

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS CACHOEIRA DO SUL
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

Tiago Arabites Vendruscolo

**QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DE GRÃOS DE SOJA
CLASSIFICADA COM E SEM DEFEITOS FÍSICOS UTILIZANDO
ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO PRÓXIMO**

Cachoeira do Sul, RS
2023

Tiago Arabites Vendruscolo

QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DE GRÃOS DE SOJA CLASSIFICADA COM E SEM DEFEITOS FÍSICOS UTILIZANDO ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO PRÓXIMO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em **Engenharia Agrícola**.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Carteri Coradi

Cachoeira do Sul, RS
2023

Tiago Arabites Vendruscolo

**QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DE GRÃOS DE SOJA CLASSIFICADA COM
E SEM DEFEITOS FÍSICOS UTILIZANDO ESPECTROSCOPIA DE
INFRAVERMELHO PRÓXIMO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia Agrícola, da Universidade
Federal de Santa Maria (UFSM, RS),
como requisito parcial para a obtenção
do título de Bacharel em **Engenharia
Agrícola**.



Prof. Dr. Paulo Carteri Coradi
UFSM Campus Cachoeira do Sul
E-MAIL: 1555483

Aprovado, em 04 de dezembro de 2023

Prof. Dr. Paulo Carteri Coradi, (UFSM-Campus Cachoeira do Sul)
(Presidente/Orientador)



Prof. Dr. Alfran Tellechea Martini (UFSM-Campus Cachoeira do Sul)
(Membro Interno)

Documento assinado digitalmente
 MARCELA TROJAHN NUNES
Data: 12/12/2023 09:22:48-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Marcela Trojahn Nunes, Eng. Agr. MSc. (UFSM)
(Membro Interno)

Cachoeira do Sul, RS
2023

AGRADECIMENTOS

Sou muito grato a Deus, que me deu força e sabedoria para continuar e realizar a graduação até o final.

A minha mãe e meu pai, que me ensinou valores, me apoiando, compreendendo e que me inspiraram em todos os momentos.

A Universidade Federal de Santa Maria, que me ofereceu uma excelente estrutura e um ótimo suporte para o meu desenvolvimento acadêmico.

Ao Laboratório de Pós-Colheita (LAPOS-UFSM), e a todos os colegas que contribuíram com o meu estudo e me ajudaram sempre que precisei.

Agradeço ao professor Paulo Carteri Coradi, que foi um orientador exemplar, não só neste trabalho, mas também durante toda a minha graduação, me proporcionando oportunidades e ensinamentos que foram fundamentais para a minha formação.

Agradeço ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico Tecnológico), FAPERGS (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul) pelo apoio financeiro que viabilizou chegar até o final do curso.

A todos os professores, que me transmitiram conhecimentos e experiências durante o curso de Engenharia Agrícola.

Só aos meus amigos, que apoiaram me deram suporte e compartilharam momentos inesquecíveis comigo, todos aqueles que estiveram e permanecem ao meu lado, sendo essenciais para a minha caminhada.

"Se você não pode voar, corra.

Se você não pode correr, ande.

Se você não pode andar, rasteje,

mas continue em frente."

(MARTIN LUTHER KING JR., 1960)

RESUMO

QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DE GRÃOS DE SOJA CLASSIFICADA COM E SEM DEFEITOS FÍSICOS UTILIZANDO ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO PRÓXIMO

AUTOR: Tiago Arabites Vendruscolo
ORIENTADOR: Prof. Dr. Paulo Carteri Coradi

A soja (*Glycine max* L.) é um grão nutritivo muito utilizada na dieta humana e animal, produção de biodiesel, entre outros produtos e subprodutos. Dada sua importância mundial, é imprescindível a aplicação de metodologias para o monitoramento eficiente dos parâmetros físico-químicos que determinam a qualidade dos grãos de maneira a auxiliar na classificação. A Espectroscopia de Infravermelho Próximo (NIR) é um método rápido e não destrutivo para análise de alimentos. Assim, o estudo teve como objetivo analisar a viabilidade do uso da espectroscopia no infravermelho próximo para identificar e prever a qualidade de grãos da soja com e sem defeitos, em substituição ao método convencional de classificação física. Os defeitos foram separados conforme norma técnica de classificação no Laboratório de Pós-colheita de Produtos Agrícolas (LAPOS), localizado na UFSM-CS. Na sequência, os grãos foram submetidos a moagem e posteriormente analisada a composição centesimal utilizando o NIR. A análise de correlação de Pearson identificou relações negativas entre proteínas e fibras, bem como entre a umidade e cinzas, o cluster identificou comportamento similar na composição centesimal dos grãos sadios com os grãos fermentados. Portanto, a Espectroscopia de Infravermelho Próximo mostrou resultados positivos para auxiliar na classificação de grãos de soja, caracterizando a qualidade dos grãos conforme a composição físico-química.

Palavras-chave: Classificação, Tecnologia não destrutiva, Pós-colheita, Composição físico-química.

ABSTRACT

PHYSICOCHEMICAL QUALITY OF SOYBEANS CLASSIFIED WITH AND WITHOUT PHYSICAL DEFECTS USING NEAR INFRARED SPECTROSCOPY

AUTHOR: Tiago Arabites Vendruscolo

ADVISOR: Prof. Dr. Paulo Carteri Coradi

The soy (*Glycine max* L.) is a nutritious grain widely used in human and animal diets, biodiesel production, among other products and by-products. Given its global importance, it is essential to apply methodologies for the efficient monitoring of the physical-chemical parameters that determine the quality of grains in order to assist in classification. Near Infrared Spectroscopy (NIR) is a fast and non-destructive method for food analysis. Thus, the study aimed to analyze the feasibility of using near-infrared spectroscopy to identify and predict the quality of soybeans with and without defects, replacing the conventional physical classification method. Defects were separated according to technical classification standards at the Agricultural Products Postharvest Laboratory (LAPOS), located at UFSM-CS. Next, the grains were subjected to grinding and the proximate composition was subsequently analyzed using NIR. Pearson's correlation analysis identified negative relationships between proteins and fibers, as well as between moisture and ash, the cluster identified similar behavior in the proximate composition of healthy grains with fermented grains. Therefore, Near Infrared Spectroscopy showed positive results to assist in the classification of soybeans, characterizing the quality of the grains according to the physicochemical composition.

Keywords: Classification, Non-destructive technology, Post-harvest, Physicochemical composition.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma de recebimento, pré-limpeza, secagem, armazenagem e expedição de grãos	14
Figura 2 – Etapas de uma unidade armazenadora a granel.....	19
Figura 3 – Classe de grãos de soja, em (a) Classe 1; e (b) Classe II	21
Figura 4 – Classificação de grãos, (a) determinador de umidade digital; (b) peneiras para separação de impurezas; (c) inspeção visual dos defeitos; (d) inspeção visual dos defeitos internos; e (e) Classificador scanner automatizado para classificação	24
Figura 5 – Grãos de soja classificados conforme os defeitos identificados	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estrutura e composição da soja.....	14
Tabela 2 - Limites máximos de tolerância, expressos em porcentagem, para a soja do grupo I	22
Tabela 3 – Limites máximos de tolerância, expressos em porcentagem, para a soja do grupo II	22
Tabela 4 – Análise de variância das análises físico-químicas e classificação dos grãos de soja	34
Tabela 5 – Composição físico-química de grãos de soja com diferentes defeitos de classificação.....	35

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVOS.....	12
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	12
2.3 HIPÓTESE.....	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
3.2 ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO DA SOJA.....	13
3.3 PÓS - COLHEITA DA SOJA.....	14
3.3.1 Recebimento.....	15
3.3.2 Pré-Limpeza.....	15
3.3.3 Secagem.....	16
3.3.4 Armazenamento.....	17
3.3.5 Expedição.....	18
3.4 REQUISITOS DE QUALIDADE DOS GRÃOS DE SOJA.....	19
3.4.1 Grupos.....	20
3.4.2 Classes.....	21
3.4.3 Tipos.....	21
3.4.4 Defeitos dos grãos de soja.....	22
3.4.5 Classificação dos grãos de soja.....	23
3.5 AVALIAÇÃO INDIRETA DE QUALIDADE – TECNOLOGIA NÃO DESTRUTIVA.....	25
3.5.1 Espectroscopia no Infravermelho Próximo (NIR).....	25
3.5.2 Ressonância magnética nuclear.....	26
3.5.3 Raio X.....	26
3.5.4 Imagem Hiperespectral.....	27
3.5.5 Microscopia Eletrônica de Varredura.....	27
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	28
4.1 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO.....	33
4.2 REDE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON.....	33
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
6. CONCLUSÃO.....	37
REFERÊNCIAS.....	38

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L.) é uma das principais culturas agrícolas do Brasil, sendo responsável por uma parcela significativa do PIB agropecuário nacional. A qualidade da soja é um fator importante para a sua comercialização, pois determina o valor de venda do produto (KRZYZANOWSKI et al., 2008).

A classificação manual da soja é realizada de acordo com a Instrução Normativa nº 11 de 2007 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), os grãos são classificados de acordo com os seguintes parâmetros, como impureza, presença de material estranho, como terra, pedras, cascas de soja, defeitos com presença de grãos quebrados, avariados, esverdeados entre outros e teor de água presente nos grãos e presença de insetos, roedores, etc.

Entretanto, esse método é lento, subjetivo e exige mão de obra especializada (SILVA et al., 2018).

Na classificação manual da soja é realizada de acordo com a Instrução Normativa nº 11 de 2007 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), os grãos são classificados de acordo com os seguintes parâmetros, como impureza, presença de material estranho, como terra, pedras, cascas de soja, defeitos com presença de grãos quebrados, avariados, esverdeados entre outros e teor de água presente nos grãos e presença de insetos, roedores, etc.

A soja contém 36,5% de proteína, 19,9% de lipídios, 30,2% de carboidratos, 6% vitaminas e minerais, em função da sua composição química é muito utilizada na obtenção produtos comestíveis (tofu, leite de soja, ração animal) e produtos não comestíveis, como o biodiesel (JIANG, 2020). A composição química, geralmente, é determinada por métodos tradicionais. No entanto, esses métodos requerem um longo período experimental, altos custos de mão de obra e risco de contaminação ambiental com o uso de reagentes químicos (SHI et al., 2022).

A espectroscopia de infravermelho próximo (NIR) é uma técnica rápida, não destrutiva, de fácil operação com pouco preparo das amostras, permitindo a medição simultânea dos constituintes, a qual pode vir a substituir os métodos tradicionais (LIMA et al., 2021; JAQUES et al., 2022). Porém, as principais desvantagens do NIR correspondem ao custo inicial do equipamento e a necessidade de extensa calibração (MIHALJEV et al., 2015).

Com novas aplicações de tecnologias não destrutivas e algoritmos de inteligência computacional tem sido uma alternativa ao método convencional de classificação da soja, essas tecnologias permitem a classificação de forma mais rápida, precisa e automatizada. A

espectroscopia no infravermelho próximo é uma tecnologia que utiliza a absorção de radiação infravermelha pelos grãos para determinar seus parâmetros físicos e químicos (OLIVEIRA et al., 2022).

A NIR tem sido aplicada para a classificação da soja com resultados promissores. André et al. (2022), avaliaram a aplicação da NIR para a classificação da soja quanto à pureza e defeitos. Os resultados mostraram que a NIR foi capaz de classificar a soja com exatidão de 98% para pureza e 96% para defeitos. Kiratiratanapruk et al. (2020), desenvolveram um modelo de NIR para a classificação da soja quanto a cultivar, o modelo foi capaz de classificar a soja com exatidão de 92%,

As tecnologias emergentes para classificação da soja apresentam potencial para substituir o método convencional de classificação manual. Essas tecnologias permitem a classificação da soja de forma mais rápida, exata e automatizada, contribuindo para a melhoria da qualidade da soja comercializada.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a viabilidade do uso da espectroscopia no infravermelho próximo para identificar e prever a qualidade de grãos da soja com e sem defeitos, em substituição ao método convencional de classificação física.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Realizar a classificação física dos grãos de soja pelo método tradicional.
- Verificar a influência do defeito do grão na qualidade físico-química.
- Utilizar o NIR para caracterizar e estimar a qualidade dos grãos de soja.
- Avaliar o desempenho da NIR próximo combinada ao aprendizado de máquina como alternativa para a substituição ao método convencional de classificação de grãos de soja.

2.3 HIPÓTESE

A análise da qualidade dos grãos da soja, com defeitos por meio de uma técnica não destrutiva, torna o processo mais preciso, rápido e independente de avaliações visuais, tornando o processo mais eficiente.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CULTURA DA SOJA

A soja (*Glycine max* L.) é uma leguminosa de ciclo anual, pertencente à família Fabaceae, que é cultivada em grande parte do mundo, sendo uma planta de alto valor nutricional, pois é uma excelente fonte de proteínas, fibras, vitaminas e minerais. Além disso, a soja é uma planta versátil, podendo ser utilizada para diversas finalidades, como alimentação humana e animal e nas atividades industriais. A cultura da soja é uma das mais importantes da agricultura brasileira, uma vez que, o Brasil é o maior produtor mundial de soja, seguido pelos Estados Unidos e pela Argentina (SANTOS et al., 2022).

Na safra 2022/2023, o Brasil produziu 152,8 milhões de toneladas de soja, representando 16,7% da produção mundial (IBGE, 2023). A soja é cultivada em todo o território brasileiro, mas as principais regiões produtoras são o Sul, o Centro-Oeste e o Norte, devido ao clima tropical e subtropical que é ideal para seu cultivo, que requer temperaturas médias entre 20 e 30°C. Assim, a soja possui grande importância econômica para o Brasil, pois é o segundo país com maior exportação de soja do mundo, com vendas para mais de 100 países (IBGE, 2023).

Nesta mesma safra, o Brasil obteve um aumento de 21,8% na produção, em relação à safra anterior, mesmo com uma estiagem na região sul do Brasil sendo que, este aumento foi impulsionado por uma série de fatores nas outras regiões, como o aumento da área semeada, a elevação da produtividade média e as condições climáticas favoráveis. A área semeada com soja no Brasil cresceu cerca de 4,4% na safra, chegando a 43,3 milhões de hectares, com uma produtividade média que aumentou 16,6%, chegando a 3,54 toneladas por hectare (CONAB, 2023).

3.2 ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO DA SOJA

A soja é uma oleaginosa, seu grão possui uma massa específica média de 100 a 120 mg, sendo composta de três partes principais, o endosperma representa cerca de 90% da massa da semente e é a parte mais rica em proteínas, com um teor médio de 35-40%, possuindo também contém carboidratos, fibras e gorduras. Já o germe corresponde a cerca de 10% da massa da semente e é a parte mais rica em gorduras, com um teor médio de 20-25%. Contendo também proteínas, carboidratos e fibras, o pericarpo que constitui cerca de 1% da massa da semente e é a parte mais rica em fibras, com um teor médio de cinco a sete por cento. Também possui em sua composição proteínas e carboidratos, conforme descrito por (LIU et al., 2020; KIM et al., 2021; WANG et al., 2022; LI et al., 2023).

Tabela 1 – Estrutura e composição da soja

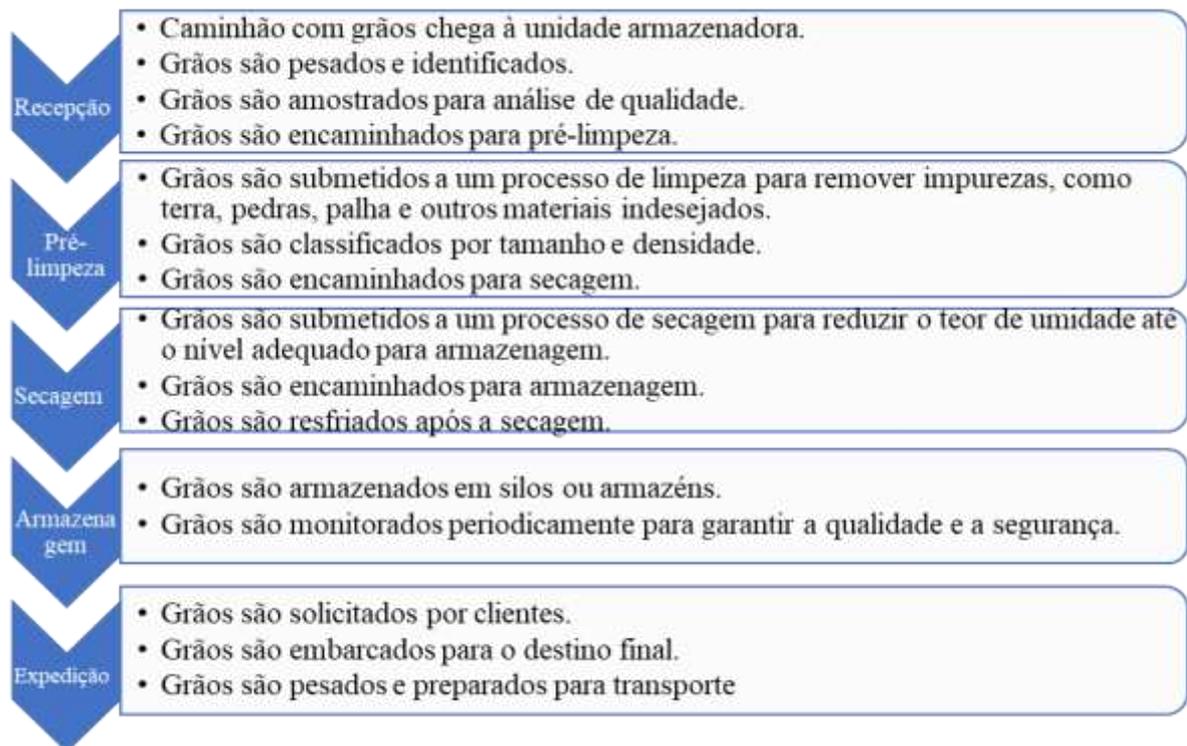
Estrutura	Composição físico-química			
	Proteína (%)	Gordura (%)	Carboidratos (%)	Fibras (%)
Endosperma	35-40	0-4	20-25	2-3
Embrião	20-25	60-70	10-15	5-7
Tegumento	5-7	0-1	20-25	5-7

Fonte: Liu et al. (2020).

3.3 PÓS - COLHEITA DA SOJA

A soja, após a colheita, passa por um conjunto de operações para preservar sua qualidade e quantidade. Essas operações, chamadas de pós-colheita, incluem recebimento, pré-limpeza, secagem, armazenagem e expedição, conforme pode ser observado na Figura 1 (LORENZI et al., 2020).

Figura 1 – Fluxograma de recebimento, pré-limpeza, secagem, armazenagem e expedição de grãos



Fonte: Autor.

3.3.1 Recebimento

O recebimento da soja em unidades armazenadoras é um processo importante na cadeia produtiva agrícola, pois é nessa etapa que os grãos são submetidos a uma série de avaliações para garantir sua qualidade e segurança. (OLIVEIRA, 2005).

A chegada de um caminhão carregado com grãos de soja a uma unidade armazenadora é uma etapa importante, que deve ser acompanhada por uma série de verificações. Essas verificações incluem a identificação do veículo, para controle e rastreabilidade, e a verificação do cumprimento das normas de segurança, para garantir que o caminhão esteja em boas condições para o descarregamento (PAULA, 2017).

O descarregamento dos grãos de soja de um caminhão para uma unidade armazenadora é realizado em uma balança ou plataforma de pesagem. A pesagem dos grãos é uma etapa importante para determinar a quantidade exata do lote, que é essencial para registros e controle e qualidade. Além disso, amostras representativas dos grãos são coletadas a partir do carregamento e descarregamento. Essas amostras são cuidadosamente retiradas de diferentes partes do caminhão para garantir que representem o lote como um todo (OLIVEIRA, 2022).

Após a coleta de amostras representativas, os grãos restantes são encaminhados para moegas. As amostras são enviadas para um laboratório para análise da qualidade, incluindo teor de umidade, impurezas e possíveis contaminantes. Essa análise é importante para garantir que os grãos estejam em condições adequadas para armazenamento e processamento (ANDRADE, 2018).

A segurança dos trabalhadores e a qualidade dos grãos são prioridades durante todo o processo de recebimento. As informações coletadas, como a quantidade de grãos recebidos, os resultados das análises de qualidade e outros registros, são cuidadosamente documentadas para rastreabilidade e controle adequado. Essa abordagem garante que os grãos de soja estejam em condições adequadas para armazenagem (SOUZA, 2022).

3.3.2 Pré-Limpeza

A pré-limpeza é uma operação importante no processo de pós-colheita da soja. Nessa operação, os grãos recém-chegados são submetidos a um processo de limpeza para remover impurezas e outros materiais indesejados. Esse processo é realizado com a ajuda de uma máquina de limpeza, que pode ser um separador de ar, um separador vibratório ou outro dispositivo similar, os grãos passam por uma peneira que remove partículas maiores, em seguida, os grãos são submetidos a um processo de ventilação forçada, onde o ar é soprado

através dos grãos. Isso ajuda a eliminar impurezas leves, que são levadas pelo fluxo de ar, assim, os grãos limpos e livres de impurezas (CARVALHO, 2021).

3.3.3 Secagem

A secagem por convecção é o método mais comum de secagem de grãos da soja em unidades armazenadoras. Neste método, a fomalha é um componente essencial de um secador de grãos, sendo responsável por gerar o calor necessário para a secagem dos grãos. O tipo de fomalha utilizado deve ser selecionado de acordo com as características do secador e do combustível disponível como lenha, biomassa, gás e diesel, o ar quente é transferido para os grãos, fazendo com que o teor de água dos grãos evapore, pode ser realizada de duas formas, natural ou forçada. Na secagem por convecção natural, o ar quente é fornecido pelo próprio ambiente e na secagem por convecção forçada, o ar quente é fornecido por um ventilador ou outro equipamento, por convecção forçada é mais eficiente do que a secagem por convecção natural, pois fornece um fluxo de ar mais uniforme e intenso. Isso ajuda a remover o teor de água dos grãos de forma mais rápida e padronizada (BOTELHO et al., 2018).

A secagem de grãos de soja é essencial para garantir sua qualidade de conservação. Segundo Farias e Lopes (2017), a secagem é uma operação fundamental para a conservação dos grãos de soja, pois é essencial para remover o teor de água dos grãos, tornando-os menos suscetíveis à deterioração biológica. Os grãos úmidos são um ambiente propício para o crescimento de fungos e bactérias, que podem causar danos a estes, diminuindo seu valor nutritivo e comercial a (EMBRAPA, 2014). Estima-se que a perda de massa por deterioração dos grãos de soja possa chegar a 20% se eles não forem secos adequadamente, significando que a secagem inadequada pode causar perdas expressivas de produtividade e receita para os agricultores.

O processo de secagem de grãos de soja em unidades armazenadoras é dividido em duas etapas, a pré-secagem e a secagem final. Na pré-secagem, os grãos são secos até atingirem um teor de umidade de aproximadamente 18%, esse teor é necessário para evitar o crescimento de fungos e bactérias, e com a secagem final, os grãos são secos até atingirem o desejado, que é de 12-13% de umidade, ideal para armazenamento, pois permite que os grãos sejam mantidos em boas condições por longos períodos de tempo, em unidades armazenadoras devendo ser realizada com cuidado para evitar danos aos grãos (ALMEIDA et al., 2019).

Conforme observado por Aquino e Costa (2019), a temperatura de secagem ideal para grãos de soja é de 40-45°C. Isso ocorre porque temperaturas mais altas podem causar danos

aos grãos se não for realizada de forma adequada, pode causar danos ao produto, a secagem excessiva pode levar a alterações na textura, no valor nutritivo e na qualidade industrial dos grãos diminuindo sua qualidade, encontraram que a secagem a temperaturas acima de 45°C pode causar danos aos grãos, como a diminuição do teor de proteínas e a quebra da parede celular, esses danos podem dificultar o processamento dos grãos (SILVA et al., 2016).

Com a supervisão adequada para secagem de grãos da soja, pode ser utilizado um secador de alta qualidade, mantendo os padrões regulares e não causando oscilações com um monitoramento de temperatura e a umidade dos grãos durante a secagem para não superaquecer os grãos melhorando a secagem (OLIVEIRA et al., 2020). Segundo Silva e Silva (2018), o método de secagem mais comum para grãos de soja é a secagem por convecção. Isso ocorre porque a secagem por convecção é um método eficiente e relativamente barato.

3.3.4 Armazenamento

O acondicionamento de grãos de soja é uma atividade essencial para a sua cadeia produtiva e deve ser realizado de forma a garantir a qualidade e a segurança dos produtos, evitando a deterioração, a contaminação e a perda de valor nutricional (MELO et al., 2017). O armazenamento de grãos de soja é uma atividade complexa que requer o conhecimento dos fatores que influenciam a qualidade dos produtos (LIMA et al., 2018). O local onde os grãos de soja devem ser armazenados tem o objetivo manter o grão seguro de danos causado pelo clima, (FERREIRA et al., 2020).

Os principais tipos de armazenamento de grãos da soja são silos metálicos, de concreto e silos-bolsa, a quantidade de grãos a serem armazenados nos silos metálicos são mais indicados para grandes volumes, enquanto silos-bolsa são mais indicados para volumes menores e duração reduzida de tempo do armazenamento, silos de concreto são mais indicados para armazenamentos de longo prazo, já o custo do silos-bolsa são os mais baratos, seguidos por silos metálicos e silos de concreto, é importante que o armazenamento de grãos seja feito de forma adequada e com melhor custo e benefício para evitar perdas e danos à qualidade dos produtos (TEJÓN, 2023).

O armazenamento de grãos de soja em silos é uma etapa importante no processo de pós-colheita. Os silos são estruturas herméticas que protegem os grãos de fatores externos prejudiciais, como umidade, insetos e variações de temperatura, onde, para manter a qualidade e a integridade dos grãos, é importante controlar a temperatura e a umidade dos silos. Este controle é feito por sistemas de ventilação e aeração, que ajudam a evitar o

superaquecimento e a formação de mofo e compactação dos grãos (RODRIGUES et al., 2019).

A distribuição uniforme dos grãos de soja dentro do silo é importante para garantir que a pressão seja igual em toda a massa de grãos. Isso evita a compactação e a formação de vazios, que podem afetar a qualidade dos grãos, é importante monitorar continuamente as condições dentro dos silos, incluindo a detecção de qualquer sinal de deterioração ou infestação de pragas, isso ajudará a garantir que os grãos permaneçam em boas condições até serem comercializados ou processados, pois essas práticas são cruciais para preservar a qualidade e o valor dos grãos de soja ao longo do tempo (SOUZA et al., 2021).

A aeração é uma prática importante para manter a qualidade dos grãos armazenados em silos, ela pode ser usada para manter a temperatura adequada e evitar a condensação, que pode causar o desenvolvimento de fungos e bactérias, em alguns casos, sistemas de secagem podem ser empregados para melhorar a uniformidade dos grãos, para garantir a integridade estrutural e eficiência dos silos, é essencial realizar manutenção regular (SANTOS et al., 2022).

O armazenamento de grãos da soja requer o conhecimento de uma série de fatores, como, temperatura, teor de água, ventilação, estruturas de armazenamento, isentos e pragas, fungos, bactérias, deve ser realizado em estruturas adequadas para garantir a segurança dos produtos (GONÇALVES et al., 2019). Desta forma, eles devem ser armazenados em condições adequadas de temperatura e teor de água para evitar a deterioração (CARVALHO et al., 2021).

O armazenamento da soja deve ser feito em condições de temperatura e umidade, onde, a temperatura ideal está entre 15 e 18 °C, enquanto temperaturas mais baixas podem causar danos aos grãos. Já o teor de água ideal dos grãos da soja deve ser de 12% a 13%, um teor de água mais alto pode favorecer o desenvolvimento de condições críticas de armazenamento (SILVA et al., 2020).

3.3.5 Expedição

A expedição de grãos da soja, é um processo para garantir o fornecimento de alimentos e matérias-primas para a indústria, com isso a expedição de grãos da soja é um processo essencial para o agronegócio brasileiro, conforme Santos (2022). Os grãos são solicitados por clientes de todo o mundo, que podem ser indústrias alimentícias, fabricantes de produtos de origem animal, ou mesmo consumidores finais. Para atender a essa demanda, é

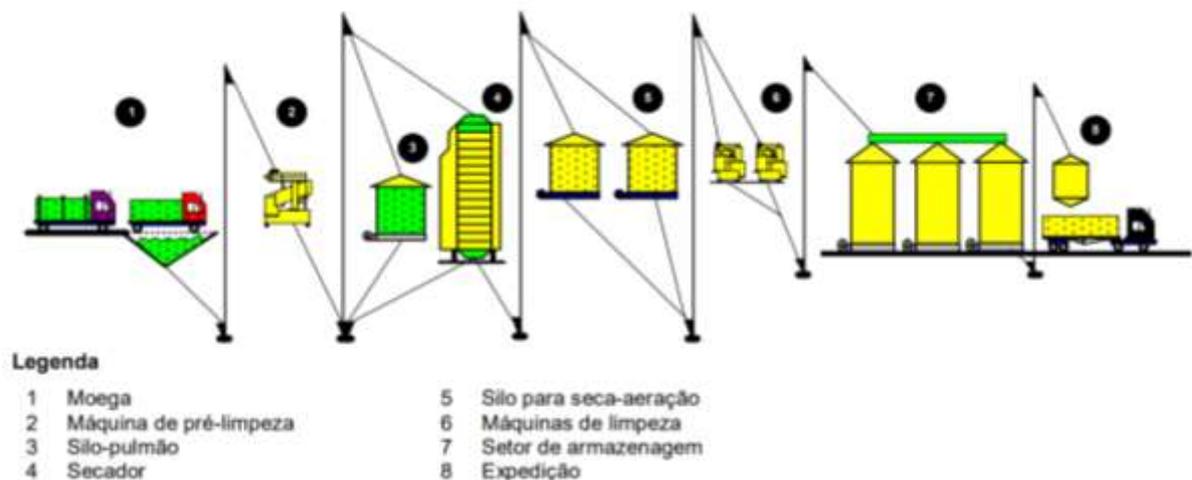
necessário um processo eficiente e seguro, que garanta a qualidade e a integridade dos grãos durante o transporte, conforme (ROCHA et al., 2021).

Para atender melhor às necessidades dos clientes e evitar atrasos ou problemas de qualidade, as solicitações de grãos devem incluir informações adicionais, como prazo de entrega desejado, condições de pagamento e requisitos de qualidade, embarque de grãos também pode ser realizado de forma mais eficiente e segura por meio da utilização de tecnologias como sistemas de rastreamento de grãos, equipamentos de pesagem automatizados e de segurança (SOUZA et al., 2022).

A pesagem e a preparação para transporte de grãos podem ser realizadas de forma mais eficiente e sustentável com a utilização de tecnologias, como balanças de fluxo, sistemas de limpeza automatizados e produtos químicos de origem natural. Ao utilizar essas tecnologias, as empresas podem reduzir os custos operacionais, melhorar a qualidade dos grãos e proteger o meio ambiente (SILVA et al., 2023).

Na cadeia produtiva de grãos, as unidades armazenadoras devem apresentar adequadamente projetadas, estruturadas e gerenciadas para a recepção, limpeza, secagem, armazenagem e expedição (SILVA, 2015), conforme fluxograma na Figura 2.

Figura 2 – Etapas de uma unidade armazenadora a granel



Fonte: Silva (2015).

3.4 REQUISITOS DE QUALIDADE DOS GRÃOS DE SOJA

A Instrução Normativa nº 11, de 20 de julho de 2007, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), estabelece o Regulamento Técnico da Soja, definindo o

seu padrão oficial de classificação, com os requisitos de identidade e qualidade intrínseca e extrínseca, a amostragem e a marcação ou rotulagem.

Os requisitos de qualidade da soja são estabelecidos com o objetivo de garantir que o produto seja adequado para o consumo humano e animal, e para assegurar a sua comercialização em condições justas e equilibradas (SOUSA et al., 2015).

Com a classificação da soja torna-se importante ferramenta na garantia da qualidade do produto, promovendo a transparência e a defesa do consumidor, em um processo essencial para a cadeia produtiva da soja, pois contribui para a segurança alimentar, a qualidade do produto e a competitividade do setor. Assim, esta é uma etapa que permite a identificação e a caracterização das características físicas e químicas do produto, a classificação é realizada com base nos seguintes requisitos de identidade que a soja deve ser identificada como tal, e não conter outras espécies ou variedades de grãos também de qualidade intrínseca que a soja deve estar livre de impurezas, pragas e doenças, e apresentar um bom estado de conservação e qualidade extrínseca que deve apresentar um tamanho uniforme, um coloração amarelo-palha e um teor de água adequado. (RODRIGUES et al., 2021).

Os motivos para a classificação da soja é de garantir a qualidade do produto, sendo que, a classificação permite identificar e separar os grãos de soja que não atendam aos requisitos de qualidade, garantindo que, o produto comercializado seja adequado para o consumo humano e animal, assegurando a comercialização justa, permitindo que os compradores e vendedores de soja negociem o produto com base em informações confiáveis sobre a sua qualidade, promovendo a transparência do mercado, facilitando a comparação de preços e qualidade entre diferentes lotes de soja (WEISS, 2023).

3.4.1 Grupos

A Instrução Normativa nº 11/2007 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) estabelece os requisitos de identidade e qualidade da soja, incluindo sua classificação. De acordo com o uso proposto, a soja é classificada em dois grupos:

- Grupo I: soja destinada ao consumo in natura, é aquela que não sofreu nenhuma alteração ou processamento, seja a granel ou embalada, e está em condições de ser consumida pelo consumidor, que deve atender aos seguintes requisitos, pureza que deve conter no mínimo 99,5% da soja, um teor de água de máxima de 12,5%, e um percentual de matéria estranha contendo no máximo 0,5% incluindo outras sementes, fragmentos vegetais e inertes, a deterioração deve ter no máximo 2% de grãos deteriorados, e danos mecânicos no máximo 5% de grãos com danos;

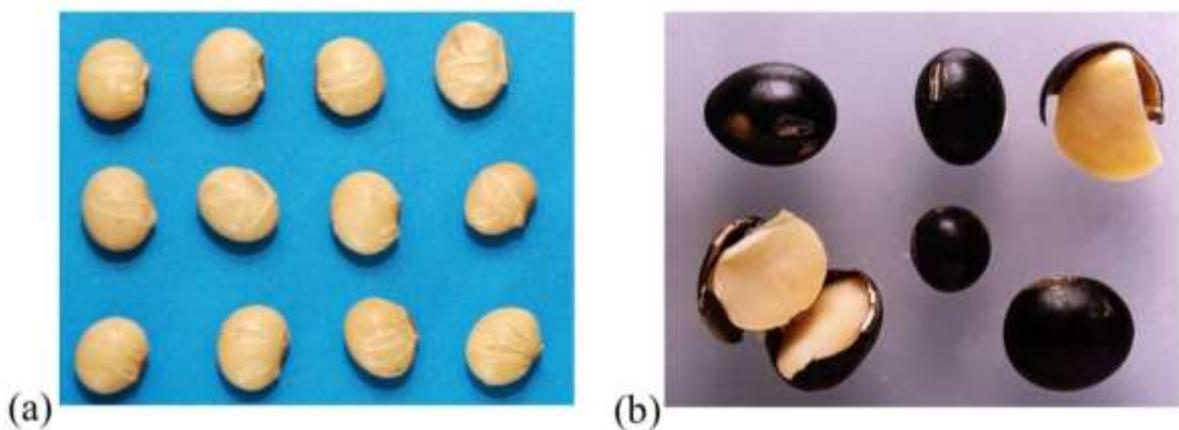
- Grupo II: destinada a outros usos, como o processamento de esmagamento para produção de óleo e farelo ou a alimentação animal, é aquela que pode ser utilizada para esses fins, sem a necessidade de atender aos requisitos de qualidade estabelecidos para o consumo in natura, devendo atender aos seguintes requisitos, de pureza contendo no mínimo 99% de soja, um teor de água na máxima de 14% e matéria estranha, deve ter no máximo 1% incluindo outras sementes, fragmentos vegetais e inertes, com uma deterioração de no máximo 5% de grãos deteriorados, e com danos mecânicos no máximo 10% dos grãos com danos.

3.4.2 Classes

Os grãos de soja são classificados em duas classes (Figura 3), de acordo com a qualidade e definido pelos limites máximos de tolerâncias, podendo ainda ser enquadrado como fora de tipo, ou desclassificado:

- Classe I - Amarela: é a constituída de soja que apresenta o tegumento de cor amarela, verde ou pérola, cujo interior se mostra amarelo, amarelado, claro ou esbranquiçado em corte transversal, admitindo-se até 10% (dez por cento) de grãos de outras cores;
- Classe II - Misturada: é aquela que não se enquadra na Classe Amarela (MAPA, 2007).

Figura 3 – Classe de grãos de soja, em (a) Classe I; e (b) Classe II



Fonte: MAPA (2008).

3.4.3 Tipos

A soja do grupo I será classificada em dois tipos, de acordo com o percentual de defeitos nos grãos: tipo 1 (5%) e tipo 2 (10%), conforme a Tabela 2. Já a soja do grupo II será

classificada em um único tipo (Tabela 3), o padrão básico, independentemente do percentual de defeitos.

Além dos requisitos de qualidade estabelecidos anteriormente, a norma também estabelecia outros requisitos, como um teor de água máximo de 13% e um teor de proteína mínimo de 36% para a soja destinada à extração de óleo e proteína (IBOV, 2013).

Tabela 2 - Limites máximos de tolerância, expressos em porcentagem, para a soja do grupo I

Tipo	Avariados						
	Total de Ardidos e Queimados	Máximo de Queimados	Mofados	Total ⁽¹⁾	Esverdeados	Partidos, Quebrados e Amassados	Matérias Estranhas e Impurezas
1	1,0	0,3	0,5	4,0	2,0	8,0	1,0
2	2,0	1,0	1,5	6,0	4,0	15,0	1,0

⁽¹⁾ A soma de queimados, ardidos, mofados, fermentados, germinados, danificados, imaturos e chochos.

Fonte: MAPA (2007).

Tabela 3 – Limites máximos de tolerância, expressos em porcentagem, para a soja do grupo II

Tipo	Avariados						
	Total de Ardidos e Queimados	Máximo de Queimados	Mofados	Total ⁽¹⁾	Esverdeados	Partidos, Quebrados e Amassados	Matérias Estranhas e Impurezas
Padrão Básico	4,0	1,0	6,0	8,0	8,0	30,0	1,0

⁽¹⁾ A soma de queimados, ardidos, mofados, fermentados, germinados, danificados, imaturos e chochos.

Fonte: MAPA (2007).

3.4.4 Defeitos dos grãos de soja

Pela Normativa nº 11, de 20 de julho de 2007, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), os grãos da soja são classificados em dois tipos: grãos sadios e grãos defeituosos. Os grãos sadios são aqueles que atendem aos requisitos de qualidade estabelecidos pela legislação vigente. Os grãos defeituosos são aqueles que apresentam alterações físicas, químicas ou biológicas que os tornam impróprios para consumo humano ou animal.

Os principais defeitos dos grãos de soja são:

- Queimados: grãos ou pedaços de grãos carbonizados.

- Grãos ardidos: são os grãos que apresentam escurecimento total, por ação do calor, umidade ou fermentação avançada, atingindo a totalidade da massa do grão
- Fermentados: são os grãos que apresentam escurecimento parcial do germe ou do endosperma provocado por processo fermentativo ou calor, ou pedaços que, em razão do processo de fermentação, tenham sofrido alteração visível na cor do cotilédone que não aquela definida para os ardidos.
- Germinados: são os grãos que apresentam início visível de germinação por uma radícula.
- Chochos: são os grãos desprovidos de massa interna, enrijecidos e que se apresentam enrugados por desenvolvimento fisiológico incompleto e atrofiados.
- Imaturos: grãos de formato oblongo, que se apresentam intensamente verdes, por não terem atingido seu desenvolvimento fisiológico completo e que podem se apresentar enrugados.
- Danificados: grãos ou pedaços de grãos que se apresentam com manchas na polpa alterados e deformados, perfurados ou atacados por doenças ou insetos, em qualquer de suas fases evolutivas.
- Mofados: são os grãos que apresentam contaminações fúngicas (mofo ou bolor) visíveis a olho nu, independentemente do tamanho da área atingida.

Os grãos defeituosos podem afetar a qualidade e o rendimento industrial dos grãos de soja. Portanto, é importante que os grãos de soja sejam submetidos a um processo de classificação para identificar e remover os grãos defeituosos (IBOV, 2013).

3.4.5 Classificação dos grãos de soja

A classificação dos grãos de soja é realizada por meio de equipamentos e procedimentos padronizados (Figura 4). O objetivo da classificação é identificar e remover os grãos defeituosos, garantindo que os grãos comercializados atendam aos requisitos de qualidade estabelecidos pela legislação vigente (DOUHAN et al., 2022).

O processo de classificação dos grãos de soja é realizado em etapas, que incluem:

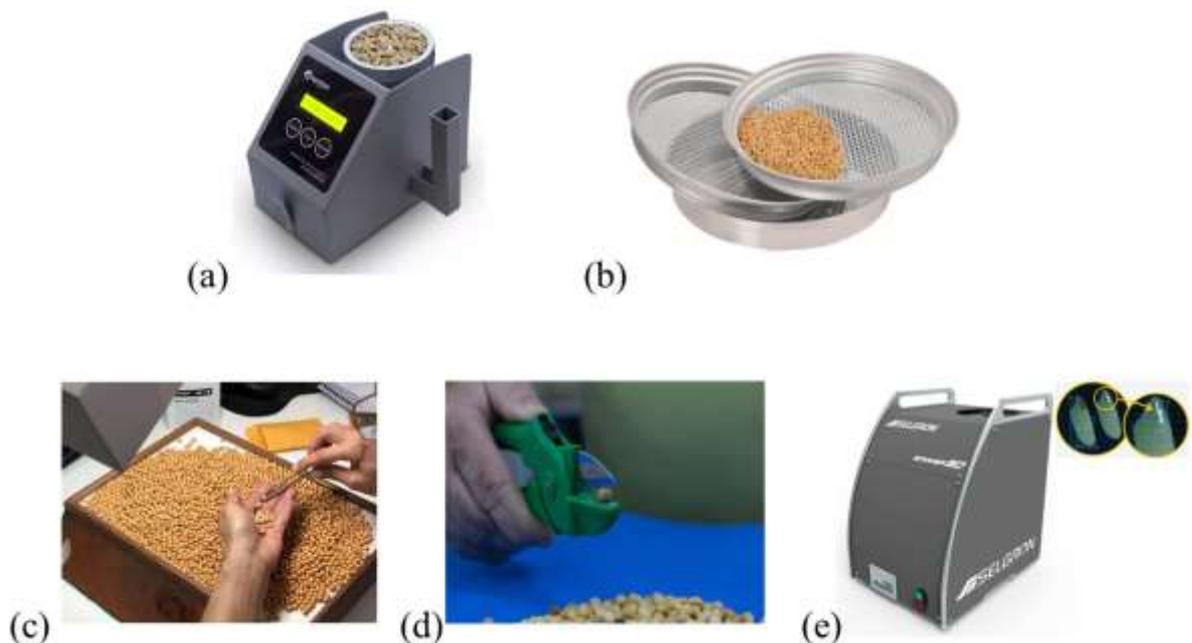
- Amostragem: é a retirada de uma quantidade de grãos da massa total para análise, essa etapa é importante para garantir que a amostragem represente a qualidade da massa total, do qual deve ser realizada de acordo com a norma (ABNT, 2023). O tamanho da amostra depende do volume da massa total, para massas de até 100 toneladas, a amostra deve ter 10 kg. A coleta das amostras é realizada com um amostrador automático ou manual, que retira uma quantidade uniforme de grãos de diferentes pontos da massa total. O amostrador deve ser

calibrado periodicamente para garantir que esteja retirando uma amostra representativa (OLSON, 2022).

- **Inspeção visual:** é a análise visual dos grãos para identificação de defeitos, essa etapa é realizada por um inspetor qualificado, que utiliza um equipamento específico para a classificação de grãos, o inspetor utiliza um equipamento chamado de mesa classificadora para separar os grãos defeituosos dos grãos sadios. Nessa mesa, o equipamento tem uma superfície inclinada que faz com que os grãos rolem. Os grãos defeituosos, que são mais pesados ou mais leves que os grãos sadios, rolam para diferentes partes da mesa, onde são separados (OLIVEIRA, 2019).

- **Separação:** é a separação dos grãos defeituosos dos grãos sadios, essa etapa é realizada após a inspeção visual. A separação pode ser realizada manualmente ou mecanicamente, a separação manual é realizada por um operador que separa os grãos defeituosos dos grãos sadios manualmente. A separação mecanizada é realizada por um equipamento chamado de separador mecânico. O separador mecânico é um equipamento que utiliza um sistema de ventilação para separar os grãos defeituosos dos grãos sadios (PAULA, 2018).

Figura 4 – Classificação de grãos, (a) determinador de umidade digital; (b) peneiras para separação de impurezas; (c) inspeção visual dos defeitos; (d) inspeção visual dos defeitos internos; e (e) Classificador scanner automatizado para classificação



Fonte: Google.

Partindo da determinação do teor de água do grão é um fator importante que afeta a qualidade e a conservação do grão, ela é determinada com um equipamento chamado de estufa. Já na determinação da impureza pode ser avaliada a quantidade de matérias estranhas que está presente na massa de grãos, sendo utilizado peneiras para isso. Ressaltando que a calibração dos equipamentos, utilizados na classificação de grãos deve ser periódica para garantir que esteja realizando a classificação de forma precisa (O'CONNOR, 2018).

3.5 AVALIAÇÃO INDIRETA DE QUALIDADE – TECNOLOGIA NÃO DESTRUTIVA

As tecnologias não destrutivas para avaliação da qualidade de grãos de soja são ferramentas valiosas para a indústria da soja., elas permitem que os produtores e indústrias de soja avaliem a qualidade dos grãos de forma rápida, exata e sem danificá-los. Isso pode ajudar a garantir a qualidade e a segurança dos grãos, além de melhorar a eficiência dos processos de produção e comercialização (RODRIGUES et al., 2018).

3.5.1 Espectroscopia no Infravermelho Próximo (NIR)

A Espectroscopia no Infravermelho Próximo é uma tecnologia promissora para a avaliação da qualidade dos grãos de soja, sendo rápida, exata e não destrutiva, o que a torna uma ferramenta ideal para análise de grãos de soja, também pode ser usada para estimar uma variedade de parâmetros de qualidade dos grãos de soja, incluindo o teor de água, com exatidão de $\pm 0,2\%$ (ALVES et al., 2018).

Com o NIR é uma técnica não destrutiva que pode ser usada para determinar o teor de proteína e óleo dos grãos de soja com exatidão, também é um importante indicador do valor nutricional dos grãos, enquanto o teor de óleo é um importante indicador do valor comercial, também podendo ser usado para identificar a presença de contaminantes nos grãos de soja (SIMEONE et al., 2018).

Ao analisar a utilização da Espectroscopia no Infravermelho Próximo, foi observado que esta é uma técnica promissora para a avaliação da qualidade dos grãos de soja, segundo Farias e Lopes, (2017).

Os autores verificaram que o NIR pode ser usado para determinar o teor de água, proteína, óleo e a presença de contaminantes em grãos de soja (SILVA e SILVA, 2018). É uma técnica não destrutiva que pode ser usada para avaliar a qualidade dos grãos de soja, baseada na absorção de radiação eletromagnética no infravermelho próximo por moléculas nos grãos, com precisão semelhante aos métodos tradicionais (AQUINO e COSTA, 2019).

3.5.2 Ressonância magnética nuclear

A ressonância magnética nuclear (RMN) é uma técnica analítica que tem sido usada para uma variedade de aplicações em ciência de alimentos, incluindo a avaliação da qualidade da soja, ela é uma técnica não destrutiva que pode fornecer medições exatas de uma gama de parâmetros, incluindo teor de água, proteína, óleo e contaminantes (DELLA COLETTA e PIVA, 2019). Sendo uma técnica para a avaliação da qualidade dos grãos de soja, tendo uma exatidão para estimar indicadores de variáveis (LI et al., 2021). Segundo Azeredo e Costa (2019), a ressonância magnética nuclear é uma ferramenta para a avaliação da qualidade tornando um método promissor para dá grãos de soja, podendo fornecer informações precisas sobre a composição química dos grãos de soja, incluindo precisão, a não destrutividade e versatilidade com essa técnica, podendo ser usada para estimar uma variedade de parâmetros de qualidade, incluindo teor de água, teor de proteína e teor de óleo.

O teor de água é um dos parâmetros de qualidade mais importantes dos grãos de soja, pois pode afetar a sua estabilidade e o seu valor mercado, a RMN pode estimar a umidade dos grãos de soja com precisão de $\pm 0,1\%$, e o teor de proteína é um importante indicador da qualidade nutricional dos grãos de soja, que pode estimar o teor de proteína dos grãos de soja com precisão de $\pm 0,05\%$, e para o teor de óleo é um importante indicador do valor comercial dos grãos de soja, que estima o teor de óleo dos grãos, com precisão de $\pm 0,1\%$, também podendo ser usada para detectar a presença de contaminantes, como insetos, pragas e micotoxinas, nos grãos de soja (KHOURY, 2022).

A RMN é uma técnica com custo mais elevado que a NIR, entretanto oferece maior exatidão, também é mais complexa de operar, o que requer um treinamento especializado, as vantagens para a avaliação da qualidade dos grãos de soja, incluindo precisão, não destrutividade e versatilidade, também apresentam exemplos de aplicações específicas na avaliação de parâmetros de qualidade, como teor de água, proteína (HASSAN et al., 2021).

3.5.3 Raio X

A tecnologia de raios X é uma ferramenta valiosa para a avaliação da qualidade da soja, podendo ser usada para garantir que a soja esteja livre de contaminantes e atenda aos padrões de qualidade exigidos com isso é uma técnica para a avaliação da qualidade da soja (AQUINO e COSTA, 2019).

Os grãos de soja são expostos a um feixe de raios, que é absorvido de forma diferente pelos grãos, dependendo de sua composição e estrutura, essa diferença na absorção é usada para gerar imagens da estrutura interna dos grãos, usadas para detectar defeitos internos, como

insetos, pragas, micotoxinas e defeitos físicos e também podem ser usadas para estimar parâmetros de qualidade, como teor de água, proteína e óleo, tornando uma forma não destrutiva, rápida e precisa, com precisão superior aos métodos tradicionais, e usado para uma variedade de aplicações em ciência de alimentos, incluindo a avaliação da qualidade da soja (DELLA COLETTA e PIVA, 2019).

3.5.4 Imagem Hiperespectral

A imagem hiperespectral é uma técnica em desenvolvimento para a classificação de soja, captura dados sobre a composição e estrutura da superfície dos grãos de soja, que podem ser usados para balizar entre diferentes tipos de parâmetros da soja, (LI et al., 2021). A imagem hiperespectral é eficiente e precisa para a classificação de soja, podendo ser usada para achar diferentes tipos de grãos e defeitos, mesmo com pequenas diferenças na composição e estrutura da superfície. Sendo uma ferramenta promissora para a classificação de soja, usada para distinguir entre pequenas diferenças em forma de espectros, com curvas que mostram a intensidade da luz refletida ou transmitida em diferentes comprimentos de onda (AZEREDO e COSTA, 2021).

Com uma variedade de compostos químicos nas estruturas da superfície dos grãos, a imagem hiperespectral pode ser usada para capturar dados sobre esses compostos nas estruturas, podendo ser usados para distinguir entre diferentes tipos de defeitos, utilizando para classificação da soja, identificando em diferentes cultivares, com base na qualidade, detectando contaminantes na soja e avaliando o estado de maturação da soja (TEIXEIRA et al., 2017).

A medida que a tecnologia continua a se desenvolver, é provável que ela se torne ainda mais importante para a indústria de grãos, pois é uma ferramenta poderosa que pode ser usada para melhorar a classificação, que oferece uma série de vantagens sobre os métodos tradicionais, é ainda uma tecnologia que tem o potencial de revolucionar a forma como a soja é classificada, distinguindo entre diferentes tipos de soja, com alta precisão, podendo ser usada para classificar com base em uma variedade de características, ao ser automatizada, o que pode reduzir o tempo e o custo do processo de classificação (REZAEI et al., 2023).

3.5.5 Microscopia Eletrônica de Varredura

A Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) é uma técnica de microscopia que utiliza um feixe de elétrons para gerar uma imagem de alta resolução da superfície de um objeto, é uma ferramenta valiosa para o estudo de diversos materiais, incluindo a soja, assim a

MEV é uma técnica que pode ser usada para identificar e caracterizar diferentes tipos de células e tecidos, bem como para estudar as alterações que ocorrem nesses componentes durante o desenvolvimento da planta (FENG et al., 2019).

Para avaliar a qualidade dos grãos, como a presença de pragas, doenças e compostos de estrutura indesejada, da estrutura e da morfologia da soja, ela pode ser usada para identificar e caracterizar diferentes tipos de células e tecidos, bem como para estudar as alterações que ocorrem nesses componentes durante o desenvolvimento e a maturação da planta, (BARBOSA, 2017). Tem sido utilizada para estudar diversos aspectos da soja, incluindo a estrutura da folha, do caule, da raiz, da vagem e da semente. Também tem sido usada para estudar a morfologia e a estrutura dos grãos de pólen, do embrião e da plântula, (SILVA, 2018). Sendo uma ferramenta importante para pesquisadores, engenheiros e agricultores que desejam entender melhor a planta (SOUZA, 2019).

4. MATERIAL E MÉTODOS

A coleta dos grãos de soja para o experimento, ocorreu no município de Estrela Velha – RS, na unidade armazenadora de grãos da SC CEREAIS, em outubro de 2022, obtendo aproximadamente 60 quilos de grãos de soja. Essa amostra foi selecionada em virtude de conter problemas físicos e defeitos, assim, permitindo a maior eficiência na classificação manual e agilizando o processo da separação dos grãos com defeitos.

Após a chegada da amostra Laboratório de Pós-colheita de Produtos Agrícolas (LAPOS) da UFSM/CS, realizou-se a pesagem das amostras de trabalho para determinação da matéria estranha e as impurezas da soja. Para isso, os grãos foram colocados sobre a peneira (crivos circulares 3 mm), realizando o agitação até as impurezas serem separadas.

A determinação de teor de água foi obtida com o auxílio de um medidor de capacitância elétrica, assim, observou-se que os grãos apresentavam teor de água de aproximadamente 16%.

Sendo necessário realizar a secagem dos grãos de soja, foi utilizado uma estufa à 80°C, até atingirem 12% de teor de água, buscando a maior conservação para posterior classificação física. Posteriormente, os grãos de soja livres de impurezas foram armazenados em recipientes para separação dos defeitos.

Durante a análise dos defeitos dos grãos de soja, foi observado o aspecto externo dos grãos, separando os que apresentaram defeitos, colocando-os em uma superfície apropriada e bem iluminada, o auxílio de uma pinça para as remoções dos defeitos para alguns grãos, foi

necessário o corte transversal com estilete, já que estes não apresentavam defeitos externos evidentemente visíveis, sendo observado o defeito na região interna do grão.

A classificação física de grãos de soja, foi realizada conforme o regulamento técnico de classificação (MAPA, 2007). Para isso, foram obtidos 100 g de cada um dos defeitos (queimado, mofado, danificado, quebrado, imaturo, fermentado, amassado, germinado, chocho e ardido) e grãos sadios, conforme pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 – Grãos de soja classificados conforme os defeitos identificados



Fonte: Autor.

Para a realização da classificação, houve um treinamento para o correto desempenho da atividade, para que todos os envolvidos obtivessem o mesmo nível de conhecimento de classificação, minimizando a possibilidade de erro. Assim, o período de classificação dos grãos durou aproximadamente 3 meses.

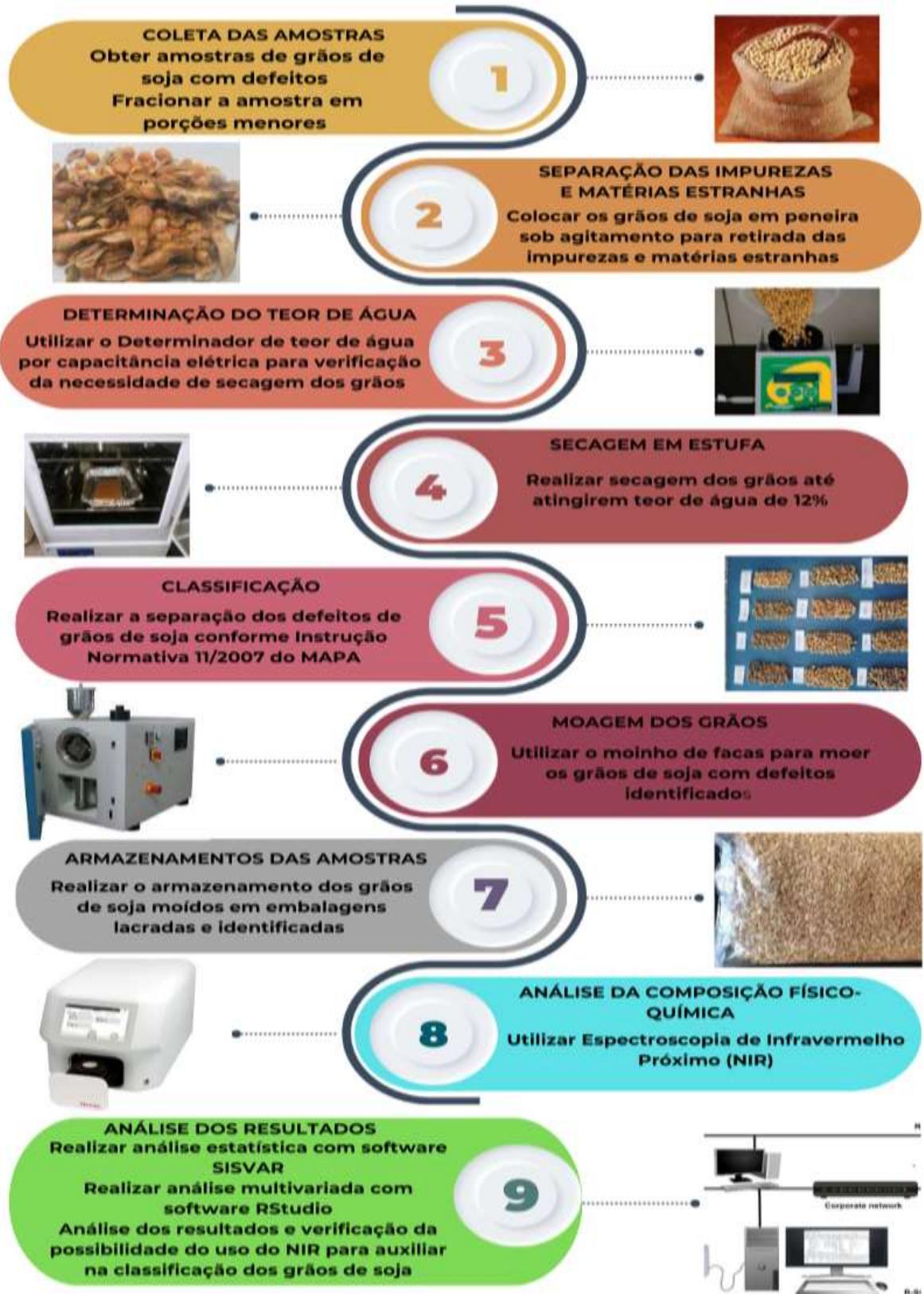
As amostras de grãos de soja foram moídas em um moinho com rotor de facas, utilizando uma peneira de 20 a 30 mesh de malha, após o armazenando em embalagens

devidamente identificadas. Em seguida, foram enviadas ao laboratório para análise da composição centesimal, com a utilização do NIR.

O coeficiente de variação (CV%) é uma medida de dispersão relativa entre as variáveis, ou seja, expressa a variabilidade dos dados em relação à média das amostras. O CV% é necessário para comparar a dispersão de dados das diferentes variáveis analisadas.

O fluxograma do estudo está representado na Figura 6, onde são apresentadas as principais atividades de cada etapa.

Figura 6 – Fluxograma de realização do estudo



Fonte: Autor.

4.1 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO

A avaliação físico-química dos grãos de soja com defeitos foi realizada no Centro de Pesquisa em Alimentação (CEPA), localizado na Universidade de Passo Fundo – UPF, seguindo a metodologia aplicada por Nunes et al. (2022). A partir disso, a análise ocorreu por meio da aplicação de espectroscopia no infravermelho próximo utilizando um espectrômetro Metrohm, modelo DS2500, com alta resolução ótica. As amostras foram homogeneizadas e colocadas na cápsula de amostragem e, em seguida, foram iluminadas com radiação de um comprimento de onda específico na região do infravermelho próximo.

Assim, o equipamento realizou a medição da diferença entre as quantidades de energia emitidas pelo espectroscópio e refletidas pela amostra para o detector em várias bandas, criando um espectro para cada amostra. Os dados espectrais foram registrados no modo de refletância na faixa espectral de 400–2500 nm, determinando o teor de amido, proteína bruta, gordura, cinzas e fibra bruta nos grãos de soja e com defeitos para os diferentes de teores de água.

4.2 REDE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON

Os dados foram submetidos à análise de componentes principais para verificar a inter-relação entre as variáveis e os tratamentos em cada experimento. Antes da realização da análise de componentes principais (PCA) os valores foram padronizados. Um biplot com os dois primeiros componentes principais foi construído devido à facilidade de interpretação desses resultados. Neste biplot, três grupos foram definidos para utilizar o algoritmo k-means, que agrupou os tratamentos cujos centroides estão mais próximos até que não haja variação significativa na distância mínima de cada observação a cada um dos centroides. Após o estabelecimento dos grupos, foi construído um gráfico de dispersão contendo Pearson e dispersão entre as variáveis considerando cada grupo formado. Essas análises foram realizadas com o auxílio do pacote “ggfortify” do programa Rbio e seguiram os procedimentos recomendados por Naldi et al. (2011). Além disso, a espessura das arestas foi controlada aplicando um valor de corte de 0,60, indicando que $|r_{XY}| \geq 0,60$ tiveram suas bordas destacadas. Foram utilizadas como variáveis de entrada teor de água (UMI), cinzas (CIN), amido (AMI), proteínas (PRO), lipídeos (LIP) e fibras (FIB). As correlações positivas foram destacadas em verde e as correlações negativas representadas em vermelho. Os resultados obtidos foram avaliados estatisticamente com o auxílio do programa SISVAR versão 5.8. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade do erro (FERREIRA, 2020).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 4 contém as informações referente a Análise de Variância, fornecendo dados sobre a variação das análises físico-químicas dos grãos de soja em função dos defeitos. O valor de Pr>Fc para todos os parâmetros analisados foi menor que 0,01, indicando que a variação entre os grupos de grãos foi significativa ($p < 0,01$). Isso significa que os defeitos nos grãos de soja tiveram um impacto significativo na sua composição físico-química quando submetidos a análise por meio do NIR.

Tabela 4 – Análise de variância das análises físico-químicas e classificação dos grãos de soja

FV	Teor de água	Proteína	Lipídios	Fibras	Cinzas	Amido
	Pr>Fc	Pr>Fc	Pr>Fc	Pr>Fc	Pr>Fc	Pr>Fc
Defeitos	0,0000**	0,0000**	0,0000**	0,0002**	0,0000**	0,0000**
CV (%)	0,77	0,37	0,31	2,43	2,42	24,25
Média Geral	10,15	37,67	16,77	5,35	5,97	0,46

** : Significativo a 1% de probabilidade de erro ($Pr < 0,01$), ^{NS} : Não Significativo ($Pr > 0,01$), FV: Função de variação, CV: Coeficiente de variação.

Desta forma, o coeficiente de variação (CV%), que determina a variabilidade dos dados em relação à média, evidenciou um CV% alto para o amido, de 24,25%. Esta, informação indica que os dados referentes a amostra dos defeitos estão dispersos quanto essa variável, mostrando que variabilidade do teor de amido nos grãos de soja foi maior do que a variabilidade dos demais parâmetros.

Uma possível explicação para esse resultado, é referente a falhas análise do NIR, pois a técnica pode ser afetada por fatores como a presença de contaminantes, umidade e a temperatura dos grãos. Outra possível causa é em função a grande variabilidade do teor de amido nos grãos de soja em função dos defeitos contidos. Isso pode ocorrer devido a fatores como a cultivar, as condições de cultivo e as condições de armazenamento (SILVA et al., 2018).

Assim, os resultados apresentados são importantes para entender como os defeitos nos grãos de soja podem afetar a sua composição, esses resultados podem ser usados para desenvolver estratégias de controle de qualidade dos grãos de soja, além da sua utilização como metodologia a auxiliar a classificação.

Os resultados evidenciam que os defeitos alteraram a composição físico-química dos grãos de soja (Tabela 5), principalmente em grãos ardidos e queimados. Kan et al. (2018)

avaliaram cultivares de soja e verificaram variação também nos teores de lipídeos variando de 14,13 a 22,90% em função da qualidade dos grãos. A redução do teor de lipídeos pode ocorrer devido à ação de enzimas lipases, e consequente, reações bioquímicas, na formação de compostos voláteis (aldeídos e cetonas), justificando assim o baixo teor de lipídio nos grãos danificados, visto que, estes sofrem maior ação das enzimas devido a degradação da estrutura (WRIGLEY et al., 2016).

Tabela 5 – Composição físico-química de grãos de soja com diferentes defeitos de classificação.

Defeito	Código	Teor de água (%)	Amido (%)	Proteína (%)	Lipídeos (%)	Fibras (%)	Cinzas (%)
Queimado	S1	4,75j	2,06c	38,81cd	22,98a	3,97ef	4,12g
Mofado	S2	10,79cde	0,76cd	41,40a	15,09h	3,62fg	7,98a
Danificado	S3	10,22f	0,79cd	38,07e	14,11j	5,96b	5,99de
Quebrado	S4	10,72de	2,06b	36,39g	18,33b	4,68d	4,93f
Sadio	S5	12,55b	0,21e	35,34h	14,74i	5,13c	5,08f
Imaturo	S6	9,50g	2,59a	38,81c	15,50f	5,72b	6,05d
Fermentado	S7	11,00c	0,11e	37,4f	15,27g	4,22e	5,90de
Amassado	S8	10,87bd	0,67d	36,53g	17,41e	4,96cd	4,92f
Germinado	S9	8,44i	0,49f	33,17i	18,18c	13,63a	6,94bc
Macha púrpura	S10	13,12a	1,44c	38,06e	12,74k	5,11c	5,60e
Chocho	S11	10,64e	0,58f	38,36de	17,62d	3,80f	6,80c
Ardido	S12	9,16h	0,04g	39,83b	19,19a	3,35g	7,25b

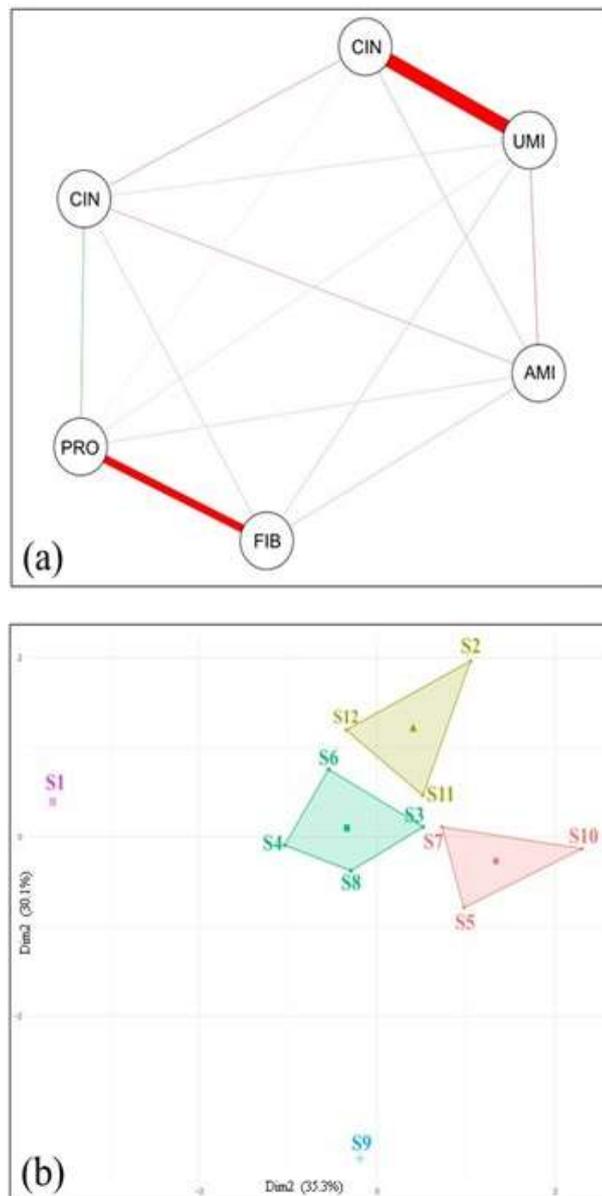
Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si à 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Assim, nota-se que os defeitos de classificação dos grãos de soja podem alterar significativamente a sua composição físico-química, pois os grãos queimados e germinados apresentaram as alterações mais pronunciadas, com reduções significativas nos teores de água e cinzas, e aumentos no teor de lipídeos. A rede de correlações de Pearson (Figura 7a) remete que as variáveis de umidade e cinzas apresentam uma correlação negativa, o que significa que, à medida que um desses teores aumenta, o outro diminui. Essa correlação é explicada pelo fato de que os grãos com maior teor de água são mais suscetíveis à deterioração, o que pode levar ao aumento de cinzas. Segundo Ziegler et al. (2016), aumentos proporcionais nos teores de cinzas, ao armazenar grãos de soja com teores de umidade de 9, 12, 15 e 18%, a 11, 18, 25 e 32 °C e armazenados por 12 meses, passam de 5,1 para 6,1% na condição de 32 °C após o armazenamento. Os pesquisadores atribuíram estas alterações as condições inadequadas de armazenamento, visto que após 12 meses a 32 °C houve o aumento do teor de cinzas, sendo associado à redução do teor de proteínas e lipídeos após o armazenamento, fazendo com que esta fração aumente, porém também estes grãos, em razão da fermentação

avançada podem ter seus compostos degradados, o que também contribui para o aumento do teor de cinzas.

Já as relações negativas entre proteína e fibras são consistentes com os resultados apresentados, pois mostram que grãos com teores mais elevados de proteína apresentam baixo teor de fibras. O cluster dos defeitos de grãos de soja obtidos pela interação com a composição físico-química (Figura 7b) evidencia que os grãos fermentados e com mancha púrpura apresentam comportamento similares aos grãos de soja sadios e fermentados.

Figura 7 - Rede de correlações de Pearson entre as variáveis avaliadas em grãos de soja (a); Cluster dos defeitos de grãos de soja obtidos pela interação com a composição química (b)



Já os grãos queimados e germinados não possuem composição centesimal semelhantes com os outros defeitos. Os grãos queimados são causados frequentemente na secagem e por conterem baixo percentual de água pode gerar níveis maiores de acidez, possuem constituição distinta dos demais defeitos de grãos (JIMENEZ et al., 2019).

6. CONCLUSÃO

Os resultados indicaram que os defeitos físicos identificados nos grãos de soja apresentam diferentes composições centesimais. Assim, a Espectroscopia de Infravermelho Próximo pode ser utilizada para auxiliar na identificação de diferentes tipos de defeitos físicos em soja. O estudo não identificou uma relação linear entre a gravidade dos defeitos e a composição centesimal. Assim, grãos com defeitos com gravidades semelhantes podem apresentar composição físico-química diferentes. Evidenciando, a necessidade de realizar a classificação visual dos grãos, havendo possibilidade de utilizar o NIR como uma técnica a auxiliar a classificação.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, P. R.; ALMEIDA, A. C.; PAULA, J. M. Secagem de grãos: princípios e métodos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 2, p. 177-182, 2019.
- ALVES, A. F.; DE SOUZA, P. R.; DA SILVA, J. C. Near infrared spectroscopy for soybean grain quality assessment. **Journal of Food Engineering**, v. 228, p. 149-158, 2018.
- ANDRADE, J. L. Controle de qualidade de grãos de soja recebidos em unidades armazenadoras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 1, p. 52-58, 2018.
- ANDRÉ, A. P.; SILVA, M. C.; ARAÚJO, J. M. Avaliação da aplicação da NIR para a classificação da soja quanto à pureza e defeitos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 2, p. 111-118, 2022.
- AQUINO, A. C.; COSTA, J. A. **Secagem de grãos de soja: um enfoque prático**. Embrapa Informação Tecnológica, p. 1-288, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10581:2023: Manual de Métodos de Análise de Cereais, Leguminosas e Oleaginosas**. Associação Brasileira de Normas Técnicas: Rio de Janeiro, p. 232, 2023.
- AZEREDO, R. B. V.; COSTA, J. A. Application of nuclear magnetic resonance (NMR) for quality evaluation of soybean seeds. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 8, p. 2700-2727, 2019.
- BARBOSA, J. F.; GOMES, M. A.; SOUZA, L. A. Estudo da estrutura e morfologia da soja por microscopia eletrônica de varredura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 4, p. 329-334. 2017.
- BOTELHO, F. M.; HOSCHER, R. H.; HAUTH, M. R.; BOTELHO, S. C. C. Cinética de secagem de grãos de soja: influência varietal. **Engenharia na Agricultura**, v. 26, n. 1, p. 13-25, 2018.
- CARVALHO, M. L.; SILVA, L. F.; SANTOS, M. R. Armazenamento de grãos de soja: aspectos relevantes para a manutenção da qualidade. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 16, n. 1, p. 1-11, 2021.
- CARVALHO, M. P. **Soja: cultivo e processamento**. Editora UFLA, Lavras, MG, 2021.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 10, safra 2022/2023, n. 11 décimo primeiro levantamento, agosto 2023.

DELLA COLETTA, R.; PIVA, R. Nuclear magnetic resonance (NMR) for the analysis of soybean seeds: A review. **Food Chemistry**, v. 287, p. 1093-1107, 2019.

DOUHAN, R. M. H.; KOKHANENKO, A. P.; LOZOVYOY, K. A. Dependence of Ge/Si Avalanche Photodiode Performance on the Thickness and Doping Concentration of the Multiplication and Absorption Layers. **Nanomaterials**, v. 12, n. 13, p. 4221, 2022.

EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja - Região Central do Brasil 2014**. Ainfo, p. 1-240, 2014.

FARIAS, I. D.; LOPES, R. M. **Secagem de grãos de soja em unidades armazenadoras**. EMBRAPA Agroindústria Tropical, p. 1-8, 2017.

FENG, S.; LI, C.; CHEN, Y. Application of scanning electron microscopy for the study of soybean seed morphology and anatomy. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 28, n. 2, p. 138-144, 2019.

FERREIRA, D. F. **Sisvar: a computer statistical analysis system**. Ciência e Agrotecnologia (UFLA), Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, dez. 2011.

FERREIRA, M. V.; SOUZA, F. S.; ALMEIDA, A. F. Armazenamento de grãos de soja: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 10, p. 1037-1043, 2020.

GONÇALVES, A. A.; SOUZA, J. M.; SILVA, A. R. Armazenamento de grãos de soja: aspectos relevantes para a segurança dos produtos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 50, n. 2, p. 498-505, 2019.

HASSAN, S. M. A.; EL-KHODARY, M. A. A.; EL-GIZAWY, M. A. A. Application of NMR spectroscopy for the quality evaluation of soybean seeds. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 30, n. 2, p. 100-108, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção Agrícola Municipal 2022/2023**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ÓLEOS VEGETAIS – IBOV. **Manual de classificação de soja para extração de óleo e proteína**. 2. ed. Brasília, DF: IBOV, p. 18-20, 2013.

JAQUES, L. B. A.; CORADI, P. C.; MÜLLER, A.; RODRIGUES, H. E.; TEODORO, L. P. R.; TEODORO, P. E.; STEINHAUS, J. I. Portable-Mechanical-Sampler System for Real-Time Monitoring and Predicting Soybean Quality in the Bulk Transport. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, v. 71, p. 1-12, 2022.

JIANG, G. L. Comparison and application of non-destructive NIR evaluations of seed protein and oil content in soybean breeding. **Agronomy**, v. 10, n. 1, 77, 2020.

- JIMENEZ, M.; LOBO, M.; SAMMÁN, N. 12th IFDC 2017 Special Issue – Influence of germination of quinoa (*Chenopodium quinoa*) and amaranth (*Amaranthus*) grains on nutritional and techno-functional properties of their flour. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 84, n. 1, p. 103-209, 2019.
- KAN, L.; NIE, S.; HU, J.; WANG, S.; BAI, Z.; WANG, J.; ZHOU, Y.; JIANG, J.; ZENG, Q.; SONG, K. Comparative study on the chemical composition, anthocyanins, tocopherols and carotenoids of selected legumes. **Food Chemistry**, v. 260, p. 317–326, 2018.
- KHOURY, M. Near-infrared spectroscopy for food quality analysis. In A. K. Datta & S. K. Das (Eds.), *Food quality analysis*, **Springer Nature**, p. 125-150, 2022.
- KIM, J.-H.; CHOI, S.-J., KIM, H.-S., KIM, M.-S., & KIM, Y.-G. Mudanças desenvolvimentais na anatomia e morfologia da semente de soja. *Journal of the Korean Society of Crop Science*, v. 66, n. 3, p. 290-298, 2021.
- KIRATIRATANAPRUK, S.; CHANTHAWAT, S.; CHANTHAWAT, P. Development of a near-infrared spectroscopy-based model for soybean variety identification. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 100, n. 9, p. 3440-3447, 2020.
- KRZYŻANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B.; HENNING, A. A. A alta qualidade da semente de soja: fator importante para a produção da cultura. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 2, p. 5-12, 2008.
- LI, B.; LI, X.; WANG, Y.; ZHANG, J.; ZHANG, C.; ZHANG, H. Anatomia e morfologia da semente de soja. **Journal of Plant Research**, v. 136, n. 1, p. 1-12, 2023.
- LI, X.; CHEN, X.; LI, Z.; WANG, Y. Application of nuclear magnetic resonance (NMR) in soybean quality evaluation: A review. **Journal of Food Science**, v. 86, n 12, p. 4763-4776, 2021.
- LIMA, M. B.; SILVA, J. S.; CARVALHO, R. C. Armazenamento de grãos de soja: fatores que influenciam a qualidade. *Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente*, v. 10, n. 2, p. 22-33, 2018.
- LIMA, R. E.; CORADI, P. C.; NUNES, M. T.; BELLOCHIO, S. D. C.; DA SILVA TIMM, N.; NUNES, C. F.; CAMPABADAL, C. Mathematical modeling and multivariate analysis applied earliest soybean harvest associated drying and storage conditions and influences on physicochemical grain quality. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 23287, 2021.
- LIU, Y., ZHANG, L.; WANG, J.; LI, Z.; LIU, Y. Anatomia e morfologia da semente de soja: Uma revisão. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 22, n. 2, p. 147-162, 2020.
- LORENZI, J. L.; COSTA, M. L.; PEREIRA, A. A. Processamento pós-colheita da soja: uma revisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 4, p. 422-431, 2020.

MELO, J. M.; SILVA, P. L.; SOUZA, M. A. Armazenamento de grãos de soja: uma atividade essencial para a cadeia produtiva. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 7, p. 688-694, 2017.

MIHALJEV, Z. A.; JAKŠIĆ, S. M.; PRICA, N. B.; ČUPIĆ, Z. N.; ŽIVKOV-BALOŠ, M. M. Comparison of the Kjeldahl method, Dumas method and NIR method for total nitrogen determination in meat and meat products. **Journal of Agroalimentary Processes and Technologies**, v. 21, n. 4, p. 365-370, 2015.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, ABASTECIMENTO E PECUÁRIA - MAPA. **Referencial fotográfico dos defeitos da soja**. 3ª Edição, 2008. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/qualidade-vegetal-1/referencial-fotografico-pasta/referencial-fotografico-para-graos-pasta/referencial-fotografico-da-soja.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2023.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, SECRETARIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA – MAPA. **Instrução Normativa 11/2007**, 2007.

NALDI, M. C.; CAMPELLO, R. J.; HRUSCHKA, E. R.; CARVALHO, A. C. P. L. F. Efficiency issues of evolutionary k-means. **Applied Soft Computing**, v.11, n.2, p.1938-1952, 2011.

NUNES, B. B.; PEREIRA, D. L.; CORRÊA, M. G.; SILVA, A. L. Avaliação da qualidade de grãos de soja com defeitos físicos e biológicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 1, p. 1-8, 2022.

O'CONNOR, M. J. **Grain quality evaluation and management**. 2nd ed. Wallingford, UK: CAB International, p. 328, 2018.

OLIVEIRA, F., J de. **Recepção de grãos em unidades armazenadoras**. Boletim Técnico, n. 20, p. 1-7, 2005.

OLIVEIRA, J. B.; SILVA, M. C.; ARAÚJO, J. M. Classificação de soja por espectroscopia no infravermelho próximo: uma revisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 1, p. 1-10, 2022.

OLIVEIRA, J. F. de. **Recepção de grãos em unidades armazenadoras**. Manual Técnico, n. 5, p. 1-10, 2022.

OLIVEIRA, M. C. **Classificação de grãos de soja: métodos e equipamentos**. In: Instituto Brasileiro de Óleos Vegetais (Org.). Manual de classificação de soja para extração de óleo e proteína. 2. ed. Brasília, DF: IBOV, p. 16-21, 2019.

OLIVEIRA, R. de; PAULA, C. A. de; MORAIS, R. A. de. Secagem de grãos de soja: aspectos gerais e práticas de manejo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 14, n. 4, p. 803-814, 2020.

OLSON, T. C. **Soybean Grading: A Comprehensive Guide**. John Wiley & Sons, Inc., p. 123, 2022.

PAULA, J. C. de. **Tecnologia de armazenagem e beneficiamento de grãos**. 4. ed. Piracicaba: ESALQ, p. 584, 2018.

PAULA, J. E. A importância das verificações no recebimento de grãos em unidades armazenadoras. **Revista Brasileira de Armazenagem**, v. 13, n. 2, p. 35-42, 2017.

REZAEI, A.; KARAMI, K.; TILMES, S.; MOORE, J. C. Changes in global teleconnection patterns under global warming and stratospheric aerosol intervention scenarios. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 23, n. 5, p. 5835-5850, 2023.

ROCHA, J. S.; SOUZA, R. M. O processo de expedição de grãos: desafios e oportunidades. **Revista de Administração e Negócios da Amazônia**, v. 13, n. 3, p. 56-71, 2021.

RODRIGUES, J. A.; OLIVEIRA, J. C. de; CARVALHO, L. de. Armazenamento de grãos de soja: aspectos técnicos e econômicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 12, p. 1608-1616, 2019.

RODRIGUES, J. A.; OLIVEIRA, J. C. de; CARVALHO, L. de. Classificação da soja: uma visão geral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, n. 2, p. 189-196, 2021.

RODRIGUES, L. S.; SANTOS, R. A.; LOPES, M. G. M.; OLIVEIRA, R. A. Tecnologias não destrutivas para avaliação da qualidade de grãos de soja: uma revisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 3, p. 292-302, 2018.

SANTOS, F. C. dos; BORGES, M. S.; OLIVEIRA, P. H. de. Armazenagem de grãos: a importância da aeração e da manutenção dos silos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 1, p. 106-113, 2022.

SANTOS, J. A.; SILVA, M. M.; ARAÚJO, J. M. A soja: uma cultura de grande importância para a agricultura brasileira. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 44, n. 2, p. 1-12, 2022.

SANTOS, J. C. A expedição de grãos da soja: desafios e oportunidades. **Revista de Economia e Agronegócio**, vol. 28, n. 1, p. 3-20, 2022.

SHI, D.; HANG, J.; NEUFELD, J.; ZHAO, S.; HOUSE, J. D. Estimation of crude protein and amino acid contents in whole, ground and defatted ground soybeans by different types of near-infrared (NIR) reflectance spectroscopy. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 111, 104601, 2022.

SILVA, A. P. dá; BARBOSA, J. S.; OLIVEIRA, M. A. de. Qualidade da soja armazenada: importância da temperatura e umidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 4, p. 694-700, 2020.

SILVA, L. C. **Estruturas para armazenagem de grãos a granel**. Boletim Técnico, 2015. Disponível em: < http://www.agais.com/manuscript/ag0210_armazenagem_granel.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2023.

SILVA, M. A. da; OLIVEIRA, P. H. de; SOUZA, R. de. Tecnologias para a pesagem e preparação para transporte de grãos: uma revisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, n. 1, p. 107-116, 2023.

SILVA, C. M.; OLIVEIRA, A. A.; SOUZA, M. A.; PEREIRA, D. M.; RIBEIRO, J. A.; SILVA, A. C. R. Variabilidade do teor de amido em grãos de soja em função de defeitos contidos. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.83 n. 2, p. 529-536, 2018.

SILVA, M. A.; SILVA, R. A. **Secagem de grãos de soja: princípios e aplicações**. Editora UFV, p. 1-212, 2018.

SILVA, M. C.; ARAÚJO, J. M.; OLIVEIRA, J. B. Classificação de soja: métodos convencionais e alternativos. **Revista Brasileira de Agricultura Ecológica**, v, 21, n. 2, p. 186-193, 2018.

SILVA, R. A.; SILVA, M. G.; SILVA, F. A. Aplicações da microscopia eletrônica de varredura no estudo da soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 9, p. 885-890, 2018.

SILVA, T. M.; MEDEIROS, A. N. de; OLIVEIRA, R. L.; GONZAGA NETO, S.; QUEIROZ, R. de C. R. do E.; RIBEIRO, R. D. X.; LEÃO, A. G.; BEZERRA, L. R. Peanut meal: effect of drying temperature on physicochemical properties. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 94, n. 7, p. 2992-3002, 2016.

SIMEONE, M. L. F.; MEDEIROS, E. P.; TIBOLA, C. S.; OLIVEIRA, M. A. **Espectroscopia no infravermelho próximo para avaliar indicadores de qualidade tecnológica e contaminantes em grãos**. Brasília, DF: Embrapa, p. 13, 2018.

SOUZA, J. L. de; CARVALHO, J. M. de; ALMEIDA, P. R. de. Qualidade da soja: avaliação e controle. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 189-196, 2015.

SOUZA, C. E. de; PEREIRA, B. S.; GOMES, T. de O. Manejo de grãos de soja armazenados: aspectos técnicos e econômicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, n. 11, p. 1550-1558, 2021.

SOUZA, J. P. de; SANTOS, G. da S.; OLIVEIRA, P. H. de. Gestão do armazenamento e do embarque de grãos: desafios e oportunidades. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 1, p. 114-121, 2022.

SOUZA, L. A.; BARBOSA, J. F.; GOMES, M. A. Microscopia eletrônica de varredura: uma ferramenta poderosa para o estudo da soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 7, p. 617-622, 2019.

SOUZA, L. Boas práticas de recebimento de grãos em unidades armazenadoras. **Revista Brasileira de Armazenagem**, v. 18, n. 2, p. 147-157, 2022.

TEIXEIRA, R. G., OLIVEIRA, M. A., & OLIVEIRA, C. A. M. Classificação de soja com imagens hiperespectrais: uma revisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 58-65, 2017.

TEJÓN, L. J. **Armazenagem de grãos: princípios e práticas**. 4ª ed. São Paulo: Nobel, p. 27, 2023.

WANG, X.; LI, X.; LI, B.; ZHANG, J.; ZHANG, C.; ZHANG, H. Ultraestrutura e caracterização funcional dos tecidos da semente de soja. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 169, p. 1087-1096, 2022.

WEISS, W. J. **Soybean Grading: A Guide for the Trade**. American Soybean Association, p. 3, 2023.

WRIGLEY, C.; CORKE, H.; SEETHARAMAN, K.; FAUBION, J. **Encyclopedia of Food Grains**. 2. ed. Amsterdam: Lisa Tickner, 2016.

ZIEGLER, M.; LOURENS, L. J.; KARAS, C.; TIEDEMANN, R. Effects of storage conditions and temperature on the quality of soybean seeds. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 96, n. 10, p. 3434-3442. 2016.