

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

**PROPRIEDADES FÍSICAS DOS GRÃOS DE FEIJÃO MUNGO
(*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek) EM DIFERENTES TEORES DE
ÁGUA**

TONY JEFFERSON RODRIGUES BITENCOURT JUNIOR
VINICIUS AUGUSTO DE LIMA PEREIRA

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2023

PROPRIEDADES FÍSICAS DOS GRÃOS DE FEIJÃO MUNGO (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek) EM DIFERENTES TEORES DE ÁGUA

**TONY JEFFERSON RODRIGUES BITENCOURT JUNIOR
VINICIUS AUGUSTO DE LIMA PEREIRA**

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
Engenharia Agrícola.

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2023

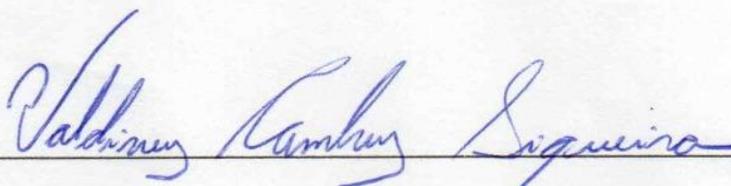
PROPRIEDADES FÍSICAS DOS GRÃOS DE FEIJÃO MUNGO (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek) EM DIFERENTES TEORES DE ÁGUA

Por

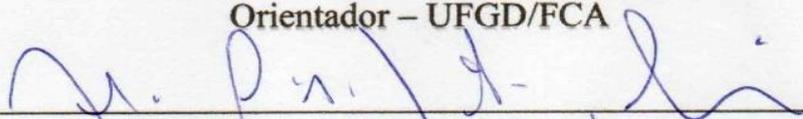
**TONY JEFFERSON RODRIGUES BITENCOURT JUNIOR
VINICIUS AUGUSTO DE LIMA PEREIRA**

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

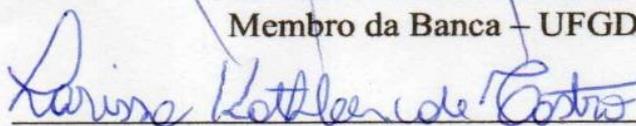
Aprovado em: 20 de abril de 2023.



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



Prof. Dr. André Luis Duarte Goneli
Membro da Banca – UFGD/FCA



Mestranda Larissa Kathleen de Castro
Membro da Banca – UFGD/FCA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

J99p Bitencourt Júnior, Tony Jefferson Rodrigues
PROPRIEDADES FÍSICAS DOS GRÃOS DE FEIJÃO MUNGO (*Vigna radiata* (L.) R.
Wilczek) EM DIFERENTES TEORES DE ÁGUA [recurso eletrônico] / Tony Jefferson Rodrigues
Bitencourt Júnior, Vinicius Augusto de Lima Pereira -- 2023.
Arquivo em formato pdf.

Orientador: Valdiney Cambuy Siqueira.
TCC (Graduação em Engenharia Agrícola) -Universidade Federal da Grande Dourados, 2023.
Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Pós-colheita. 2. Massa específica. 3. Secagem. 4. Porosidade. 5. Modelagem. I. Pereira,
, Vinicius Augusto de Lima. 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.

Agradecimentos

Tony Jefferson Rodrigues Bitencourt Junior

À Deus pela oportunidade da vida, por permitir que pudesse vivenciar e experimentar todos os desafios e todas as alegrias que pude proporcionar e que ainda irei presenciar.

Aos meus pais, que me ensinaram a ser a pessoa que sou hoje. Por toda educação que me proporcionaram e que me permitiram lidar com as adversidades da vida graças à toda experiência que compartilharam comigo.

Aos meus irmãos, por contribuírem com meu modo de interpretar, agir e reagir às situações da vida. Por compartilharem amor, alegria e bons momentos em todas as ocasiões que nos encontramos. Por serem meus pilares de sustentação para todas as dificuldades que já vivenciei e por me permitirem o sentimento de segurança, por saber que posso contar com eles independente do que eu estiver enfrentando.

Ao Prof. Dr. Valdiney Cambuy Siqueira por todo o apoio durante o desenvolvimento do meu TCC, por toda contribuição proporcionada durante as aulas de Extensão Rural no ambiente remoto, no PIBIC, JUAN.

Ao Prof. Dr. André Luis Duarte Goneli por todos os anos que trabalhamos juntos no Grupo PET, que me permitiram amadurecer, que me fizeram cada dia mais profissional e que me transmitiam novas visões de mundo.

Às Professoras Doutoras Leidy Zuly e Elaine Reis Pinheiro Lourente me proporcionaram durante minha formação e que permitiram que eu me transformasse em homem, ultrapassando a fase em que minha juventude ainda “falava mais alto”.

Ao Prof. Dr. Cristiano Márcio Alves de Souza por todo o apoio no desenvolver das minhas atividades e por me estimular a participar das entidades do curso e por ter evidenciado a importância de cada uma.

À todos os meus professores que também contribuíram com minha educação intelectual e, em diversos casos, moral. Por compartilharem suas vivências além da Universidade.

Aos colegas e amigos que contribuíram com minha formação, que me apoiaram, me orientaram e iluminaram meu caminho independente da fase que eu estava passando ou da dificuldade que eu precisava superar. Por todos os sentimentos positivos que cada um me permitiu vivenciar, registro minha eterna gratidão e ciência do quão importante foram para minha vida profissional e particular.

Obrigado!

Agradecimentos

Vinicius Augusto de Lima Pereira

À Deus, por ter me concedido a vida, uma vida com saúde e cheia de abundâncias. Gratidão pelo amparo nos momentos de dificuldades, pelas conquistas, felicidades, prosperidade, por todo caminho trilhado e por todo caminho a ser percorrido.

Aos meus pais, Eliane Rosa de Lima Pereira e Reinaldo de Souza Pereira, o alicerce de todo o meu ser, que desde o início me apoiaram, me deram forças e me inspiraram a cada dia mais com suas lutas e superações, a me tornar uma pessoa melhor e um futuro bom profissional, sem vocês eu não teria êxito, e não cabe em palavras todo o amor e gratidão que tenho em poder dizer que Eliane e Reinaldo são meus pais.

Aos meus irmão Reinaldo Lucas de Lima Pereira e João Pedro de Lima Pereira, todos os momentos que passamos juntos também serviram de combustível para meu crescimento, toda parceria, cumplicidade, brigas e bons momentos fizeram me construir e sem dúvidas vocês são imensa fonte de admiração e inspiração. A todos os meus familiares, pelo amor, incentivo, força e apoio incondicional, em especial aos meus avós João Rosa e Maria do Socorro, responsáveis também pelo meu amor ao meio rural.

A todas as amizades que conquistei em minha jornada acadêmica, me refiro a amizade a quem conseguiu contribuir de alguma forma para minha formação, construímos laços consistentes e verdadeiros que irão se perpetuar por toda vida, gratidão por terem feito parte dessa jornada, vocês a deixarem mais leve e bela.

Agradeço a todos os professores da Universidade Federal da Grande Dourados-UFGD, por me proporcionarem o conhecimento não apenas racional, mas também por todo o crescimento pessoal que obtive e por acreditarem no processo de minha formação profissional. Em especial ao Prof^o Dr. Valdiney Cambuy Siqueira, pela orientação sobre o presente trabalho, por se fazer um excelente professor em sala, pela parceria, conversas, “puxões de orelha”, ensinamentos e pesquisas, sem dúvidas o conhecimento transmitido é imensurável.

Ao Prof^o Dr. André Luís Duarte Goneli, que se fez divisor de águas à minha graduação, sob tutoria do Grupo PET de Engenharia Agrícola, por todos os ensinamentos e fundamentos pessoais transmitidos, pelos “puxões de orelha” que moldaram responsabilidade, pelas risadas, por todo o ensino transmitido em sala de aula e pela parceria.

A todos que de alguma forma contribuíram para minha formação.

Obrigado!

BITENCOURT JUNIOR, TONY JEFFERSON RODRIGUES; PEREIRA, VINICIUS AUGUSTO DE LIMA. **Propriedades físicas dos grãos de Feijão Mungo (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek) em diferentes teores de água.** 2023. 19f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2023.

RESUMO

O feijão mungo, popularmente consumido na forma de brotos e conhecido como feijão moyashi, é consumido comumente em países como China, Japão e EUA, dentre outros. Considerando a demanda internacional e seu alto valor nutritivo, nota-se a possibilidade de exportação desta leguminosa e, tendo em vista que seu consumo possui maior aceitação na forma de brotos, para garantir uma produção competitiva internacionalmente, a qualidade do grão é fundamental. Dentre os fatores que interferem na qualidade dos grãos, enquadram-se o teor de água, influenciado pelo processo pós-colheita, principalmente de secagem. Os diferentes métodos e condições de secagem, podem modificar as propriedades físicas dos grãos durante o processo de perda de água. Desta forma, o objetivo com este estudo foi de avaliar a variação da massa específica, ângulo de repouso, porosidade e a contração volumétrica dos grãos de feijão mungo durante este processo. Os grãos foram colhidos e debulhados manualmente, com teor de água de 35% b.u., aproximadamente. O processo de secagem foi realizado em um secador experimental de camada fixa, à temperatura de 38,5 °C, até atingir o teor de água final de 0,13 base seca (b.s), monitorado por diferença de massa. As propriedades físicas foram analisadas com três repetições para os teores de água pré-estabelecidos. Determinou-se a massa específica aparente, a porosidade, o ângulo de repouso e o índice de contração volumétrica. Os dados experimentais de contração volumétrica, foram submetidos a uma análise de regressão não linear, pelo método proposto por Gauss-Newton. O modelo selecionado foi avaliado e definido através de valores dos parâmetros observados, tais como erro médio relativo, erro médio estimado, coeficiente de determinação e o comportamento da distribuição dos resíduos (DR). O comportamento do ângulo de repouso e da porosidade dos grãos de feijão mungo foi decrescente e linear durante o processo de secagem, comportamento inverso ao da massa específica, que se elevou com a redução do teor de água. Os valores estimados de massa específica aumentaram de 685,45 kg m⁻³ para 823,3 kg m⁻³. O ângulo de repouso reduziu 5,6° durante a secagem. O comportamento da porosidade apresentou uma amplitude de 43,3% para 37,3%, entre seu teor de água inicial e final. Foi possível concluir para o índice de contração volumétrica, que os modelos matemáticos Polinomial de segunda ordem, Balla e Woods modificado e Corrêa, foram os que melhor se ajustaram e podem descrever satisfatoriamente o fenômeno da contração volumétrica da massa, por atenderem a todos os critérios analisados no presente trabalho.

Palavras-chave: Pós-colheita. Massa específica. Secagem. Porosidade. Modelagem.

ABSTRACT

Mung beans, popularly consumed in the form of sprouts and known as moi-yashi beans, are commonly consumed in countries such as China, Japan and the USA, among others. Considering the international demand and its high nutritional value, there is the possibility of exporting this legume and, considering that its consumption is more accepted in the form of sprouts, to guarantee an internationally competitive production, the quality of the grain is fundamental. Among the factors that affect the quality of grains, water content is included, influenced by the post-harvest process, mainly drying. The different drying methods and conditions can modify the physical properties of the grains during the water loss process. Thus, the aim of this study was to evaluate the variation in specific mass, angle of repose, porosity and volumetric contraction of mung bean grains during this process. The grains were harvested and threshed manually, with a water content of approximately 35% b.u.. The drying process was carried out in an experimental dryer with a fixed layer, at a temperature of 38.5 °C, until reaching a final water content of 0.13 dry basis (b.s), monitored by mass difference. The physical properties were analyzed with three replications for pre-established water contents. Apparent specific mass, porosity, angle of repose and volumetric contraction index were determined. The experimental data of volumetric contraction were submitted to a non-linear regression analysis, by the method proposed by Gauss-Newton. The selected model was evaluated and defined through values of the observed parameters, such as mean relative error, estimated mean error, coefficient of determination and behavior of residual distribution (RD). The behavior of the angle of repose and the porosity of the mung bean grains was decreasing and linear during the drying process, opposite behavior to that of the specific mass, which increased with the reduction of the water content. The estimated specific mass values increased from 685.45 kg m⁻³ to 823.3 kg m⁻³. The angle of repose reduced by 5.6° during drying. The porosity behavior showed a range from 43.3% to 37.3%, between its initial and final water content. It was possible to conclude, for the volumetric contraction index, that the mathematical models Polynomial of second order, Balla and Modified Woods and Corrêa, were the ones that best fit and can satisfactorily describe the phenomenon of the volumetric contraction of the mass, for meeting all the criteria analyzed in the present work.

Keywords: Post-harvest. Especific mass. Drying. Porosity. Modeling.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 FEIJÃO MUNGO	3
2.2 SECAGEM	4
2.3 PROPRIEDADES FÍSICAS	5
3. MATERIAL E MÉTODOS	7
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	12
5. CONCLUSÃO	18
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19

1. INTRODUÇÃO

O feijão mungo (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek) é uma leguminosa granífera, anual de porte ereto, originária da Índia (AMARAL, 2016), produzida majoritariamente nos países asiáticos, que representam 90% da produção mundial, sendo a Índia o maior produtor (PEREIRA et al., 2019).

No Brasil, devido a cor esverdeada do grão, é conhecido como feijão mungo verde e dentre suas características alimentares possui riqueza em proteína e ferro (DAHIYA, 2015), além de apresentar propriedade antiestresse, antioxidante e hepatoprotetora (YEAP et al., 2014).

O broto do feijão mungo, é popularmente conhecido como feijão moyashi, modo como é consumido comumente em países como China, Japão e EUA, dentre outros (VIEIRA et al., 2003). Além do consumo de feijão mungo em broto utilizado em saladas frescas, o grão é alimento comum em alguns países do Sudeste Asiático, do Ocidente, Bangladesh e Índia (KALIM et al., 2021).

As plantas ainda verdes, após a realização da colheita, podem ser uma alternativa para alimentação de gado, sendo oferecida ao rebanho, inteira ou cortada em pedaços (PANDEY et al., 2019). Além dos ramos in natura, é possível utilizar a casca do grão, embebida em água, como ração. Para efeito de adubação verde e por se tratar de uma leguminosa tem boa capacidade de fixar Nitrogênio ao solo (ANJUM et al., 2006), além de auxiliar contra erosões (PANDEY et al., 2019).

Apresenta boa adaptabilidade às regiões de clima tropical e subtropical (BARRADAS et al., 1989) e bom desenvolvimento em regiões mais adversas como de climas árido e semiárido (DAHIYA et al., 2015). Sua maturação ocorre de maneira desuniforme, a depender das condições climáticas e da cultivar (VIEIRA et al., 2001), e apresenta ciclo de crescimento curto, entre 75 e 90 dias (DAHIYA et al., 2015).

O feijão mungo se enquadra no mercado de pulses, leguminosas secas, que apresentam demanda crescente principalmente em países como a Índia, em que o consumo é maior do que a oferta no mercado interno, sendo necessário a importação destes produtos para suprir a demanda (SEIXAS e CONTINI, 2018; SEIXAS et al., 2018; MADRUGA et al., 2021). Considerando este mercado ascendente, a demanda internacional e seu alto valor nutritivo, nota-se a possibilidade de exportação desta leguminosa e, tendo em vista que seu consumo possui maior aceitação na forma de brotos, para garantir uma produção competitiva

internacionalmente, a qualidade do grão é fundamental (VIEIRA e NISHIHARA, 1992; ARAUJO et al., 2011).

A qualidade dos grãos está relacionada aos aspectos físicos, genéticos e sanitários (NASCIMENTO et al., 2011), além do potencial germinativo, vigor e longevidade que possuem (SILVA, 2019), sendo fator essencial para garantir a produtividade esperada (AZEVEDO et al., 2003).

A deterioração dos grãos acontece independentemente dos tratamentos realizados, todavia pode ser retardado a depender das características do grão, como seu teor de água e das condições em que o produto for armazenado (CARDOSO et al., 2012; SMANIOTTO et al., 2014), este último, por sua vez, depende dos processos pós-colheita.

Dentre os processos pós-colheita, destaca-se o de secagem que tem por objetivo a retirada do excesso de água do produto, assegurando boas condições de qualidade, mantendo sua estabilidade, reduzindo atividade metabólica e propensão ao desenvolvimento de fungos e bactérias, bem como mudanças físico-químicas que ocorreriam ao se armazenar o material com teor de água inadequado (CORRÊA et al., 2007).

Além do possível comprometimento dos atributos de qualidade fisiológica do grão, os diferentes métodos e condições de secagem, podem modificar as propriedades físicas dos grãos de modo significativo durante o processo de perda de água (CORRÊA et al., 2007; BOTELHO et al., 2015). Dentre as modificações mais relevantes, e alvo deste estudo, estão: massa específica, ângulo de repouso, porosidade e a contração volumétrica. A fim de contribuir com o conhecimento científico relacionado ao feijão mungo e suas características pós-colheita, este trabalho será realizado para analisar a variação das propriedades físicas dos grãos de feijão mungo durante o processo de secagem.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 FEIJÃO MUNGO

O feijão mungo é uma planta anual com porte ereto ou semi-ereto, pertencente à família Fabaceae, recoberta de pubescência em seus ramos, folhas e vagens (VIEIRA et al., 2003; EMBRAPA, 2017), podendo apresentar variação de altura entre 0,25 e 1 metro. As vagens do feijão mungo são cilíndricas e apresentam comprimento entre 5 e 14 centímetros variando de 4 à 34 vagens por planta, contendo de 8 à 20 grãos por vagem. Tais variações ocorrem de acordo com as condições edafoclimáticas de cultivo, bem como pela população de plantas (VIEIRA et al., 2003; ISMAIEL, 2004).

O peso dos grãos varia de 0,015 à 0,085 gramas, com média de 25 à 30 mil grãos por quilograma. A floração inicia-se 50 a 60 dias após o plantio, a depender da época de semeadura, do local de plantio e da cultivar escolhida (VIEIRA et al., 2003; ISMAIEL, 2004), e ocorre durante algumas semanas. Suas flores apresentam capacidade de autofecundação, além de possuírem elevado potencial de autopolinização, possibilitando o crescimento das vagens, com sua maturação, em média, 20 dias após o início da floração (ISMAEL, 2004).

A temperatura ideal para o crescimento do feijão mungo varia entre 28 e 30 °C (VIEIRA et al., 2003), sendo considerada uma cultura de climas quentes. Ainda assim, elevadas temperaturas durante a germinação e floração, podem prejudicar a produção consideravelmente. Durante as primeiras fases de desenvolvimento da planta, o excesso de água, pode afetar negativamente a produtividade e com relação a fase final, para colheita, é interessante que ocorra em época de seca, por estimular a maturação das vagens e diminuir a possibilidade de danos climáticos, como temporadas de chuva, que podem deteriorar a qualidade do grão (SINGH e SINGH, 2011; JADHAV et al., 2016).

Apesar dos pontos críticos citados, de modo geral, apresenta boa adaptação às condições climáticas diversas, podendo ser cultivado em diferentes épocas do ano e diferentes sistemas de cultivos, podendo ser utilizado em rotações de culturas e entre safras de cereais como trigo, milho, arroz e outros (PRATAP et al., 2013; DAHU et al., 2016; SILVA et al., 2019).

No Mato Grosso, devido às dificuldades em preencher o período da segunda safra do milho, o feijão mungo apresenta elevado potencial em ocupar este espaço, devido ao seu ciclo de maturação curto (EMBRAPA, 2018). Na Índia, sua produção ocorre majoritariamente antes do cultivo de cereais, para manutenção dos nutrientes solo e para utilizar a umidade excedente no solo, após cultivos de arroz (JADHAV et al., 2016).

O mercado para o feijão mungo apresenta grande perspectiva de crescimento por se tratar de uma leguminosa rica em proteína e com baixos índices de gordura. Além de apresentar-se como excelente fonte proteica, pode ser utilizada na alimentação animal, com a planta sendo oferecida ao rebanho de forma moída ou in-natura, ou para adubação verde através da incorporação da planta ao solo ou como cobertura (DAHU et al., 2016; CRUZ 2017; PANDEY et al., 2019).

Segundo Lima (2006), a família Fabaceae, da qual o feijão mungo se enquadra, apresenta vantagens quando consumida em broto, por possuírem maiores quantidades disponíveis de vitaminas, proteínas e minerais, e por serem produzidos em um curto período de tempo, podendo apresentar bons resultados econômicos. Sendo popularmente conhecido como feijão moyashi, o broto de feijão é consumido comumente em países como China, Japão e EUA, dentre outros (VIEIRA et al., 2003), podendo ser utilizado em saladas frescas. Além disso, o grão é alimento comum em alguns países do Sudeste Asiático, do Ocidente, Bangladesh e Índia (KALIM et al., 2021).

2.2 SECAGEM

Quando os grãos são colhidos com teor de água elevado, necessitam passar pelo processo de secagem a fim de reduzir o excesso de água do produto e, concomitantemente, assegurar sua qualidade e estabilidade, reduzindo atividade metabólica e propensão ao desenvolvimento de fungos e bactérias, bem como mudanças físico-químicas que ocorreriam ao se armazenar o material com teor de água inadequado (CORRÊA et al., 2007; RESENDE et al., 2008).

A importância do processo de secagem se expande para outros fatores como a possibilidade de antecipação da colheita, mesmo com os grãos ainda úmidos que, quando secos, podem ser armazenados por períodos prolongados, sem que o produto se deteriore, além de preservar o poder germinativo dos grãos e minimizar as perdas no campo (MILMAN, 2002).

Durante o processo de secagem, que ocorre por meio da transferência simultânea de calor e massa, as propriedades físicas dos grãos são alteradas em função da diminuição do teor de água do produto, modificando suas dimensões volumétricas, os espaços vazios, massa específica, esfericidade do grão e o ângulo de repouso (MOTA, 2016).

2.3 PROPRIEDADES FÍSICAS

As propriedades físicas dos grãos são características fundamentais para garantir a otimização das atividades nas indústrias, no dimensionamento de silos e moegas, projetos industriais e equipamentos dispostos nas operações pós-colheita (RESENDE et al., 2008).

Diversos autores realizaram pesquisas para analisar as alterações das propriedades físicas de diferentes grãos durante a secagem como, trigo (GUTKOSKI et al., 2008), amendoim (ARAUJO et al., 2014), soja (LOPES et al., 2019), girassol (CORADI et al., 2015) e variedades de feijão como feijão carioca (MOTA, 2016) e feijão comum (RESENDE et al., 2008).

O espaço intergranular, denominado porosidade, pode ser descrito como a relação entre o volume ocupado pelo ar existente na massa granular e o volume total ocupado por essa massa de grãos (SILVA et al., 2018). Estes espaços “vazios” são fundamentais para o dimensionamento de sistemas de secagem e aeração dos grãos, transporte e equipamentos presentes em processos de separação e classificação, como peneiras (MATA e DUARTE 2002; MOTA, 2016).

O ângulo de repouso, ou de talude natural, é o ângulo de inclinação máxima, medido em graus, a ser vencido entre a altura do produto e a horizontal. Portanto, para que o produto permaneça em equilíbrio, é necessário que o grão situado na superfície esteja em equilíbrio estático, sendo uma variável fundamental no dimensionamento de estruturas como silos, rampas e moegas, e de equipamentos como correias, e quanto maior o ângulo, maiores serão as dimensões das estruturas/equipamentos (POHNDORF et al., 2011). Este ângulo pode variar de acordo com o teor de água, dimensões dos grãos, constituição externa e com a quantidade de impurezas que, por atrito, dificulta o escoamento da massa (MOTA, 2016; LOPES et al., 2019; VALE e MONTEIRO, 2021).

A massa específica é a relação entre a massa de um produto e o volume que esta ocupa, de modo que ao ser calculada para uma parcela de grãos é considerada massa específica aparente e para apenas um grão é considerada massa específica unitária (BOTELHO et al., 2018a). Para alguns produtos pode ser considerada um parâmetro de qualidade e rendimento (SILVA e CORRÊA, 2000; CORRÊA et al., 2006), além de ser uma informação fundamental no dimensionamento de unidades armazenadoras e equipamentos transportadores (SPIES et al., 2011).

Durante o processo de secagem a propriedade física, índice de contração volumétrica é considerada uma das mais importantes e varia de acordo com o método de secagem

empregado e as singularidades físicas e químicas do produto que será seco (SMANIOTTO et al., 2015). Ademais, pode ser descrito como a variação do volume de grãos para cada teor de água, tendo como base o volume inicial, sendo usado para representar de forma coerente a idiosincrasia do volume da massa de grãos em secadores, otimizando assim o processo de dimensionamento e monitoramento, resultando no uso desses em sua capacidade máxima (SIQUEIRA et al., 2012; QUEQUETO et al., 2018)

Para se estabelecer modelos de secagem exatos e concisos, devem ser aplicados os parâmetros relacionados à contração volumétrica, pois essa interfere na transferência de calor e massa, fatores fundamentais durante o processo (CORRÊA et al., 2006; RAMOS et al., 2005).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Processos Pós-Colheita da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), localizado na Rodovia Dourados – Itahum, km 12, Cidade Universitária, Dourados – MS.

Os grãos de feijão mungo, foram produzidos na Área Experimental da Faculdade de Ciências Agrárias da UFGD, localizada na latitude 22°11'56"S e longitude 54°56'20"W. A colheita e a debulha foram realizadas quando os grãos apresentaram teor de água de 0,48 base seca (b.s.), aproximadamente. Posteriormente, os grãos foram colocados em sacos plásticos de polietileno transparente, em câmara fria à 5 °C, para uniformização da massa. O teor de água, dos materiais foi determinado pelo método de gravimetria, em estufa de circulação de ar forçado por 24 h à 105 ± 1 °C (BRASIL, 2009), modificado para três repetições.

O processo de secagem foi realizado no Laboratório de Processos Pós-Colheita (LPPC), da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), no secador experimental de camada fixa, à temperatura de 38,5 °C, até atingir o teor de água final de 0,13 base seca (b.s). Os grãos foram monitorados por diferença de massa tomando-se nota do teor de água inicial.

A massa específica aparente (ρ_{ap}), em kg m⁻³, foi determinada utilizando uma balança de resolução 0,01 g, um recipiente cilíndrico com volume de aproximadamente 1 litro. Os grãos foram despejados no cilindro com a utilização de um funil, fixado a uma barra metálica, a fim de garantir que os grãos se acomodassem no recipiente de forma homogênea. A altura de queda entre a saída do funil e o cilindro foi de 0,046 m. Para cada teor de água foram medidas apenas as massas de grãos contidas no volume do recipiente, removendo o volume de grãos em excesso com a utilização de uma espátula niveladora (Figura 1).



Figura 1. Aparato para determinação da massa específica de grãos, utilizado com o nivelamento da massa.

Fonte: Autoria própria, 2023.

A porosidade da massa dos grãos foi determinada pelo método direto adaptado, dado o descarte da amostra após análise. A experimentação foi realizada com a utilização de uma proveta de 100 mL, onde os grãos foram despejados até completar o volume, e uma bureta graduada de 100 mL, preenchida com hexano. O hexano foi despejado dentro da proveta, até preencher o volume (Figura 2), em que a quantidade utilizada de fluido representou a porosidade, com os resultados já expressos em porcentagem. Foi utilizado o hexano por não ser absorvido pela massa de grãos, devido sua baixa densidade (DONADON et al., 2012).



Figura 2. Preenchimento dos espaços vazios da proveta, com grãos, utilizando hexano.

Fonte: Autoria própria, 2023.

O ângulo de repouso foi determinado por meio de um prisma transparente de acrílico com dimensões de 0,27 x 0,10 x 0,35 m (comprimento, largura e altura), com uma de suas laterais móvel, de modo a permitir o escoamento do produto quando aberta. O prisma foi preenchido com a massa de grãos, com altura de queda de 0,20 m e posteriormente, teve sua lateral removida, promovendo o escoamento parcial dos grãos (Figura 3).



Figura 3. Representação e disposição dos grãos de feijão mungo após experimentação.
Fonte: Autoria própria, 2023.

Após a formação do talude resultante, calculou-se o ângulo de repouso encontrado pelo arco-tangente do quociente da altura do cone pela base da plataforma, como descrito na equação (1).

$$\alpha = \arctg\left(\frac{h}{c}\right) \quad (1)$$

em que:

α : ângulo de repouso (graus);

h : altura (cm); e

c : comprimento (cm).

A contração volumétrica foi determinada com auxílio de um becker de 500 mL. Este foi preenchido com grãos (Figura 4), volume inicial, com uma altura de queda de aproximadamente 0,15 m. Para cada teor de água pré-estabelecido, os grãos foram despejados novamente no becker e registrado o novo volume da massa de grãos.



Figura 4. Becker preenchido com grãos de feijão mungo para determinação do volume inicial.
Fonte: Autoria própria, 2023.

Para o cálculo do índice de contração volumétrica da massa dos grãos de feijão mungo ao longo do processo de secagem, foi utilizada a Equação (2):

$$\psi = \frac{V}{V_0} \quad (2)$$

em que:

ψ : índice de contração volumétrica (decimal);

V : volume da massa de grãos em cada teor de água (m^3); e

V_0 : volume inicial da massa de grãos (m^3).

Os modelos matemáticos foram ajustados aos dados do índice de contração volumétrica da massa de grãos de feijão mungo, dispostos na Tabela 1.

Tabela 1. Modelos matemáticos usados para representar o índice de contração volumétrica da massa de grãos de feijão mungo em função de seu teor de água.

Designação do modelo	Modelo	
Rahman (1995)	$\psi = 1 + \beta (U - U_0)$	(3)
Corrêa et al. (2004)	$\psi = 1 / [a + b \exp(U)]$	(4)
Exponencial	$\psi = a \exp(b U)$	(5)
Linear	$\psi = a + b U$	(6)
Polinomial de segunda ordem	$\psi = a + b U + c U^2$	(7)
Bala e Woods (1984) modificado	$\psi = 1 - a \{1 - \exp[-b (U_0 - U)]\}$	(8)

Fonte: Elaborada pelos autores, 2023.

em que:

U_0 - Teor de água inicial;

U – Teor de água final; e
 a, b, β - Coeficientes dos modelos.

Os dados experimentais de contração volumétrica, foram submetidos a uma análise de regressão não linear, pelo método proposto por Gauss-Newton utilizando um programa estatístico.

O modelo selecionado foi avaliado e definido através de valores dos parâmetros observados, tais como erro médio relativo (P), erro médio estimado (SE), coeficiente de determinação (R^2) e o comportamento da distribuição dos resíduos (DR). Os modelos com o parâmetro P menor que 10% podem ser considerados satisfatórios, e quanto mais baixos os valores de SE, melhor o ajuste do modelo aos dados observados (MOHAPATRA e RAO, 2005; FARIA et al., 2012; MENEGHETTI et al., 2012; SANTOS et al., 2013; GONELI et al., 2014; CAMICIA et al., 2015; BOTELHO et al., 2018b). Os valores de P e SE foram obtidos seguindo as equações (9) e (10):

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{Y - \hat{Y}}{Y} \right) \quad (9)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (10)$$

em que,

Y - Valor observado experimentalmente;

\hat{Y} - Valor calculado pelo modelo;

n - Número de observações experimentais, e

GLR - Graus de liberdade do modelo (número de observações menos o número de parâmetros do modelo).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O comportamento do ângulo de repouso dos grãos de feijão Mungo, durante o processo de secagem, ocorreu de forma linear e decrescente, com amplitude de aproximadamente $5,6^\circ$ no intervalo de teor de água de 0,43 para 0,13 b.s. (Figura 5). Este comportamento descendente também foi evidenciado no trabalho realizado por Mota (2016), com diferentes cultivares de feijão carioca e por Aviara et al. (2013) com grãos de Moringa oleífera, indicando a influência do teor de água nesta propriedade física.

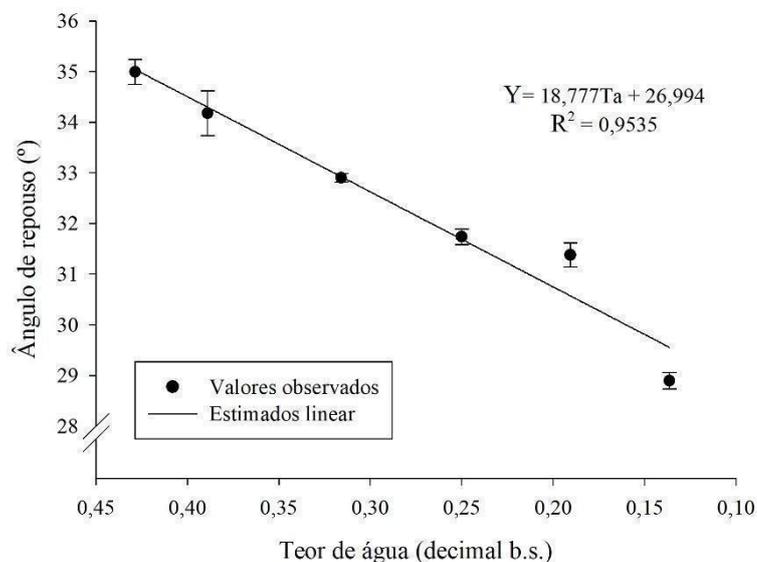


Figura 5. Comportamento do ângulo de repouso dos grãos de feijão mungo, em função de seu teor de água.

Fonte: Elaborada pelos autores, 2023.

Ao estudar o feijão fradinho, Lanaro (2011) encontrou um ângulo de repouso de 23° para os grãos com teor de água de 13%. Neste mesmo teor de água, o valor estimado desta propriedade física para os grãos de feijão mungo, foi de aproximadamente 29° , resultado similar ao obtido na pesquisa realizada por Neto et al. (2012), com grãos de feijão Engopa Ouro. Como essa propriedade interfere no fluxo de movimentação de grãos de unidades armazenadoras, principalmente em equipamentos que descarregam por gravidade, a análise desta propriedade é fundamental para o dimensionamento correto, visto que em um mesmo teor de água, o ângulo de repouso pode variar a depender do grão.

O ângulo de repouso dos grãos de feijão mungo apresentou uma redução de aproximadamente $5,6^\circ$ durante o processo de secagem. Araújo et al. (2018), ao estudarem essa propriedade com grãos de feijão caupi, obtiveram uma variação de $10,4^\circ$ no ângulo de repouso,

em um intervalo de teor de água de 0,25 para 0,13 b.s.. Essa diferença de amplitude pode ter ocorrido em decorrência de fatores intrínsecos e extrínsecos a massa, como: tamanho, formato e impurezas (LOPES et al., 2019).

Na Figura 6 estão apresentados os valores médios de massa específica aparente dos grãos durante o processo de secagem. Nota-se a elevação nos valores desta propriedade física, que ocorreu provavelmente em razão da contração volumétrica, em que a redução do volume foi maior do que a redução da massa dos grãos. Este comportamento crescente é similar aos resultados encontrados nas pesquisas realizadas por Resende et al. (2008), com a cultivar de feijão Vermelho Coimbra, por Spies et al. (2011) com grãos de soja e por Mota (2016), com as cultivares de feijão Pérola e Estilo.

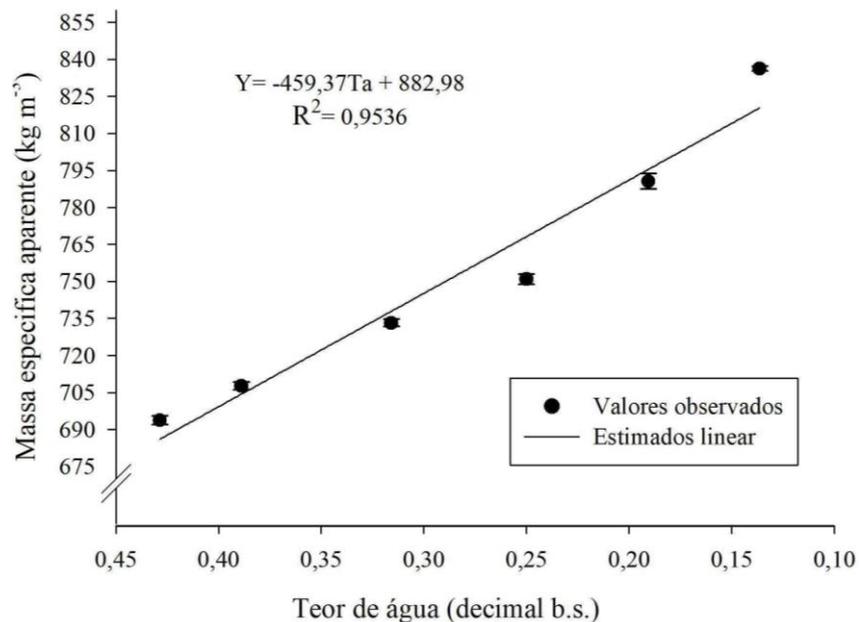


Figura 6. Valores observados e estimados da massa específica aparente dos grãos de feijão mundo em função de seu teor de água.

Fonte: Elaborada pelos autores, 2023.

Os valores estimados de massa específica aumentaram de 685,45 kg m⁻³ para 823,3 kg m⁻³ durante o processo de secagem. Este comportamento da massa específica é similar ao observado em trabalhos de secagem com outras espécies e cultivares de feijão, como: feijão caupi, que variou de 748,9 para 782,2 kg m⁻³ (ARAÚJO et al., 2018), feijão *Vigna mungo* (L.) Hepper, que aumentou de 777,6 para 883,6 kg m⁻³ (SHARON et al., 2015), e feijão comum *P. vulgaris* L., de 738,7 para 757,1 kg m⁻³ (JESUS et al., 2013).

Durante o processo de secagem, houve a diminuição dos espaços vazios da massa, possivelmente em razão da redução da superfície de contato e formato dos grãos (Figura 7). O

modelo linear descreveu satisfatoriamente esta relação entre a porosidade e o teor de água dos grãos de feijão mungo.

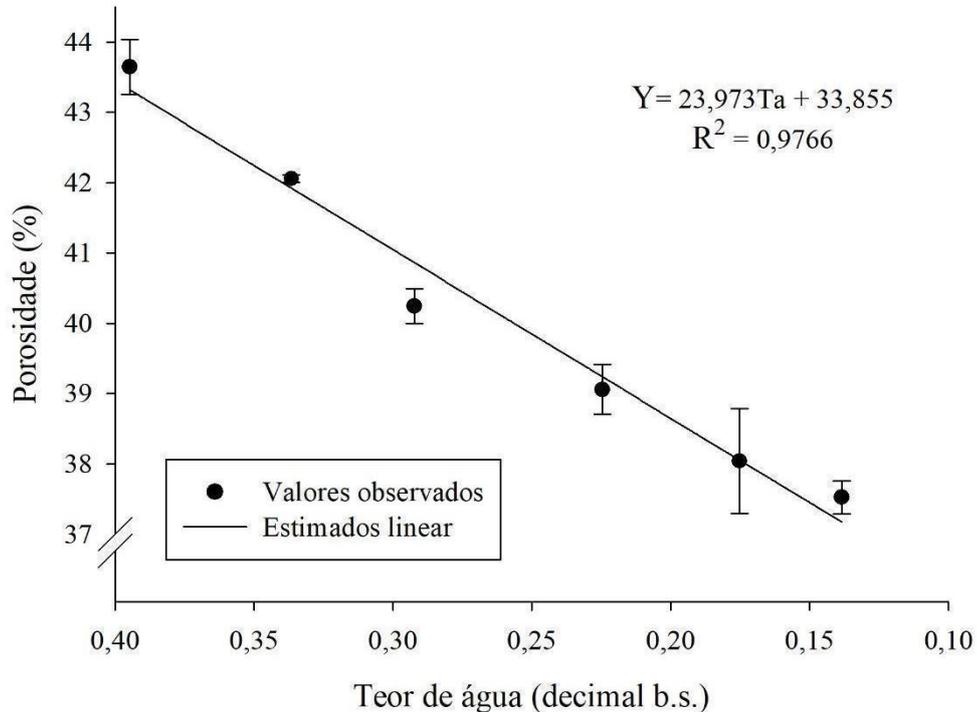


Figura 7. Valores observados e estimados, da porosidade dos grãos de feijão mungo em função de seu teor de água.

Fonte: Elaborada pelos autores, 2023.

O comportamento da porosidade foi decrescente e linear, com amplitude de aproximadamente 43,3%, com teor de água de 0,39 b.s., até 37,3%, com teor de água de 0,14 b.s.. Oba et al. (2019), em uma pesquisa com secagem de grãos de feijão-caupi, observaram redução linear da porosidade, de 41,8 para 24,8%.

Em pesquisas realizadas com grãos de café robusta (BOTELHO et al., 2016), grãos de niger (SILVA et al., 2018) e de feijão-fava rajada (SILVEIRA et al., 2019), os autores encontraram comportamentos similares, em que conforme ocorre redução do teor de água, há diminuição da porosidade. Rodrigues et al. (2020) sugeriram que há maior tendência de formação de espaços vazios nas massas de grãos com teores de água mais elevados, provavelmente em razão dos grãos úmidos possuírem maior tensão superficial do que os grãos secos. A redução desta propriedade, também pode ser justificada devido à contração volumétrica dos grãos durante o processo de secagem, ocasionando em melhor acomodação da massa.

A variação da porosidade poderia ser ainda mais significativa a depender de outras características inerente a massa de grãos. Corrêa et al. (2001) observaram que a quantidade de

impurezas na massa pode aumentar ou diminuir a porosidade, a depender de suas características, como impurezas finas ou grossas. Neste trabalho, este fator foi desconsiderado mediante colheita e debulha manual, com remoção das impurezas e matérias estranhas.

Na Tabela 2 estão dispostos os valores de P, SE, R^2 e DR calculados para cada modelo matemático de regressão para descrever a contração volumétrica dos grãos de feijão mungo durante o processo de secagem.

Tabela 2. Erro médio relativo (P), desvio padrão da estimativa (SE), coeficiente de determinação (R^2) e distribuição Residual (DR) - sendo aleatórios (A) ou tendenciosos (T), dos modelos utilizados para descrever a contração volumétrica de grãos de feijão Mungo durante a secagem.

Modelos	P (%)	SE (decimal)	R^2 (decimal)	DR
(3)	3,596	0,041	0,849	T
(4)	1,739	0,025	0,957	A
(5)	2,627	0,034	0,918	T
(6)	3,134	0,039	0,894	T
(7)	2,020	0,024	0,969	A
(8)	1,543	0,017	0,980	A

Fonte: Elaborada pelos autores, 2023.

Segundo Kashaninejad et al. (2007) o coeficiente de determinação pode indicar ajuste adequado quando superior a 0,95. Deste modo, os resultados obtidos pelas equações (4), (7) e (8) foram os que melhor se ajustaram aos dados experimentais de contração volumétrica, sendo 0,957, 0,969 e 0,980, respectivamente. Ainda assim, é necessário a análise de outros parâmetros juntamente ao coeficiente de determinação para seleção do modelo mais satisfatório (MOHAPATRA e RAO, 2005).

Observa-se que para todas as equações obteve-se valores de erro médio relativo inferiores à 10%, portanto, pode-se dizer que os modelos utilizados apresentaram ajustes satisfatórios para descrever a propriedade, visto que baixos resultados de P indicam que os desvios dos valores ajustados, em relação aos calculados experimentalmente, são considerados não significativos, conforme sugerido por Mohapatra e Rao (2005).

Os valores de erro médio estimado de todas as equações foram satisfatórios, por estarem próximos de zero. Os melhores resultados foram obtidos pelos modelos Bala & Woods (1984) modificada, Polinomial de segunda ordem e Corrêa et al. (2004), com valores de SE igual à 0,017, 0,024 e 0,025, respectivamente, visto que a adequação do modelo possui relação

inversamente proporcional ao desvio de estimativa. Estes mesmos modelos, (8), (7) e (4) foram os únicos que apresentaram distribuição de resíduo Aleatória.

A distribuição de resíduo é caracterizada como aleatória quando os valores residuais estiverem dispostos próximos à linha horizontal fixada em zero (Figura 8A), em que este tipo de modelo pode ser considerado aceitável, conforme sugerido por Botelho et al. (2018b). Já para os modelos que apresentarem valores residuais distantes do eixo horizontal, superestimando ou subestimando as condições reais, com tendência à formação de figuras geométricas, são considerados inadequados para representação do fenômeno e a distribuição residual é caracterizada como tendenciosa (Figura 8B).

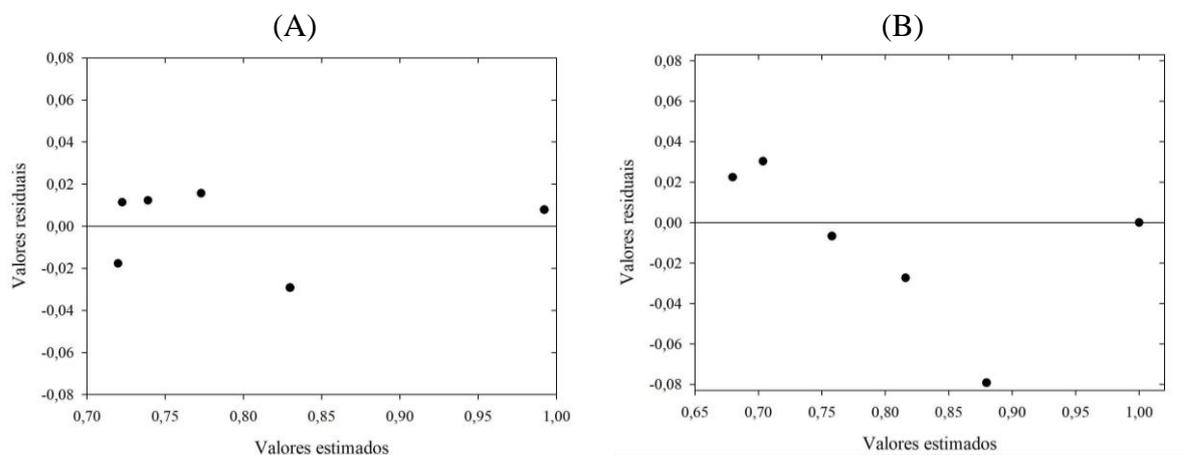


Figura 8. Distribuição de resíduos aleatória (A) e tendenciosa (B), obtidas pelas modelagens Polinomial de segunda ordem e Rahman (1995), para o índice de contração volumétrica dos grãos de feijão mungo.

Fonte: Elaborada pelos autores, 2023.

Dentre os modelos avaliados neste trabalho, os modelos Corrêa et al. (2004), Polinomial de segunda ordem e Balla e Woods (1984) modificado foram os que melhor se ajustaram, e que melhor representaram o fenômeno da contração volumétrica dos grãos de feijão mungo. Siqueira et al. (2012) e Botelho et al. (2018b), obtiveram resultados satisfatórios com a utilização do modelo Polinomial de segunda ordem, em pesquisas com grãos de pinhão-manso e soja, respectivamente. Este modelo, foi selecionado para representar o índice de contração volumétrica no presente trabalho, por descrever adequadamente a propriedade para todos os parâmetros analisados.

Na Figura 9 estão dispostos os valores observados e estimados para representação do índice de contração volumétrica dos grãos de feijão mungo durante o processo de secagem, ajustados pelo modelo Polinomial de segunda ordem. Observa-se que a massa apresentou

contração volumétrica de 27,9% com o processo de secagem, com boa representação do comportamento pelo modelo proposto.

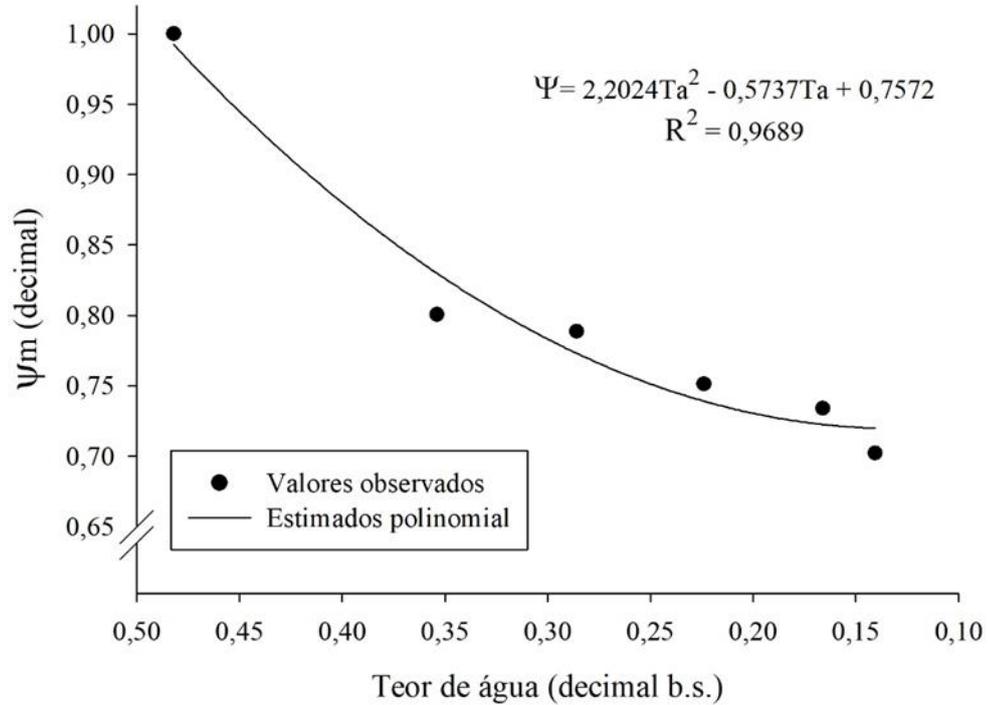


Figura 9. Valores observados e estimados, pelo modelo Polinomial de segunda ordem, do índice de contração volumétrica dos grãos de feijão mungo em função de seu teor de água. Fonte: Elaborada pelos autores, 2023.

5. CONCLUSÃO

O comportamento do ângulo de repouso e da porosidade dos grãos de feijão mungo foi linear e decrescente durante o processo de secagem, comportamento inverso ao da massa específica, que se elevou com a redução do teor de água.

Os modelos matemáticos Corrêa et al. (2004), Polinomial de segunda ordem e Balla e Woods (1984) modificado podem ser utilizados para representação da contração volumétrica da massa dos grãos de feijão mungo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, A. L. S. **Isolamento da vicilina do feijão mungo verde (*Vigna radiata* L.) e estudo de suas atividades hipocolesterolêmica e antimicrobiana.** 2016. 45f. Tese (Doutorado em Alimentos e Nutrição) – Faculdade de ciências farmacêuticas, Universidade Estadual Paulista, “Júlio Mesquita Filho”, Araraquara, 2016. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/144669/amaral_als_dr_fcfar_par.pdf?sequence=5. Acesso em: 11 jan. 2022.
- ANJUM, M. S.; AHMED, Z. I.; RAUF, C. A. Efeito da inoculação de *Rhizobium* e fertilizante nitrogenado na produtividade e nos componentes da produção de feijão-mungo. **Jornal Internacional de Agricultura e Biologia**, Rawalpindi, 2006, v. 8, n. 2, p. 238–240, 2006. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=PK2007000238> Acesso em: 05 fev. 2022.
- ARAUJO, R. F.; ZONTA J. B.; ARAUJO E. F.; HEBERLE E.; ZONTA F. M. G. Teste de condutividade elétrica para sementes de feijão-mungo-verde. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 123-130, nov. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-31222011000100014> Acesso em: 15 mar. 2022.
- ARAUJO, W. D.; GONELI, A. L. D.; SOUZA C. M. A.; GONÇALVES A.; VILHASANTI H. C. B. Propriedades físicas dos grãos de amendoim durante a secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, 2014, v. 18, n. 3, p. 279-286, abr. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000300006> Acesso em: 22 mar. 2022.
- ARAÚJO M. J. I.; BOTELHO F. M.; BOTELHO S. C. C.; JUNIOR J. A. N. M.; ALMEIDA L. C. B. Propriedades físicas de grãos de feijão caupi. In: anais **XLVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, Brasília, p. 1-4, ago. 2018. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1105827>. Acesso em: 30 mar. 2022.
- AVIARA, N. A.; POWER P. P.; ABBAS T. t physical properties of Moringa oleifera seed relevant in bulk handling and mechanical processing. **Industrial Crops and Products**, Maiduguri, v. 42, p. 96-104, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.05.001>. Acesso em: 06 jun. 2022.
- AZEVEDO, M. R. Q. A.; GOUVEIA, J. P. G. TROVÃO, D. M. M.; QUEIROGA V. P. Influência das embalagens e condições de armazenamento no vigor de sementes de gergelim. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 519-524, out. 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662003000300019>. Acesso em: 18 fev. 2022.
- BARRADAS, C. A. A.; SAYÃO, F. A. D.; DUQUE, F. F. **Feijão mungo: uma alternativa protéica na alimentação.** Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPBS, 1989. 4p. (EMBRAPA/CNPBS. Comunicado Técnico, 4.). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/623350/1/cot004.pdf>. Acesso em: 15 set. 2022.
- BOTELHO, F. M.; GRANELLA, S. J.; BOTELHO, S. C. C.; GARCIA, T. R. B. Influência da temperatura de secagem sobre as propriedades físicas dos grãos de soja. **Revista**

Engenharia na Agricultura, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 212-219, mai. 2015. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1040059>. Acesso em: 12 jun. 2022.

BOTELHO, F. M.; CORREA P. C.; BOTELHO S. C. C.; VARGAS-ELÍAS, G. A.; ALMEIDA M. D. S. D.; OLIVEIRA, G. H. H. Propriedades físicas de frutos de café robusta durante secagem: determinação e modelagem. **Coffe Science**, Lavras, v.1, p. 65-75, jan./mar. 2016. Disponível em: <https://wwwsbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/8174>. Acesso em: 03 ago. 2022.

BOTELHO, F. M.; FARIA, B. M. E. M.; BOTELHO, S. C. C.; MARTINS R. N. Metodologias para determinação de massa específica de grãos. **Agrarian**, Dourados, v. 11, n. 41, p. 251-259, mai. 2018a. Disponível em: <https://doi.org/10.30612/agrarian.v11i41.7922>. Acesso em: 10 out. 2022.

BOTELHO, F. M.; HAUTH, M. R.; HOSCHER R. H.; BOTELHO, S. C. C.; Modelagem matemática da contração volumétrica de grãos de soja durante o processo de secagem. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 26, n. 01, p. 1-12, fev. 2018b. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1041468/1/2015resumosivjornada_cientifica.pdf#page=39 Acesso em: 13 ago. 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**, Brasília, 2009. 398 p. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumosagropecuarios/arquivospublicacoesinsumos/2946_regras_analise_sementes.pdf. Acesso em: 21 nov. 2022.

CARDOSO, R. B.; BINOTTI, F. F. 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./set. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1983-40632012000300006>. Acesso em: 12 jan. 2022.

CAMICIA, R. G. M.; CHRIST D. COELHO, S. R. M.; CAMICIA, R. F. M. Modelagem do processo de secagem de sementes de feijão-caupi. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 3, p. 206-214, jul/set. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n323rc>. Acesso em: 13 dez. 2022.

CORRÊA, P. C.; GUIMARÃES W. T.; AFONSO JÚNIOR, P. C. Efeito do nível e do tamanho de impurezas nas propriedades físicas da massa granular de feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, p. 97-100, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662001000100017>. Acesso em: 28 mai. 2022.

CORRÊA, P. C.; RIBEIRO, D. M.; RESENDE, O.; BOTELHO, F. M.; Determinação e modelagem das propriedades físicas e da contração volumétrica do trigo, durante a secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 665-670, dez. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000300019>. Acesso em: 25 abri. 2022.

CORRÊA, P. C.; RIBEIRO, D. M.; RESENDE, O.; BOTELHO, F. M. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. **Revista Engenharia Agrícola**, Campina Grande, v. 27, n. 2, p. 501-510,

mai./ago. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162007000300020>. Acesso em: 30 maio. 2022.

CORRÊA, P. C.; SILVA, J. S. **Estrutura, composição e propriedades dos grãos**. In: SILVA, J. S. Secagem e armazenamento de produtos agrícolas. Viçosa: Editora Aprenda Fácil, 2008. 560 p. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/264467515_Estrutura_composicao_e_propriedades_dos_graos. Acesso em: 18 jan. 2022.

CRUZ, A. R. M. **Coberturas mortas na produção de feijão-mungo (*Vigna radiata* L.)**. 2017. 52f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Agronomia) - Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, nov. 2017. Disponível em: <https://unilab.edu.br/wp-content/uploads/2020/04/TCC-Antonio-Ricardo-Feijao-2017.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2023.

DAHIYA, P. K.; LINNEMAN, A. R.; VAN BOEKEL M. A. J. S.; KHETARPAUL, N.; GREWAL, R. B.; NOUT, M. J. R. Mung Bean: Technological and Nutritional Potential, Critical Reviews. **Food Science and Nutrition**, Hisar, v. 55, n. 5, p. 670-688, jul. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.671202>. Acesso em: 10 dez. 2022.

DAHU, S.; CARVALHO, M. L. S.; LUCAS, M. R. A importância do Feijão Mungo no suco de leolima, sub Distrito Balibo, Distrito de Bobonaro - análise da sua produção e comercialização. 2016. Trabalho apresentado em anais do **VIII Congresso da APDEA**, Coimbra. 2016. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10174/20184>. Acesso em: 20 jan. 2022.

DONADON, J. R.; RESENDE, O.; CASTRO, C. F. S.; MENDES, U. C. GONÇALVES, D. N. Comparação entre o tolueno e o hexano na determinação da porosidade intergranular de diferentes produtos agrícolas. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 37, n. 2, p. 37-40, 2012. Disponível em: <https://10.13083/reveng.v27i6.96>. Acesso em: 17 jul. 2022.

FARIA, R. Q.; TEIXEIRA, I. R.; DEVILLA, I. A.; ASCHERI, D. P. R.; RESENDE, O. Cinética de secagem de sementes de crambe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 5, p. 573-583, fev. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000500014>. Acesso em: 9 set 2022.

GONELI, A. L. D.; NASU, A. K.; GANCEDO, R.; ARAÚJO, W. D.; SARATH, K. L. L. Cinética de secagem de folhas de erva baleeira (*Cordia verbenacea* DC.). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Campinas, v. 16, n. 2, p. 434-443, fev. 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1983-084X/13_041. Acesso em: 21 nov. 2022

ISMAIEL, I. A. E. M. I. **Botanical Studies on Mung bean (*Vigna radiata*) Plants Under Some Growth Conditions**. 2004. 188f. Tese (Mestrado em Ciências da Agricultura) - Moshtohor Zagazig University, Benha Branch. dez. 2004. Disponível em: https://www.bu.edu.eg/portal/uploads/Agriculture/Botany/1292/publications/Ibrahim%20Abdel-Moneim%20Ibrahim%20Ismaiel%20El-Fiki_M%20Sc.%20Thesis.pdf. Acesso em: 15 jun. 2022

JADHAV, M.; TAUR, N.; SAPKAL, S.; TATHE S.; QUADRI, F. Study on effect of caffeine on growth of *Vigna radiata* L. **International Journal of Advanced Research**, Aurangabad, v. 4, n. 3, p. 596-602, mar. 2016. Disponível em: https://www.journalijar.com/uploads/35_IJAR-9147.pdf. Acesso em: 26 out. 2022.

JESUS, F. F.; SOUZA, R. T. G.; TEIXEIRA, G. C. S.; TEIXEIRA, I. R.; DEVILLA, I. A. Propriedades físicas de sementes de feijão em função de teores de água. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 21, n. 1, p. 09-18, nov. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.13083/reveng.v21i1.390>. Acesso em: 03 fev. 2023.

KALIM, A.; ZAHEER M.; SIDDIQUI, M. U. A.; AHMED, S.; HASSAN, M. M. Nutritional value, ethnomedicine, phytochemistry and pharmacology of *Vigna Radiata* (L.) R. Wilczek. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, New Delhi, v. 10, n. 2, p. 54-58, fev. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.22271/phyto.2021.v10.i2a.13821>. Acesso em: 19 abr. 2022

KASHANINEJAD, M.; MORTAZAVI, A.; SAFEKORDI, A.; TABIL, L. G. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, Bing Wang, v. 78, n. 1, p. 98-108, nov. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.09.007>. Acesso em: 01 mar. 2023.

LANARO, N. D.; BAJAY, L. G.; QUEIROZ, V. M. P.; PINTO, R. C. S.; LEITÃO, I. G. A.; LESSIO, B. C.; AUGUSTO, P. E. D. Determinação de propriedades físicas do feijão fradinho. **Revista Brasileira de produtos Agroindustriais**. Campina Grande, v. 13, n. 1, p. 27-35, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15871/1517-8595/rbpa.v13n1p27-35>. Acesso em: 22 jan. 2023.

LIMA, A. L. **Produção de brotos de fabaceae para o consumo humano**. 2006, 128f. Dissertação (Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006. Disponível em: <https://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/2/2797>. Acesso em: 14 out. 2022.

LOPES, M. A. S.; RESENDE, O.; BESSA, J. F. V.; LIMA, R. R.; QUEQUETO, W. D. Propriedades físicas dos grãos de soja, cotilédones e impurezas. **Revista de Ciências Agrárias**, Rio Verde, v. 42, n. 4, p. 962-970, jul. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.19084/rca.18030> Acesso em: 26 jun. 2022.

MATA, M. E. R. M. C.; DUARTE, M. E. M. Porosidade intergranular de produtos agrícolas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 79-93, 2002. Disponível em: [10.15871/1517-8595/rbpa.v4n1p79-93](https://doi.org/10.15871/1517-8595/rbpa.v4n1p79-93). Acesso em: 19 fev. 2022.

MADRUGA, F. B.; SARAIVA, C. R. C.; BERLE, H.; PASA, M. S.; TUNES, L. V. M.; ALMEIDA, A. S. Sementes de pulses: situação atual e perspectivas. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 10, n. 12, p. 1-10, set. 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/20217>. Acesso em: 10 mai. 2023.

MENEGHETTI, V. L.; AOSANI, E.; ROCHA, J. C.; OLIVEIRA, M.; ELIAS, M. C.; POHNDORF, R. S. Modelos matemáticos para a secagem intermitente de arroz em casca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 10, p.

1115-1120, jul. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012001000012>. Acesso em: 28 abr. 2022.

MILMAN, M. J. **Equipamentos para pré-processamento de grãos**. Pelotas: Editora Universitária – UFPEL, Pelotas, 2002, 206 p. Disponível em: https://www.academia.edu/8156152/Equipamentos_para_pr%C3%A9_processamento_de_gr%C3%A3os. Acesso em: 02 nov. 2022.

MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, Bing Wang, v. 66, p. 513-518, abr. 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.04.023>. Acesso em: 12 jul. 2022.

MOTA, D. H. **Propriedades físicas durante a secagem e qualidade tecnológica em cultivares de feijão carioca em diferentes condições de armazenamento**. 2016. 175f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília, mai. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.26512/2016.05.D.21139>. Acesso em: 24 fev. 2023.

NASCIMENTO, W. M.; DIAS, D. C. F. S.; SILVA, P. P. Qualidade da semente e estabelecimento de plantas de hortaliças no campo. In: NASCIMENTO, W.M. (Ed.). **Hortaliças: tecnologia de produção de sementes**. Porto Alegre: Embrapa Hortaliças, nov. 2011. p. 79-106.20. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/911285/4/palestra17CursoSementesHortalicas11.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2023.

OLIVEIRA NETO, M. C. de.; Reis R. C.; DEVILLA, I. A. Propriedades físicas de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) variedade “Emgopa 201 – Ouro”. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v.1, n. 1, p. 99-110, 2012. Disponível em: <https://docplayer.com.br/43284651-Propriedades-fisicas-de-sementes-de-feijao-phaseolus-vulgaris-l-variedade-emgopa-201-ouro.html>. Acesso em: 14 set. 2022.

OBA, G. C.; GONELI, A. L. D.; MARTINS, E. A. S.; HARTMANN FILHO, C. P.; GONÇALVES, A. A. Caracterização física das sementes de feijão-caupi, cultivar BRS Guariba, durante o processo de secagem. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 34, n. 2, p. 283-296, abr/jun. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2019v34n2p283-296>. Acesso em: 22 jul. 2022.

PANDEY, O. P.; SHAHI S. K.; DUBEY, A. N.; MAURYA, S. K. Effect of integrated nutrient management of growth and yield attributes of green gram (*Vigna radiata* L.). **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, New Delhi, v. 8, n. 3, p. 2347-2352, abr. 2019. Disponível em: <https://www.phytojournal.com/archives?year=2019&vol=8&issue=3&ArticleId=8363&si=false>. Acesso em: 21 out. 2022.

PEREIRA, C. S.; VILLA NETO, R. D.; FIORINI I. V. A.; PONTELO, L.; SILVA A. A. da. Doses de nitrogênio e níveis de irrigação em feijão Mungo (*Vigna radiata* L.). **Tecno-Lógica**, Santa Cruz do Sul, v. 23, n. 1, p. 63-69, jan./jun. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.17058/tecnolog.v23i1.12512>. Acesso em: 19 jun. 2022.

PRATAP, A.; GUTPA, D. S.; SINGH B. B.; KHUMAR S. Development of Super Early Genotypes in Greengram (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). **Legume Research: An International Journal**, Karnal, v. 36, n. 2, p. 105-110, fev. 2013. Disponível em: <https://>

arccjournals.com/journal/legume-research-an-international-journal/ARCC214. Acesso em: 10 fev. 2023.

QUEQUETO, W. D.; SIQUEIRA, V. C.; SCHOENINGER, V.; MARTINS, E. A. S.; ISQUIERDO, E. P.; SILVA, F. P. da. Physical properties of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) grains during convective drying. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, n. 11, p. 793-798, set. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n11p793-798> Acesso em: 23 mar. 2023.

RAMOS, I. N.; BRANDÃO, T. R. S.; SILVA, C. L. M. Integrated approach on solar drying, pilot convective drying and microstructural changes. **Journal of Food Engineering**. Bing Wang, v. 67, n. 1, p. 195-203, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.05.069>. Acesso em: 12 nov. 2022.

RESENDE, O.; Corrêa, P. C.; GONELI, A. L. D.; RIBEIRO, D. M. Propriedades físicas do feijão durante a secagem: determinação e modelagem. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, p. 225-230, jan./fev. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S141370542008000100033>. Acesso em: 13 jun. 2022.

RODRIGUES, L. M. S.; FERREIRA, J. S.; GOMES, J. P.; SILVA, S. D.; VIEIRA, A. F. SILVA, L. P. F. R. da.; SILVA, A. O. Influência do tempo de secagem nas propriedades físicas de *Helianthus annuus*. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 10, p. 81553-81559, out. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n10-544>. Acesso em: 15 ago. 2022.

SANTOS, D. C.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. de.; OLIVEIRA, E. N. A. de. Cinética de secagem de farinha de grãos residuais de urucum. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.2, p. 223-231, nov. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000200014>. Acesso em: 08 dez. 2022.

SEIXAS, M.; CONTINI, E. **Pulses-produção, consumo e mercados na Índia e oportunidades para o Brasil e a EMBRAPA**. Brasília, DF: EMBRAPA - Diálogos Estratégicos, fev. 2018. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1096615>. Acesso em: 17 set. 2022.

SEIXAS, M.; CONTINI, E.; SOARES, C. O. Despertar de um gigante do agronegócio. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v. 27, n. 3, p. 95-113, jul./set. 2018. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1447/pdf>. Acesso em: 26 jun. 2022.

SHARON, M. E. M.; ABIRAMI C. V. K.; ALAGUSUNDARAM, K.; ALICE, J. R. P. S. Moisture dependent physical properties of black gram. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, Beijing, v. 17, n. 1, p 181 -187, mar. 2015. Disponível em: <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/2803>. Acesso em: 24 ago. 2022.

SILVA, F. P.; SIQUEIRA, V. C.; QUEQUETO, W. D.; JUNQUEIRA, M. H.; GONELI, A. L. D. Propriedades físicas dos grãos de niger. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 26, n. 6, p. 507-515, dez. 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/43174>. Acesso em 29 mai. 2022

SILVA, E. C. **Produção e qualidade fisiológica de sementes de feijão mungo em função de densidade populacional de plantas**. 2019. 60f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Goiás, Ipameri. 2019. Disponível em: <http://www.bdttd.ueg.br/handle/tede/559>. Acesso em: 09 out. 2022.

SILVA, J. M. H. M.; MAIA, M. E. P.; BERGMANN, M. F.; BRUSKE, M.; ROCHA, M. C.; GIOVANETTI, R. X.; CARVALHO, T. P.; BALBI, M. E. Produção e avaliação nutricional de farinha de moyashi-broto de feijão mungo-verde (*Vigna radiata*, Fabaceae). **Visão Acadêmica**, Curitiba, v. 20, n. 2, p. 37 – 47. abr./jun. 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/acd.v20i2.66886>. Acesso em: 13 fev. 2023.

SILVEIRA, D. C.; LEITE, A. C. N.; SANTOS, N. C.; GOMES, J. P. Características físicas de grãos de feijão-fava rajada, (*Phaseolus lunatus* L.). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 14, n. 4, p. 518-523, out/dez. 2019. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7185351>. Acesso em: 22 jan. 2023.

SINGH, D. P.; SINGH, B. B. Breeding for tolerance to abiotic stresses in mungbean. **Journal of food legumes**, New Delhi, v. 24, n. 2, p. 83-90, 2011. Disponível em: <https://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:jfl&volume=24&issue=2&article=001>. Acesso em: 19 nov. 2022.

SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Determination of the volumetric shrinkage in jatropha seeds during drying. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 34, n. 3, p. 231-238, jul/set. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v34i3.14402>. Acesso em: 20 mar. 2023.

SMANIOTTO, T. A. S.; RESENDE, O.; MARÇAL, K. A. S.; OLIVEIRA, D. E. C. de.; SIMON, G. A. 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, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S141543662014000400013>. Acesso em: 21 out. 2022.

SMANIOTTO, T. A. S.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C. de.; SIQUEIRA, V. C.; SOUSA, K. A. Ajuste de modelos matemáticos a contração volumétrica unitária e da massa dos grãos de soja. **Revista Agroambiente**, Boa vista, v. 9, n. 4, p. 397-404, out./dez. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v9i4.2565>. Acesso em: 17 nov. 2022.

SPIES, G.; BOTELHO, F. M.; CAMPOS, S. C.; POLTRONIERI, K. C.; RUFFATO. Efeito do espaçamento de plantio e o teor de água na massa específica e massa de mil grãos dos grãos de soja. 2011. Trabalho apresentado em anais do **V Congresso de la Soja del Mercosur**, Rosário, set. 2011. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/904748/1/2011AA01.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2022.

VALE, E. C. C.; MONTEIRO, N. S. **Influência da secagem sobre as propriedades físicas dos grãos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)**. 2021. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Agronomia), Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2021. Disponível em: <http://bdta.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/1925>. Acesso em: 23 jun. 2022.

VIEIRA, R. F.; NISHIHARA, M. K. Comportamento de cultivares de mungo-verde (*Vigna radiata*) em Viçosa e Minas Gerais. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 39, n. 221, p. 60-83, out. 1992. Disponível em: <http://www.ceres.ufv.br/ojs/index.php/ceres/article/view/2128/56>. Acesso em: 14 set. 2022.

VIEIRA, R. F.; VIEIRA, C.; VIEIRA, R. F. **Leguminosas graníferas**. Viçosa: Ed. UFV, 2001. 206 p. Disponível em: <https://docplayer.com.br/storage/63/50409805/1683319599/T84eS2vFZPiZqY4vA7Gdxw/50409805.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

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. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362003000100008>. Acesso em: 14 abr. 2022.

YEAP, S. K.; BEH, B. K.; ALI, N. M.; YUSOF, H. M.; HO, W. Y.; KOH, S. P.; ALITHEEN, N. B.; LONG, K. In Vivo Antistress and Antioxidant Effects of Fermented and Germinated Mung Bean. **Bio Med Research International**. Selangor, v. 2014, p. 1-6, apr. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2014/694842>. Acesso em: 18 fev. 2022.