizado por Silva (2023), verificou-se que farinhas tipo 1, tipo 3 (destinadas ao uso não alimentício) e integrais apresentam diferenças em seus perfis reológicos, embora constituam grupos com propriedades tecnológicas específicas relacionadas à formação e ao comportamento da rede de glúten. Para as farinhas tipo 1, foram observadas variações significativas nos teores de proteínas (11,77% a 14,61%), glúten (23,67% a 31,60%) e cinzas (0,59% a 0,73%). Esses resultados são compatíveis com os encontrados no presente estudo para proteínas (12,56% a 19,12%) e glúten (25,42% a 37,91%).

Em relação ao teor de cinzas, constatou-se que as amostras com valores superiores a 0,68% apresentaram, conseqüentemente, maiores teores médios de proteínas (15,66%) e glúten (32,68%). Esses resultados evidenciam a relação existente entre os componentes presentes em um mesmo grupo de farinha e a qualidade proteica da rede de glúten, relacionados diretamente à força e elasticidade da massa, as quais influenciam diretamente a qualidade tecnológica da matéria-prima. Dessa forma, observa-se que, mesmo dentro da classificação de farinha tipo 1, há variações que permitem direcionar seu uso para diferentes finalidades, como produção de pães, massas com maior elasticidade, produtos fermentados e misturas para bolos (Embrapa, 2021). Nesse contexto, destacam-se as propriedades apresentadas pelas farinhas AN-T1, que demonstraram potencial para aplicações relacionadas a essas últimas finalidades em razão da qualidade de sua rede proteica.

A granulometria de uma farinha determina a distribuição das partículas, refletindo diferenças na proporção de amido, proteínas e lipídios, e reflete em sua colorimetria (Tian *et al.*, 2022). Tais partículas possuem sensibilidade nas regiões espectrais associadas às vibrações dos grupos O–H e N–H, ligadas ao grau de hidratação das moléculas que a constituem, especialmente proteínas e carboidratos. Esses sinais O-H podem evidenciar a interação de água com o amido refletindo na capacidade de absorção pela farinha e reação com as proteínas do meio, influenciando nos parâmetros reológicos de tempo de desenvolvimento, estabilidade da massa e a relação entre (P/L) (Meenu *et al.*, 2024).

As amostras classificadas como Tipo 2 neste estudo apresentaram destaque em parâmetros como extensibilidade, absorção de água e teor de proteínas. Os valores mais elevados observados nessas características estiveram associados a

maiores teores de cinzas, coloração mais amarelada e menor estabilidade da massa. Esse comportamento é observado em farinhas com predominância de gliadinas que conferem maior extensibilidade à massa e influenciam a qualidade tecnológica do glúten. Como consequência, essas características promovem maior viscosidade quando a farinha é homogeneizada com água, favorecendo aplicações específicas que demandam maior capacidade de deformação da massa durante o processamento (Shewry *et al.*, 2000).

Observa-se que as amostras classificadas como Tipo 1 apresentaram valores intermediários quando comparadas às farinhas Tipo 2, fora de tipo (uso não alimentício) e às integrais para teores proteicos. Isso reforça-se aos sinais vibracionais encontrados na região de 1460 a 1500 nm (primeiro sobretom das vibrações de estiramento dos grupos N–H primários e secundários), bem como na faixa de 1480 a 1639 nm (associada ao primeiro sobretom das ligações N–H), são característicos de ésteres e amidas primárias e secundárias para proteínas e lipídios. Observou-se ainda a geração de sinais nas regiões de 957 e 1350 nm (segundo e terceiro sobretons), relacionados aos grupos de O–H como amido e proteínas, C–H, presentes em lipídios e cadeias orgânicas, e N–H, com menor contribuição. Salienta-se que farinhas brancas podem apresentar teores expressivos de proteínas e baixo de lipídios devido ao processo de moagem que lhe permite a predominância do endosperma. Em contrapartida, farinhas de extração mais elevada e escuras advindas de maior conteúdo de farelo e fibras, promovem a maior concentração de lipases que prejudicam seu *shelf-life* (Faroni *et al.*, 2007; Wiesir, 2007).

As ramificações que constituem a amilose e a amilopectina influenciam diretamente na resposta espectral da amostra, pois ao considerar que os carboidratos constituem sua maior fração, torna-se coerente vibrações nas regiões de O–H (carboidratos) e S–H (proteínas), conforme observadas nas amostras Tipo 1 na PC 3, implicando diretamente em sua capacidade tecnológica de glúten (Chai *et al.*, 2025).

A caracterização molecular das proteínas desta matriz vêm sendo estudadas para entender seu comportamento, conforme proposto por Oyeyinka e Bassey (2025), ao evidenciarem que o desempenho tecnológico das farinhas são afetados diretamente por esta composição, principalmente para a matriz integral que possui maior complexidade química com presença de compostos fenólicos e atividade

antioxidante de flavonoides, taninos e ácidos fenólicos (Kajiwara *et al.*, 2024). Os sinais observados nas regiões de 1320 a 1360 nm e de 970 a 1000 nm podem sugerir a presença desses compostos, principalmente na matriz integral, o que também pode ocorrer para nas amostras Tipo 1, mas em menor proporção. Além disso, esta faixa está atribuída ao segundo sobretom das vibrações O–H e ao terceiro sobretom das vibrações de estiramento S–H, sugerindo a presença de ligações dissulfeto que conferem as propriedades estruturais e de força, influenciando na rede de gluten e elasticidade da massa. Essas características indicam presença de maior proporção de gluteninas que são ricas em cisteína.

A importância das concentrações de proteínas, carboidratos, bem como o desempenho tecnológico e constituição de rede de gluten também foram avaliadas por Oyeyinka e Bassey (2025) ao analisar as vibrações moleculares de diferentes farinhas de trigo, reafirmando que as diferenças moleculares afetam diretamente sua performance. Esses resultados corroboram os achados do presente estudo, indicando que a composição química das farinhas se reflete nas regiões espectrais discriminadas, estando associada a propriedades reológicas e tecnológicas como colorimetria, estabilidade, tempo de desenvolvimento, índice de elasticidade, energia de deformação, falling number, umidade e material volátil, especialmente para as amostras classificadas como Tipo 1. Nesse contexto, as vibrações atribuídas ao segundo, terceiro e quarto sobretons das ligações N–H de aminas primárias e secundárias, bem como ao segundo e terceiro sobretons das ligações O–H e ao terceiro e quarto sobretons das ligações S–H, destacadas para os grupos Tipo 1, fora de tipo (uso não alimentício) e integral, evidenciam que as diferenças observadas entre esses grupos estão diretamente relacionadas à composição química de cada farinha.

Ao partir deste entendimento molecular, ao analisar as bandas espectrais atribuídas às amidas secundárias, localizadas na região de 1140 a 1160 nm, é possível inferir sua relação com os parâmetros centesimais de proteínas observados nas amostras avaliadas neste estudo. Essa associação pode estar vinculada a características como solubilidade proteica, quantidade de glúten e qualidade tecnológica da rede proteica, fatores que influenciam diretamente o desempenho das farinhas em diferentes aplicações industriais.

As farinhas Tipo 1 analisadas neste estudo apresentaram valores de força de glúten (W – Energia de Deformação) variando de 284×10^{-4} J a 499×10^{-4} J. Além disso, todas as amostras apresentaram valores do parâmetro P (tenacidade) superiores aos do parâmetro L (extensibilidade). De acordo com a legislação brasileira vigente, estabelecida pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), farinhas destinadas à produção de pães devem apresentar força de glúten superior a 220×10^{-4} J (Brasil, 2010). Dessa forma, os resultados obtidos indicam que todas as amostras avaliadas atendem a esse requisito tecnológico.

Em relação à razão P/L , as amostras classificadas como Tipo 1 apresentaram, de modo geral, características compatíveis com glúten balanceado, condição considerada adequada para aplicações em panificação. Entretanto, algumas amostras apresentaram valores superiores a 2,0, indicando a presença de farinhas fortes com potencial de utilização em produtos que demandam maior resistência da massa, como massas frescas. Esse comportamento pode ser observado pelos elevados valores de tenacidade, evidenciando maior resistência à deformação, confirmando sua aptidão para aplicações específicas (Abitrigo, 2022).

A performance de uma farinha para a panificação é afetada diretamente por sua capacidade de fermentação. Logo, quanto maior o valor de W , mais desenvolvida é sua rede viscoelástica de glúten, consequentemente gerando maior tempo para desenvolvimento ideal da massa, o que favorece na obtenção de produtos panificáveis com maior volume, estrutura de miolo uniforme e textura macia (Cauvain e Young, 2009)

Concentrações maiores de farelo interferem na gelatinização do amido, pois ocorrerá a diluição do amido disponível no gel formado (Facin, 2020). O farelo promove maior concentração de arabinoxilanos em conjunto com as enzimas xilanases, contribuindo para alterações na absorção de água e na viscosidade da massa. Valores muito baixos de Falling Number indicam elevada atividade de α -amilase, geralmente associada à germinação do grão e comprometimento da qualidade tecnológica da farinha. Os valores de *Falling Number* no presente estudo apresentaram comportamento semelhante entre todas as amostras analisadas, embora os maiores resultados tenham sido observados nas farinhas classificadas como Tipo 1. Trata-se de um parâmetro que deve ser avaliado em conjunto com as

demais propriedades tecnológicas, especialmente em relação à Energia de Deformação (W), pois os alvéolos da massa que são construídos durante a fermentação são afetados diretamente pela integridade do amido presente ao meio.

As amostras classificadas como Tipo 1 apresentaram valores de matéria mineral inferiores a 1,00%, em conformidade com as características esperadas para esse grupo de farinhas. Observou-se ainda que as amostras que apresentaram teores superiores a 0,80% de matéria mineral exibiram também maiores valores de luminosidade (L^*), além de valores positivos de a^* e b^* superiores aos das demais amostras AN-T1. Esses resultados indicam uma tendência a tonalidades mais avermelhadas e amareladas, característica que pode estar associada à variabilidade fenólica dos grãos utilizados na produção das farinhas (Bartaburu, 2021). Dessa forma, a composição mineral e os compostos presentes no grão demonstram influência não apenas sobre as propriedades tecnológicas, mas também sobre os atributos visuais do produto final.

Nas amostras que apresentaram maiores valores de luminosidade (L^*), observaram-se valores negativos para o parâmetro a^* . Esses resultados indicam uma tendência a tonalidades esverdeadas. Da mesma forma, valores de b^* inferiores a 12, como os observados nas farinhas classificadas como Tipo 2, sugerem menor predominância de tonalidades amareladas. De acordo com Zardo (2010), produtos como pães e massas frescas demandam farinhas mais claras, as quais, em geral, apresentam menores teores de cinzas. Dessa forma, observa-se uma relação direta entre o teor de matéria mineral e a luminosidade da farinha, permitindo inferir que as amostras Tipo 1 que apresentaram essas características possuem potencial tecnológico favorável para a produção de massas frescas.

A colorimetria da farinha também está diretamente relacionada à sua capacidade de absorção de água. Nesse sentido, verificou-se que todas as amostras classificadas como Tipo 1 apresentaram valores de absorção inferiores aos observados para as amostras Tipo 2. Esse comportamento pode ser explicado pela maior presença de fibras nas farinhas do Tipo 2, as quais possuem elevada capacidade de retenção de água durante o processo de mistura. Além disso, o farelo tende a interferir na formação da rede de glúten, competindo com proteínas e amido pela água disponível e influenciando diretamente as propriedades tecnológicas da

massa. Segundo Bartaburu (2021), farinhas com glúten mais tenaz apresentam absorção de água equilibrada e maior estabilidade durante a mistura. Tal comportamento foi observado neste estudo, uma vez que as amostras do Tipo 1 apresentaram valores de estabilidade superiores aos das demais classes, especialmente quando comparadas às farinhas fora de tipo (uso não alimentício) e integrais.

Em estudo conduzido pela Embrapa (2021), verificou-se que farinhas com estabilidade superior a 15,1 minutos são classificadas como trigo melhorador; aquelas com estabilidade mínima de 11,4 minutos pertencem à classe trigo pão; valores mínimos de 6 minutos caracterizam a classe doméstica; e estabilidade igual ou superior a 4,9 minutos enquadra o produto na classe trigo básico. Além disso, a composição molecular influencia diretamente nas propriedades físico-químicas e nutricionais de cereais (Meenu *et al.*, 2024). Vibrações de amidas secundárias e primárias em farinhas promovem alterações estruturais de capacidade térmica e tecnológica (Narwal *et al.*, 2024). Esses estudos corroboram a hipótese de que modificações nas concentrações proteicas de farinhas afetam diretamente o perfil reológico e espectral, conforme observado nas farinhas Tipo 2 ao destacarem sinais vibracionais associadas aos grupos N–H e C–O, relacionados aos menores valores de estabilidade farinográfica.

Modelos preditivos para relacionar a composição das farinhas aos espectros obtidos por espectroscopia no infravermelho próximo (NIR), são desenvolvidos para a determinação de constituintes químicos e propriedades tecnológicas. Nesse contexto, Boglou *et al.* (2023) propuseram esta abordagem para prever teores de proteínas, umidade e cinzas, enquanto Ziegler *et al.* (2025) promoveram modelos de regressão multivariada para estimar parâmetros reológicos de glúten, absorção de água, estabilidade, propriedades alveográficas e extensográficas. Por sua vez, Zhang *et al.* (2022), evidenciaram a dificuldade de interpretação espectral NIR de grupos O–H, N–H e C–H devido à sobreposição das bandas, o que deve ser avaliado minuciosamente. Esses resultados evidenciam o potencial da técnica para avaliação da qualidade de farinhas, especialmente quando associada a modelos estatísticos robustos.

A eficiência dessa combinação entre NIR e métodos quimiométricos também foi demonstrada por Zhou et al. (2026), ao obterem taxas expressivas de acertos preditivos em modelos estatísticos, reportando índices assertivos de 96,8% para umidade e proteínas, 90,3% para glúten e 100% para amido, demonstrando a elevada capacidade preditiva desses modelos.

O estudo realizado por Yazar (2023) destaca também que propriedades reológicas de extensibilidade, tenacidade e rede de glúten, estão diretamente relacionadas ao equilíbrio na composição de gliadinas e gluteninas nesta rede, o que pode ser avaliada indiretamente por técnicas espectroscópicas, como NIR. Essa interpretação está de acordo com os resultados observados para as farinhas classificadas como Tipo 2 neste estudo, que apresentaram maior extensibilidade e menor estabilidade, características frequentemente associadas a sistemas proteicos com maior predominância de gliadinas, o que destaca a importância do conhecimento da constituição deste sistema.

A pesquisa de Ziegler et al. (2025) demonstrou também que o NIR possui potencial para detecção de padrões reológicos de menor estabilidade, tempo de desenvolvimento e maior absorção de água em matrizes que apresentam tais características. Estes dados foram obtidos a partir da associação dos dados farinográficos aos resultados observados pelo método padrão. Os resultados são consistentes com os obtidos no presente estudo para a classe Tipo 2, pois as características aqui encontradas associam-se às vibrações localizadas entre 1351 e 1639 nm referentes ao início e 1º sobretom de O–H e C–H, N–H presentes em proteínas, C–H, associados aos lipídios e a outras estruturas orgânicas, e O–H, relacionado à água e aos carboidratos, que contribuem para a elevada capacidade de absorção de água e menor estabilidade observada nas análises farinográficas destas amostras.

Ainda, de forma complementar, Dong et al. (2024) verificaram que farinhas com luminosidades menores caracterizaram-se por maiores teores de cinzas, menor estabilidade e maior extensibilidade. Segundo os autores, essas características são conferidas à farinhas que possuem maior conteúdo de farelo, influenciadas pelos elevados teores de fibras. Os resultados descritos acima apresentam forte concordância com os observados para as farinhas Tipo 2 deste estudo, que se

destacaram pelos maiores teores de cinzas, menores valores de luminosidade e características reológicas associadas a maior extensibilidade e alterações na composição proteica.

Dessa forma, ao analisar conjuntamente os resultados obtidos, observa-se que as amostras classificadas como Tipo 1 apresentaram maiores valores de luminosidade (L^*), estabilidade, tempo de desenvolvimento da massa, elasticidade, energia de deformação (W), Falling Number e umidade. Em contrapartida, as amostras Tipo 2 caracterizaram-se por maiores teores de cinzas, maior capacidade de absorção de água, menor estabilidade, predominância de gliadinas, maior viscosidade e coloração mais intensa. Esses resultados evidenciam que diferenças estruturais e composicionais entre as farinhas podem ser identificadas e avaliadas por meio da espectroscopia NIR, demonstrando o potencial da técnica para discriminar grupos com distintas características tecnológicas e reológicas.

9 CONCLUSÃO

A espectroscopia NIR apresenta potencial de aplicação como ferramenta de triagem para distinguir tipos de farinha de trigo. Esta conclusão pode ser obtida ao compararem-se os resultados das análises de espectroscopia NIR dos dois equipamentos (MicroNIR 1700 JDSU® e NIR-S-G1®) com os resultados das análises físico-químicas e reológicas utilizadas na tipificação oficial.

Ao serem aplicadas PCA e ComDim para explorar padrões globais e relações entre as diferentes técnicas, evidenciou-se que a PCA permite encontrar padrões dos tipos de farinha, e que a ComDim permitiu relacionar regiões espectrais com características estruturais de teor proteico, absorção de água e composição química da farinha, evidenciando sua qualidade tecnológica. O equipamento NIR-S-G1® apresentou desempenho ligeiramente superior ao do MicroNIR 1700 JDSU®.

Além disso, a aplicação de ComDim indicou, com base nas saliências, pouca relação entre as técnicas de espectroscopia e as análises físico-químicas. Neste sentido, destaca-se a CC3 como a melhor a proporcionar a separação entre os tipos. Contudo, essa separação foi atribuída em sua maior importância aos dados físico-químicos e reológicos, indicando pouca importância do NIR nesta dimensão.

Logo, verifica-se que a espectroscopia NIR possui potencial para utilização no monitoramento e na triagem de farinhas em escala laboratorial industrial, promovendo ganhos para tempo, custos com reagentes e confiança analítica. Contudo, sugere-se também que análises complementares, com o objetivo de testar a capacidade de previsão de teores e/ou de classificação por meio de modelos preditivos, sejam realizadas para aprimorar a avaliação entre as técnicas.

REFERÊNCIAS

- ABITRIGO. Associação Brasileira da Indústria do Trigo. **A farinha de trigo**. São Paulo, 2025. Disponível em: <http://www.abitrigo.com.br/conhecimento/a-farinha-de-trigo/>. Acesso em: 7 mar. 2025.
- ABITRIGO. Associação Brasileira da Indústria do Trigo. **Estatísticas**. São Paulo, 2022. Disponível em: <http://www.abitrigo.com.br/estatisticas-importacao-e-exportacao.php>. Acesso em: 10 mar. 2025.
- ABITRIGO. Associação Brasileira da Indústria do Trigo. **Site oficial**. São Paulo, 2025. Disponível em: <https://www.abitrigo.com.br>. Acesso em: 4 mar. 2025.
- ABITRIGO. Associação Brasileira da Indústria do Trigo. **Sobre o trigo e estatísticas**. São Paulo, 2015. Disponível em: <https://www.abitrigo.com.br>. Acesso em: 12 fev. 2025.
- ANDRÉ, C. M.; SOUKOULIS, C. Food quality assessed by chemometrics. **Foods**, v. 9, n. 7, p. 897, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods9070897>.
- AURIS, G.; EVELINA, P.; RAFAEL, D. Características físicas, químicas y funcionales de las harinas obtenidas por secado del ñame, ocumo y mapuey. **Agronomia Tropical**, v. 62, n. 1-4, p. 51–67, 2012.
- BAQUETA, M. R. et al. Improving mass spectrometry interpretability through multiblock ComDim ICA: geographical and varietal traceability of Brazilian Coffea canephora. **Talanta**, v. 281, p. 126927, jan. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2024.126927>.
- BARTABURU, X. **Do grão ao pão: farinha de trigo – história da moagem no Brasil**. São Paulo: Origem, 2016. Disponível em: http://www.abitrigo.com.br/cloud/Livro_ABITRIGO.pdf. Acesso em: 16 mar. 2026.
- BOGLOU, V.; VERGINADIS, D.; KARLIS, A. Investigation on the integration of low-cost NIR spectrometers in mill flour industries for protein, moisture and ash content estimation. **Sensors**, v. 23, n. 20, 2023.
- BRANDÃO, S.; LIRA, H. **Tecnologia de panificação e confeitaria**. [S. l.: s. n.], 2011. Disponível em: https://www.abip.org.br/site/wp-content/uploads/2016/03/Tecnologia_de_Panificacao_e_Confeitaria.pdf. Acesso em: 16 mar. 2025.
- BRANDELLI, A. **Desenvolvimento de ração funcional para aves e suínos através da modificação no farelo de trigo**. Porto Alegre: IEL, 2012.
- BRASIL. **Decreto-Lei nº 79, de 19 de dezembro de 1966**. Dispõe sobre o comércio de trigo e dá outras providências. Brasília, DF, 1966. Disponível em:

<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/declei/1960-1969/decreto-lei-79-19-dezembro-1966-376012-norma-pe.html>. Acesso em: 20 mar. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Portaria nº 780, de 10 de março de 2025**. Publica os preços mínimos para o café, a laranja, o sisal, o trigo em grãos e semente de trigo. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 11 mar. 2025. Disponível em: <https://www.abrasem.com.br/wp-content/uploads/2024/12/Portaria-MAPA-n-780-DE-10-DE-MARCO-DE-2025-Publica-os-precos-minimos-para-o-cafe-a-laranja-o-sisal-o-trigo-em-graos-e-semente-de-trigo.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2026.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 38, de 30 de novembro de 2010**. Regulamento técnico de identidade e qualidade da farinha de trigo. Brasília, DF, 2010. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura>. Acesso em: 2 mar. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 8, de 2 de junho de 2005**. Regulamento técnico de identidade e qualidade da farinha de trigo. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil: seção 1, Brasília, DF, n. 105, p. 91, 3 jun. 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 493, de 15 de abril de 2021**. Norma técnica referente à farinha de trigo integral. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 711, de 1º de julho de 2022**. Norma técnica referente à farinha de trigo. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 2022.

BRERETON, Richard G. **Chemometrics: data driven extraction for science**. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2018.

BRO, R.; SMILDE, A. K. Principal component analysis. **Analytical Methods**, v. 6, n. 9, p. 2812–2831, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1039/c3ay41907j>.

BROWN, S. D. Has the chemometrics revolution ended? Some views on the past, present and future of chemometrics. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 30, n. 1, p. 49–58, 1995. DOI: [https://doi.org/10.1016/0169-7439\(95\)00034-8](https://doi.org/10.1016/0169-7439(95)00034-8).

BRUKER. **What is FT NIR spectroscopy?** Disponível em: <https://www.bruker.com/en/products-and-solutions/infrared-and-raman/ft-nir-spectrometers/what-is-ft-nir-spectroscopy.html>. Acesso em: 13 mar. 2026.

CALIBRE. **What is Hagberg falling number?** Disponível em: <https://www.calibrecontrol.com/news-blog/2019/10/1/what-is-hagberg-falling-number>. Acesso em: 8 mar. 2025.

CARCEA, M.; NARDUCCI, V.; TURFANI, V.; FINOTTI, E. Stone milling versus roller milling in soft wheat (Part 2): Influence on nutritional and technological quality of

products. **Foods**, v. 11, n. 3, p. 339, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11030339>.

CARREIRA, L. Perfil peptídico de hidrolisados proteicos da farinha de trigo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, p. 481–489, 2011.

CAUVAIN, S. T.; YOUNG, L. S. **Tecnologia de panificação**. 2. ed. Barueri: Manole, 2009.

CERESINO, E. B. et al. Transglutaminase from newly isolated *Streptomyces* sp. CBMAI 1617: production optimization, characterization and evaluation in wheat protein and dough systems. **Food Chemistry**, v. 241, p. 403–410, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.010>.

CEZAR, A. P. C. **Controle de qualidade na farinha de trigo**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Alimentos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Campo Mourão, Campo Mourão, 2012.

CHAI, Y.; WANG, R.; ZHANG, B.; TANG, Y.; LI, C.; GUO, B.; LI, M. A importância da estrutura molecular para as propriedades texturais e físico-químicas da farinha de trigo extrudida. **Foods**, v. 14, n. 10, p. 1829, 2025.

CIACCO, C. F.; CHANG, Y. K. **Como fazer massas**. São Paulo: Ícone; Campinas: Editora da UNICAMP, 1986.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Confira o calendário de 2026 de levantamentos das safras agrícolas e do mercado hortigranjeiro**. Brasília, DF: CONAB, 2026. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/assuntos/noticias/confira-o-calendario-de-2026-de-levantamentos-das-safras-agricolas-e-do-mercado-hortigranjeiro>. Acesso em: 23 mar. 2026.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Perspectivas de diversificação e de investimentos na produção de arroz – trigo – feijão**: estudo preliminar. Brasília, DF: CONAB, 2016b. (Compêndio de Estudos Conab, v. 1). 51 p. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/OlalaCMS/>. Acesso em: 18 fev. 2025.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Promessa de marca histórica**: produção de grãos deve crescer 9,4% e garantir safra recorde em 2025. Brasília, DF: CONAB, 2025. (Levantamento de Safra). Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 28 fev. 2025.

CRUZ, E. B. S. et al. A multi block Path ComDim data approach in the investigation of cachaça: integrating sensory analysis with electronic and vibrational spectroscopies. **Food Chemistry**, v. 481, p. 143894, jul. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.143894>.

DE SOUZA ZANGIROLAMI, M.; MOREIRA, T. F. M.; LEIMANN, F. V.; VALDERRAMA, P.; MARÇO, P. H. Texture profile and short NIR spectral vibrations relationship evaluated through ComDim: the case study for animal and vegetable

proteins. **Food Control**, v. 143, p. 109290, 2023. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109290>>.

DERKX, P.; MARES, J. A expressão da α -amilase de maturidade tardia no trigo é influenciada pelo genótipo, temperatura e estágio de desenvolvimento do grão. **Planta**, v. 251, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00425-020-03341-1>>.

DOBRA SZCZYK, B. J.; MORGENSTERN, M. P. Rheology and the breadmaking process. **Journal of Cereal Science**, v. 38, n. 2, p. 229–245, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0733-5210\(03\)00009-0](https://doi.org/10.1016/S0733-5210(03)00009-0).

DONG, Z.; SU, T.; DAI, M.; DON, C.; GUO, B.; DU, S.; ZHANG, B. The relationship between large deformation rheology of wheat flour dough with protein quantity and aggregate stretching degree of milling streams flour based on regression analysis. **Czech Journal of Food Sciences**, v. 42, n. 5, p. 353–363, 2024. DOI: <https://doi.org/10.17221/64/2024-CJFS>.

DU, Z.; TIAN, W.; TILLEY, M.; ZHANG, G.; LI, Y. Quantitative assessment of wheat quality using near infrared spectroscopy: a comprehensive review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12958>.

DUBIN, G. et al. Common components and specific weights analysis: a tool for preprocessing metabolomics data. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 150, p. 41–50, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2015.11.005>.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2013. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/trigo.htm>. Acesso em: 22 fev. 2025.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2022. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/trigo.htm>. Acesso em: 18 fev. 2025.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Trigo: estabilidade farinográfica como um dos critérios de classificação comercial de trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2021. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1139942/1/Doc198-online-Eliana-completo.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2025.

ESTELLER, M. S. **Fabricação de pães com reduzido teor calórico e modificações reológicas ocorridas durante o armazenamento**. 2004. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/9/9133/tde-04082004-143224/publico/Esteller.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2025.

ESTEVEZ DA SILVA, C.; LEIMANN, F. V.; RIBEIRO SANCHES, Y. Y.; DE CARVALHO RODRIGUES, V.; TFAYLI, A.; RUTLEDGE, D. N.; MARÇO, P. H. Food

freshness and composition evaluated by colorimetry, TPA, and spectroscopy through ICA based ComDim: a case study of a peanut based protein enriched food. **Food Control**, v. 169, p. 110978, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2024.110978>.

ESTOPA, R. A.; MILAGRES, R. F.; GOMES, F. J. B.; AMARAL, C. A. S. Caracterização química da madeira de *Eucalyptus benthamii* por meio de espectroscopia NIR. **O Papel**, v. 78, n. 2, p. 75–81, fev. 2017.

FACIN, Alan. **Qualidade tecnológica de farinhas suplementadas com glúten vital e aplicadas à panificação**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira, Medianeira, 2020.

FARONI, L. R. D. Qualidade da farinha obtida de grãos de trigo fumigados com dióxido de carbono e fosfina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 115–119, 2007.

FERREIRA, M. C. M. et al. Common components and specific weights analysis for discrimination and quality evaluation of vegetable oil. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 52, n. 9, p. 1995–2005, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.13473>.

FERREIRA, M. M. C. **Quimiometria: conceitos, métodos e aplicações**. Campinas: Editora da Unicamp, 2015. DOI: <https://doi.org/10.7476/9788526814714>.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do trigo**. Jaboticabal, SP: FUNEP, 2008.

GERMANI, R. **Características dos grãos e farinhas de trigo e avaliações de suas qualidades**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2008.

GUARIENTE, E. **Qualidade industrial de trigo**. 2. ed. Passo Fundo: EMBRAPA CNPT, 1996. 36 p.

GUTKOSKI, L. C.; KLEIN, B.; PAGNUSSATT, F. A. Características tecnológicas de genótipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) cultivados no Cerrado. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 3, p. 786–792, 2007.

GWIRTZ, J. A.; WILLYARD, M. R.; MCFALL, K. L. W. Wheat: more than just a plant. In: MÜHLEN CHEMIE. **Future of flour: a compendium of flour improvement**. 2014. Disponível em: <http://muehlenchemie.de/english/know-how/future-of-flour.html>. Acesso em: 10 fev. 2025.

HANS, G.; ALLISON, B. On line characterization of wood chip brightness and chemical composition by means of visible and near infrared spectroscopy. **Holzforschung**, v. 75, n. 11, p. 989–1000, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1515/hf-2021-0027>.

HIDALGO, A.; FONGARO, L.; BRANDOLINI, A. Wheat flour granulometry determines colour perception. **Food Research International**, v. 64, p. 363–370, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.06.050>.

HOLAS, J.; TIPPLES, K. H. Factors affecting farinograph and baking absorption. I. Quality characteristics of flour streams. **Cereal Chemistry**, v. 55, n. 5, p. 637–652, set./out. 1978.

ICTA. Instituto de Ciência e Tecnologia em Alimentos. **Atividade enzimática – farinha de trigo**. 2021. Disponível em: <https://lume-re-demonstracao.ufrgs.br/avaliacao-qualidade/item3.php>. Acesso em: 1 mar. 2025.

ICTA. Instituto de Ciência e Tecnologia em Alimentos. **Avaliação da qualidade tecnológica/industrial da farinha de trigo**. 2018. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/napead/projetos/avaliacaofarinhatrigo/1g.php>. Acesso em: 7 mar. 2025.

INDISA. **La importancia de la harina en la producción de pan**. Disponível em: <http://www.indisa.es/al-dia/importancia-harina-produccion-pan>. Acesso em: 7 mar. 2025.

JOUAN-RIMBAUD-BOUVERESSE, D.; RUTLEDGE, D. N. A synthetic review of some recent extensions of ComDim. **Journal of Chemometrics**, v. 38, n. 5, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1002/cem.3454>.

KAJIWARA, V. **Características físico-químicas e reológicas de farinhas integrais de genótipos de trigos cultivados em diferentes ambientes**. 2024. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2024.

KAROUI, R. et al. Common components and specific weights analysis: a tool for monitoring the molecular structure of semi-hard cheeses during ripening. **Analytica Chimica Acta**, v. 572, n. 1, p. 125–133, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aca.2006.03.012>.

KHALID, A.; HAMEED, A.; TAHIR, M. F. Wheat quality: a review on chemical composition, nutritional attributes, grain anatomy, types, classification, and function of seed storage proteins in bread making quality. **Frontiers in Nutrition**, v. 10, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1053196>. Acesso em: 12 mar. 2026.

LANZARINI, P. **Controle de qualidade aplicado à farinha de trigo panificável produzida em moinhos do estado do Paraná**. Francisco Beltrão: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2020. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/8372>. Acesso em: 12 mar. 2025.

LENGOWSKI, E. C.; MUÑIZ, G. I. B. de; KLOCK, U.; NISGOSKI, S. Potential use of NIR and visible spectroscopy to analyze chemical properties of thermally treated wood. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, v. 20, n. 4, p. 1–20, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2018005041401>.

LOVERA, M. **Qualidade tecnológica de farinha de trigo obtida em diferentes frações: diagrama de moagem.** 2020. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/25505/1/farinhatrigodiagramamoagem.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2025.

MANDARINO, J. M. G. **Aspectos importantes para a qualidade do trigo.** Londrina: Embrapa CNPSo, 1993. (Documentos, n. 27).

MARTINS, J. A.; SARGENTELLI, V. Infravermelho próximo na avaliação quantitativa foliar. **Revista Prospectus**, v. 3, n. 1, p. 33–55, 2021.

MEENU, M.; KAUR, S.; YADAV, M.; SHARMA, A.; TIWARI, V.; ALI, U.; GIRI, L.; BADWAL, A. K.; GARG, M. Impacto da composição química inerente do trigo e de várias tecnologias de processamento na farinha integral e seus produtos finais. **Cereal Research Communications**, v. 53, p. 409–424, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42976-023-00393-3>.

METROHM. **AN NIR 123:** Flour analysis by near infrared spectroscopy (NIRS). 2026. Disponível em: https://www.metrohm.com/content/metrohm/en_us/applications/application-notes/nahinfrarotspektroskopieannir/an-nir-123.download.pdf. Acesso em: 18 mar. 2026.

MONAKHOVA, Y. B. et al. Improved classification of fused data: synergistic effect of combining partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) and common components and specific weights analysis (CCSWA) applied to tomato profiles (NMR, IR and MIR). **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 156, p. 1–6, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2016.05.015>.

MORETA, M. 48 000 toneladas de harina consume el país. **Revista Líderes**, 2015.

MUNDSTOCK, C. M. **Cultivo dos cereais de estação fria:** trigo, cevada, aveia, centeio, alpiste e triticale. Porto Alegre: NBS, 1983.

NARWAL, J.; YADAV, R. B.; YADAV, B. S. Physicochemical, rheological and structural properties of selected cultivars of wheat (*T. aestivum*). **European Food Research and Technology**, v. 250, p. 2025–2038, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-024-04511-1>.

NETO, B. de B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. 25 anos de quimiometria no Brasil. **Química Nova**, v. 29, n. 6, p. 1401–1406, 2006.

NEVES, J. A. **Interferência da farinha de trigo na qualidade micológica e micotoxicológica do pão tipo francês.** 2013. 70 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2013.

NITZKE, J. A.; THYS, R. C. S. **Avaliação da qualidade tecnológica/industrial da farinha de trigo.** 2020. Disponível em:

<https://www.ufrgs.br/napead/projetos/avaliacaofarinhatrigo/index.php>. Acesso em: 23 fev. 2025.

NUNES, Sâmara Magdalene Vieira. **Espectroscopia no infravermelho próximo na avaliação da qualidade de cavacos destinados à produção de energia**. 2022. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2022.

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

OYEYINKA, S. A.; BASSEY, I. A. V. Composition, functionality, and baking quality of flour from four brands of wheat flour. **Journal of Culinary Science & Technology**, v. 23, n. 1, p. 87–107, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1080/15428052.2023.2191874>.

PALADINI, E. P. **Gestão da qualidade**: a nova dimensão da gerência de produção. Trabalho apresentado à Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para concurso de professor titular, 1996.

PANDISELVAM, R. et al. Recent advances in NIR spectroscopy for quality and safety evaluation of horticultural products: a comprehensive review. **Frontiers in Nutrition**, v. 9, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.973457>.

PEREIRA, J. Função dos ingredientes na consistência da massa e as características do pão de queijo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 4, 2004.

PIEKARSKI, F. V. **Folha de abóbora**: caracterização físico-química, mineral e efeito da adição na reologia da massa e na qualidade sensorial de pães contendo fibra alimentar. 2009. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, Curitiba, 2009. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1884/18000>. Acesso em: 16 mar. 2025.

PINTO, R. R. **Balanço de massa do processo de produção de farinha de trigo**. 2010. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/35201/000792988.pdf>. Acesso em: 4 mar. 2025.

QANNARI, E. M.; COURCOUX, P.; VIGNEAU, E. Common components and specific weights analysis applied to preference data. **Food Quality and Preference**, v. 12, n. 5–7, p. 365–368, jul./set. 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(01\)00026-X](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(01)00026-X).

QU, J. H.; LIU, D.; CHENG, J. H.; SUN, D. W.; MA, J.; PU, H.; ZENG, X. A. Applications of near infrared spectroscopy in food safety evaluation and control: a review of recent research advances. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 55, n. 13, p. 1939–1954, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.871693>.

RISTOW, M. **Controle físico-químico de POA – cinzas**. 2015. 27 p.

RUTLEDGE, D. N. Comparison of principal components analysis, independent components analysis and common components analysis. **Journal of Analysis and Testing**, v. 2, n. 3, p. 235–248, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41664-018-0065-5>.

RUTLEDGE, D. N.; BOUVERESSE, D. J. R. Independent components analysis with the JADE algorithm. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 50, p. 22–32, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2013.04.012>.

SANTOS, C. M. **Métodos analíticos aplicados pela Granotec/Granolab ao trigo e farinha de trigo**. 1. ed. Curitiba: Granolab do Brasil, 2015. 140 p.

SCHEEREN, P. L.; CASTRO, R. L. de; CAIERÃO, E. Botânica, morfologia e descrição fenotípica. In: BORÉM, A.; SCHEEREN, P. L. (ed.). **Trigo: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015. cap. 2, p. 35–55.

SCHEUER, M.; FRANCISCO, A.; MIRANDA, M.; LIMBERGER, V. Trigo: características e utilização na panificação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 13, n. 2, p. 211–222, 2011.

SHEPHERD, K. W. Genetics of wheat endosperm proteins – in retrospect and prospect. In: INTERNATIONAL WHEAT GENETICS SYMPOSIUM, 7., 1988, Cambridge. **Proceedings Cambridge**: Institute of Plant Science Research, 1988. v. 2, p. 919–931.

SILVA, F. et al. Análise de diferentes marcas de farinhas de trigo: teor de acidez, cor e cinzas. **Revista Brasileira de Agro Tecnologia**, v. 5, n. 1, p. 18–22, 2015.

SINDITRIGO. Sindicato das Indústrias de Trigo do Rio de Janeiro e Espírito Santo. **História do trigo**. Disponível em: <https://www.industriadetrigo.com.br/>. Acesso em: 25 fev. 2025.

STUDNICKI, M. et al. Effect of genotype, environment and crop management on yield and quality traits in spring wheat. **Journal of Cereal Science**, v. 72, p. 30–37, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.09.012>.

TIAN, X. et al. Controle de distribuição do tamanho das partículas durante a moagem do trigo: qualidade nutricional e base funcional dos produtos de farinha — uma revisão abrangente. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 57, n. 12, p. 7556–7572, dez. 2022.

USDA. United States Department of Agriculture. **Databases**: production, supply and distribution online. 2016. Disponível em: <http://apps.fas.usda.gov/psdonline/>. Acesso em: 20 fev. 2025.

VITKOSKI, F. **Estudo da influência do tempo de umidificação do grão de trigo na taxa de extração e parâmetros físico-químicos da farinha**. Disponível em:

http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/16700/1/PG_COALM_2015_1_25.pdf. Acesso em: 16 mar. 2025.

WOLD, S.; ESBENSEN, K.; GELADI, P. Principal component analysis. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 2, n. 1–3, p. 37–52, 1987. DOI: [https://doi.org/10.1016/0169-7439\(87\)80084-9](https://doi.org/10.1016/0169-7439(87)80084-9).

YAZAR, G. Wheat flour quality assessment by fundamental non-linear rheological methods: a critical review. **Foods**, v. 12, n. 18, p. 3353, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12183353>.

YONEMOTO, P. G.; CALORI DOMINGUES, M. A.; FRANCO, C. M. L. Efeito do tamanho dos grânulos nas características estruturais e físico-químicas do amido de trigo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 4, p. 761–771, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612007000400015>.

YOU, Q.; WANG, Z. Y.; TIAN, X. G.; XU, X. Y. A multi-block data approach for evaluating beef quality: ComDim analysis of hyperspectral images, ¹H NMR, electronic nose and quality parameter data. **Food Chemistry**, v. 425, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136469>.

ZANGIROLAMI, M. S. et al. Texture profile and short NIR spectral vibrations relationship evaluated through ComDim: the case study for animal and vegetable proteins. **Food Control**, v. 143, p. 109290, jan. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109290>.

ZARDO, F. **Análises laboratoriais para o controle de qualidade da farinha de trigo**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Alimentos) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Bento Gonçalves, 2010. Disponível em: <https://docplayer.com.br/7818081-Analises-laboratoriais-para-o-controle-de-qualidade-da-farinha-de-trigo.html>. Acesso em: 7 mar. 2025.

ZGHEIB, R. et al. Chemical variability of the essential oil of *Origanum ehrenbergii* Boiss. from Lebanon assessed by independent component analysis (ICA) and common components and specific weights analysis (CCSWA). **International Journal of Molecular Sciences**, v. 20, n. 5, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms20051026>.

ZHANG, S.; LIU, S.; SHEN, L.; CHEN, S.; HE, L.; LIU, A. Application of near infrared spectroscopy for the nondestructive analysis of wheat flour: a review. **Current Research in Food Science**, v. 5, p. 1305–1312, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.08.006>.

ZHOU, W.; ZHOU, Q.; LEI, Y.; WU, P.; XU, J. et al. **A rapid determination of wheat flour's components based on near infrared spectroscopy and chemometrics**. 2026. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2024.103650>.

ZIEGLER, D.; BUCK, L.; SCHERF, K. A.; POPPER, L.; SCHAUM, A.; HITZMANN, B. Improved prediction of wheat baking quality by three novel approaches involving spectroscopic, rheological and analytical measurements and an optimized baking test.

Journal of Food Measurement and Characterization, v. 19, p. 1673–1692, 2025.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11694-024-03063-y>.