Revista Mirante, Anápolis (GO), v. 17, n. 2, p. 187-201, dez. 2024 (edição extra). ISSN 1981 4089

# PROPRIEDADES FÍSICAS DOS GRÃOS DE FEIJÃO SUBMETIDOS À DIFERENTES MÉTODOS DE SECAGEM

# PHYSICAL PROPERTIES OF BEAN GRAINS SUBJECTED TO DIFFERENT DRYING METHODS

**STHEFANNY RIBEIRO SILVA**
Instituto Federal Goiano – Campus Ceres
stheribeiro160101@gmail.com

**RENATO SOUZA RODOVALHO**
Instituto Federal Goiano – Campus Ceres
renato.rodovalho@ifgoiano.edu.br

**MATHEUS FILIPE DA SILVA FONTES**
Instituto Federal Goiano – Campus Ceres
matheus.fontes@estudante.ifgoiano.edu.br

**CARLOS EDUARDO FILINTO DA SILVA**
Instituto Federal Goiano – Campus Ceres
carlos.filinto@estudante.ifgoiano.edu.br

**Resumo:** O feijão comum é uma cultura de grande importância econômica e social, sendo a principal fonte de proteína vegetal dos brasileiros. Portanto, objetivou-se avaliar o comportamento das propriedades físicas dos grãos de feijão da cultivar BRS Estilo submetidos a diferentes métodos alternativos de secagem. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com quatro métodos de secagem (secagem em estufa de ventilação forçada a 37 °C, secador de camada fixa experimental, ao sol e à sombra), com quatro repetições. As propriedades físicas avaliadas após a secagem foram: peso de mil grãos, massa específica aparente, massa específica unitária, porosidade, condutividade elétrica, eixos ortogonais e contração volumétrica. A secagem no secador experimental foi o método que proporcionou uma umidade final de 13,39% no menor tempo (1 h e 17 minutos) e apresentou os maiores valores para condutividade elétrica (215,35 µS $cm^{-1}$ $g^{-1}$), massa específica unitária (1085,88 kg $m^{-3}$) e porosidade (37,07%). A secagem em estufa apresentou o maior valor para massa específica aparente (793,08 kg $m^{-3}$). Os métodos de secagem ao sol e à sombra apresentaram os maiores valores para peso de mil grãos (231,91 g e 234,47 g, respectivamente) e os menores valores de condutividade elétrica (121,84 µS $cm^{-1}$ $g^{-1}$ e 105,27 µS $cm^{-1}$ $g^{-1}$, respectivamente). Portanto, conclui-se que o método de secagem utilizando o secador experimental promoveu a redução da umidade a níveis seguros para armazenamento, próximos ao teor de água de 13%.
**Palavras-chave:** *Phaseolus vulgaris* L. Teor de água. Contração volumétrica. Qualidade de grãos. Armazenamento.

**Abstract:** The beans are a crop of great economic and social importance, serving as the primary source of plant-based protein for Brazilians. Therefore, the objective was to evaluate the behavior of the physical properties of BRS Estilo bean grains subjected to different alternative drying methods. The experimental design used was completely randomized, with four drying methods (drying in a forced ventilation oven at 37 °C, experimental fixed-bed dryer, sun drying, and shade drying), with four replicates. The physical properties evaluated after drying were: thousand-grain weight, apparent specific mass, unit specific mass, porosity, electrical conductivity, orthogonal axes, and volumetric contraction. Drying in the experimental dryer was the method that resulted in a final moisture content of 13.39% in the shortest time (1 hour and 17 minutes) and showed the highest values for electrical conductivity (215.35 µS $cm^{-1}$ $g^{-1}$), unit specific mass (1085.88 kg $m^{-3}$), and porosity (37.07%). Drying in the oven presented the highest value for apparent specific mass (793.08 kg $m^{-3}$). The sun and shade drying methods resulted in the highest values for thousand-grain weight (231.91 g and 234.47 g, respectively) and the lowest values for electrical conductivity (121.84 µS $cm^{-1}$ $g^{-1}$ and 105.27 µS $cm^{-1}$ $g^{-1}$, respectively). Therefore, it is concluded that the drying

method using the experimental dryer promoted moisture reduction to safe levels for storage, close to a moisture content of 13%.
**Keywords:** *Phaseolus vulgaris* L. Moisture content. Volumetric contraction. Grain quality. Storage.

## Introdução

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), é uma cultura de grande importância econômica e social em muitos países, além de ser a principal fonte de proteína vegetal dos brasileiros (MONDO & NASCENTE, 2018). Atualmente, o Brasil ocupa uma posição de destaque entre os maiores produtores de feijão comum, desempenhando um papel significativo tanto na exportação quanto na importação deste produto (FAOSTAT, 2021). Atualmente, o Brasil produz cerca de 3 milhões de toneladas de feijão comum, com uma produtividade média nacional de aproximadamente 1.056 kg por hectare. Os estados da região Centro-Sul destacam - se como os principais produtores dessa leguminosa no país (CONAB, 2024).

O estado do Paraná sobressai na produção nacional de feijão, contribuindo com 19% do total, o que corresponde a 728 mil toneladas. Em conjunto, Minas Gerais e Mato Grosso alcançaram uma produção de 860 mil toneladas (CONAB, 2024a). No estado de Goiás a produção estimada para a safra 24/25, é de 294,0 mil toneladas segundo a previsão de safra por produto da CONAB (2024b) superior a safra anterior.

Os agricultores familiares desempenham um papel significativo na produção do feijão, especialmente durante a safra das águas, devido às características temporais específica dessa leguminosa, que pode ser cultivada com baixos recursos produtivos. Os grãos de feijão após atingir a maturidade fisiológica em campo, inicia o processo de colheita com o teor de umidade dos grãos satisfatório e seguro com 18% em base úmida (b.u). Porém, a umidade ideal e segura para armazenamento de grãos é de 13% b.u, dessa forma, faz- se necessário o processo de secagem após a colheita dos grãos, assegurando a qualidade e estabilidade desses grãos, reduzindo a atividade biológica com a redução do teor de água e prolongando o período de armazenamento com qualidade (ALMEIDA et al., 2013; SOUSA et al., 2015; BARROS et al., 2020).

O processo de secagem pode ser realizado utilizando métodos naturais submetendo os grãos a temperatura ambiente com incidência solar ou métodos artificiais, que utilizam de tecnologias e controle da temperatura do ar de secagem (MOTA, 2016). A retirada de água dos grãos influencia diretamente a alteração das suas propriedades físicas durante a secagem, fator

Revista Mirante, Anápolis (GO), v. 17, n. 2, p. 187-201, dez. 2024 (edição extra). ISSN 1981 4089

de grande relevância para o dimensionamento e projeção de equipamentos destinados à colheita e pós-colheita (MIR et al., 2013).

O conhecimento das características físicas dos grãos está ligado as operações de equipamentos de secagem e armazenagem. Variáveis como teor de água, massa de mil grãos, condutividade elétrica, massa específica, contração volumétrica, porosidade são fatores influenciadores no dimensionamento de silos, depósitos, transportadores e parâmetros de qualidade dos grãos (SILVA; CORRÊA, 2008).

A cultura do feijão abrange inúmeras cultivares e mesmo com grande quantidade de estudos realizados sobre essa cultura, as novas variedades se apresentam carentes de trabalhos, principalmente na fase de pós-colheita (RIBEIRO et al., 2014). A cultivar BRS Estilo é amplamente conhecida na cultura do feijão e comumente recomendada para o estado de Goiás no período chuvoso e seco, por assegurar melhor resistência a ataques de algumas doenças e maior racionalização dos fatores de produção, procedendo em menor custo para o cultivo da cultura (MELO et al., 2010).

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento das propriedades físicas dos grãos de feijão da cultivar BRS Estilo submetidos aos diferentes métodos alternativos de secagem.

## Material e métodos

O experimento foi realizado entre os meses de novembro de 2022 e abril de 2023, no Laboratório de Preparo de Amostras e no Laboratório de Análise de Sementes do Instituto Federal Goiano – Campus Ceres. O clima da região é tropical estacional, considerado como inverno seco e verão chuvoso (SANTOS et al., 2018).

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com 04 tratamentos, constituído por 4 métodos de secagem (estufa à 37 °C, secador de camada fixa experimental, radiação solar direta e ambiente protegido à radiação solar), com 4 repetições

Os grãos foram colhidos maduros de forma mecanizada. Posteriormente, os grãos, com umidade inicial próxima a 17% em base úmida (b.u), aferido pelo Medidor Universal de Umidade foram divididos em 4 amostras, destinadas para cada método de secagem. Cada amostra foi dividida em 4 subamostras de 500 g, determinados em balança analítica com precisão de 0,01g, representando cada repetição.

A redução do teor de água foi acompanhada através da perda de massa dos grãos em cada método de secagem, até atingir a umidade final desejada de 13% b.u. (base úmida) ou quando

Revista Mirante, Anápolis (GO), v. 17, n. 2, p. 187-201, dez. 2024 (edição extra). ISSN 1981 4089

atingissem o equilíbrio higroscópico. O monitoramento da temperatura e umidade relativa do ar foi realizado por um termo-higrômetro.

Em cada método de secagem utilizou-se temperaturas do ar secagem diferentes. O secador experimental não conseguiu estabilizar a temperatura, a secagem à sombra e ao sol utilizou temperaturas ambientes. Enquanto que, a secagem em estufa manteve-se constante em 37°C durante todo o processo.

As variáveis avaliadas após a secagem foram, massa de mil grãos, massa específica aparente, massa específica unitária, condutividade elétrica, porosidade e eixos ortogonais.

A parcela útil experimental foi composta por uma subamostra de 100 grãos de feijão retirados de forma aleatória de cada unidade experimental, em oito repetições. O peso de mil grãos foi obtido pela multiplicação da massa média das oito repetições por 10, determinado em gramas (BRASIL, 2009).

A condutividade elétrica foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Kryzyzanowski (1999), em que foram utilizados 50 grãos de cada repetição submetidos nos métodos de secagem, sendo pesados em uma balança analítica com precisão de 0,001g. Em seguida, as amostras foram colocadas em um copo plástico com 75 mL de água destilada e acondicionada em uma câmara incubadora do tipo B.O.D, regulada a 25° C por 24 horas. Após esse processo, cada amostra foi submetida a uma leve agitação e em seguida à leitura do resultado obtido por meio de um condutivímetro digital, expresso em μS $cm^{-1}$ $g^{-1}$.

A porosidade foi determinada segundo a metodologia de Santos et al. (2012), acrescentando uma massa de grãos em um volume conhecido, posteriormente, adicionado tolueno (óleo vegetal de soja) na massa de grãos com ajuda de uma proveta, preenchendo todo os espaços vazios. Após o processo, os resultados foram expressos através da equação 1.

$$\varepsilon\ (\%) = 100\left[\frac{V_t}{V_p}\right] \qquad (1)$$

Em que:

ε – porosidade;

$V_t$ – volume do tolueno inserido na massa de grãos, $m^3$;

$V_p$ – volume de massa de grãos lido na proveta, $m^3$.

A determinação da massa específica aparente ($\rho_a$), expressa em kg $m^{-3}$, foi realizado quatro repetições por amostra, adicionando uma massa de grãos em um recipiente de 250 mL, tarado e pesado em uma balança analítica de precisão 0,001 g (JESUS et al., 2013). A massa específica aparente das amostras foi obtida utilizando-se a equação 2.

Revista Mirante, Anápolis (GO), v. 17, n. 2, p. 187-201, dez. 2024 (edição extra). ISSN 1981 4089

$$\rho_a = \frac{m}{v} \quad (2)$$

Em que:

$\rho_a$ – massa específica aparente, kg $m^{-3}$;

m – massa de grãos, kg;

v – volume da massa de grãos lido na proveta, $m^3$.

A propriedade massa específica unitária ($\rho_u$), expresso em kg $m^{-3}$, foi determinada pela equação 3 (BOTELHO et al., 2018).

$$\rho_u = \frac{m_g}{V_g} = \frac{m_g}{V_p - V_t} \quad (3)$$

Em que:

$\rho_u$ – massa específica unitária, kg $m^{-3}$;

$m_g$ – massa de grãos, kg;

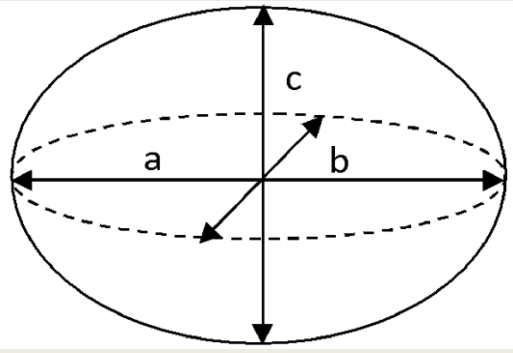
$V_g$ – volume dos grãos, $m^3$;

$V_p$ – volume da massa de grãos lido na proveta, $m^3$;

$V_t$ – volume do tolueno (óleo de soja) inserido na massa de grãos, $m^3$.

Para a determinação dos eixos ortogonais, foram selecionados aleatoriamente cinquenta grãos de feijão para cada repetição, com auxílio de um paquímetro digital com precisão de 0,001 mm determinou-se o comprimento (a), largura (b) e espessura (c), representados na Figura 1. Essa propriedade foi aferida antes e depois da secagem para cada método.

**Figura 1.** Desenho esquemático das dimensões do grão de feijão




.

Fonte: ARAUJO et al. (2014).

Através das dimensões dos eixos ortogonais, foi calculado o volume dos grãos ($V_g$) antes e depois da secagem, de acordo com a expressão 4 (MOHSENIN, 1986):

Revista Mirante, Anápolis (GO), v. 17, n. 2, p. 187-201, dez. 2024 (edição extra). ISSN 1981 4089

$$V_g = \frac{\pi.a.b.c}{6} \quad (4)$$

Em que:

a: comprimento, mm;

b: largura, mm;

c: espessura, mm.

A contração volumétrica (Ψ) foi determinada pela relação entre o volume dos grãos ($V_g$) e o volume inicial para cada método de secagem, utilizando a expressão 5 (GONELI et al., 2011).

$$\Psi = \frac{V_g}{V_0} \quad (5)$$

Em que:

Ψ: contração volumétrica;

$V_g$: Volume dos grãos;

$V_0$: volume inicial dos grãos.

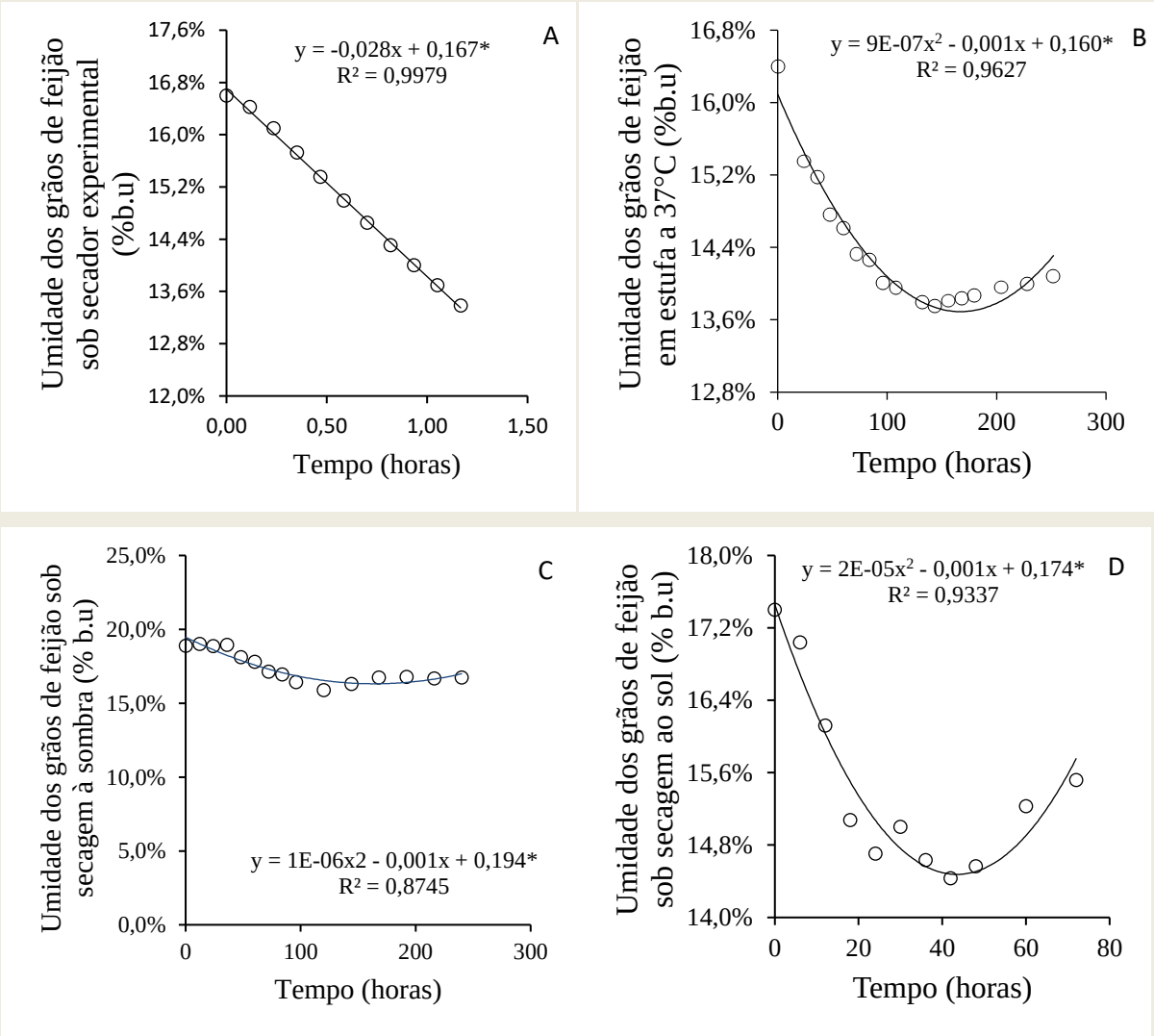
Os dados experimentais dos grãos de feijão foram submetidos à análise de variância pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância, utilizando o programa estatístico SISVAR 5.0.

**Resultados e discussão**

Os grãos reduziram umidade com o processo de secagem nos métodos utilizados, variando de 16,6% b.u para 13,39% b.u no método de secagem em secador de camada fixa experimental (Figura 2A), de 16,4% b.u para 14,08% b.u no método de secagem em estufa de ventilação forçada à 37 °C (Figura 2B), de 18,9% b.u para 16,74% b.u no método de secagem à sombra (Figura 2C), de 17,4% b.u para 15,52% b.u no método da secagem diretamente ao sol (Figura 2D). O aumento da temperatura do ar de secagem, ocorre maior taxa de remoção de água do produto, evidenciando o aumento da taxa de secagem (SILVA et al., 2014). Essa observação foi vista por Silva et al. (2014), após estudarem modelos de predição da cinética de secagem dos grãos de feijão guandu em uma umidade relativa do ar média de 68%.

Revista Mirante, Anápolis (GO), v. 17, n. 2, p. 187-201, dez. 2024 (edição extra). ISSN 1981 4089

**Figura 2.** Umidade das amostras de grãos de feijão utilizando o secador experimental (A); Umidade das amostras de grãos de feijão utilizando a estufa de ventilação forçada (B); Umidade das amostras de grãos de feijão submetidas a secagem à sombra (C); Umidade das amostras de grãos de feijão submetidas a secagem diretamente ao sol (D). * Coeficientes significativos a 5% de intervalo de confiança pelo teste t.




Fonte: Autores.

Os períodos de secagem dos grãos de feijão foram de 1 h e 17 min; 252 h; 240 h e 72 h, respectivamente, sob os métodos de secagem em secador experimental, estufa de ventilação forçada, à sombra e secagem diretamente ao sol (Figura 2). Os métodos de secagem representados na figura 2B, 2C e 2D não foram eficazes para propiciar a redução do teor de água nas amostras dos grãos. Os dados experimentais foram realizados coincidindo com período

Revista Mirante, Anápolis (GO), v. 17, n. 2, p. 187-201, dez. 2024 (edição extra). ISSN 1981 4089

chuvoso na região, contribuindo para a variação da umidade relativa do ar entre 47 a 84%. Dessa forma, a umidade relativa do ar estando a 84% contribuiu antecipadamente para o equilíbrio higroscópico das amostras dos grãos de feijão, com valor médio obtido de 16,13% em b.u. entre os métodos de secagem a sombra e sol.

Este fenômeno ocorre devido ao gradiente de pressão de vapor entre a massa do grão e a pressão de vapor entre o ar ambiente que o envolve. Como a pressão de vapor do ar de secagem é menor que a pressão de vapor do grão, este processo possibilita a difusividade da água que desloca do interior do grão para o ar ambiente (Rodovalho et al., 2015).

Os métodos de secagem estudados não influenciaram nos eixos ortogonais das amostras dos grãos de feijão submetidas aos experimentos. Os valores dos eixos ortogonais variaram entre 10,33 mm a 10,50 mm para o eixo A, de 6,65 mm a 6,8 mm para o eixo B e de 4,62 mm à 4,72 mm do eixo C. Os valores dessa propriedade foram semelhantes aos observados por Oba et al. (2019), em seus estudos sobre secagem de sementes de feijão-caupi, cultivar BRS Guariba. Em seus estudos, Oba et al. (2019) encontrou os valores para os eixos ortogonais de 10,21 a 9,34 mm para o eixo A, de 7,08 mm a 6,57 mm para o eixo B e de 5,72 mm a 5,54 mm para o eixo C, em uma faixa de teor de água de 32,18% b.u a 10,10% b.u.

Os valores da umidade final, condutividade elétrica, peso de mil grãos, massa específica e porosidade das amostras de grãos submetido aos diferentes métodos de secagem estão apresentados na Tabela 1. É possível verificar que a umidade final mais próxima do desejado foi obtido pelo método do secador experimental com o valor de 13,39 % b.u. Os demais métodos propiciaram resultados diferentes do que o secador experimental, por esse método utilizou o ar de secagem com temperatura mais elevada durante o processo, com uma variação média de 45 a 95 °C. No método de secagem em estufa, a temperatura permaneceu constante em 37 °C durante todo o processo. Durante a secagem dos grãos de feijão à sombra, a temperatura variou de 26,2 °C a 32,7 °C. Enquanto que a secagem ao sol, houve uma variação média da temperatura de 26,8 °C a 44,7 °C, como está apresentado na Figura 3. O aumento da temperatura causa uma redução no tempo de secagem de grãos (ALMEIDA et al., 2013). Esses resultados corroboram com os observados por Almeida et al. (2013), ao avaliar a influência da secagem na qualidade fisiológica do feijão azuki em 35 °C, 45 °C, 55 °C, 65 °C e 75 °C; assim, verificaram que a secagem na temperatura de 75 °C foi a que evidenciou maior velocidade da retirada de água dos grãos.

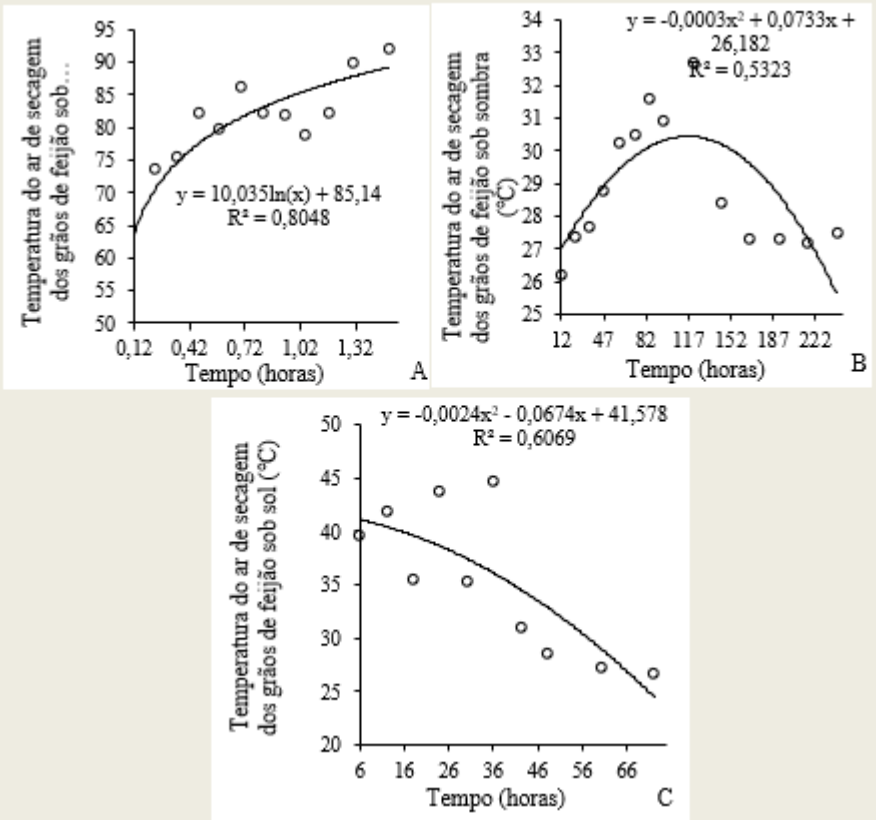
**Tabela 1.** Umidade final, Condutividade elétrica, Massa de mil grãos, Massa específica aparente, Massa específica unitária e Porosidade de grãos de feijão submetidos à diferentes métodos de secagem.

| Método de secagem | Umidade final (%) | Condutividade elétrica (µS $cm^{-1}$ $g^{-1}$) | Peso de mil grãos (g) | Massa específica aparente (kg $m^{-3}$) | Massa específica unitária (kg $m^{-3}$) | Porosidade (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Estufa | 14,08 b | 132,16 b | 228,27 ab | 793,08 a | 1082,20 b | 36,90 a |
| Secador | 13,39 a | 215,35 a | 224,58 b | 792,61 a | 1085,88 a | 37,07 a |
| Sombra | 16,75 d | 105,27 b | 234,47 a | 776,89 b | 959,19 c | 35,00 ab |
| Sol | 15,52 c | 121,84 b | 231,91 a | 773,52 b | 941,37 d | 33,80 b |
| CV (%) | 0,55 | 13,33 | 1,39 | 0,40 | 0,00 | 3,13 |

CV (%) – Coeficiente de variação. Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Autores.

**Figura 3.** Temperatura do ar de secagem dos grãos de feijão BRS Estilo sob secagem em secador experimental (A); Temperatura do ar de secagem dos grãos de feijão BRS Estilo sob secagem à sombra (B); Temperatura do ar de secagem dos grãos de feijão BRS Estilo sob secagem ao sol (C).




Fonte: Autores.

A condutividade elétrica da solução dos exsudatos dos grãos de feijão variou de 105,27 µS $cm^{-1}$ $g^{-1}$ a 215,35 µS $cm^{-1}$ $g^{-1}$, sendo o método de secagem em secador experimental que apresentou os maiores valores de condutividade elétrica comparada aos demais métodos. De

Revista Mirante, Anápolis (GO), v. 17, n. 2, p. 187-201, dez. 2024 (edição extra). ISSN 1981 4089

acordo com Botelho et al. (2015), o aumento dessa propriedade física é devido ao rompimento das membranas celulares dos grãos, assim, havendo uma perda qualitativa com o aumento da temperatura, intensificada para temperaturas do ar de secagem maiores que 60 °C. Temperaturas acima de 60 °C em ar de secagem, proporcionam redução de água no interior do produto com maior intensidade em um secador experimental, causando microfissuras em nível celular (ULLMANN et al., 2010). Resende et al. (2012) obtiveram valores semelhantes para essa propriedade ao analisar a qualidade de sementes de feijão azuki (*Vigna angularis*) submetidas a diversas condições de secagem. Em suas avaliações Resende et al. (2012) verificaram uma variação da condutividade elétrica de 55,7 μS $cm^{-1}$ $g^{-1}$ a 286,9 μS $cm^{-1}$ $g^{-1}$ para as temperaturas de 30 °C a 70 °C.

Observa-se na Tabela 1 que os métodos de secagem influenciaram também no peso de mil grãos. O método do secador experimental propiciou um menor peso, com 224,58 g comparado com os demais métodos. Resultado corrobora com os observados por Silva et al. (2023) ao estudar propriedades físicas de grãos de genótipos de feijão-caupi, obtiveram uma variação de 189,37 g a 376,25 g em peso de mil grãos. Também semelhante aos obtidos por Oba et al. (2019), que avaliaram a caracterização física das sementes de feijão-caupi, cultivar BRS Guariba observaram uma variação do peso de mil grãos de 200,6 g a 266,3 g em uma faixa de umidade de 32,18 % b.u a 10,10 % b.u.

A variação da massa específica aparente dos grãos variou entre 773,52 e 793,08 kg $m^{-3}$. Os métodos de secagem em estufa e secador experimental promoveram uma umidade final nos grãos inferior aos demais métodos estudados. Não houve diferença significativa entre os métodos de secagem em estufa e secador experimental em relação a massa específica aparente. Assim como nos métodos de secagem ao sol e à sombra, cujo a umidade final de 15,52 % b.u e 16,75 % b.u, respectivamente, apresentam uma menor massa específica. A maioria dos produtos agrícolas pesquisados: soja (RIBEIRO et al., 2005) e feijão vermelho (RESENDE et al., 2008) obtiveram comportamento semelhante. A redução no valor da massa específica aparente com o aumento do teor de água dos grãos demonstra o aumento da massa em função do acréscimo da umidade que foi proporcional menor que a expansão volumétrica (JESUS et al., 2013).

A propriedade massa específica unitária dos grãos variou de 941,37 kg $m^{-3}$ a 1085,88 kg $m^{-3}$, com a umidade de 15,52% b.u a 13,39% b.u, respectivamente. Sendo que, os métodos de secagem em secador e estufa, foram os que obtiveram uma menor umidade final dos grãos de 13,39% b.u e 14,08% b.u, assim como maiores valores de massa específica unitária sendo, 1085,88 kg $m^{-3}$ e 1082,20 kg $m^{-3}$, respectivamente. Araújo et al. (2018) observaram

Revista Mirante, Anápolis (GO), v. 17, n. 2, p. 187-201, dez. 2024 (edição extra). ISSN 1981 4089

comportamento semelhante ao avaliar as propriedades físicas de grãos de feijão caupi, que variou de 1203,6 kg $m^{-3}$ a 1224,7 kg $m^{-3}$ para os teores de água de 20% b.u a 9,90% b.u, respectivamente. Este fenômeno acorre devido a redução da umidade nos grãos durante o processo de secagem, consequentemente a massa e o volume dos grãos também são reduzidos, havendo uma relação inversamente proporcional com os valores da massa específica unitária.

A Tabela 2 apresenta os valores de volume e da contração volumétrica dos grãos de feijão BRS Estilo, antes e após os diferentes métodos de secagem. O volume inicial médio dos grãos de feijão foi de 177,75 $mm^3$ e após o processo de secagem, houve uma redução do volume para 168,22 $mm^3$ quando se utilizou secador experimental, 169,28 $mm^3$ para os grãos que foram submetidos a secagem em sombra, 175,08 $mm^3$ para secagem em estufa e 177,02 $mm^3$ para secagem ao sol. Comportamento semelhante foi observado por Gomes et al. (2018), ao avaliar o tamanho e forma de grãos de feijão-caupi em função de diferentes teores de água. Esses autores verificaram que o volume contraiu 11,06% com a variação do teor de água de 23% b.u para 12% b.u. Essa contração deve-se possivelmente a redução do teor de água durante o processo de secagem.

**Tabela 2.** Volume das amostras após o período de secagem e contração volumétrica (Ψ) dos grãos de feijão BRS Estilo, em função dos diferentes métodos de secagem.

| Método de secagem | Volume após a Secagem ($mm^3$) | Contração volumétrica (Ψ) |
|---|---|---|
| **Secador** | 168,22 a | 0,9587 a |
| **Sombra** | 169,28 b | 0,9590 b |
| **Estufa** | 175,08 c | 0,9842 d |
| **Sol** | 177,02 d | 0,9762 c |

Médias seguidas por letras na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.
Fonte: Autores.

A contração volumétrica dos grãos de feijão obteve valores diferentes por conta dos métodos de secagem avaliados, sendo que a secagem realizada no secador experimental foi o tratamento que atingiu uma maior contração volumétrica de 0,9587. Os tratamentos que promoveram uma menor discrepância entre o volume dos grãos antes e depois da secagem foram os que apresentaram uma maior contração volumétrica, sendo o secador experimental com 175,44 $mm^3$ antes da secagem e 168,22 $mm^3$ após a secagem, condição semelhante ocorreu nos demais tratamentos: 176,45 $mm^3$ e 169,28 $mm^3$ para secagem na sombra; 181,28 $mm^3$ e 177,02 $mm^3$ para secagem no sol; 177,84 $mm^3$ e 175,08 $mm^3$ para secagem na estufa.

O secador de camada fixa experimental promoveu um índice de contração volumétrica

Revista Mirante, Anápolis (GO), v. 17, n. 2, p. 187-201, dez. 2024 (edição extra). ISSN 1981 4089

de 4,13% em uma faixa de 16,6% b.u a 13,39% b.u, enquanto que o método de secagem na estufa obteve um índice de contração de 1,58% em uma faixa de 16,4% b.u a 14,08% b.u. Resultados semelhante aos observados por Oliveira et al. (2014) ao realizar a modelagem da contração volumétrica do feijão adzuki durante a secagem apresentaram um índice de contração volumétrica de 25,2% e 27,2% para as temperaturas de 60°C e 80°C, respectivamente, para um teor de água variando de 47,92% b.u a 9,10% b.u. Enquanto que Corrêa et al. (2011) obtiveram uma taxa de contração volumétrica de 25 a 37% em sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.).

## Conclusão

O método de secagem que utilizou secador de camada fixa experimental promoveu redução da umidade a níveis seguros para armazenamento de 13,39%.

## Referências

ALMEIDA, D. P.; RESENDE, O.; COSTA, L. M.; MENDES, U. C. Higroscopicidade das sementes de feijão adzuki. Científica, Jaboticabal, v. 41, n. 2, p. 130- 137, 2013.

ALMEIDA, D. P., RESENDE, O.; MENDES, U. C.; COSTA, L. M.; CORRÊA, P. C.; ROCHA. A. C. Influência da secagem na qualidade fisiológica do feijão adzuki. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v. 8, n. 2, p. 311-315, 2013.

ARAÚJO, M. J. I.; BOTELHO, F. M.; BOTELHO, S. C. C.; MENEZES JÚNIOR, J. A.N.; ALMEIDA, L. C. D. Propriedades físicas de grãos de feijão caupi. *In:* XLVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 47., 2018, Brasília – DF. Brasília – DF: SBEA, 2018.

ARAUJO, M. M. V. Indicadores de qualidade em grãos de soja submetidos a diferentes condições de armazenamento. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical), Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 84p. 2014.

ARAUJO, W. D.; GONELI, A. L. D.; SOUZA, C. M. A.; GONÇALVES, A. A.; VILHASANTI, H. C. B. Propriedades físicas dos grãos de amendoim durante a secagem. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.18, n.3, p. 279–286, 2014.

BARROS, S.; CÂMARA, G.; LEITE, D.; SANTOS, N.; SANTOS, F.; SOARES, T.; LIMA, A.; SOARES, T.; OLIVEIRA, M.; VASCONCELOS, U.; ALBUQUERQUE, A.; QUEIROZ, A. Modelagem matemática da cinética de secagem de cascas do kino (*Cucumis metuliferus*). Research, Society and Development, v. 9, n. 1. 2020.

BOTELHO, F. M.; FARIA, B. M. E. M.; BOTELHO, S. C. C.; RUFFATO, S.; MARTINS, R. N. Metodologias para determinação de massa específica de grãos. Revista Agrarian. Dourados, v. 11, n. 41, p. 251-259, 2018.

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. REVENG. Viçosa – MG, v.23, n.3, 212-219p, 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: MAPA/ACS, 395p. 2009.

COÊLHO, J. D. Feijão: produção e mercados. Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste - ETENE, v. 6, n. 197, 2021.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Safra Brasileira de Grãos. Brasília, 2024a. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos. Acesso em: 29 de novembro de 2024.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Previsão de safra por produto – novembro de 2024. Brasília, 2024b. Planilha eletrônica. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos. Acesso em: 29 de novembro de 2024.

CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; GARIN, S. A.; JAREN, C.; OLIVEIRA, G. H. H. Mathematical models to describe the volumetric shrinkage rate of red beans during drying. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 31, n. 4, p. 716-726, 2011.

FAOSTAT. Statistics Division Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021. Disponível em: https://www.fao.org/statistics/en. Acesso em 15 de novembro de 2024.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Previsão de safra por produto – novembro de 2024. Brasília, 2024b. Planilha eletrônica. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos. Acesso em: 29 de novembro de 2024.

GOMES, F. H. F.; LOPES FILHO, L. C.; OLIVEIRA, D. E. C.; RESENDE, O.; SOARES, F. A. L. Tamanho e forma de grãos de feijão-caupi em função de diferentes teores de água. Revista Engenharia na Agricultura, Viçosa - MG, v. 26, n. 5, p. 407-416, 2018.
GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P.C.; MAGALHÃES, F. E. D.; BAPTESTINI, F. M. Contração volumétrica e forma dos frutos de mamona durante a secagem. Acta Scientiarum. Maringá, v. 33, n. 1, p. 1-8, 2011.

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. REVENG. Viçosa – MG, v.21, n.1, 09-18p, 2013.

KRYZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina: ABRATES, 218p, 1999.

MELO L. C.; DEL PELOSO, M. J.; PEREIRA H. S.; FARIA L. C.; COSTA J. G. C.; DÍAZ J. L. C.; RAVA, C. A.; WENDLAND A.; ABREU A. F. B. BRS Estilo: common bean cultivar with Carioca grain, upright growth and high yield potential. Crop Breeding and Applied Biotechnology, v.10, n.1, p. 377-379, 2010.

Revista Mirante, Anápolis (GO), v. 17, n. 2, p. 187-201, dez. 2024 (edição extra). ISSN 1981 4089
MIR, S. A.; BOSCO, S. J. D.; SUNOOJ, K. V. Evaluation of physical properties of rice cultivars grown in the temperate region of India. International Food Research Journal, v. 20, n. 4, 2013.
MOHSENIN, N. N. Physical properties of plant and animal materials. New York: Gordon and Breach Publishers, p. 841, 1986.

MONDO, V. H. V.; NASCENTE, A. S. Produtividade do feijão-comum afetado por população de plantas. Revista Agrarian, Dourados, v. 11, n. 39, p. 89-94, 2018.

MOTA, D. H. Propriedades físicas durante a secagem e qualidade tecnológica em cultivares de feijão carioca em diferentes condições de armazenamento. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, 163 p. 2016.

OBA G. C.; GONELI, A. L. D.; MARTINS, E. A. S.; HARTMANN FILHO, C. P.; GONÇAVES, A. A. Caracterização física das sementes de feijão-caupi, cultivar BRS Guariba, durante o processo de secagem. Revista Energia na Agricultura, Botucatu, v. 34, n. 2, p. 283-296, 2019.
OLIVEIRA, D. E. C.; RESENDE, O.; MENDES, U. C.; SMANIOTTO, T. A. S.; DONADON, J. R. Modelagem da contração volumétrica do feijão-adzuki durante a secagem. Científica, Jaboticabal, v. 42, n. 1, p. 23-31, 2014.

RESENDE, O.; ALMEIDA, D.P.; COSTA, L.M.; MENDES, U.C.; SALES, J.F. Adzuki beans (Vigna angularis) seed quality under several drying conditions. Food Science and Technology, v. 32, n. 1, p. 151-155, 2012.

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, n. 1, p. 225-230, 2008.

RIBEIRO, D. M.; CORRÊA, P. C.; RODRIGUES, D. H.; GONELI, A. L. D. Análise da variação das propriedades físicas dos grãos de soja durante o processo de secagem. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 25, n. 3, p. 611-617, 2005.

RIBEIRO, N. D.; DOMINGUES, L.S.; GRUHN, E. M.; ZEMOLIN, A. E. M.; RODRIGUES, J. A. Desempenho agronômico e qualidade de cozimento de linhagens de feijão de grãos especiais. Revista de Ciências Agronômicas, Lourenço Marques, v. 45, p. 92-100, 2014.

RODOVALHO, R. S.; SILVA, H. W.; SILVA, I. L.; ROSSETTO, C. A. V. Cinética de secagem dos grãos de pimenta bode. Global Science and Technology, Rio Verde – GO, v. 8, n. 2, p. 128-142, 2015.

SANTOS, C. C.; CANEPPELE, C.; BONFIM SILVA, E. M.; CORDOVA, N. R. M. Massa específica e porosidade de grãos pelo método de complementação de líquidos. Enciclopédia Biosfera, v. 8, n. 15, p. 1178-1184, 2012.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa. 390 p. 2018.
SILVA, J. S.; CORRÊA, P. C. Secagem e armazenagem de produtos agrícolas: estrutura, composição e propriedades dos grãos. 2° Edição. Viçosa – MG: Aprenda Fácil, 2008.

SILVA, L. M. M.; SOUSA, F. C.; SOUSA, E. P.; MATA, M. E. R. M. C.; DUARTE, M. E. M. Modelos de predição da cinética de secagem de grãos de guandu. Braz. J. Food Technol, Campinas, v. 17, n. 4, p. 310-318, 2014.

SILVA, L. S.; CARVALHO, A. L.; SIQUEIRA, W. C.; ROCHA, M. M.; BORGES, J. B.; BARBOSA, E. S.; BARBOSA, J. A. E. Physical properties of grains of cowpea genotypes. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, v. 27, n. 3, p. 216-222, 2023.

SILVA, O. F.; WANDER, A. E. O feijão comum no Brasil passado, presente e futuro. Santo Antônio de Goiás-GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2013.

SOUSA, F. C.; MARTINS J. J. A.; ROCHA, A. P. T.; GOMES, J. P.; PESSOA, T.; MARTINS, J. N. Predição de modelos sobre a cinética de secagem de folhas de *Ziziphus joazeiro* Mart. Revista Brasileira de Plantas Medicinais. Campina Grande, v. 17, n. 2, p. 195-200, 2015.

ULLMANN, R; RESENDE, O; SALES, J.F.; CHAVES, T.H. Qualidade das sementes de pinhão manso submetidas à secagem artificial. Revista Ciência Agronômica, v. 41, p. 442-447, 2010.

VALE, E. C. C.; MONTEIRO, N. SILVA. Influência da secagem sobre as propriedades físicas dos grãos de feijão-caupi (Vigna unguiculata L. Walp). TCC (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém – PA, 42p. 2021.