

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**PROPRIEDADES MECÂNICAS DO FEIJÃO MUNGO (*Vigna
radiata* (L.) R. WILCZEK) APÓS A SECAGEM E DURANTE O
ARMAZENAMENTO HERMÉTICO**

**ARIÉLY LEITE CANASSA
GABRIEL BARROS ANTUNES**

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL**

2024

**PROPRIEDADES MECÂNICAS DO FEIJÃO MUNGO (*Vigna radiata* (L.)
R. WILCZEK) APÓS A SECAGEM E DURANTE O
ARMAZENAMENTO HERMÉTICO**

Ariély Leite Canassa
Gabriel Barros Antunes

Orientador: Prof. Dr. Valdiney Cambuy Siqueira

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal da Grande Dourados, como
parte dos requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Agrícola.

Dourados
Mato Grosso do Sul
2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

C213p Canassa, Ariély Leite

PROPRIEDADES MECÂNICAS DO FEIJÃO MUNGO (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek)
APÓS A SECAGEM E DURANTE O ARMAZENAMENTO HERMÉTICO [recurso
eletrônico] / Ariély Leite Canassa, Gabriel Barros Antunes. -- 2024.

Arquivo em formato pdf.

Orientador: Valdiney Cambuy Siqueira.

TCC (Graduação em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2024.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Moyashi. 2. Ruptura. 3. Força. 4. Deformação. 5. Dureza. I. Antunes, Gabriel Barros. II.
Siqueira, Valdiney Cambuy. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

**PROPRIEDADES MECÂNICAS DO FEIJÃO MUNGO (*Vigna radiata* (L.)
R. WILCZEK) APÓS A SECAGEM E DURANTE O
ARMAZENAMENTO HERMÉTICO**

Por

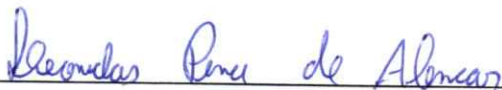
Ariély Leite Canassa
Gabriel Barros Antunes

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos exigidos para
obtenção do título de ENGENHEIRO AGRÍCOLA

Aprovado em: 22 de fevereiro de 2024.



Prof. Dr. Valdiney Cambuy Siqueira
Orientador – UFGD/FCA



Prof. Dr. Leônidas Pena de Alencar
Membro da banca – UFGD/FCA



Prof.ª Dr.ª Vanderleia Schoeninger
Membro da banca – UFGD/FCA

AGRADECIMENTOS – Ariély Leite Canassa

A Deus, pelo dom da vida, saúde, oportunidades, coragem e perseverança para lutar e nunca desistir dos meus objetivos.

Aos meus pais Salvador Canassa e Eurides Leite da Silva, que desde o início compartilharam este sonho comigo e nunca mediram esforços para que eu pudesse alcançar tudo que almejei, sempre acreditando na minha capacidade e me oferecendo apoio incondicional para que eu pudesse conquistar meus objetivos.

À Universidade Federal da Grande Dourados, por todo suporte e oportunidades dadas para que essa caminhada de graduação em Engenharia Agrícola pudesse acontecer da melhor maneira possível.

Ao meu estimado orientador Valdiney Cambuy Siqueira, pelo compartilhamento paciente e generoso de conhecimento, pela confiança depositada em mim ao longo desta jornada acadêmica, e por prestar uma orientação tão cuidadosa.

Ao Reinaldo da Silva Santos por todo incentivo, paciência, companheirismo, compreensão e amor incondicional que me concedeu durante este desafio. Sua presença constante e seu encorajamento foram fundamentais para minha conquista.

Ao meu querido amigo Gabriel Barros Antunes, pela parceria, troca de ideias e apoio mútuo durante todo o processo de desenvolvimento deste trabalho. Juntos, superamos desafios e alcançamos nossos objetivos, e por isso sou imensamente grata.

À toda equipe de pesquisa do Laboratório de Processos Pós-Colheita da UFGD e ao grupo PET Engenharia Agrícola, pela ajuda e dedicação na elaboração desse trabalho.

Ao Prof. Doutor André Luís Duarte Goneli, por disponibilizar a estrutura necessária para execução das análises, e pelo apoio técnico-científico transmitido para realização desse trabalho.

Aos membros da banca Prof. Dr. Leônidas Pena de Alencar e Prof.^a Dr.^a Vanderleia Schoeninger, pela generosa disponibilidade, compartilhamento de conhecimentos e contribuições inestimáveis para minha formação acadêmica.

Aos professores e colegas de faculdade, expresso a minha profunda gratidão por todas as maneiras pelas quais contribuíram na minha formação pessoal e profissional, em que levarei para o resto da minha vida.

Agradeço a todos que, de forma direta ou indireta, colaboraram para a conclusão deste trabalho!!

Gratidão!

AGRADECIMENTOS – Gabriel Barros Antunes

Ao Deus, agradeço pela vida, saúde, oportunidades e perseverança para nunca desistir dos meus objetivos.

Aos meus pais, Ariovaldo Ferreira Antunes e Zunilda Perpetuo Barros Antunes, que desde o princípio dedicaram-se incansavelmente para que eu pudesse realizar todos os meus sonhos, sempre confiando em mim e oferecendo apoio inabalável para que eu pudesse alcançar meus objetivos.

À Universidade Federal da Grande Dourados, expresso minha gratidão por todo o apoio e pelas oportunidades proporcionadas, que foram fundamentais para tornar possível minha jornada na graduação em Engenharia Agrícola de forma tão bem-sucedida.

Ao meu orientador, Valdiney Cambuy Siqueira, expresso minha sincera gratidão pelo generoso compartilhamento de conhecimento, pela confiança contínua ao longo desta jornada acadêmica e pela orientação cuidadosa e dedicada que sempre me ofereceu.

À minha estimada amiga Ariély Leite Canassa, expresso minha gratidão pela parceria, colaboração e apoio contínuo ao longo de todo o processo de elaboração deste trabalho. Juntos, enfrentamos desafios e conquistamos nossos objetivos, e por isso, minha gratidão é imensa.

À equipe de pesquisa do Laboratório de Processos Pós-Colheita da UFGD e ao grupo PET Engenharia Agrícola, expresso minha sincera gratidão pela valiosa assistência e dedicação oferecidas durante a elaboração deste trabalho.

Ao Professor Doutor André Luís Duarte Goneli, expresso minha gratidão por fornecer a estrutura indispensável para a realização das análises e pelo suporte técnico-científico fundamental para a conclusão deste trabalho.

Expresso meu profundo agradecimento aos membros da banca, Prof. Dr. Leônidas Pena de Alencar e Prof.^a Dr.^a Vanderleia Schoeninger, pela generosidade em dedicar seu tempo, compartilhar sabedoria e enriquecer minha formação acadêmica com suas contribuições inestimáveis.

Aos professores e colegas de faculdade, expresso a minha profunda gratidão por todas as maneiras pelas quais contribuíram na minha formação pessoal e profissional, em que levarei para o resto da minha vida.

Agradeço a todos que, de forma direta ou indireta, colaboraram para a conclusão deste trabalho!!

Obrigado!

CANASSA, Ariély Leite; ANTUNES, Gabriel Barros. **Propriedades mecânicas do feijão mungo (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek) após a secagem e durante o armazenamento hermético.** 2024. 36f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2024.

RESUMO

O feijão mungo é uma leguminosa granífera de origem asiática, cuja maioria das cultivares apresenta sementes de cor verde. É cultivado principalmente para consumo humano, devido aos seus teores consideráveis de vitaminas, proteínas e propriedades medicinais. Além disso, a produção também pode ser destinada à alimentação animal e rotação de culturas. O manuseio dos grãos durante a colheita e pós-colheita é dependente das propriedades mecânicas que estes apresentam. Estas propriedades são empregadas nos projetos de dimensionamento das máquinas e equipamentos utilizados no beneficiamento. Assim, o objetivo com o presente trabalho foi avaliar as propriedades mecânicas do feijão mungo após a secagem e ao longo do armazenamento. Os grãos foram colhidos e debulhados manualmente, com teor de água de 15% (b.u.), aproximadamente. O processo de secagem foi realizado em um secador convectivo experimental de leito fixo, em que os grãos foram submetidos à secagem nas temperaturas de 40 e 50 °C com fluxo de ar igual $1,0 \text{ m s}^{-1}$, até atingir o teor de água final de $11,5 \pm 0,3\%$ (b.u.). Após a secagem, os grãos foram armazenados em garrafas de Polietileno Tereftalato de 200 mL, revestidas com papel alumínio, para evitar a passagem de luz e posteriormente alocadas em ambiente de laboratório. As análises foram realizadas a cada 60 dias, por um período de 180 dias. Para avaliar as propriedades mecânicas, foram realizadas quinze repetições de cada tratamento, posteriormente submetidas ao teste uniaxial de compressão. Determinou-se a força de ruptura, deformação, energia absorvida, módulo de tenacidade e dureza dos grãos. Concluiu-se que: as temperaturas de secagem de 40 e 50 °C e o tempo de armazenamento de 180 dias não influenciaram nas variáveis de força de ruptura, deformação, energia absorvida, módulo de tenacidade e dureza dos grãos de feijão mungo.

Palavras-chave: Moyashi. Ruptura. Força. Deformação. Dureza.

CANASSA, Ariély Leite; ANTUNES, Gabriel Barros. **Mechanical properties of mung bean (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek) after drying and during hermetic storage.** 2024. 36p. Course Completion Work (Bachelor's Degree in Agricultural Engineering) – Faculty of Agricultural Sciences, Federal University of Grande Dourados, Dourados, 2024.

ABSTRACT

Mung beans are a grain legume of Asian origin, the majority of cultivars of which have green seeds. It is cultivated mainly for human consumption, due to its considerable levels of vitamins, proteins and medicinal properties. In addition, production can also be used for animal feed and crop rotation. The handling of grains during harvest and post-harvest depends on the mechanical properties they present. These properties are used in sizing projects for machines and equipment used in processing. Thus, the objective of the present work was to evaluate the mechanical properties of mung beans after drying and throughout storage. The grains were harvested and threshed manually, with approximately 15% water content (b.u.). The drying process was carried out in an experimental fixed-bed convective dryer, in which the grains were subjected to drying at temperatures of 40 and 50 °C with an air flow equal to 1.0 m s⁻¹, until reaching the final water content of 11.5 ± 0.3% (b.u.). After drying, the grains were stored in 200 mL Polyethylene Terephthalate bottles, covered with aluminum foil, to prevent the passage of light and subsequently placed in a laboratory environment. Analyzes were carried out every 60 days, for a period of 180 days. To evaluate the mechanical properties, fifteen repetitions of each treatment were performed, subsequently subjected to the uniaxial compression test. The rupture force, deformation, absorbed energy, tenacity modulus and hardness of the grains were determined. It was concluded that: drying temperatures of 40 and 50 °C and storage time of 180 days did not influence the variables of rupture force, deformation, absorbed energy, tenacity modulus and hardness of mung bean grains.

Keywords: Moyashi. Rupture. Strength. Deformation. Hardness.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Feijão mungo	4
2.2. Secagem e armazenamento	5
2.3. Propriedades mecânicas	6
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	8
3.1. Secagem	8
3.2. Armazenamento	9
3.3. Propriedades mecânicas	10
3.4. Energia absorvida	11
3.5. Módulo de tenacidade	12
3.6. Dureza	12
3.7. Análise estatística	12
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
5. CONCLUSÃO	18
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19

1. INTRODUÇÃO

O feijão mungo (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek) é uma leguminosa originária da Índia, subcontinente asiático, muito cultivada no Paquistão e China, países do sudeste da Ásia, no sul dos Estados Unidos e Europa (NAIR et al., 2015).

Esta planta apresenta bom desenvolvimento quando cultivada em regiões áridas e semiáridas (DAHIYA et al., 2015), possui ciclo de 55 a 70 dias (NAIR et al., 2013), com o tegumento de cor verde que pode ser brilhoso ou opaco (PAL; BRAHMACHARY; GHOSH, 2010). As vagens do feijão mungo são cilíndricas, e frequentemente cobertas por pelos. Sua maturação é desigual, que resulta em vagens secas de coloração marrom ou preta (VIEIRA; OLIVEIRA; VIEIRA, 2003a).

O custo de produção da cultura é baixo, por este motivo é utilizada por pequenos produtores como adubo verde e para alimentação de gado (NAIR et al., 2013b). Com a germinação de suas sementes, são produzidos os brotos de feijão, também conhecidos como moyashi, forma de consumo muito utilizada em países como China, Japão e Estados Unidos, entre outros (VIEIRA; OLIVEIRA; VIEIRA, 2003b).

A leguminosa também é utilizada como ingrediente em sopas, mingaus e massas com intuito de melhorar o valor nutritivo (HOU et al., 2019), isso deve-se ao seu alto teor de proteína (KUDRE; BENJAKUL; KISHIMURA, 2013). Os países ocidentais em desenvolvimento, o consomem comumente na forma de salada fresca e como complemento dietético (TANG et al., 2014a).

Contém em média o dobro de proteínas em comparação aos cereais (GRAHAM; VANCE, 2003a), o feijão mungo apresenta também fontes abundantes de polifenóis, saponinas, carotenoides, tocoferóis e tocotrienóis, com propriedades biológicas vantajosas para a saúde, tais como ação antioxidante, capacidade antibacteriana e propriedades antitumorais (TANG et al., 2014b). Na farmacopeia chinesa, o feijão mungo é conhecido por suas características de alívio de insolação, desintoxicação e regulação de distúrbios gastrointestinais, com relatos de alguns benefícios para a saúde, como efeitos hipoglicêmicos e hipolipidêmicos (JANG et al., 2014; KANG et al., 2015).

A importância do feijão mungo se estende além do seu valor nutricional e propriedades medicinais. Na agricultura, é usado como parte de sistemas de rotação de cultura, devido a melhoria da estrutura e fertilidade do solo através da fixação do nitrogênio atmosférico, por

meio da simbiose rizobiana (GRAHAM; VANCE, 2003b). Pode ser consorciado com milho, trigo e batata (SAINI et al., 2010), culturas muito exigentes por nitrogênio.

A produção do feijão mungo no Brasil tem se expandido, com destaque nas regiões de Cerrado. Surge então ótima oportunidade para ampliar a cultura, visto que o mercado externo é composto por grandes países consumidores e está em busca do produto para atender suas demandas locais (FAVERO et al., 2021). Essa demanda crescente está relacionada a mudança no estilo de vida das pessoas, bem como o desejo dos consumidores por dietas mais saudáveis, alinhado às tendências do mercado (MAKERI et al., 2017).

No momento da colheita, os grãos possuem teor de água elevado, que contribui com o desenvolvimento fúngico no armazenamento (BRADFORD et al., 2018). A maneira comum e eficiente de manter a qualidade de produtos é reduzir o teor de água dos grãos, e por consequência diminuir a quantidade de água disponível, perda de matéria seca por respiração e inibir o desenvolvimento de pragas e insetos (DHURVE et al., 2022a). O método convencional, para reduzir o teor de água de produtos agrícolas é a secagem ao ar quente (YAO; FAN; DUAN, 2020), este procedimento envolve transferência simultânea de calor e massa entre os grãos e ar aquecido. A pressão de vapor de água dos grãos deve ser maior que a do ar de secagem para que o processo ocorra (MÜLLER et al., 2022).

Ao longo do armazenamento, garantir que o produto não deteriore ou perda valor nutricional é crucial para atender as necessidades alimentares de forma segura e saudável (MA et al., 2022). A fim de otimizar a logística de produção e comercialização de alimentos, o armazenamento de produtos agrícolas é indispensável. Dentro desse cenário, entender como os grãos reagem ao ambiente de armazenamento é essencial para tomar decisões, sobre como preservá-los. Essas decisões costumam ser baseadas na avaliação do custo-benefício, que leva em consideração possíveis perdas de qualidade durante o armazenamento (SMANIOTTO et al., 2014).

No decorrer da colheita, manuseio, transporte e armazenamento, os grãos estão sujeitos a diversas pressões. Essas pressões podem resultar em escoriações, esmagamento e trincas, o que os tornam mais propensos à deterioração durante o armazenamento (BARGALE; IRUDAYARAJ; MARQUIS, 1995). Para aprimorar os processos pós-colheita de grãos é fundamental compreender as propriedades mecânicas e seu comportamento em relação a ruptura. Uma abordagem promissora para otimizar esses procedimentos é a aplicação de ferramentas de simulação numérica (GUSTAFSSON et al., 2013a). Através da análise da curva de "força-deformação" resultante do teste de compressão, é possível extrair parâmetros que descrevem como o material responde, quando submetido a uma força (RIBEIRO et al., 2007).

Neste contexto, objetivou-se com o presente trabalho analisar as propriedades mecânicas do feijão mungo, após a secagem nas temperaturas de 40 e 50 °C e ao longo de 180 dias de armazenamento em ambiente hermético.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Feijão mungo

O feijão mungo é pertencente à família *Fabaceae*, com origem no continente asiático. Nesses locais os agricultores cultivam o feijão mungo há cerca de 3500 anos (GANESAN; XU, 2018a), notavelmente, considerada a cultura *Vigna* mais relevante economicamente nessa região, com mais de 80% da produção concentrada no Sul da Ásia (AKM et al., 2014a).

Trata-se de uma planta anual, com porte ereto ou semi-ereto, amplamente ramificada e revestida de pelos, alcança altura que varia de 0,3 a 1,5 metros. Suas folhas são trifolioladas, alternadas, que exibem coloração verde-clara ou verde-escura; os folíolos possuem formato oval, e os pecíolos são longos (VIEIRA; NISHIHARA, 1992a).

A quantidade de vagens por planta varia de 4 a 34, que depende principalmente da população de plantas por área e das condições edafoclimáticas. As vagens são cilíndricas, com 7 a 15 cm de comprimento e, em geral, cobertas com pelos. Na maturação, que é desuniforme, cada vagem contém de 6 a 20 sementes (VIEIRA; OLIVEIRA; VIEIRA, 2003c).

O broto comestível, proveniente da germinação do feijão mungo é amplamente conhecido como moyashi (SILVA et al., 2019a). Consumidos de maneira significativa na China, Japão e EUA, principais importadores dessa cultura (VIEIRA; NISHIHARA, 1992b).

A leguminosa pode ser considerada importante alternativa para promover a saúde, devido aos seus valores nutricionais e eficácia nos compostos bioativos. Esses compostos apresentam potenciais benefícios para a saúde, exercem propriedades antioxidantes, hepatoprotetoras, antibacterianas, antifúngicas, antivirais, cardioprotetoras, anti-inflamatórias, antidiabéticas, anticâncer, antiobesidade, hipolipidêmicas e quimiopreventivas (GANESAN; XU, 2018b; HAFIDH et al., 2012; LEE et al., 2011; YAO et al., 2013).

Na agricultura, sua relevância está associada ao cultivo em rotação de culturas, intercalado com cereais (AKM et al., 2014b) e sistemas agroflorestais (RATHORE et al., 2022), este modelo de cultivo possibilita a reestruturação do solo, que contribui para a melhoria da fertilidade, por meio da fixação biológica de nitrogênio.

O aproveitamento da cultura se estende além da produção dos grãos de feijão mungo. Após a colheita, as plantas verdes do feijão mungo podem ser arrancadas e cortadas em pequenos pedaços, que serve como alimento para o gado. Além disso, a casca da semente pode ser embebida em água e empregada como ração para bovinos (PANDEY et al., 2019).

O feijão mungo apresenta versatilidade, desde a destinação das variedades de crescimento rápido, quanto variedades com período de desenvolvimento mais longo, em que essas são empregadas em regiões onde o tempo não é uma limitação. Essa característica contribui para expansão da produção do feijão mungo (NAIR et al., 2012).

2.2. Secagem e armazenamento

Após a colheita, reduzir o teor de água dos produtos agrícolas, torna-se uma operação unitária essencial à conservação (GUPTA et al., 2022; MOBOLADE et al., 2019). Para armazenar o produto, a remoção de água através do método de secagem com ar quente é o mais utilizado (XU et al., 2022). A desidratação é resultado do tratamento térmico, que pode ocorrer por meio de processos naturais ou artificiais (AHMAD et al., 2022).

A secagem é um processo que envolve a transferência simultânea de calor e massa, entre o ar de secagem e o produto a ser seco. Durante este processo, ocorre o aumento na temperatura do produto, o que, por sua vez, resulta no aumento da pressão parcial de vapor d'água nele contido. Este aumento de pressão provoca a evaporação da água, que resulta na redução significativa do teor de água do produto (QUEQUETO et al., 2023).

Uma abordagem comum e eficaz para preservar a qualidade dos produtos agrícolas, envolve a redução do teor de água dos grãos utilizando a secagem, isso diminui a quantidade de água disponível, reduz a perda de matéria seca devido à respiração e inibe o desenvolvimento de insetos (DHURVE et al., 2022b).

De acordo com Timm et al., (2020), a secagem deve ser realizada para remover o excesso de água, com intuito de minimizar a deterioração dos grãos, durante o armazenamento a longo prazo. As vantagens de realizar o processo de secagem incluem a diminuição dos custos de armazenamento, transporte, a preservação da estabilidade de componentes químicos e a extensão da disponibilidade dos produtos por períodos prolongados, devido a boa manutenção da qualidade (MARTINS et al., 2020).

Mesmo com a redução do teor de água durante o processo de secagem, a degradação dos produtos agrícolas durante o armazenamento é um processo natural, porém, é possível reduzir as perdas ao adotar práticas apropriadas de manejo (CARDOSO; BINOTTI; CARDOSO, 2012). As perdas ocorridas na fase pós-colheita, podem ser quantitativas e qualitativas, a depender das condições de secagem, armazenamento e do manejo dos equipamentos utilizados. As qualitativas estão restritas a modificações no produto, seja de ordem química, biológica, nutricional, sanitária e física. Essas modificações físicas estão

correlacionadas à cor, teor de água, forma, tamanho e propriedades mecânicas, como dureza, tenacidade, energia absorvida, entre outras. Muitas pesquisas têm comprovado a influência das condições de secagem e de armazenamento nas propriedades mecânicas de diversos produtos agrícolas (BASTOS; FERRAZ, 2014; CORRÊA et al., 2019a; ELOY et al., 2020; RESENDE et al., 2013; RIBEIRO et al., 2005), essas relações destacam a importância de estratégias adequadas para garantir a qualidade e a durabilidade desses produtos ao longo do tempo.

Tecnologias herméticas reduzem as perdas de armazenamento, que corrobora com a prevenção da degradação física e nutricional dos grãos (GARCÍA; GARCÍA; ORTÍZ, 2020). O armazenamento de grãos em recipientes reciclados ou reaproveitados como a garrafa de Polietileno Tereftalato (PET), tem sido muito utilizado por pequenos produtores rurais (FREITAS et al., 2011a). Além de garantir a hermeticidade, permite o armazenamento do produto em unidades, favorecendo a separação por lotes de acordo com a característica apresentada (QUEZADA et al., 2006). Juntamente a isso, promove a manutenção da qualidade do produto em decorrência da redução de oxigênio e aumento nos níveis de gás carbônico, como resultado da respiração dos grãos.

2.3. Propriedades mecânicas

O projeto de equipamentos para plantio, colheita, transporte, armazenamento e processamento dos grãos, exigem o conhecimento das propriedades mecânicas do produto (ALTUNTAS; YILDIZ, 2007), que incluem, força de ruptura, deformação, proporção de deformação, dureza e energia requerida para a ruptura (KARAJ; MÜLLER, 2010).

Para o funcionamento adequado dos processos em que os grãos são envolvidos, é necessário que as máquinas e equipamentos usados sejam projetados de maneira eficiente. Isso depende do entendimento preciso da interação entre o produto, as máquinas e os equipamentos (MONTELLANO et al., 2012). Como descrito por Silva et al., (2019b), é comum o emprego do feijão mungo no preparo de farinhas e posteriormente massas. Logo, destaca-se que o conhecimento de suas propriedades mecânicas é essencial para garantir que os processos de moagem ocorram de forma eficiente.

Outro campo de aplicação do estudo das propriedades mecânicas, acontece durante o armazenamento de grãos. Embora certas pressões de armazenamento não sejam intensas a ponto de causar a ruptura dos grãos, essas pressões podem causar danos internos aos grãos. Como resultado, sua elasticidade, capacidades de resistência à deformação e a ruptura sofrem redução (CHENG; YAN; HU, 2016).

A análise de textura é empregada com objetivo de melhorar a precisão das respostas aos testes mecânicos e o controle das forças aplicadas no produto (EKOUE et al., 2021), através de ferramentas de simulação numérica (GUSTAFSSON et al., 2013b), como descrito por Couto et al., (2002a), a maneira mais comum de avaliar a capacidade de resistência mecânica de um produto à carga é por meio do teste de compressão uniaxial, que envolve a aplicação gradual de uma força por meio de uma placa compressora. Os registros dos dados ao longo do tempo são utilizados para gerar uma curva de força-deformação, a qual depende do tipo de material, seja ele de natureza biológica ou não. Em posse dos resultados obtidos, aplicados a cálculos numéricos, resultam nos parâmetros de propriedades mecânicas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Processos Pós-Colheita e no Laboratório de Pré-processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, da Faculdade de Ciências Agrárias (FCA), Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD).

Foram utilizados grãos de feijão mungo, semeados na Área Experimental da Faculdade de Ciências Agrárias da UFGD, localizada na latitude 22°19'94"S e longitude 54°93'88"W. A colheita e a debulha foram realizadas manualmente, quando os grãos apresentaram teor de água de aproximadamente 15% base úmida (b.u.). Posteriormente, colocados em embalagens plásticas de polietileno transparente, em câmara fria a 5 °C, com intuito de uniformizar o teor de água em toda massa de grãos. A determinação do teor de água do produto foi realizada através do método gravimétrico, em estufa de circulação forçada de ar, durante 24 horas a 105 ± 3 °C conforme as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

3.1. Secagem

O processo de secagem foi realizado em secador convectivo experimental de camada fixa (Figura 1), que dispõe de sensores que se conectam ao painel de controle com o objetivo de controlar com precisão o fluxo e a temperatura do ar de secagem.

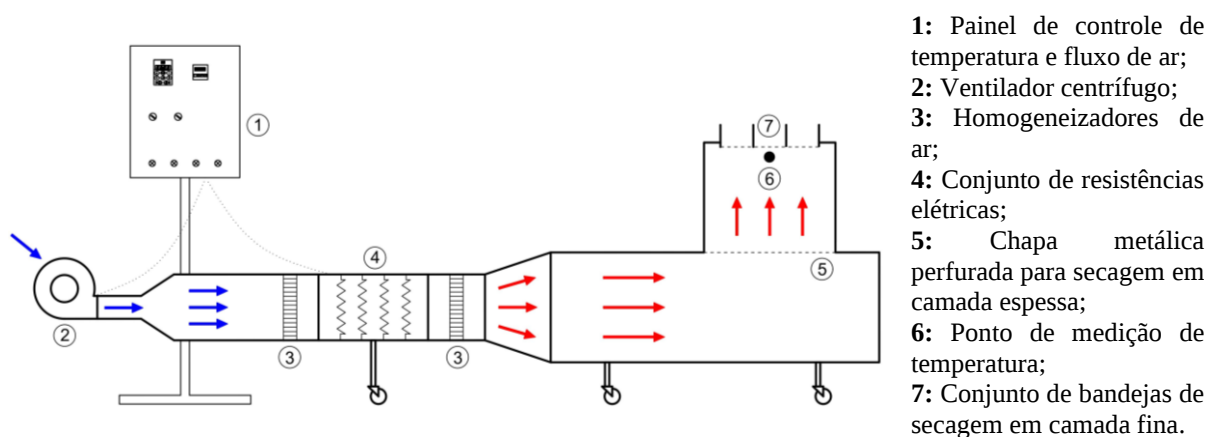


Figura 1. Secador convectivo experimental de leito fixo usado para secar grãos de feijão mungo.

Fonte: Canassa e Antunes (2024).

Utilizaram-se 600 g de feijão mungo, distribuídas uniformemente 200 g em cada uma das três bandejas. A secagem foi realizada em duas temperaturas 40 e 50 °C, e velocidade do fluxo de ar igual 1,0 m s⁻¹.

O ar aquecido e homogeneizado é insuflado de maneira ascendente nas três bandejas. A temperatura e velocidade do ar foram controladas e monitoradas por meio de um controlador de temperatura (Novus, N1040) e termopar digital (Instrutherm AM-100). O secador foi ligado 30 minutos antes do experimento, para estabilização da temperatura nas bandejas.

Durante a secagem, o teor de água foi monitorado pelo método gravimétrico, utilizando-se balança com resolução de 0,01 g. O processo foi encerrado quando o produto atingiu o teor de água de $11,5 \pm 0,3\%$ (b.u).

3.2. Armazenamento

Após a secagem, os grãos foram armazenados em condições herméticas, utilizando-se garrafas PET de 200 mL, revestidas com papel alumínio, para evitar a passagem de luz e posteriormente alocadas em ambiente protegido de laboratório. As análises foram realizadas nos períodos 0, 60, 120 e 180 dias.

As variações de temperatura e umidade relativa registradas no ambiente de armazenamento são apresentadas na Figura 2.

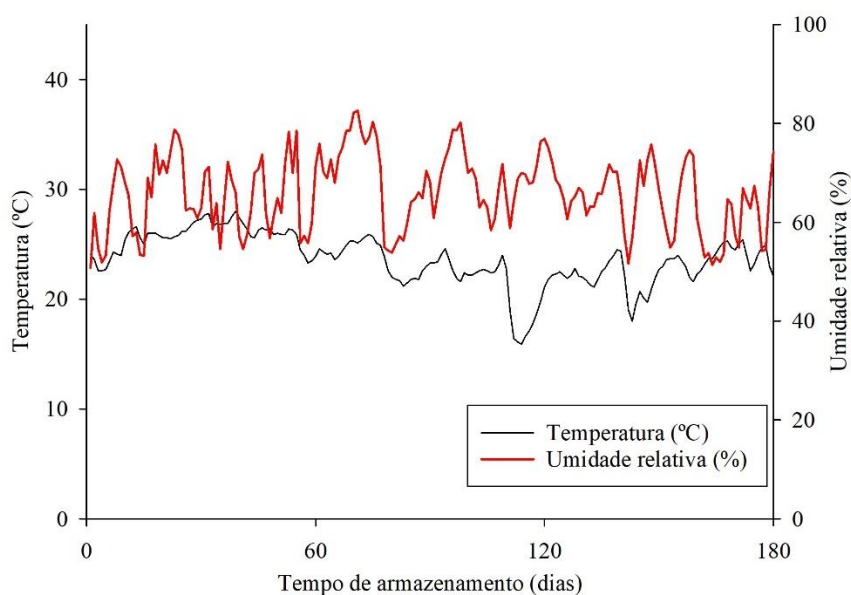


Figura 2. Temperatura (°C) e umidade relativa (%) diárias no ambiente protegido, durante o período de armazenamento de 180 dias. Os dados apresentados estão entre os meses de janeiro de 2023 a julho de 2023.

Fonte: Canassa e Antunes (2024).

A temperatura e a umidade relativa foram monitoradas por meio de um *data logger* digital, modelo HT-4010.

3.3. Propriedades mecânicas

Para avaliar as propriedades, foram realizadas 15 repetições (LOPES et al., 2020) de cada tratamento, posteriormente submetidas ao teste uniaxial de compressão. Determinou-se as dimensões (eixo maior, eixo médio e eixo menor) de cada grão submetido ao teste de compressão com auxílio de um paquímetro digital com resolução de 0,01 mm.

Determinou-se o volume médio dos grãos, em que foi considerado a forma do feijão mungo como esferoide (Equações 1 e 2), adotou-se as equações propostas por Mohsenin (1986).

$$d_e = \sqrt[3]{abc} \quad (1)$$

$$V_g = \frac{1}{6} d_e^3 \pi \quad (2)$$

Onde:

d_e - diâmetro equivalente do grão de feijão mungo (mm);

V_g - volume do grão de feijão mungo (mm³); e

a, b e c - eixo maior, eixo médio e eixo menor do grão de feijão mungo (mm).

O valor médio do volume dos grãos de feijão foi de $50,37 \pm 3,57 \text{ mm}^3$.

Para a obtenção das curvas da força de ruptura em função da deformação, os grãos foram submetidos ao teste de compressão uniaxial usando o equipamento texturômetro, marca TA HD *Plus*, com célula de carga de 500 N (CORRÊA et al., 2019b). Os grãos de feijão mungo foram submetidos ao teste de compressão na sua posição natural de repouso e adotado 2 mm como valor da deformação máxima do grão, com taxa de aplicação de força de $0,001 \text{ m s}^{-1}$ (RESENDE et al., 2007). Depois de determinar as curvas de força em função da deformação, definiu-se o ponto de ruptura do grão, conforme ilustrado no exemplo da Figura 3.

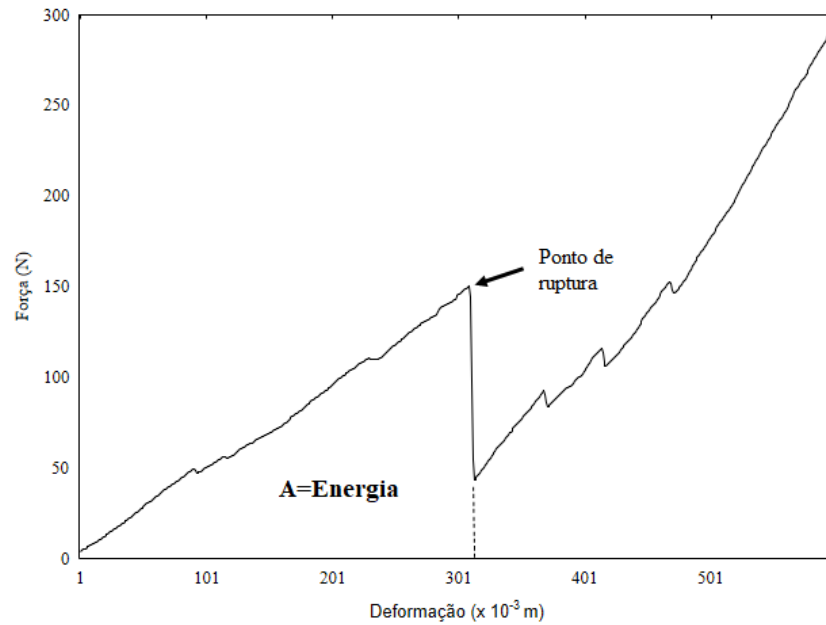


Figura 3. Exemplo da curva de força em função da deformação com ilustração do ponto de ruptura.
 Fonte: Mabasso et al., (2020a).

O ponto de ruptura corresponde a redução contínua no comportamento ascendente dos valores da força, em que ocorre simultaneamente uma quebra ou fissura do grão que pode ser visível ou não (ASABE, 2008).

3.4. Energia absorvida

A energia absorvida ou necessária para a deformação corresponde a área inferior, formada a partir da origem até ao ponto de ruptura na curva de força-deformação (Figura 3) conforme a Equação 3 (TARIGHI; MAHMOUDI; ALAVI, 2011).

$$E = \frac{F_r D}{2} \quad (3)$$

Onde:

E – Energia absorvida (mJ);

F_r - Força de ruptura (N); e

D - Deformação necessária para a ruptura do grão (mm).

3.5. Módulo de tenacidade

De acordo com a metodologia descrita por Abasi e Minaei (2014a), o módulo da tenacidade é a energia necessária para que o produto sofra ruptura, ou energia absorvida pelo produto até ao ponto de ruptura, por unidade de volume, e foi determinado com base na Equação 4.

$$P = \frac{E}{V_g} \quad (4)$$

Onde:

P - Módulo de tenacidade (mJ mm⁻³);

E – Energia absorvida (mJ); e

V_g - Volume do grão (mm³).

3.6. Dureza

Considera-se dureza a relação entre a força de compressão e a deformação no ponto de ruptura. A sua determinação foi baseada na Equação 5 (OLANIYAN; OJE, 2002).

$$Q = \frac{F_r}{D} \quad (5)$$

Em que:

Q - Dureza do grão (N mm⁻¹);

F_r - Força de ruptura (N); e

D - Deformação no ponto de ruptura (mm).

3.7. Análise estatística

O experimento foi montado em esquema fatorial 2 x 4 (2 temperaturas e 4 tempos de armazenamento), em delineamento inteiramente casualizado, com quinze repetições. Os dados foram analisados por meio de análise de variância e regressão e o ajuste dos modelos de acordo com o coeficiente de determinação e a significância da equação pelo teste F. As médias foram

comparadas pelo teste t ao nível de probabilidade de 5%. A distribuição dos dados e as variâncias dos grupos foi analisada pelo teste Shapiro-Wilk e Brown-Forsythe, respectivamente, ao nível de 5% de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de água dos grãos de feijão durante o armazenamento foram de 11,94; 11,40; 11,85 e 11,70%, para os dias 0; 60; 120 e 180, respectivamente, para a temperatura de 40 °C e 11,35; 11,02; 11,39 e 11,13%, para os dias 0; 60; 120 e 180, respectivamente, para a temperatura de 50 °C. A pequena variabilidade nos valores médios pode ser atribuída ao comportamento dos grãos em busca de equilíbrio higroscópico.

Na Figura 4, são apresentados os valores médios da força (N) necessária para a ruptura dos grãos de feijão mungo, submetidos à compressão uniaxial na posição natural de repouso. Verifica-se que, não houve tendência de comportamento nos valores médios ao longo do tempo de armazenamento, independentemente da temperatura de secagem.

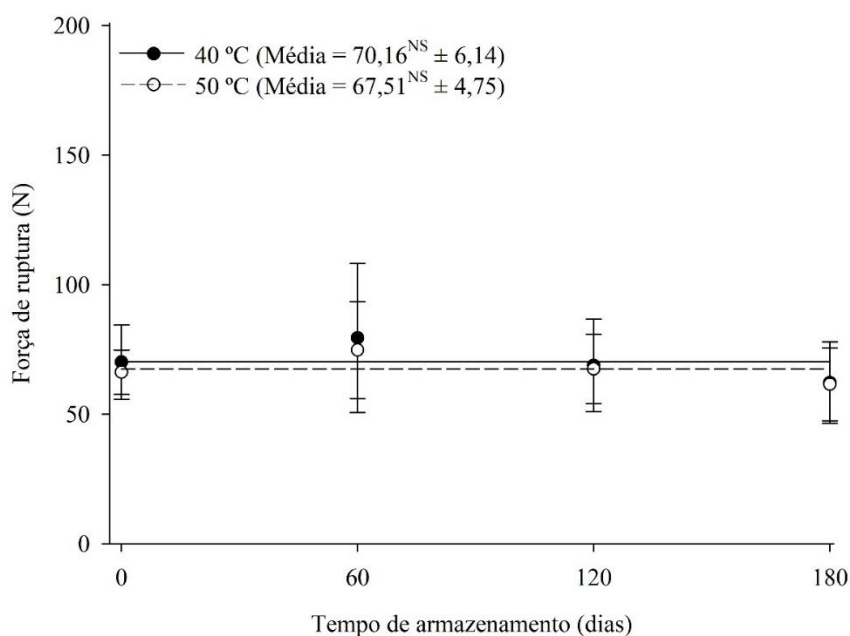


Figura 4. Valores médios da força de ruptura dos grãos de feijão mungo na posição natural de repouso após a secagem em diferentes temperaturas em função do tempo de armazenamento.

^{NS} Não significativo pelo teste t ao nível de 5% de significância.

Fonte: Canassa e Antunes (2024).

Segundo Corrêa et al. (2017), maiores temperaturas de secagem causam aumento na pressão de vapor nas camadas internas do grão, essa expansão do vapor cria tensões internas, que ocasiona fissuras e danos na estrutura dos produtos agrícolas, conforme observado por Abasi e Minaei (2014b) com grãos de milho. Dada a baixa capacidade elástica e plástica dos

grãos, juntamente com a exposição contínua ao calor e a redução constante do teor de água, os grãos podem ficar sujeitos a estresses térmicos e físicos, o que pode resultar em fissuras ou outros tipos de danos na estrutura (LIMA et al., 2016), no qual gera alterações nos valores das propriedades mecânicas. No entanto, aparentemente, a temperatura de 50 °C não foi alta o suficiente para promover essas alterações. Esperava-se que os resultados médios de força de ruptura fossem crescentes ao longo do armazenamento, como verificado por Corrêa et al. (2019b), para grãos de feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) armazenados em sacos de algodão.

Os grãos quando armazenados em ambientes herméticos, como o de garrafa PET proporcionam redução do nível de oxigênio e elevação do nível de dióxido de carbono, em decorrência de sua respiração. Essa condição permite a diminuição da atividade enzimática que requer oxigênio para oxidação do substrato, e a promoção do escurecimento e endurecimento de seu tegumento, como descrito por Lima, Tomé e Abreu (2014). Aparentemente, esta condição contribuiu para a manutenção da força de ruptura.

Para os valores médios de deformação (Figura 5), observa-se que, em ambas as temperaturas de secagem, o armazenamento dos grãos de feijão mungo ao longo de 180 dias não influenciou esta variável, devido ao comportamento praticamente constante em seus valores, resultados similares aos encontrados por Mabasso et al. (2023a).

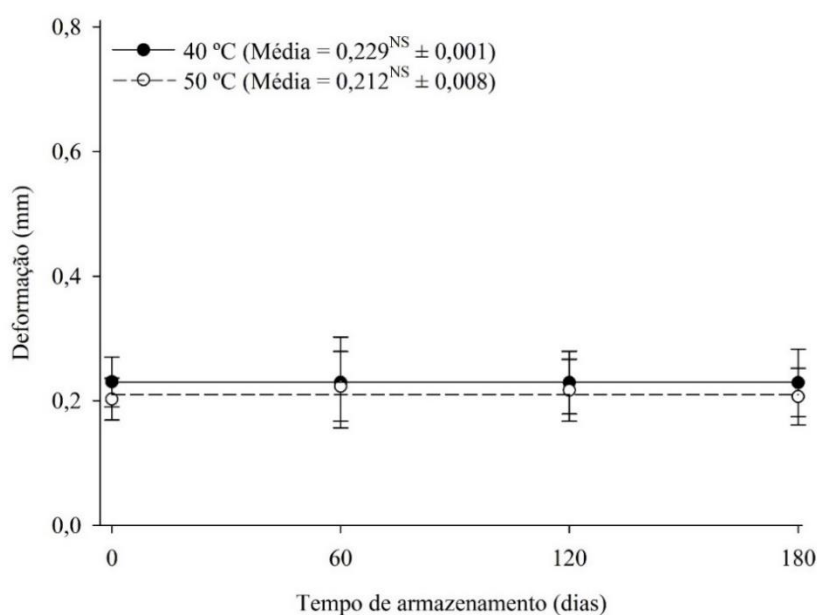


Figura 5. Valores médios da deformação dos grãos de feijão mungo na posição natural de repouso após a secagem em diferentes temperaturas em função do tempo de armazenamento.

^{NS} Não significativo pelo teste t ao nível de 5% de significância.

Fonte: Canassa e Antunes (2024).

Oduma, Onu e Igwe (2016), com estudos de propriedades físicas e mecânicas de grãos de feijão africano (*Pentaclethra Macrophylla*), verificaram que, enquanto a semente se deforma continuamente, a força necessária para sua ruptura também aumenta correspondentemente. Isso explica o comportamento observado nas Figuras 3 e 4.

A energia absorvida (Figura 6A) e módulo de tenacidade (Figura 6B), apresentam comportamento constante durante o tempo de avaliação, e valores médios sem alterações expressivas para duas temperaturas de secagem utilizadas, comportamento similar observado por Mabasso et al. (2023b), em pesquisa com grãos de milho.

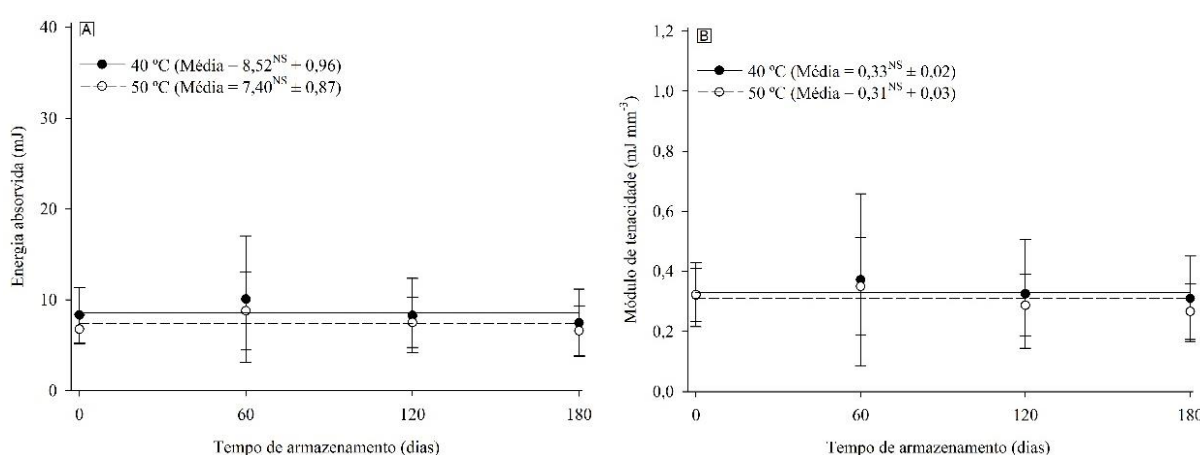


Figura 6. Valores médios da energia necessária para ruptura (A) e módulo de tenacidade (B) dos grãos de feijão mungo na posição natural de repouso após a secagem em diferentes temperaturas em função do tempo de armazenamento.

^{NS} Não significativo pelo teste t ao nível de 5% de significância.

Fonte: Canassa e Antunes (2024).

A energia absorvida (Figura 6A) depende dos valores de distância de deformação, que não apresentou tendência de comportamento (Figura 5). Já o módulo de tenacidade é uma relação entre a energia absorvida e o volume dos grãos. Este por sua vez, apresenta alta correlação com o teor de água, que também não apresentou grandes oscilações durante o armazenamento. O teor de água também influencia na “maciez” dos grãos. Logo, quanto maior o teor de água, mais “macio” é o produto e menor é o valor do módulo de tenacidade (BAKO; AGUDA, 2023b; ETIM; ALONGE; AKPAN, 2021b).

A dureza dos grãos de feijão mungo não apresenta tendência de comportamento (Figura 7), assim como, as demais avaliações. O comportamento praticamente constante pode ser justificado pelo fato que, a dureza tende a se assemelhar a força de ruptura, assim, quanto maior a força de ruptura, mais rígido é o grão (MABASSO et al., 2020b).

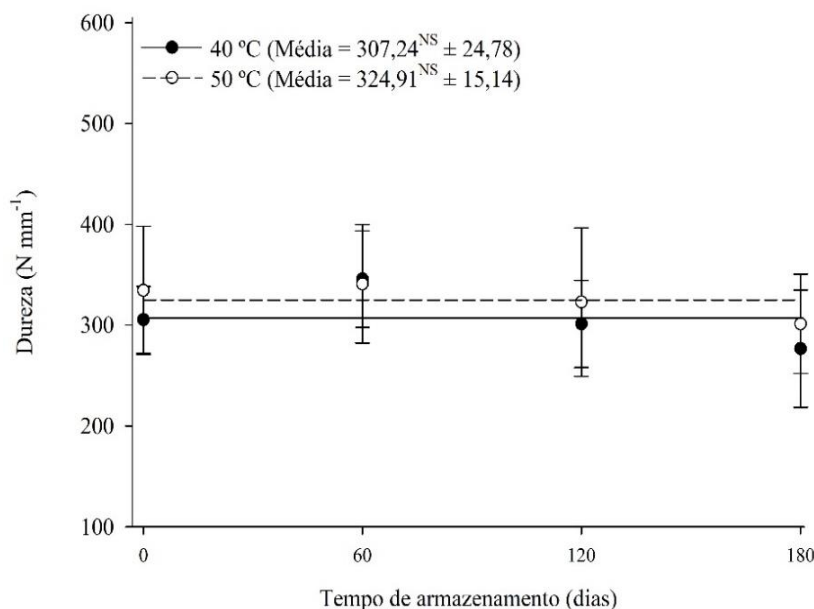


Figura 7. Valores médios da dureza dos grãos de feijão mungo na posição natural de repouso após a secagem em diferentes temperaturas em função do tempo de armazenamento.
^{NS} Não significativo pelo teste t ao nível de 5% de significância.

Fonte: Canassa e Antunes (2024).

Kljak, Grbesa e Aleus (2011), afirmam que fatores pós-colheita como condições de secagem e armazenamento afetam os valores de dureza. Entretanto, observa-se na Figura 6 que, os resultados não foram afetados de forma discrepante pelos tratamentos. Isso também, pode ser atribuído ao armazenamento dos grãos de feijão mungo em recipientes herméticos. Comportamento notado por Freitas et al. (2011b), que avaliaram os valores de dureza de grãos de feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) durante armazenamento em ambientes herméticos como garrafas pet.

Os resultados obtidos ressaltam a rusticidade dos grãos de feijão mungo. A análise dos dados apresentou uma estabilidade consistente ao longo do período de estudo, o que indica a natureza resiliente desses grãos. Essa característica é de extrema importância na cadeia de produção agrícola, pois confere ao feijão mungo um atributo muito significativo em termos de durabilidade e capacidade de armazenamento.

5. CONCLUSÃO

As temperaturas de secagem de 40 e 50 °C e o tempo de armazenamento de 180 dias não influenciaram nas variáveis de força de ruptura, deformação, energia absorvida, módulo de tenacidade e dureza dos grãos de feijão mungo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABASI, S.; MINAEI, S. Effect of drying temperature on mechanical properties of dried corn. **Drying Technology**, New York, v. 32, n. 7, p. 774–780, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1080/07373937.2013.845203>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07373937.2013.845203>. Acesso em: 22 de novembro de 2023.

AHMAD, A. et al. A comprehensive state-of-the-art review on the recent developments in greenhouse drying. **Energies**, Switzerland, v. 15, n. 24, p. 9493, dez. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/EN15249493>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/24/9493>. Acesso em: 18 de novembro de 2023.

AKM, M. A. et al. Evaluation of mungbean genotypes based on yield stability and reaction to mungbean yellow mosaic virus disease. **Plant Pathology Journal**, Seoul, v. 30, n. 3, p. 261–268, 2014. DOI: 10.5423/PPJ.OA.03.2014.0023. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25289012/>. Acesso em: 08 de novembro de 2023.

ALTUNTAS, E.; YILDIZ, M. Effect of moisture content on some physical and mechanical properties of faba bean (*Vicia faba* L.) grains. **Journal of Food Engineering**, Gaziantep, v. 78, n. 1, p. 174–183, jan. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2005.09.013>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877405006497?via%3Dihub>. Acesso em: 28 de novembro de 2023.

ASABE. Compression test of food materials of convex shape. **ASABE**, St. Joseph, p. 9, 2008. Disponível em: <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=42544&t=2>. Acesso em: 24 de outubro de 2023.

BAKO, T.; AGUDA, A. C. Effect of moisture content on the engineering properties of African yam bean (*Sphenostylis stenocarpa*) seed. **Journal of Horticulture and Postharvest Research**, Birjand, v. 6, n. Issue 1, p. 15–26, mar. 2023. DOI: <https://doi.org/10.22077/JHPR.2022.5285.1276>. Disponível em: https://jhpr.birjand.ac.ir/article_2318.html. Acesso em: 08 de fevereiro de 2024.

BARGALE, P. C.; IRUDAYARAJ, J.; MARQUIS, B. Studies on rheological behaviour of canola and wheat. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Pavia, v. 61, n. 4, p. 267–274, ago. 1995. DOI: <https://doi.org/10.1006/JAER.1995.1054>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021863485710542?via%3Dihub>. Acesso em: 01 de novembro de 2023.

BASTOS, A. C.; FERRAZ, A. C. D. O. Mechanical properties of castor beans subject to different drying temperatures aiming to disrupt the bean coat. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 1, p. 93–101, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162014000100011>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/9pKtLFh9Lx9T4vgyX73pFmj/?lang=en>. Acesso em: 23 de janeiro de 2024.

BRADFORD, K. J. et al. The dry chain: reducing postharvest losses and improving food safety in humid climates. **Trends in Food Science & Technology**, v. 71, p. 84–93, jan. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2017.11.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092422441730482X?via%3Dihub>. Acesso em: 30 de outubro de 2023.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Secretaria de Defesa Agropecuária**. Brasília, p. 398, 2009. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise_sementes.pdf. Acesso em: 02 de novembro de 2023.

CARDOSO, R. B.; BINOTTI, F. F. Da S.; CARDOSO, E. D. Potencial fisiológico de sementes de crambe em função de embalagens e armazenamento. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 3, p. 272–278, jul. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1983-40632012000300006>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pat/a/RdvLS3DT8k6m7wqrmWYYqnF/?lang=pt>. Acesso em: 02 de novembro de 2023.

CHENG, X. D.; YAN, X. J.; HU, M. Z. The effect of storage pressure on the mechanical properties of paddy grains. **Journal of Stored Products Research**, Amsterdã, v. 68, p. 19–24, jul. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.JSPR.2016.03.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877420304544?via%3Dihub>. Acesso em: 28 de novembro de 2023.

CORRÊA, P. C. et al. Thermodynamic properties of drying process and water absorption of rice grains. **CyTA - Journal of Food**, v. 15, n. 2, p. 204–210, abr. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/19476337.2016.1238012>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19476337.2016.1238012>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2024.

CORRÊA, P. C. et al. Mechanical properties of bean grains (BRSMG Majestic) coated with carnauba wax. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 49, n. 9, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180838>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/7v8kMjHKD35w5DmQvHNYz4j/?lang=en>. Acesso em: 07 de fevereiro de 2024.

COUTO, S. M. et al. Comportamento mecânico de frutos de café: módulo de deformidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 285–294, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662002000200018>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/QcCLVWhfdL4VfHszt7X8dfc/?lang=pt>. Acesso em: 08 de fevereiro de 2024.

DAHIYA, P. K. et al. Mung bean: technological and nutritional potential. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 55, n. 5, p. 670–688, abr. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.671202>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10408398.2012.671202>. Acesso em: 17 de outubro de 2023.

DHURVE, P. et al. Drying kinetics, mass transfer parameters, and specific energy consumption analysis of watermelon seeds dried using the convective dryer. **Materials Today: Proceedings**,

Amsterdã, v. 59, p. 926–932, jan. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2022.02.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785322005740?via%3Dihub>. Acesso em: 24 de outubro de 2023.

EKOUE, T. et al. The transitioning feature between uncooked and cooked cowpea seeds studied by the mechanical compression test. **Journal of Food Engineering**, Gaziantepe, v. 292, p. 110368, mar. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2020.110368>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877420304544?via%3Dihub>. Acesso em: 29 de novembro de 2023.

ELOY, E. et al. Influence of drying on the physical and mechanical properties of wood from trees grown in an agroforestry system. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 44, p. e4431, dez. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9088202000000031>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/SmnTSgNLZrqHK46qB7t7xps/?lang=en>. Acesso em: 23 de janeiro de 2024.

ETIM, P. J.; ALONGE, A. F.; AKPAN, G. E. Effect of moisture content on some mechanical properties of mucuna bean (*Mucuna crens*) relevant to its cracking. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, St. Joseph, v. 23, n. 4, dez. 2021. DOI: <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/6829>. Disponível em: <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/6829>. Acesso em: 08 de fevereiro de 2024.

FAVERO, V. O. et al. Characterization and nodulation capacity of native bacteria isolated from mung bean nodules used as a trap plant in Brazilian tropical soils. **Applied Soil Ecology**, v. 167, p. 104041, nov. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.APSOIL.2021.104041>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19476337.2016.1238012>. Acesso em: 04 de outubro de 2023.

FREITAS, R. D. S. et al. Quality of beans stored under hermetic conditions. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 6, p. 1136–1149, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162011000600011>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/DkXnBhxMfMwXcCkB9ySV5My/?lang=en>. Acesso em: 07 de fevereiro de 2024.

GANESAN, K.; XU, B. A critical review on phytochemical profile and health promoting effects of mung bean (*Vigna radiata*). **Food Science and Human Wellness**, Pequim, v. 7, n. 1, p. 11–33, mar. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.FSHW.2017.11.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213453017301453?via%3Dihub>. Acesso em: 14 de novembro de 2023.

GARCÍA, L. S.; GARCÍA, J. E.; ORTÍZ, I. S. Field effectiveness of improved hermetic storage technologies on maize grain quality in Central Mexico. **Journal of Stored Products Research**, v. 87, p. 101585, 1 maio 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.JSPR.2020.101585>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022474X19304163?via%3Dihub>. Acesso em: 28 de fevereiro de 2024.

GRAHAM, P. H.; VANCE, C. P. Legumes: importance and constraints to greater use. **Plant Physiology**, v. 131, n. 3, p. 872–877, mar. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1104/PP.017004>. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1104/pp.017004>. Acesso em: 17 de outubro de 2023.

GUPTA, A. et al. An environmental and economic evaluation of solar photovoltaic thermal dryer. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 19, n. 11, p. 10773–10792, nov. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/S13762-021-03739-8/TABLES/7>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-021-03739-8>. Acesso em: 18 de novembro de 2023.

GUSTAFSSON, G. et al. Determination of bulk properties and fracture data for iron ore pellets using instrumented confined compression experiments. **Powder Technology**, v. 241, p. 19–27, jun. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.POWTEC.2013.02.030>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032591013001381?via%3Dihub>. Acesso em: 31 de outubro de 2023.

HAFIDH, R. R. et al. Novel molecular, cytotoxic, and immunological study on promising and selective anticancer activity of Mung bean sprouts. **BMC Complementary and Alternative Medicine**, v. 12, n. 1, p. 1–24, nov. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1186/1472-6882-12-208/TABLES/10>. Disponível em: <https://bmccomplementmedtherapies.biomedcentral.com/articles/10.1186/1472-6882-12-208>. Acesso em: 14 de novembro de 2023.

HOU, D. et al. Mung bean (*Vigna radiata* L.): bioactive polyphenols, polysaccharides, peptides, and health benefits. **Nutrients**, v. 11, n. 6, p. 1238, maio 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/NU11061238>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-6643/11/6/1238>. Acesso em: 17 de outubro de 2023.

JANG, Y. H. et al. Mung bean coat ameliorates hyperglycemia and the antioxidant status in type 2 diabetic db/db mice. **Food Science and Biotechnology**, Seoul, v. 23, n. 1, p. 247–252, fev. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/S10068-014-0034-3/METRICS>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10068-014-0034-3>. Acesso em: 17 de outubro de 2023.

KANG, I. et al. Effects of mung bean (*Vigna radiata* L.) ethanol extracts decrease proinflammatory cytokine-induced lipogenesis in the KK-ay diabese mouse model. **Journal of Medicinal Food**, v. 18, n. 8, p. 841–849, ago. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1089/jmf.2014.3364>. Disponível em: <https://www.liebertpub.com/doi/10.1089/jmf.2014.3364>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2024.

KARAJ, S.; MÜLLER, J. Determination of physical, mechanical and chemical properties of seeds and kernels of *Jatropha curcas* L. **Industrial Crops and Products**, v. 32, n. 2, p. 129–138, set. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2010.04.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669010000804?via%3Dihub>. Acesso em: 28 de novembro de 2023.

KLJAK, K.; GRBESA, D.; ALEUS, D. Relationships between kernel physical properties and zein content in corn hybrids. **Bulletin UASVM Agriculture**, v. 68, n. 1, 2011. DOI: <https://doi.org/10.5555/20123003621>. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20123003621>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2024.

KUDRE, T. G.; BENJAKUL, S.; KISHIMURA, H. Comparative study on chemical compositions and properties of protein isolates from mung bean, black bean and bambara groundnut. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Londres, v. 93, n. 10, p. 2429–2436, ago. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1002/JSFA.6052>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jsfa.6052>. Acesso em: 18 de outubro de 2023.

LEE, J. H. et al. Comparative analyses of total phenols, flavonoids, saponins and antioxidant activity in yellow soy beans and mung beans. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 46, n. 12, p. 2513–2519, dez. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.2011.02775.X>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-2621.2011.02775.x>. Acesso em: 14 de novembro de 2023.

LIMA, A. G. B. DE et al. Drying of bioproducts: Quality and energy aspects. **Drying and Energy Technologies**, p. 1–18, jul. 2016. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-19767-8_1/COVER. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-19767-8_1. Acesso em: 09 de fevereiro de 2024.

LIMA, R. A. Z.; TOMÉ, L. M.; ABREU, C. M. P. DE. Embalagem a vácuo: efeito no escurecimento e endurecimento do feijão durante o armazenamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 9, p. 1664–1670, set. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20120832>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/qMcc95CQNXMDQ8Q9NyNCT4f/?lang=pt>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2024.

LOPES, M. A. Da S. et al. Propriedades mecânicas de grãos de feijão macáçar (*Vigna unguiculata*) em diferentes teores de água. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 4, p. e100942889, 18 mar. 2020. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i4.2889>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/2889>. Acesso em: 28 de fevereiro de 2024.

MA, Y. et al. Influences of cooking and storage on γ -aminobutyric acid (GABA) content and distribution in mung bean and its noodle products. **LWT**, Londres, v. 154, p. 112783, jan. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.112783>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643821019368?via%3Dihub>. Acesso em: 30 de outubro de 2023.

MABASSO, G. A. et al. Compressive strength of corn kernels subjected to drying under different rest periods. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 51, p. e20196894, nov. 2020. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200075>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/ZCFk98NXnXt5G4SZzZBptRh/?lang=en&format=html>. Acesso em: 02 de novembro de 2023.

MABASSO, G. A. et al. Mechanical properties and integrity of stored corn grains after continuous and intermittent drying. **Food Science and Technology**, São Paulo, v. 43, p. 2023, jul. 2023. DOI: <https://doi.org/10.5327/FST.21323>. Disponível em: <https://fst.emnuvens.com.br/revista/article/view/84>. Acesso em: 07 de fevereiro de 2024.

MAKERI, M. U. et al. Fractionation, physicochemical, and structural characterization of winged bean seed protein fractions with reference to soybean. **International Journal of Food Properties**, Londres, v. 20, p. 2220–2236, dez. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1369101>. Disponível em:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10942912.2017.1369101>. Acesso em: 30 de outubro de 2023.

MARTINS, F. P. et al. Secagem: uma revisão. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, Viçosa, v. 6, n. 4, out. 2020. DOI: <https://doi.org/10.18540/jcecvl6iss4pp0600-0607i>. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/jcec/article/view/11743>. Acesso em: 18 de novembro de 2023.

MOBOLADE, A. J. et al. Traditional methods of food grains preservation and storage in Nigeria and Índia. **Annals of Agricultural Sciences**, Cairo, v. 64, n. 2, p. 196–205, dez. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.AOAS.2019.12.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0570178319300375?via%3Dihub>. Acesso em: 25 de outubro de 2023.

MOHSENIN, N. N. Physical properties of plant and animal materials. **New York: Gordon and Breach Publishers**, p. 841, 1986. DOI: <https://doi.org/10.1002/food.19870310724>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/food.19870310724>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2024.

MONTELLANO, C. G. et al. Determination of the mechanical properties of maize grains and olives required for use in DEM simulations. **Journal of Food Engineering**, Gaziantepe, v. 111, n. 4, p. 553–562, ago. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2012.03.017>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877412001598?via%3Dihub>. Acesso em: 28 de novembro de 2023.

MÜLLER, A. et al. Rice drying, storage and processing: effects of post-harvest operations on grain quality. **Rice Science**, Amsterdã, v. 29, n. 1, p. 16–30, jan. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.RSCI.2021.12.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1672630821000998?via%3Dihub>. Acesso em: 30 de outubro de 2023.

NAIR, R. M. et al. Genetic improvement of mungbean. **Sabrao Journal of Breeding and Genetics**, v. 44, n. 2, p. 177–190, 2012. DOI: Disponível em: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84875285181&origin=inward> . 24 de outubro de 2023.

NAIR, R. M. et al. Biofortification of mungbean (*Vigna radiata*) as a whole food to enhance human health. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Londres, v. 93, n. 8, p. 1805–1813, jun. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1002/JSFA.6110>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23426879/>. Acesso em: 05 de outubro de 2023.

NAIR, R. M. et al. Mineral and phenolic concentrations of mungbean [*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek var. *radiata*] grown in semi-arid tropical India. **Journal of Food Composition and Analysis**, Ludhiana, v. 39, p. 23–32, maio 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2014.10.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889157514001835?via%3Dihub>. Acesso em: 05 de outubro de 2023.

ODUMA, O.; ONU, O. O.; IGWE, J. E. Effect of moisture content on some physical and mechanical properties of an african oil bean seeds (*Pentaclethra macrophylla*). **Umudike**

Journal of Engineering and Technology. v. 2, p. 78-85, dez. 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/312197899_EFFECT_OF_MOISTURE_CONTENT_ON_SOME_PHYSICAL_AND_MECHANICAL_PROPERTIES_OF_AN_AFRICAN_OIL_BEAN_SEEDS_Pentaclethra_Macrophylla. Acesso em: 09 de fevereiro de 2024.

OLANIYAN, A. M.; OJE, K. Some aspects of the mechanical properties of shea nut. **Biosystems Engineering**, v. 81, n. 4, p. 413–420, abr. 2002. DOI: <https://doi.org/10.1006/BIOE.2002.0049>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511002900498?via%3Dihub>. Acesso em: 22 de novembro de 2023.

PAL, M.; BRAHMACHARY, R.; GHOSH, M. Comparative studies on physicochemical and biochemical characteristics of scented and non-scented strains of mung beans (*Vigna radiata*) of Indian origin. **Legume Research**, 2010. Disponível em: <https://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:lr&volume=33&issue=1&article=001>. Acesso em: 24 de outubro de 2023.

PANDEY, O. P. et al. Effect of integrated nutrient management of growth and yield attributes of green gram (*Vigna radiata* L.). **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 8, n. 3, 2019. Disponível em: <https://www.phytojournal.com/archives?year=2019&vol=8&issue=3&ArticleId=8363&si=false>. Acesso em: 15 de novembro de 2023.

QUEQUETO, W. D. et al. Performance of industrial drying and soybean grains quality. **Food Science and Technology**, São Paulo, v. 43, p. e101022, abr. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/FST.101022>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/BZkfNMLwgzKPB7txK756rzN/?lang=en>. Acesso em: 01 de dezembro de 2023.

QUEZADA, M. Y. et al. Hermetic storage system preventing the proliferation of *Prostephanus truncatus* Horn and storage fungi in maize with different moisture contents. **Postharvest Biology and Technology**, v. 39, n. 3, p. 321–326, mar. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.10.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925521405002048>. Acesso em: 14 de fevereiro de 2024.

RATHORE, S. S. et al. Integrated agroforestry systems improve soil carbon storage, water productivity, and economic returns in the marginal land of the semi-arid region. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 29, n. 10, p. 103427, out. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.SJBS.2022.103427>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319562X22003436?via%3Dihub>. Acesso em: 15 de novembro de 2023.

RESENDE, O. et al. Comportamento mecânico dos grãos de feijão submetidos a compressão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 4, p. 404–409, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000400010>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/FmMR6MPR33X4WkKYgZprZng/?lang=pt>. Acesso em: 06 fevereiro de 2024.

RESENDE, O. et al. Mechanical properties of rough and dehulled rice during drying. **International Journal of Food Studies**, Porto, v. 2, n. 2, out. 2013. DOI:

<https://doi.org/10.7455/ijfs/2.2.2013.a3>. Disponível em: <https://www.iseki-food-ejournal.com/ojs/index.php/e-journal/article/view/139>. Acesso em: 07 de fevereiro de 2024.

RIBEIRO, D. M. et al. Análise da variação das propriedades físicas dos grãos de soja durante o processo de secagem. **Food Science and Technology**, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 611–617, set. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612005000300035>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/n8QLhN9bHpF5W563tgL63bT/>. Acesso em: 23 de janeiro de 2024.

RIBEIRO, D. M. et al. Propriedades mecânicas dos grãos de soja em função do teor de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 493–500, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162007000300019>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/kyQTXfTVyngfzQjhvRNMsVt/>. Acesso em: 07 de fevereiro de 2024.

SAINI, M. et al. RAPD analysis in mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek]: I. assessment of genetic diversity. **Indian Journal of Biotechnology**, v. 9, p. 137–146, 2010. Disponível em: <https://nopr.niscpr.res.in/handle/123456789/7791>. Acesso em: 24 de outubro de 2023.

SILVA, J. M. H. M. et al. Produção e avaliação nutricional de farinha de moyashi - broto de feijão mungo-verde (*Vigna radiata*, Fabaceae). **Visão Acadêmica**, Curitiba, v. 20, n. 2, jul. 2019. DOI: <https://doi.org/10.5380/acd.v20i2.66886>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/academica/article/view/66886>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2024.

SMANIOTTO, T. A. DE S. et al. Qualidade fisiológica das sementes de soja armazenadas em diferentes condições. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 4, p. 446–453, abr. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000400013>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/K8PMTxRCs7Jv3fY6Q8LKcvn/?lang=pt>. Acesso em: 31 de outubro de 2023.

TANG, D. et al. A review of phytochemistry, metabolite changes, and medicinal uses of the common food mung bean and its sprouts (*Vigna radiata*). **Chemistry Central journal**, Londres, v. 8, n. 1, jan. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1186/1752-153X-8-4>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24438453/>. Acesso em: 18 de outubro de 2023.

TARIGHI, J.; MAHMOUDI, A.; ALAVI, N. Some mechanical and physical properties of corn seed (Var. DCC 370). **African Journal of Agricultural Research**, Victoria Island, v. 6, n. 16, p. 3691–3699, 2011. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJAR10.521>. Disponível em: <http://www.academicjournals.org/AJAR>. Acesso em: 21 de novembro de 2023.

TIMM, N. Da S. et al. Effects of drying methods and temperatures on protein, pasting, and thermal properties of white floury corn. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, n. 10, p. e14767, out. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/JFPP.14767>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jfpp.14767>. Acesso em: 29 de novembro de 2023.

VIEIRA, R. F.; NISHIHARA, M. K. Comportamento de cultivares de mungo-verde (*Vigna radiata*) em Viçosa, Minas Gerais. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 39, n. 221, p. 60–83, 1992. Disponível em: <http://www.ceres.ufv.br/ojs/index.php/ceres/article/view/2128/56>. Acesso em: 14 de outubro de 2023.

VIEIRA, R. F.; OLIVEIRA, V. R.; VIEIRA, C. Cultivo do feijão-mungo-verde no verão em Viçosa e em Prudente de Moraes. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 1, p. 37–43, mar. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362003000100008>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/ZThBQHqwV9WZGHwGw5HzHCp/?lang=pt>. Acesso em 15 de outubro de 2023.

XU, X. et al. Application of two-stage variable temperature drying in hot air-drying of paddy rice. **Foods**, v. 11, n. 6, p. 888, mar. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/FOODS11060888>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/11/6/888>. Acesso em: 18 de novembro de 2022.

YAO, L.; FAN, L.; DUAN, Z. Effect of different pretreatments followed by hot-air and far-infrared drying on the bioactive compounds, physicochemical property and microstructure of mango slices. **Food Chemistry**, Londres, v. 305, p. 125477, fev. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2019.125477>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814619315936?via%3Dihub>. Acesso em: 25 de outubro de 2023.

YAO, Y. et al. Antioxidant and antidiabetic activities of black mung bean (*Vigna radiata* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Londres, v. 61, n. 34, p. 8104–8109, ago. 2013. DOI: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf401812z>. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf401812z>. Acesso em: 14 de novembro de 2023.