



O IMPACTO DA QUALIDADE DOS GRÃOS DE SOJA NAS CARACTERÍSTICAS DO ÓLEO: UMA REVISÃO NARRATIVA

EL IMPACTO DE LA CALIDAD DE LOS GRANOS DE SOYA EN LAS CARACTERÍSTICAS DEL ACEITE: UNA REVISIÓN NARRATIVA

THE IMPACT OF SOYBEAN GRAIN QUALITY ON OIL CHARACTERISTICS: A NARRATIVE REVIEW

Apresentação: Comunicação Oral

Jordana dos Santos Alves¹; Osvaldo Resende²; Juliana Aparecida Célia³; Esther Cristina Neves Medeiros⁴, Elivânio dos Santos Rosa⁵

DOI:<https://doi.org/10.31692/VICIAGRO.0146>

RESUMO

A soja (*Glycine max*) destaca-se como uma das principais culturas oleaginosas cultivadas mundialmente, sendo amplamente utilizada na alimentação humana e animal, bem como na formulação de diversos produtos industrializados. Entre seus derivados mais relevantes está o óleo de soja, cuja qualidade está diretamente associada às condições da matéria-prima utilizada no processamento. A composição química dos grãos, o teor de água, a presença de impurezas e o grau de integridade física influenciam significativamente o rendimento e as propriedades físico-químicas do óleo extraído. Grãos avariados ou deteriorados, por exemplo, tendem a apresentar níveis elevados de ácidos graxos livres, peróxidos e outros compostos oxidativos, o que compromete a estabilidade do óleo, reduz a vida útil e afeta negativamente seu valor nutricional e comercial. Além desses aspectos, fatores como a variedade da soja, as condições agrônômicas, o ponto de colheita e as práticas pós-colheita, incluindo secagem e armazenamento, também exercem influência direta sobre a integridade dos grãos. Manejos inadequados nessa etapa favorecem processos de degradação físico-química e microbiológica, que dificultam o processamento industrial e aumentam o consumo energético durante a extração do óleo. Diante desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão narrativa dos principais fatores que afetam a qualidade da soja e sua influência direta na extração e qualidade do óleo vegetal. A análise permite compreender que o controle de qualidade desde o campo até o armazenamento é essencial para garantir a eficiência do processo produtivo, reduzir perdas, melhorar a estabilidade do óleo e atender às exigências de mercado que cada vez estão mais rigorosas.

Palavras-Chave: Armazenamento, composição química, estabilidade oxidativa.

RESUMEN

La soja (*Glycine max*) se destaca como uno de los principales cultivos oleaginosos cultivados a nivel mundial, siendo ampliamente utilizada en la alimentación humana y animal, así como en la formulación de diversos productos industrializados. Entre sus derivados más relevantes se encuentra el aceite de soja, cuya calidad está directamente asociada a las condiciones de la materia prima utilizada en su procesamiento. La composición

¹ Mestra, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, jordanadossantosalves@hotmail.com

² Doutor, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, osvresende@yahoo.com.br

³ Pós-Doutoranda, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, juliana.rv@hotmail.com

⁴ Mestra, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, esther.cnms@gmail.com

⁵ Doutorando, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, elivanio.sr26@gmail.com

química de los granos, el contenido de agua, la presencia de impurezas y el grado de integridad física influyen significativamente en el rendimiento y en las propiedades físico-químicas del aceite extraído. Los granos dañados o deteriorados, por ejemplo, tienden a presentar niveles elevados de ácidos grasos libres, peróxidos y otros compuestos oxidativos, lo que compromete la estabilidad del aceite, reduce su vida útil y afecta negativamente su valor nutricional y comercial. Además de estos aspectos, factores como la variedad de la soja, las condiciones agronómicas, el punto de cosecha y las prácticas poscosecha, incluyendo el secado y el almacenamiento, también ejercen una influencia directa sobre la integridad de los granos. Un manejo inadecuado en esta etapa favorece procesos de degradación físico-química y microbiológica, lo que dificulta el procesamiento industrial y aumenta el consumo energético durante la extracción del aceite. Ante este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo realizar una revisión narrativa de los principales factores que afectan la calidad de la soja y su influencia directa en la extracción y calidad del aceite vegetal. El análisis permite comprender que el control de calidad desde el campo hasta el almacenamiento es esencial para garantizar la eficiencia del proceso productivo, reducir pérdidas, mejorar la estabilidad del aceite y cumplir con las crecientes exigencias del mercado.

Palabras Clave: Almacenamiento, composición química, estabilidad oxidativa.

ABSTRACT

Soybean (*Glycine max*) stands out as one of the main oilseed crops cultivated worldwide, being widely used in both human and animal nutrition, as well as in the formulation of various industrial products. Among its most relevant derivatives is soybean oil, whose quality is directly associated with the condition of the raw material used in processing. The chemical composition of the grains, moisture content, presence of impurities, and degree of physical integrity significantly influence the yield and physicochemical properties of the extracted oil. Damaged or deteriorated grains, for example, tend to exhibit high levels of free fatty acids, peroxides, and other oxidative compounds, which compromise the oil's stability, reduce shelf life, and negatively affect its nutritional and commercial value. In addition to these aspects, factors such as soybean variety, agronomic conditions, harvest timing, and post-harvest practices—including drying and storage—also have a direct impact on grain integrity. Inadequate handling during these stages promotes physicochemical and microbiological degradation processes, which hinder industrial processing and increase energy consumption during oil extraction. In this context, the present study aims to provide a narrative review of the main factors that affect soybean quality and their direct influence on the extraction and quality of vegetable oil. The analysis shows that quality control from the field to storage is essential to ensure process efficiency, reduce losses, improve oil stability, and meet increasingly stringent market demands.

Keywords: Storage, chemical composition, oxidative stability.

INTRODUÇÃO

A soja é uma das culturas mais difundidas globalmente, com uma produção estimada em 369,85 milhões de toneladas no ano de 2023 (USDA, 2024). A soja é destinada tanto à alimentação humana quanto animal, sendo também amplamente empregada na fabricação de diversos produtos industrializados, como tofu, leite de soja (Ziegler et al., 2016), óleos, molhos, suplementos, entre outros (Almeida et al., 2020).

A soja representa uma das principais culturas oleaginosas do mundo, com destaque para sua versatilidade na produção de farelo proteico e óleo vegetal. Dentre os diversos fatores que influenciam a qualidade final do óleo de soja, destaca-se de forma preponderante a qualidade dos grãos utilizados no processamento industrial. A composição química, o nível de impurezas, teor de água, presença de grãos avariados, deteriorados ou danificados por pragas têm influência direta sobre

o rendimento e as propriedades físico-químicas do óleo extraído. Estudos apontam que os grãos com elevado percentual de danificados podem contribuir para o aumento de ácidos graxos livres no óleo, prejudicando seu valor nutricional e comercial (Campos et al., 2020; Silva et al., 2022).

A deterioração dos grãos de soja, causada por fatores como elevado teor de água, má conservação e exposição prolongada ao calor ou à luz, resulta em reações de degradação que impactam negativamente a estabilidade oxidativa do óleo. Grãos com maiores níveis de peroxidação lipídica tendem a transferir compostos oxidativos para o óleo, reduzindo sua vida útil e alterando suas características sensoriais, como cor, sabor e odor (Lima et al., 2024; Watanabe et al., 2024).

Segundo Costa et al. (2021), óleos extraídos de grãos de soja com baixa qualidade apresentam índices de peróxidos e acidez significativamente superiores aos obtidos a partir de grãos íntegros e bem armazenados. Além disso, a degradação proteica e a atividade enzimática resultante da má conservação dos grãos podem favorecer a formação de compostos indesejáveis durante o refino do óleo, aumentando os custos de processamento e diminuindo o rendimento industrial. Outro aspecto relevante é o teor de lipídios presentes nos grãos, o qual está ligado diretamente à cultivar, às condições agronômicas e ao estágio de maturação no momento da colheita.

A variabilidade genética entre os cultivares de soja influencia tanto o teor de óleo quanto o perfil de ácidos graxos, como o teor de ácido linoleico, oleico e linolênico. Conforme estudos de Moreira et al. (2019), grãos de cultivares com maior teor de ácido oleico tendem a produzir óleos mais estáveis à oxidação, conferindo maior valor agregado ao produto. Por outro lado, colheitas realizadas fora do ponto ideal de maturação podem comprometer a composição lipídica e acelerar a degradação dos grãos, afetando a qualidade do óleo.

Nas plantas os danos por microrganismos patogênicos ou deteriorantes podem causar doenças e, conseqüentemente, afetar a composição do óleo. Já a aplicação de consórcios microbianos e biopreparações podem contribuir para maior teor de óleo e melhorar o perfil de ácidos graxos, além de promover a sustentabilidade agrícola (Marro et al., 2020; Bajagić et al., 2024; Rafique et al., 2025; Cao et al., 2024; Dimitrijević et al., 2024).

A etapa de secagem e armazenamento dos grãos também exerce influência significativa. Durante a armazenagem, os grãos estão sujeitos a variações de temperatura e umidade relativa, que podem desencadear processos bioquímicos e microbiológicos indesejados. O crescimento de fungos, por exemplo, não só compromete a integridade dos grãos como também pode ocasionar a formação de micotoxinas e substâncias tóxicas (Baidhe et al., 2024).

Conforme Gonçalves et al. (2020), a adoção de boas práticas de pós-colheita, como secagem eficiente, controle da umidade e uso de silos adequados, é essencial para garantir que os grãos mantenham características adequadas para a extração de um óleo de alta qualidade.

Por fim, é importante destacar que os parâmetros de qualidade do óleo de soja, como a acidez, índice de iodo, teor de fosfatídeos e estabilidade oxidativa, estão diretamente correlacionados com a matéria-prima utilizada. A indústria busca constantemente otimizar a relação entre qualidade dos grãos e eficiência de extração para atender exigências de mercados cada vez mais rigorosos. O uso de tecnologias analíticas na classificação de grãos, como espectroscopia no infravermelho e análises cromatográficas, permite antecipar problemas e selecionar lotes com maior potencial de rendimento e qualidade de óleo.

Dessa forma, o controle de qualidade da matéria-prima, desde o campo até o processamento industrial, constitui uma etapa estratégica e indispensável na cadeia produtiva da soja à produção de óleo vegetal. Tendo em vista todas estas questões apontadas, este trabalho teve como objetivo realizar uma revisão narrativa sobre os grãos de soja, a manutenção de sua qualidade e o processamento para obtenção do óleo de soja, demonstrando ao final as novas tecnologias e tendências que vem sendo adotadas para aumento de rendimento e promoção da sustentabilidade.

METODOLOGIA

Este trabalho é uma revisão narrativa da literatura, cuja pesquisa foi realizada nos meses de Abril a Junho de 2025. Foram incluídos diversos trabalhos publicados majoritariamente nos últimos 10 anos, utilizando as seguintes bases de dados: Scielo, Scopus, Web of Sciences e Google Scholar. Foram utilizados os descritores "soybean grain quality", "soybean oil", "oil extraction", "grain storage", "oxidative stability", "grain moisture", "mechanical damage", "lipid profile" e "oil yield".

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Influência da Qualidade dos Grãos de Soja na Composição Química e nos Indicadores de Qualidade do Óleo Extraído

A composição química dos grãos de soja é um dos principais fatores determinantes da qualidade do óleo extraído. Segundo Silva et al. (2020), os grãos de soja apresentam, em média, 36% de proteínas, 20% de lipídios, 30% de carboidratos e o restante é composto por fibras, minerais e compostos bioativos, sendo a fração lipídica diretamente responsável pelo rendimento e características do óleo.

Essa composição varia de acordo com fatores genéticos, ambientais e práticas de manejo. Iwahashi (2021) destaca que grãos com maior teor de óleo e integridade física resultam em produtos com melhor rendimento e maior estabilidade oxidativa, graças à presença de tocoferóis e outros antioxidantes naturais. Por outro lado, Bordinassi (2018) observa que grãos com defeitos físicos e microbiológicos alteram negativamente essa composição, elevando a acidez do óleo e intensificando

a degradação oxidativa. Grãos fermentados, mofados ou mecanicamente danificados comprometem a qualidade sensorial, nutricional e funcional do óleo extraído.

Os grãos de soja podem apresentar diferentes defeitos que comprometem tanto o aproveitamento industrial quanto a qualidade do óleo obtido. Entre os mais comuns estão os grãos ardidos, mofados, verdes, esverdeados, imaturos, fermentados, chochos e partidos – cada um com causas específicas ligadas ao manejo inadequado no campo ou às condições de pós-colheita. Segundo Barros et al. (2021), defeitos como mofo e fermentação decorrem, principalmente, de umidade elevada aliada ao calor, fatores que favorecem a proliferação de microrganismos durante o armazenamento ou após chuvas na fase de maturação. Já os grãos imaturos, esverdeados ou chochos indicam colheitas antecipadas ou falhas nutricionais no cultivo, o que compromete o desenvolvimento adequado das sementes (Mendes et al., 2019).

Problemas mecânicos também são relevantes: conforme observado por Cunha e Oliveira (2022), a regulagem inadequada das colheitadeiras pode causar trincas e fraturas, originando grãos quebrados – mais suscetíveis à oxidação lipídica e à contaminação.

Na Figura 1, estão apresentadas as farinhas que indicam os estágios de deterioração da soja decorrentes de manejo inadequado durante o armazenamento.

Figura 01- Farinhas com diferentes estágios da perda de qualidade da soja, devido ao manejo inadequado.



Fonte: Própria (2025).

A presença desses defeitos afeta diretamente o rendimento da extração e exige processos de refino mais agressivos, prejudicando a qualidade final do óleo de soja. Assim, estratégias de monitoramento desde o campo até o armazenamento são essenciais para minimizar perdas e preservar o valor industrial dos grãos. Após a colheita, os grãos de soja devem ser submetidos a processos adequados de secagem e manuseio, de modo a garantir condições ideais para o armazenamento e a preservação da qualidade. Quando essas etapas não são realizadas corretamente, podem ocorrer falhas no

armazenamento, favorecendo processos de deterioração física, química e microbiológica. Como consequência, os grãos degradam-se progressivamente até atingirem estágios avançados de comprometimento, sendo classificados, em casos extremos, como grãos queimados (Alencar et al., 2010; Lima et al., 2023).

Os defeitos nos grãos de soja têm impacto direto sobre o rendimento e os parâmetros de qualidade do óleo, sendo um dos principais fatores de preocupação para a indústria oleaginosa. Grãos danificados, fermentados ou contaminados por fungos elevam a acidez do óleo, aumentam os índices de peróxidos e favorecem a formação de compostos secundários de oxidação, o que reduz a estabilidade, altera a cor e compromete o sabor e o odor do produto final (Bordinassi, 2018). Iwahashi (2021) destaca que a presença de grãos mofados, por exemplo, pode introduzir micotoxinas e catalisar reações de degradação lipídica, tornando o óleo inadequado para o consumo humano ou exigindo processos mais intensos de refino.

Os Estados Unidos mantêm posição de destaque no mercado internacional de soja, atribuída principalmente aos elevados padrões de qualidade dos grãos adotados no país. Segundo diretrizes do Federal Grain Inspection Service (FGIS), a classificação e a avaliação comercial da soja baseiam-se em parâmetros como a massa específica (bulk density), danos por calor, danos totais, presença de materiais estranhos, grãos quebrados e a ocorrência de soja de outras cores (SBOC – soybeans of other colors). Esta última categoria inclui sementes com coloração divergente da amarela típica da soja madura, como aquelas com tegumento preto, bicolor ou com pigmentação esverdeada, tanto na superfície quanto na seção transversal (Ajayi-banji et al., 2024).

Além disso, defeitos como grãos esverdeados ou imaturos possuem menor teor de lipídios e maior teor de água, resultando em menor rendimento durante a extração (Silva et al., 2020). Temperaturas elevadas ao longo do desenvolvimento das sementes de soja tendem a elevar os níveis de lipídios, porém resultam em uma redução no teor de proteínas. Essa alteração compromete tanto o rendimento das sementes quanto a qualidade do óleo extraído (Nakagawa et al., 2020). A presença de grãos partidos e trincados também acelera reações oxidativas devido à exposição da matéria graxa ao oxigênio e à luz, o que exige maior rigor na seleção e no beneficiamento da matéria-prima para garantir um óleo com boa estabilidade, rendimento e qualidade sensorial. Esses impactos reforçam a importância de monitorar e classificar adequadamente os grãos antes do processamento industrial.

A qualidade do óleo de soja é avaliada com base em uma série de parâmetros físico-químicos que indicam sua pureza, estabilidade e adequação ao consumo. Entre os principais indicadores estão a acidez, o índice de peróxidos, a cor, o índice de iodo e a composição de ácidos graxos. A acidez está relacionada à presença de ácidos graxos livres, que surgem da hidrólise dos triglicerídeos e tendem a se intensificar quando os grãos são armazenados inadequadamente, em ambientes úmidos ou sujeitos

à infestação microbiológica (Ferreira et al., 2020). Já o índice de peróxidos mensura o grau de oxidação inicial, sendo um dos primeiros sinais de rancificação do óleo; valores elevados indicam má qualidade da matéria-prima ou exposição prolongada ao calor, luz e oxigênio (Oliveira e França, 2019).

A coloração do óleo também é outro parâmetro que influencia a aceitação comercial e é fortemente afetada tanto pela qualidade da matéria-prima quanto pelos processos aplicados de refino. Óleos provenientes de grãos fermentados, mofados ou ardidos tendem a apresentar tons mais escuros, o que pode indicar deterioração prévia dos lipídeos (Barros et al., 2017). O rendimento também se mostra essencial, uma vez que o teor lipídico dos grãos e o teor de água influenciam diretamente na eficiência da extração. Grãos com menor teor de óleo ou com elevado teor de água exigem mais energia e etapas adicionais, impactando o custo-benefício da produção (Gonçalves et al., 2021).

Além disso, o perfil de ácidos graxos do óleo de soja é outro fator determinante da qualidade nutricional e tecnológica do óleo, especialmente no tocante às proporções de ácido linoleico, oleico e saturados. A predominância de ácidos graxos polinsaturados, embora benéfica à saúde, torna o óleo mais suscetível à oxidação, motivo pelo qual a presença de antioxidantes naturais, como os tocoferóis, é valorizada (Costa et al., 2022). Portanto, a avaliação sistemática desses parâmetros garante à indústria um controle mais preciso sobre a qualidade do óleo de soja, contribuindo para a conformidade com padrões legais e a preferência do consumidor.

Fatores Pós-Colheita e Tecnológicos que Influenciam a Qualidade dos Grãos de Soja e do Óleo Extraído

As práticas adotadas no pós-colheita e durante o armazenamento dos grãos de soja têm papel determinante na qualidade do óleo obtido posteriormente. Ambientes com umidade elevada, temperaturas acima da ideal e baixa ventilação criam condições propícias para a intensificação de reações bioquímicas e microbiológicas. Esses processos incluem aumento da respiração dos grãos, crescimento fúngico e degradação dos lipídios estruturais, resultando em perda de valor nutricional e funcional (Ferreira et al., 2021).

A diversidade e as características dos microrganismos presentes no solo e nos grãos de soja exercem influência significativa sobre a composição do óleo, especialmente em relação às concentrações dos ácidos graxos oleico e linoleico, bem como sobre o rendimento e o teor global de óleo obtido. A aplicação de inoculantes microbianos, como espécies dos gêneros *Bacillus*, *Bradyrhizobium* e fungos micorrízicos, contribui para o aumento dos teores de óleo e proteína nos grãos, além de promover melhorias no perfil nutricional do óleo extraído. Práticas agrícolas sustentáveis, como a rotação de culturas e o uso de preparações microbiológicas, promovem o estabelecimento e a manutenção de comunidades microbianas benéficas no solo. Essa modulação da microbiota contribui para a produção de óleo de soja com teores mais elevados de ácidos graxos desejáveis, resultando em melhoria da qualidade geral do produto (Lima et al., 2022; Marchão et al., 2025; Zveushe et al., 2023).

Quando os grãos não são devidamente conservados, ocorre aumento do teor de água que favorece a formação de micotoxinas e a fermentação de ácidos graxos, o que eleva a acidez e os índices de oxidação do óleo (Lopes e Martins, 2020).

Segundo Araújo et al. (2019), teores de água superiores a 13% (b.u - base úmida) aceleram a degradação da qualidade dos grãos, impactando diretamente as características sensoriais e físico-químicas do óleo, como cor, sabor e rendimento. Estratégias como o uso de silos com controle térmico, aeração forçada e monitoramento constante da umidade relativa são recomendadas para manter a integridade dos grãos durante a estocagem. Além disso, o tempo de armazenamento, mesmo em condições controladas, pode reduzir gradualmente a concentração de antioxidantes naturais, como os tocoferóis, prejudicando a estabilidade oxidativa do óleo ao longo do tempo (Castro e Vieira, 2022).

O armazenamento de grãos de soja em temperaturas entre 7 °C e 25 °C, associado ao uso de embalagens adequadas, como polietileno (PE) ou alumínio, tem demonstrado eficácia na preservação da qualidade, vigor e capacidade de germinação dos grãos. Temperaturas de armazenamento inferiores a 18 °C asseguram a viabilidade dos grãos superior a 80% por até seis meses, enquanto condições mais elevadas, como 30 °C, resultam em uma redução significativa na viabilidade. Além disso, temperaturas baixas, variando entre 3 °C e 10 °C, são favoráveis à diminuição da acidez do óleo extraído, promovendo uma melhora na qualidade do produto final.

Portanto, é fundamental que o setor produtivo invista em boas práticas de pós-colheita, aliando tecnologia e manejo criterioso para garantir que os grãos mantenham sua qualidade até o processamento, assegurando a produção de um óleo seguro, estável e com alto valor comercial.

O processo industrial de extração e refino do óleo de soja é composto por várias etapas que visam maximizar o aproveitamento do óleo vegetal presente nos grãos e garantir um produto final com qualidade adequada às exigências do mercado e à legislação vigente. No início, os grãos passam por operações de limpeza, secagem e trituração, que facilitam a liberação dos lipídeos durante a extração (Mandarino e Roessing, 2015).

A extração pode ser feita por prensagem mecânica ou por extração com solventes, sendo o hexano amplamente utilizado devido à sua eficiência na solubilização dos compostos oleosos (Fukushima e Kerley, 2011). Após essa etapa, o óleo obtido é submetido ao refino, processo que inclui neutralização de ácidos graxos livres, remoção de mucilagens (degomagem), branqueamento para retirada de pigmentos indesejáveis e desodorização, que elimina odores e sabores desagradáveis causados por compostos voláteis (Souza et al., 2022).

A qualidade inicial dos grãos influencia diretamente a intensidade e a eficiência dessas etapas: grãos danificados ou contaminados aumentam a acidez e a presença de impurezas no óleo, exigindo tratamentos mais rigorosos, o que pode reduzir compostos benéficos, como os tocoferóis (Castro e Vieira, 2022). Além disso, matérias-primas com menor teor de lipídeos e maior teor de água reduzem o rendimento da extração e aumentam o custo industrial.

O armazenamento de grãos de soja sob atmosfera controlada, caracterizada por baixos níveis de oxigênio, contribui significativamente para a preservação da qualidade do óleo, especialmente quando associado a

temperaturas reduzidas. Nessas condições, observa-se a manutenção de baixos valores de acidez e peróxidos no óleo, mesmo após sete meses de estocagem a 1,0 ou 2,0 kPa de O₂. Em contraste, quando os grãos são armazenados em ar ambiente (20,9 kPa de O₂), temperaturas entre 20 °C e 30 °C não impactam os níveis desses indicadores, a menos que seja utilizada atmosfera controlada. Além disso, a presença de altos níveis de CO₂ não afeta negativamente a acidez nem o valor de peróxido quando combinada com baixa pressão parcial de O₂, sendo eficaz na manutenção da qualidade do óleo e na redução de compostos voláteis como (E)-2-hexenal e hexanal. Assim, o uso de atmosferas controladas é recomendado para o armazenamento prolongado dos grãos, mesmo em faixas de temperatura mais elevadas (Ludwig et al., 2021).

O uso de micro-ondas e campos eletromagnéticos tem se mostrado eficaz na melhoria do processo de extração de óleo, reduzindo o tempo de operação em até 70% e aumentando o rendimento do óleo em cerca de 30%. A aplicação de campos eletromagnéticos facilita a destruição das células vegetais, promovendo uma maior liberação de óleo em menos tempo e com maior concentração de compostos bioativos, como tocoferóis. O ultrassom de alta intensidade também contribui para a melhoria do rendimento ao criar microfaturas nas paredes celulares, o que facilita a liberação do óleo, reduzindo o tempo de operação e preservando a estabilidade da composição do óleo extraído. Além disso, o aquecimento ôhmico, quando combinado com a corrosão úmida assistida por enzimas, permite um aumento na recuperação do óleo, alcançando até 73% de rendimento, mantendo, ao mesmo tempo, a qualidade do produto final (Gasparetto et al., 2022; Bandura, 2020; Li et al., 2004; Pare et al., 2014; Bandura et al., 2018).

O uso de solventes alternativos, conhecidos como "verdes", como terpenos, CPME, 2-MeTHF e etanol pressurizado, apresenta uma alternativa ambientalmente mais sustentável em relação aos solventes tradicionais. Esses solventes não apenas oferecem bons rendimentos, mas também têm um impacto ambiental reduzido. O etanol, em particular, tem se mostrado uma opção promissora para substituir o hexano, sem comprometer as características do óleo extraído, alcançando rendimentos de até 86%. Além disso, novos métodos têm utilizado solventes "switchable" ou expansivos, como solventes amidínicos ativados por CO₂ ou solventes hidrofílicos moderados. Esses solventes facilitam a remoção do óleo e eliminam a necessidade de destilação, reduzindo as perdas e o consumo de energia no processo (Gasparetto et al., 2022; Ramos et al., 2024; Phan et al., 2009).

A degradação úmida assistida por enzimas (EAEP) representa uma técnica promissora para a extração de óleo, alcançando até 90% de remoção do óleo. O uso de estratégias para desestabilizar emulsões, como o ajuste de pH e a aplicação de enzimas como proteases e fosfolipases, tem demonstrado aumentar a eficiência do processo e facilitar a recuperação do óleo. Além disso, os resíduos gerados durante esse processo, ricos em proteínas, podem ser valorizados para a produção de ingredientes isolados, como proteínas alimentares, agregando valor ao processo e promovendo a sustentabilidade (Wu et al., 2009; Tu e Wu, 2019; Pare et al., 2014).

Portanto, o controle da qualidade dos grãos desde o campo até a indústria é essencial para assegurar a estabilidade, o valor nutricional e a segurança do óleo de soja.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

São apresentadas as conclusões e as descobertas. Neste momento são relacionadas às diversas ideias desenvolvidas ao longo do trabalho, num processo de síntese dos principais resultados, com os comentários do autor e as contribuições trazidas pela pesquisa.

Cabe, ainda, lembrar que a conclusão é um fechamento do trabalho estudado, respondendo às hipóteses enunciadas e aos objetivos do estudo, apresentados na Introdução. A qualidade dos grãos de soja influencia diretamente os parâmetros físico-químicos e sensoriais do óleo extraído, como acidez, estabilidade oxidativa, rendimento e coloração. Grãos danificados, imaturos ou armazenados em condições inadequadas comprometem o produto final, exigindo mais etapas de refino e ocasionando perdas de compostos benéficos, como os tocoferóis.

Nesse sentido, é fundamental adotar boas práticas desde o cultivo até o armazenamento, assegurando matéria-prima de qualidade para a indústria. A produção de um óleo de soja seguro e com elevado valor nutricional depende, prioritariamente, do controle rigoroso da qualidade dos grãos.

A literatura atual apresenta diversos estudos que demonstram a importância da redução de danos na pós-colheita, bem como o uso de tecnologias integradas para tornar cada etapa do processamento mais eficiente, minimizando perdas e melhorando o aproveitamento industrial da soja.

Além disso, o mercado consumidor tem valorizado práticas alinhadas aos princípios ESG (Environmental, Social and Governance), que exigem das empresas responsabilidade socioambiental e compromisso com a sustentabilidade. Nesse cenário, a revisão de trabalhos científicos sobre a influência da qualidade dos grãos nas características do óleo de soja contribui significativamente para a consolidação de uma visão abrangente e atualizada sobre o tema, capaz de subsidiar ações mais sustentáveis, orientar decisões técnicas e embasar políticas públicas voltadas à qualificação e eficiência da cadeia produtiva da soja.

REFERÊNCIAS

AJAYI-BANJI, I., MONONO, E., TEBOH, J., YUJA, S., & HELLEVANG, K. Post-Harvest Management of Immature (Green and Semi-Green) Soybeans: Effect of Drying and Storage Conditions (Temperature, Light, and Aeration) on Color and Oil Quality. **AgriEngineering**, v. 6, n. 1, p. 135-154, 2024.

ALENCAR, E. R. D., FARONI, L. R., PETERNELLI, L. A., DA SILVA, M. T., & COSTA, A. R. Influence of soybean storage conditions on crude oil quality. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 303-308, 2010.

ALENCAR, E. R.; FILHO, A. F. L.; GONÇALVES, J; FARONI, L. R. D.; PETERNELLI, L. A.; COSTA, A. R. Qualidade dos grãos de soja armazenados em diferentes condições. **ResearchGate**, 2025.

ALMEIDA, C. A. N.; FERRAZ, I. S.; UED, F. V.; ALMEIDA, A. C. F.; CIAMPO, L. A. D. Impact of soy consumption on human health: integrative review. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.23, p. 1-17, 2020.

ARAÚJO, J. S.; MOURA, T. A.; LIMA, F. R. Qualidade dos grãos de soja em diferentes níveis de umidade e condições de armazenamento. **Revista de Armazenamento e Pós-Colheita**, v.6, n.3, p. 18-27, 2019.

BAIDHE, E., CLEMENTSON, C. L., SENYAH, J., & HAMMED, A. Appraisal of Post-Harvest Drying and Storage Operations in Africa: Perspectives on Enhancing Grain Quality. **AgriEngineering**, v. 6, n. 3, p. 3030-3057, 2024.

BANDURA, V. Innovative Energy-Efficient Technologies in the Soybean Extraction Process. **Scientific Bulletin of Mukachevo State University. Series "Economics"**, n. 1(13), p. 82–90, 2020.

BANDURA, V., BULGAKOV, V., ADAMCHUK, V., & IVANOV, S. Investigation of oil extraction from the canola and soybean seeds, using a microwave intensifier. **Inmateh-Agricultural Engineering**, v. 55, n. 2, p. 45-52., 2018.

BAJAGIĆ, M., ĐUKIĆ, V., CVIJANOVIĆ, V., MAMLIĆ, Z., ĐURIĆ, N., IVETIĆ, A., & SEKULIĆ, J. The influence of effective microorganisms on the yield and quality of individual seed components of different soybean genotypes. **Acta Agriculturae Serbica**. v. 57, p. 9-16, 2024.

BARROS, F. A.; SILVA, M. C.; GOMES, L. R. Efeitos da umidade e temperatura no desenvolvimento de fungos em grãos armazenados. **Revista Brasileira de Pós-Colheita**, v. 23, n. 1, p. 45-54, 2021.

BARROS, A. L.; SANTOS, D. F.; MARTINS, R. P. Avaliação da cor em óleos vegetais: implicações da matéria-prima e do processo industrial. **Revista de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 45, n. 2, p; 123-130, 2017.

BORDINASSI, P. D. Efeito do teor de grãos avariados no rendimento e qualidade do óleo e farelo de soja. 2018. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Tecnologia em Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2018.

CAO, Y., XU, M., LU, J., & CAI, G. Simultaneous Microbial Fermentation and Enzymolysis: A Biotechnology Strategy to Improve the Nutritional and Functional Quality of Soybean Meal. **Food Reviews International**, v. 40, n. 5, p. 1296-1311, 2024.

CASTRO, M. L.; VIEIRA, P. R. Estabilidade oxidativa e degradação de tocoferóis em óleo de soja durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Óleos Vegetais**, v. 25, n. 1, p. 55-62, 2022.

CUNHA, J. D.; OLIVEIRA, E. R. Danos mecânicos em grãos de soja e seus efeitos na qualidade do óleo vegetal. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 42, e23456, 2022.

DIMITRIJEVIĆ, S., FILIPOVIĆ, V., BUNTIĆ, A., MILIĆ, M., UGRENOVIĆ, V., POPOVIĆ, V., & PERIĆ, V. The effectiveness of different bio preparations on the seed and market quality of organic produced soybean. **Selekcija i Semearstvo**. v. 30, n. 1, p. 1-11, 2024.

FERREIRA, A. Impacto dos defeitos fermentado, ardido e queimado sobre propriedades físicas,

químicas e compostos bioativos de grãos de soja e propriedades do isolado proteico. 2018. **Dissertação** (Mestrado) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

FERREIRA, D. A.; PEREIRA, S. M.; ALMEIDA, J. C. Impactos do armazenamento inadequado na qualidade dos grãos de soja. **Ciência e Tecnologia de Grãos**, v. 15, n. 12, p. 77-85, 2021.

FUKUSHIMA, R. S.; KERLEY, M. S. Utilização de solventes na extração de óleo de soja: eficiência e considerações ambientais. **Journal of Agricultural Science**, v. 3, n. 2, p. 45-53, 2011.

GASPARETTO, H.; DE CASTILHOS, F.; SALAU, N. P. G. Recent advances in green soybean oil extraction: A review. **Journal of Molecular Liquids**, v. 361, p. 119684, 2022.

GENOVESE, M. I.; LAJOLO, F. M. Armazenamento do grão de soja com qualidade. Embrapa Soja, 2023 (**Circular Técnica 196**).

GONÇALVES, J. A.; MEDEIROS, C. A.; PEREIRA, R. S. Avaliação do rendimento e eficiência da extração de óleo de soja em diferentes teores de umidade dos grãos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, n. 3, p. 165-171, 2021.

GREGGIO, E. A.; BONINI, E. A. Qualidade do grão de soja relacionada com o teor de acidez do óleo. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 7, n. 3, p. 645-658, set./dez. 2014.

IWAHASHI, P. M. R. Defeitos em grãos de soja produzidos no estado de São Paulo: impactos na qualidade do óleo e farelo e seu efeito no processamento. 2021. **Dissertação** (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2021.

LI, H.; PORDESIMO, L.; WEISS, J. High intensity ultrasound-assisted extraction of oil from soybeans. **Food research international**, v. 37, n. 7, p. 731-738, 2004.

LIMA, R. E., CORADI, P. C., RODRIGUES, D. M., TEODORO, P. E., TEODORO, L. P. R., & DE OLIVEIRA, D. P. Monitoring and predicting the quality of soybeans for different drying and storage technologies on a real scale using sensors and Machine Learning models. **Journal of Stored Products Research**, v. 108, p. 102386, 2024.

LIMA, R. E., RODRIGUES, D. M., DOS SANTOS, M. S. N., & CORADI, P. C. Postharvest engineering: effects of drying and storage operations on the quality of processed soybeans. **Journal of Food Process Engineering**, v. 46, n. 12, p. e14456, 2023.

LIMA, R. M.; SILVA, G. C. da; ANDRADE, S. R. M. de; REIS JÚNIOR, F. B. dos; BARROS JÚNIOR, M. P. de; HAPHONSSO, R. H.; CARVALHO, A. M. de. Effects of co-inoculating *Saccharomyces* spp. with *Bradyrhizobium japonicum* on atmospheric nitrogen fixation in soybeans. **Plants**, v. 12, n. 3, p. 681, 2022.

LOPES, E. C.; MARTINS, A. F. Microrganismos deteriorantes em grãos armazenados e seus efeitos na qualidade de óleos vegetais. **Revista de Fitossanidade e Armazenamento**, v. 19, n. 4, p. 39-47, 2020.

LUDWIG, V.; BERGHETTI, M. R. P.; RIBEIRO, S. R.; ROSSATO, F. P.; WENDT, L. M.; THEWES, F. R.; WAGNER, R. The effects of soybean storage under controlled atmosphere at different temperatures on lipid oxidation and volatile compounds profile. **Food Research**

International, v. 147, p. 110483, 2021.

MANDARINO, J. M. G.; ROESSING, A. C. Tecnologia para produção do óleo de soja: descrição das etapas, equipamentos, produtos e subprodutos. 2. ed. Londrina: **Embrapa Soja**, 2015. 40 p.

MARCHÃO, R. L.; SILVA, G. C. da; ANDRADE, S. R. M. de; REIS JÚNIOR, F. B. dos; BARROS JÚNIOR, M. P. de; HAPHONSSO, R. H.; CARVALHO, A. M. de. Improving soybean development and grain yield by complementary inoculation with growth-promoting bacteria *Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Priestia*, and *Bacillus*. **Plants**, v. 14, n. 3, p. 402, 2025.

MARRO, N.; COFRÉ, N.; GRILLI, G.; ÁLVAREZ, C.; LABUCKAS, D.; MAESTRI, D.; URCELAY, C. Soybean yield, protein content and oil quality in response to interaction of arbuscular mycorrhizal fungi and native microbial populations from mono and rotation-cropped soils. **Applied Soil Ecology**, v. 152, p. 103575, 2020.

MENDES, R. M.; COSTA, G. A.; SOUZA, T. A. Fatores agronômicos associados à presença de defeitos físicos em sementes de soja. **Journal of Agronomic Studies**, v. 17, n. 2, p. 89-96, 2019.

NAKAGAWA, A.; ARIO, N.; TOMITA, Y.; TANAKA, S.; MURAYAMA, N.; MIZUTA, C.; IWAYA-INOUE, M.; ISHIBASHI, Y. High temperature during soybean seed development differentially alters lipid and protein metabolism. *Plant Production Science*, v. 23, n. 4, p. 504-512, 2020.

OLIVEIRA, H. R.; FRANÇA, L. M. Estabilidade oxidativa e índice de peróxidos em óleos vegetais submetidos ao armazenamento. **Boletim do Instituto de Tecnologia de Alimentos**, v. 60, n. 1, p. 33-40, 2019.

PHAN, L.; BROWN, H.; WHITE, J.; HODGSON, A.; JESSOP, P. G. Soybean oil extraction and separation using switchable or expanded solvents. **Green chemistry**, v. 11, n. 1, p. 53-59, 2009.

PARE, A.; NEMA, A.; SINGH, V.; MANDHYAN, B. Combined effect of ohmic heating and enzyme assisted aqueous extraction process on soy oil recovery. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 8, p. 1606-1611, 2014.

SILVA, M. S.; NAVES, M. M. V.; OLIVEIRA, R. B.; LEITE, O. M. S. Composição química e valor proteico do resíduo de soja em relação ao grão de soja. **Food Science and Technology** 26 (3). 2006.

SOUZA, A. R.; LIMA, F. J.; PEREIRA, M. T. Avaliação do óleo de soja submetido ao processo de refino: parâmetros físico-químicos e qualidade final. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 46, e12345, 2022.

RAFIQUE, M.; NAVEED, M.; MUMTAZ, M.; NIAZ, A.; ALAMRI, S.; REHMAN, S.; SIDDIQUI, M.; MUSTAFA, A. Tripartite microbial augmentation of *Bradyrhizobium diazoefficiens*, *Bacillus* sp. MN54, and *Piriformospora indica* on growth, yield, and nutrient profiling of soybean (*Glycine max* L.). **Frontiers in Microbiology**. v. 15, p. 1437489, 2025.

RAMOS, E. U. J.; SCHOPF, P. A. Épocas de dessecação influenciam na qualidade de grãos e óleo de soja. **Embrapa**, 2023.

RAMOS, P.; VICENTINI-POLETTE, C.; MAZALLI, M.; DE LIMA CANEPPELE, F.; DE OLIVEIRA, A. Pressurized liquid extraction of soybean oil using intermittent process with ethanol

and hexane as solvent: Extraction yield and physicochemical parameters comparison. **Journal of Food Process Engineering**, v. 47, n. 2, p. e14562, 2024.

TU, J.; WU, W. Establishment of an aqueous method for extracting soybean oils assisted by adding free oil. **Grasas y Aceites**, v. 70, n. 3, p. e313-e313, 2019.

USDA - Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, 2024.

WU, J.; JOHNSON, L.; JUNG, S. Demulsification of oil-rich emulsion from enzyme-assisted aqueous extraction of extruded soybean flakes. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 2, p. 527-533, 2009.

WATANABE, S., OMAGARI, A., YAMADA, R., MATSUMOTO, A., KIMURA, Y., MAKITA, N., ... & ANAI, T. Mutations in the genes responsible for the synthesis of furan fatty acids resolve the light-induced off-odor in soybean oil. **The Plant Journal**, v. 117, n. 4, p. 1239-1249, 2024.

ZIEGLER, V.; FERREIRA, C. D.; VANIER, N. L.; SANTOS, M. A. Z.; OLIVEIRA, M.; ELIAS, M. C. Physicochemical and technological properties of soybean as a function of storage conditions. v.7, n.3. **Brazilian Journal of Food Research**, 2016.

ZVEUSHE, O. K.; DE DIOS, V. R.; ZHANG, H.; ZENG, F.; LIU, S.; SHEN, S.; KANG, Q.; ZHANG, Y.; HUANG, M.; SARFARAZ, A. Integrated microbiology and metabolomics analysis reveal how tolerant soybean cultivar adapt to continuous cropping. **Agronomy**, v. 15, n. 2, p. 468, 2023.