

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

AGRONOMIA

**MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA DETERMINAÇÃO DO GRAU DE UMIDADE
EM SEMENTES DE FEIJÃO**

THAIS SANTOS BARBOSA

Montes Claros – MG
2023

Thais Santos Barbosa

**MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA DETERMINAÇÃO DO GRAU DE
UMIDADE EM SEMENTES DE FEIJÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Agronomia da Universidade
Federal de Minas Gerais, como requisito parcial
para o grau de bacharela em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Delacyr da Silva Brandão
Junior

Montes Claros

2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
SECRETARIA DO COLEGIADO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA / TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC)

Aos 27 dias do mês de novembro de 2023, às 09 h 00 min, o/a estudante Thais Santos Barbosa, matrícula 2019001882, defendeu o Trabalho intitulado "Métodos alternativos para determinação do grau de umidade em sementes de feijão" tendo obtido a média (100) cem.

Participaram da banca examinadora os abaixo indicados, que, por nada mais terem a declarar; assinam eletronicamente a presente ata.

Nota: 100 (cem)

Orientador(a): Delacyr da Silva Brandão Junior

Nota: 100 (cem)

Examinador(a): Edson de Oliveira Vieira

Nota: 100 (cem)

Examinador(a): Josiane Cordeiro dos Santos



Documento assinado eletronicamente por **Josiane Cordeiro dos Santos, Bióloga**, em 28/11/2023, às 14:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Delacyr da Silva Brandão Junior, Chefe**, em 01/12/2023, às 10:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Edson de Oliveira Vieira, Professor do Magistério Superior**, em 06/12/2023, às 11:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2844354** e o código CRC **AF545AC0**.

11/12/2023, 13:56

SEI/UFMG - 2844354 - Ata de defesa de Monografia/TCC

Este documento deve ser editado apenas pelo Orientador e deve ser assinado eletronicamente por todos os membros da banca.

Referência: Processo nº 23072.271922/2023-56

SEI nº 2844354

*À minha mãe, por ser exemplo de força e
coragem*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por concedido a graça de chegar até aqui.

À minha família, por ser meu porto e apoiar em todos os caminhos, em especial à minha irmã Tati, que abdicou de muitas escolhas e oportunidades para que eu pudesse seguir meus sonhos.

Ao meu orientador, o professor Delacyr, por todos os ensinamentos, apoio e paciência ao longo do projeto.

Aos meus amigos, especialmente à Isa e Josy, por compartilharem essa jornada comigo, nos momentos de alegria e dificuldade e por fazerem como que fosse algo mais leve. Eu sempre digo que Deus coloca as pessoas certas no caminho, e dessa vez não foi diferente. São irmãs que me acompanharão por toda a vida.

A todos do Laboratório de Análise de Sementes do ICA, que de certa forma são partes desse trabalho, pelo apoio e convivência leve.

Ao PET-Agronomia, ao professor Ernane Martins e a todos os petianos com os quais tive a oportunidade de compartilhar momentos de aprendizado e amizade, proporcionado desenvolvimento pessoal e profissional, aprendendo de forma brilhante um pouco da nossa missão de levar e compartilhar dos conhecimentos para toda a comunidade, tanto interna quanto externa.

À Fundação Universitária Mendes Pimental e seus colaboradores, especialmente a Moradia Universitária Cyro dos Anjos, pelo acolhimento e amparo ao longo dessa jornada.

“A fé é a garantia do que se espera e a prova do que não se vê”

(Hebreus 11:1)

RESUMO

A determinação da umidade em sementes é essencial para garantir a qualidade e eficácia da produção sobretudo no que se refere ao seu armazenamento e conservação. No entanto, o método utilizado no Brasil como padrão para a análise de sementes, o método da estufa, traz limitações seja para a obtenção rápida dessa umidade, seja para aplicabilidade em pequena escala. O objetivo desse trabalho é avaliar a eficácia da aplicação de métodos alternativos e investigar a viabilidade da utilização de uma balança doméstica na determinação do grau de umidade em sementes de feijão. O experimento foi conduzido no Laboratório de Análise de Sementes ICA/UFMG e foram utilizadas sementes de feijão (cultivar Carioca). Os métodos para a determinação do grau de umidade foram o padrão de estufa a 105 ± 3 °C por 24 horas e pelo uso de dois eletrodomésticos, o micro-ondas nos tempos de 2min40s, 3min, 3min20s, 3min40s e 4min a uma potência de 1300 W e a fritadeira elétrica air fryer nos tempos de 15 min, 30min, 45min, 60min e 75min a 200°C. Para cada tratamento, foram utilizadas amostras de 20 gramas e 4 repetições das quais as massas foram pela balança de precisão 0.001g e pela balança digital doméstica. Um segundo experimento foi realizado avaliando a eficiência de determinação utilizando uma caixa de secagem artesanal de poliestireno expandido, sendo avaliados os tempos de secagem de 5h, 6h, 7h, 8h, 9h e 10h. De acordo com os dados obtidos, evidenciou-se a eficiência da utilização da balança doméstica para determinação do grau de umidade e, pela regressão linear, definiu-se o tempo ótimo de 3 minutos aproximadamente para o micro-ondas e de 37 minutos para a determinação pela air fryer. A caixa de secagem não apresentou eficiência. Conclui-se, dessa forma, que os eletrodomésticos utilizados e a balança doméstica digital foram eficientes para determinação do grau de umidade em sementes de feijão de maneira rápida, prática e eficiente, além de possibilitar redução do custo operacional das análises e autonomia ao pequeno e médio agricultor.

Palavras-chave: Teor de água; sementes; *Phaseolus vulgaris* L;

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados climáticos obtidos da estação meteorológica automática do INMET A506 – Montes Claros (MG) – 04.09.2023.....	23
Tabela 2 - Parâmetros relacionados às características físicas de sementes de feijão, <i>Phaseolus vulgaris</i> , cultivar carioca, provenientes da safra 2022/2023.	24
Tabela 3 - Análise de variância para grau de umidade de sementes de feijão, <i>Phaseolus vulgaris</i> , cultivar carioca, provenientes da safra 2022/2023, obtidos pelos métodos padrão da estufa a 105°C/24 h, forno micro-ondas (nos tempos de 2min40s, 3min, 3min20s, 3min40s e 4min) e fritadeira elétrica air fryer (nos tempos de 15 min, 20 m 45min, 60min, 75min), pesadas em balança analítica de precisão e eletrônica doméstica.....	25
Tabela 4 - Graus de umidade de sementes de feijão, <i>Phaseolus vulgaris</i> , cultivar carioca, provenientes da safra 2022/2023, obtidos pelo método padrão da estufa a 105 °C/24h, forno micro-ondas e fritadeira elétrica air fryer em diferentes tempos.....	26
Tabela 5 - Grau de umidade de sementes de feijão, <i>Phaseolus vulgaris</i> , cultivar carioca, provenientes da safra 2022/2023, pesadas em balança analítica de precisão e balança digital doméstica.....	27
Tabela 6 - Graus de umidade retirado de sementes de feijão, <i>Phaseolus vulgaris</i> , cultivar carioca, provenientes da safra 2022/2023, obtidos pelo método padrão da estufa a 105 °C/24h, forno micro-ondas, fritadeira elétrica air fryer e medido de capacitância.....	28
Tabela 7 - Parâmetros relacionados às características físicas de sementes de feijão, <i>Phaseolus vulgaris</i> , cultivar carioca, provenientes do comércio local de Montes Claros-MG.	30
Tabela 8 - Análise de variância para grau de umidade de sementes de feijão, <i>Phaseolus vulgaris</i> , cultivar carioca, provenientes do comércio local de Montes Claros-MG, obtidos pelos métodos padrão da estufa a 105°C/24 h, forno micro-ondas (3min), na fritadeira elétrica air Fryer (37 min) e caixa de secagem (nos tempos de 5h, 6h, 7h, 8h, 9h, 10h) pesadas em balança analítica de precisão e eletrônica doméstica.....	31
Tabela 9 - Graus de umidade retirados de sementes de feijão, <i>Phaseolus vulgaris</i> , cultivar carioca, provenientes do comércio local de Montes Claros-MG, obtidos pelo método padrão da estufa a 105 °C/24h, forno micro-ondas (3min), fritadeira elétrica air fryer (37min) e caixa de secagem (nos tempos de 5h, 6h, 7h, 8h, 9h, 10h).....	32
Tabela 10 - Graus de umidade de sementes de feijão, <i>Phaseolus vulgaris</i> , cultivar carioca, provenientes do comércio local de Montes Claros-MG, obtidos pelo método padrão da estufa a 105 °C/24h, forno micro-ondas, fritadeira elétrica air fryer e medidor de capacitância.	33

Tabela 11- Grau de umidade retirado das sementes pelo método da caixa de secagem e taxa de secagem em relação ao método padrão es estufa a 105 °C/24h.....	33
Tabela 12- Comparação de valores aproximados de aquisição de uma balança analítica de precisão 0,001g e uma balança eletrônica doméstica no mercado.	34
Tabela 13- Comparação de valores aproximados de aquisição de uma estufa de circulação forçada de ar e um forno micro-ondas doméstica no mercado.....	35
Tabela 14 - Comparação de valores aproximados de aquisição de uma estufa de circulação forçada de ar e uma fritadeira elétrica air fryer doméstica no mercado.	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

% - Porcentagem

°C – Graus Celsius

C – Comprimento

cm - Centímetros

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

CV – Coeficiente de Variação

E - Espessura

GL – Grau de liberdade

H – Grau de achatamento

h – Horas

ICA - Instituto de Ciências Agrárias

J - Formato

L - Largura

LAS – Laboratório de Análise de Sementes

MG – Minas Gerais

Min - Minutos

Mm - Milímetros

ns – Não significativo

PMS – peso de mil sementes

QM – Quadrado médio

RAS – Regras para Análise de Sementes

S - Segundos

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

W - Watts

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Aspectos gerais do feijoeiro	14
2.2	Importância da determinação do grau de umidade.....	15
2.3	Métodos para determinação da umidade	16
3	MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1	Experimento 1: Uso de eletrodomésticos para a determinação do grau de umidade em sementes de feijão.....	17
3.1.1	Local de estudo e caracterização morfológica dos lotes de sementes de feijão	17
3.1.2	Determinação do grau de umidade pelo método padrão de estufa	18
3.1.3	Determinação do grau de umidade pelo método de capacitância.....	19
3.1.4	Determinação do grau de umidade pelo método do micro-ondas	19
3.1.5	Determinação do grau de umidade pelo método da air fryer.....	20
3.2	Experimento 2: Uso de uma caixa de poliestireno expandido (isopor) de secagem artesanal para a determinação do grau de umidade em sementes de feijão.....	20
3.3	Análise de custo-benefício	23
3.4	Análises estatísticas.....	23
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1	Experimento 1: Uso de eletrodomésticos para a determinação do grau de umidade em sementes de feijão.....	24
4.1.1	Análise das características das sementes de feijão	24
4.1.2	Métodos para determinação do grau de umidade	25
4.2	Experimento 2: Uso de uma caixa de poliestireno expandido (isopor) de secagem artesanal para a determinação do grau de umidade em sementes de feijão.....	30
4.2.1	Análise das características físicas das sementes	30
4.2.2	Métodos para determinação do grau de umidade	31
4.3	Custo-benefício dos métodos alternativos.....	34
5	CONCLUSÃO	35
	REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

A determinação do grau de umidade é uma das práticas mais importantes no que se refere a análise de qualidade de sementes, uma vez que o teor de água nestas pode influenciar significativamente na sua qualidade, viabilidade e longevidade. Em sementes de feijão, *Phaseolus vulgaris* L., uma das culturas mais produzidas e comercializadas mundialmente conforme dados da Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB (2023), essa característica é essencial pois traz informações importantes para tomada de decisões, sobretudo no que se refere a época de colheita e armazenamento adequado das sementes. No entanto, os métodos convencionais e oficiais para essa determinação requerem tempo e podem ser onerosos quando se pensa em diferentes contextos de produção. Então, a busca por novos métodos que propiciem rapidez e praticidade ao produtor deve ser avaliada.

No Brasil, o método tido como oficial para determinação do grau de umidade, o método da estufa a $105^{\circ} \pm 3$ °C por 24 horas (h), descrito nas Regras para Análise de Sementes (RAS) (Brasil, 2009), requer um longo período para obtenção de resultado além de apresentar todo um procedimento metodológico para execução correta, o que pode influenciar na precisão destes. Nesse contexto, a eficiência do uso do forno micro-ondas, fritadeira elétrica air fryer e caixa de secagem pode ser avaliada, já que esses métodos podem oferecer vantagens em relação aos métodos convencionais, como menor tempo de análise e maior praticidade, permitindo uma maior autonomia do produtor quanto às práticas adotadas no seu sistema de produção.

Para obter o grau de umidade por meio desses métodos, é necessário que se defina os melhores tempos para a potência definida dos eletrodomésticos forno micro-ondas e fritadeira elétrica air fryer e o tempo necessário de exposição solar para determinação pela caixa de secagem, sendo os resultados devem ser obtidos por meio da fórmula de porcentagem de umidade obtida em base úmida descrita nas RAS (Brasil, 2009) a fim de se ter um padrão para comparação dos resultados. A utilização de métodos alternativos pode ser avaliada para determinação da umidade em sementes de feijão a fim de se comparar a eficiência desses métodos ao padrão de estufa. Nesse sentido, a avaliação da precisão desses métodos e a definição dos melhores tempos pode ser um aliado do pequeno produtor para que se tenha um método de determinação prática, precisa e menos onerosa, pois a obtenção do grau de umidade de forma ágil é um dos fatores primordiais para o sucesso na produção de sementes, contribuindo para a manutenção do seu vigor e conseqüentemente o potencial, tendo como resultado a produtividade.

O objetivo deste trabalho, então, é avaliar a eficiência da aplicação de métodos alternativos, definindo os melhores tempos para cada um e investigar a viabilidade da utilização de uma balança digital doméstica na determinação do grau de umidade em sementes de feijão. Além disso, avaliar o custo-benefício de cada método, levando em consideração os equipamentos, materiais e tempo necessário para realização do teste de determinação do grau de umidade.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aspectos gerais do feijoeiro

O feijão, *Phaseolus vulgaris* L., pertencente à família Fabaceae, tem seu centro de origem localizado no México à Argentina e tem importância mundial por ser uma das culturas mais produzidas e consumidas em diversos países (Barrigossi e Ferreira, 2021). No Brasil, é considerado um alimento básico na dieta da população, sendo consumido em todas as regiões do país. Isso se deve ao seu alto conteúdo proteico que reflete na segurança alimentar e nutricional além da relevância cultural em alguns países, como a utilização em pratos típicos no Brasil. (Toledo *et al.*, 2009; Oliveira *et al.*, 2011). Ademais, apresenta um valor social devido ao aporte de renda que possibilita aos agricultores com baixo suporte tecnológico (Silva e Wander, 2013).

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB (2023), a safra de 2022/2023 resultou numa produção de 3.04 milhões de toneladas de grãos de feijão, enquanto a estimativa para a safra de 2023/2024 é de 3,06 milhões de toneladas, projetando, dessa forma, um aumento de 0,7% na produção total de grãos de feijão no Brasil. A parte majoritária dessa produção, segundo dados da Companhia, se destina ao mercado interno, representando um total de 2.850 milhões de toneladas comercializadas dentro do país. Nesse sentido, destaca-se uma grande demanda interna pela cultura e a importância de um incremento de produtividade aliada a um produto de qualidade.

De acordo com os dados do Censo Agropecuário 2017 (IBGE, 2020), a agricultura familiar corresponde a 23,5% da produção de feijão nacional e ainda, conforme a Conab (2016), as sementes utilizadas por cerca de 85% de produtores são advindas da colheita da safra anterior e, dessa forma, há perdas em produtividade e qualidade quando as condições de armazenamento, sobretudo, não são adequadas.

2.2 Importância da determinação do grau de umidade

A produtividade do feijoeiro é determinada, sobretudo, pela qualidade das sementes utilizadas, estas são consideradas o insumo de maior expressividade no contexto de produção e para que esta seja considerada de alta qualidade deve apresentar características sanitárias, físicas, genéticas e fisiológicas adequadas (França Neto *et al.*, 2010) em conformidade com as RAS (Brasil, 2009). A expressão do potencial da cultura bem como o rendimento final são influenciados por essas características (Zucarelli *et al.*, 2015), e um dos fatores que mais influenciam nessa qualidade geral das sementes é o grau de umidade que apresentam para o seu armazenamento (Demito; Afonso, 2009). Além disso, sabe-se o grau de umidade em sementes é primordial para o estabelecimento de critérios em diversas etapas da produção como a colheita e beneficiamento (Sarmiento *et al.*, 2015).

Considerando que a qualidade não é melhorada com o armazenamento, mas sim preservada visando a menor deterioração possível, a detecção do momento ideal para cada prática, de acordo com esse grau de umidade, é importante a manutenção de qualidade e viabilidade visando vigor e poder germinativo por um maior período (Goldfarb e Queiroga, 2013).

Para sementes de feijão, o grau de umidade ideal para o armazenamento é de 11 a 13% em base úmida, esse baixo teor de água contribui para redução do metabolismo das sementes e, assim, permite que a qualidade do produto armazenado seja prolongada (Bragantini, 2005). Concomitante a isso, as embalagens utilizadas para conservação, a temperatura do ar e do ambiente de armazenamento são importantes para essa capacidade de manutenção de qualidade. O grau de umidade fornece informações a respeito do tipo de embalagem, permeáveis, semipermeáveis e impermeáveis (Toledo *et al.*, 2009).

O postulado clássico sobre as condições de armazenamento e conservação de sementes determina que a cada redução de 1% do grau de umidade de água das sementes ou de 5 °C na temperatura de armazenamento, ou conservação, duplica-se o período de vida das sementes, para condições em que o grau de umidade está 5 e 14% e as temperaturas de 0 a 50°C, já que abaixo de 5% de umidade, pode-se ter aumento da auto oxidação e, assim, aumento da deterioração e, acima de 14% pode-se o desenvolvimento de fungos (Harrington, 1972).

Inferese, dessa forma, que a determinação do grau de umidade e a utilização de métodos práticos para obtenção desse teor é primordial para a tomada de decisões a respeito da produção de sementes, uma vez que esse fator influencia qualidade e longevidade durante o seu armazenamento.

2.3 Métodos para determinação da umidade

O grau de umidade é representado pela perda de massa de uma amostra quando submetida a métodos de desidratação (Brasil, 2009) ou pela medição das propriedades elétrica ou química da amostra (Moritz *et al.*, 2012). Nos métodos pelos quais as sementes são submetidas a desidratação (secagem), tem-se a extração da água contida nas sementes pela forma de valor pela aplicação de calor sob condições controladas (Brasil, 2009).

Os métodos para determinação de umidade podem ser classificados em duas categorias, destrutivos ou não-destrutivos, os destrutivos são aqueles no qual a semente é destruída ou modificada no processo de medição e os não-destrutivos são aqueles no qual a integridade da semente é preservada (Luz *et al.*, 1998). Cada categoria engloba métodos diretos, nos quais o conteúdo de água é mensurado pela retirada de água do material, como o método estufas, e os métodos indiretos, nos quais a determinação do grau de umidade se baseia na medição de propriedades elétricas, químicas ou de outra amostra, como o método de capacitância (Moritz *et al.*, 2012).

De acordo com as recomendações das RAS (BRASIL, 2009), o método da estufa a $105^{\circ} \pm 3^{\circ} \text{C}$ por 24 horas é tomado como o padrão e oficial para determinação do grau de umidade nas sementes no Brasil, porém, conforme descrito em Zolini *et al.* (2022), esses métodos são mais onerosos, além de um maior requerimento de tempo, reduzindo a praticidade no que se refere a um estabelecimento rápido do grau de umidade. Diante disso, o desenvolvimento de novas tecnologias e a utilização de métodos alternativos que possibilitem resultados precisos e com uma maior agilidade tornam-se importantes.

No contexto de novas tecnologias para determinação do grau de umidade, a utilização do micro-ondas traz resultados satisfatórios quando comparados ao método padrão (Frandoloso *et al.*, 1998; Luz *et al.*, 1998; Zolini *et al.*, 2022), ressaltando a menor perda de compostos voláteis do material submetido à secagem e uma remoção do teor de água com maior rapidez (Raschen *et al.*, 2014).

A utilização de novos métodos, então, preconiza dois critérios: que os resultados sejam reprodutíveis, tendo a possibilidade de ser realizado em outro local apresentando valores semelhantes, e que indiquem precisamente o teor de água retirado durante o processo de secagem para que se tenha resultados satisfatórios (Luz, 1998). Ademais, é necessário que se tenha um nível de exatidão e agilidade na determinação do grau de umidade a depender da finalidade de cada prática (Tambara *et al.*, 2001).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Experimento 1: Uso de eletrodomésticos para a determinação do grau de umidade em sementes de feijão

3.1.1 Local de estudo e caracterização morfológica dos lotes de sementes de feijão

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Análise de Sementes (LAS) do Instituto de Ciências Agrárias (ICA) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) *Campus* Montes Claros, Minas Gerais, sob as coordenadas 16°40'52''S e 43°50'25''W. O clima da região é classificado como clima de savana tropical, Aw, de acordo com a classificação de Köppen e Geiger, com precipitações concentradas no verão e temperaturas altas ao longo do ano (CLIMATE, 2023).

Foram utilizadas sementes de feijão, *Phaseolus vulgaris*, cultivar Carioca, cedidas pela Fazenda Experimental Professor Hamilton de Abreu Navarro, provenientes da safra 2022/2023. As sementes selecionadas foram obtidas a partir da amostra retida em uma peneira de 4.5x22.0 milímetros (mm), constituinte de um jogo composto por cinco peneiras, utilizado comumente para o teste de uniformidade, conforme Brasil (2009), a fim de se obter uma homogeneidade quanto ao material utilizado de amostra.

Para caracterização física das sementes, foram coletados dados biométricos, com o auxílio de um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm. Realizou-se a coleta das medidas de comprimento (C), largura (L) e espessura (E) em milímetros por meio de 4 repetições de 25 sementes. O comprimento foi determinado pela medida do eixo maior da semente, da base ao ápice, e a largura e espessura foram obtidas na região mediana da semente. A partir desses dados, foram determinados o formato (J) da semente, pela relação entre o comprimento e a largura ($J=C/L$), e o grau de achatamento (H), pela relação entre a espessura e a largura ($H=E/L$), conforme a metodologia proposta por Puerta-Romero (1961) *apud* Araújo (1996).

O peso de 100 sementes, expresso em gramas, foi obtido a partir da massa média de 8 subamostras de 100 sementes, utilizando a balança analítica de precisão 0,001g de acordo com as RAS (Brasil, 2009) e o resultado foi utilizado para determinação do peso de mil sementes (PMS).

O grau de umidade tido com controle experimental foi determinado pelo método padrão de estufa, $105^{\circ} \pm 3^{\circ} \text{C}$ por 24 horas, metodologia preconizada por Brasil (2009). Para tal, foram utilizadas quatro amostras provenientes da análise do peso de 100 sementes, distribuídas em

cápsulas de alumínio, pesadas anteriormente para determinação da tara e da massa úmida inicial das sementes. Após a secagem na estufa, as capsulas de alumínio com as sementes foram novamente pesadas, para determinação do conteúdo de água perdido. Os resultados foram expressos em porcentagem (%).

As características sanitárias das sementes foram avaliadas conforme o exame de sementes infestadas (danificadas por insetos) descrito em Brasil (2009). Foram analisadas duas repetições de 100 sementes retiradas da amostra, e, para cada repetição, as sementes foram examinadas individualmente a fim de separar aquelas com evidência de infestação, como orifícios de saída de insetos. As sementes foram imersas em água por 24 horas sendo, que ao final desse tempo, as sementes foram examinadas novamente para verificar aquelas que apresentaram ovo, larva, pupa ou inseto, utilizando uma lâmina de bisturi para secção das sementes. O resultado foi a média das sementes danificadas das duas repetições expresso em porcentagem.

3.1.2 Determinação do grau de umidade pelo método padrão de estufa

A determinação da umidade pelo método da estufa é o método padrão de análise do grau de umidade descrito nas RAS (Brasil, 2009), sendo utilizado como controle para a comparação dos métodos utilizados para a determinação do grau de umidade. Foi utilizada uma estufa de circulação forçada, previamente regulada a $\pm 105^{\circ}$ C, com 4 repetições de 20 gramas (g) de sementes, distribuídas em cápsulas de alumínio com tampas. Cada recipiente com sua respectiva tampa foi pesado anteriormente, por meio de uma balança analítica de precisão 0.001 g e por uma balança eletrônica doméstica, para obtenção do valor da tara assim como da massa da amostra de sementes. Os recipientes foram condicionados na estufa, sobre as respectivas tampas e, passadas 24 horas, foram retirados da estufa, com auxílio de uma pinça, e levados ao dessecador, com sílica-gel ativada, para, após 5 minutos, serem pesados novamente para obtenção da massa seca.

Os resultados foram expressos em porcentagem (%) b.u. (base úmida – relação entre a massa de água presente na semente e a massa total de semente) e foram obtidos aplicando-se a seguinte fórmula, conforme Brasil (2009):

$$\% \text{ de umidade } (U) = \frac{100 (P - p)}{P - t}$$

Onde:

P = peso inicial, peso do recipiente e o peso do grão úmido;

p = peso final, peso do recipiente e o peso do grão seco;

t = tara, peso do recipiente.

3.1.3 Determinação do grau de umidade pelo método de capacitância

O medidor de capacitância G650 ®, foi utilizado para a determinação indireta do grau de umidade das sementes de feijão. O G650 ® é um equipamento compacto que possibilita a determinação da umidade e teor de impureza de grãos e sementes. É composto por uma balança eletrônica, termômetros e um capacímetro. Além de medir a umidade de forma rápida e segura, levando aproximadamente 15 segundos, pode-se determinar o percentual de impurezas e o peso hectolitro da amostra dispensando o uso de tabelas, cálculos e correções (Gehaka, 2014). A amostra foi despejada na cuba de pesagem com o auxílio da concha plástica até a indicação de 100% pelo display, atingindo a porcentagem, as sementes foram despejadas pelo funil de carga rapidamente e, em alguns segundos, o display indicou o valor de umidade na amostra (Gehaka, 2014). Foram realizadas 4 repetições e os valores foram anotados para análise e comparações posteriores.

3.1.4 Determinação do grau de umidade pelo método do micro-ondas

O micro-ondas é um aparelho eletrodoméstico capaz no qual há a conversão da energia elétrica recebida em energia térmica e cinética, responsáveis pelo aquecimento dos alimentos e rotação do prato giratório respectivamente. O aparelho utilizado possui uma capacidade de litros, com potência máxima de 1300W e uma voltagem de 110 Volts.

Para determinação do grau de umidade, utilizando o forno micro-ondas, foram utilizadas placas de Petri forradas com discos de papel filtro e suas massas foram aferidos pela balança de precisão 0.001g e pela balança doméstica eletrônica adicionando também o papel filtro que cobriu as sementes. Foram adicionados 20 gramas de sementes em cada placa e suas massas conjuntas (placa, papel filtro e sementes) foram aferidas e anotadas para os valores de massa úmida.

O grau de umidade no micro-ondas foi avaliado, após a realização de pré-testes, em 5 tempos, 2 minutos (min) e 40 segundos (s), 3min, 3min20s, 3min40s e 4min, a uma potência de 1300 Watts (W), sendo realizadas 4 repetições para cada tempo avaliado. Ao final de cada período, as amostras serão retiradas e levadas para o dessecador com sílica-gel, posteriormente

foram anotadas as massas aferidas pela balança de precisão 0.001g e pela balança doméstica. O grau de umidade foi obtido pela fórmula indicada na RAS (Brasil, 2009).

3.1.5 Determinação do grau de umidade pelo método da air fryer

A fritadeira elétrica air fryer é caracterizada como mini forno de convecção que cozinha os alimentos com ar quente. Para este trabalho, foi utilizado um aparelho com capacidade total de 2,8 litros, uma voltagem de 110 Volts, com regulagem de temperatura variando de 80 a 200°C.

Para determinação do grau de umidade, foram utilizadas cápsulas de alumínio e as amostras foram pesadas em balança analítica de precisão 0.001g e em balança doméstica. As cápsulas foram pesadas juntamente com o papel filtro que cobriu as sementes de cada cápsula pelas duas balanças, a massa foi anotada e foram adicionadas 20 gramas de sementes em cada cápsula para pesagem. Foram utilizadas 4 repetições para cada tempo de avaliação.

A umidade foi determinada em 5 tempos, selecionados previamente após a realização de pré-testes: 15min, 30min, 45min, 60min e 75min. Ao final de cada período, as amostras foram retiradas e levadas para o dessecador com sílica-gel, sendo anotadas as massas aferidas pela balança de precisão 0.001g e pela balança doméstica eletrônica. Foi utilizada uma temperatura de 200° C. O grau de umidade foi obtido pela fórmula indicada na RAS (Brasil, 2009).

3.2 Experimento 2: Uso de uma caixa de poliestireno expandido (isopor) de secagem artesanal para a determinação do grau de umidade em sementes de feijão

Para esse método, foi utilizado outro lote de sementes, diferente do experimento 1, provenientes do comércio local. Foi feita a caracterização física dessas sementes e os resultados foram comparados pelos outros métodos testados nesse trabalho, método padrão de estufa, capacitância, air fryer e micro-ondas, conforme a metodologia utilizada no primeiro experimento.

Para determinação da umidade, foi utilizada uma caixa artesanal de secagem, semelhante a metodologia proposta por Araújo, Guerra e Vale (2021), proposta como alternativa para desidratação de frutas. A base do equipamento é composta por uma caixa de poliestireno expandido (isopor), com todo o seu interior revestido de papel alumínio para maior

retenção de calor, contendo dimensões de 75 centímetros (cm) de comprimento, 55cm de largura e 30 cm de altura total, conforme a Figura 1.

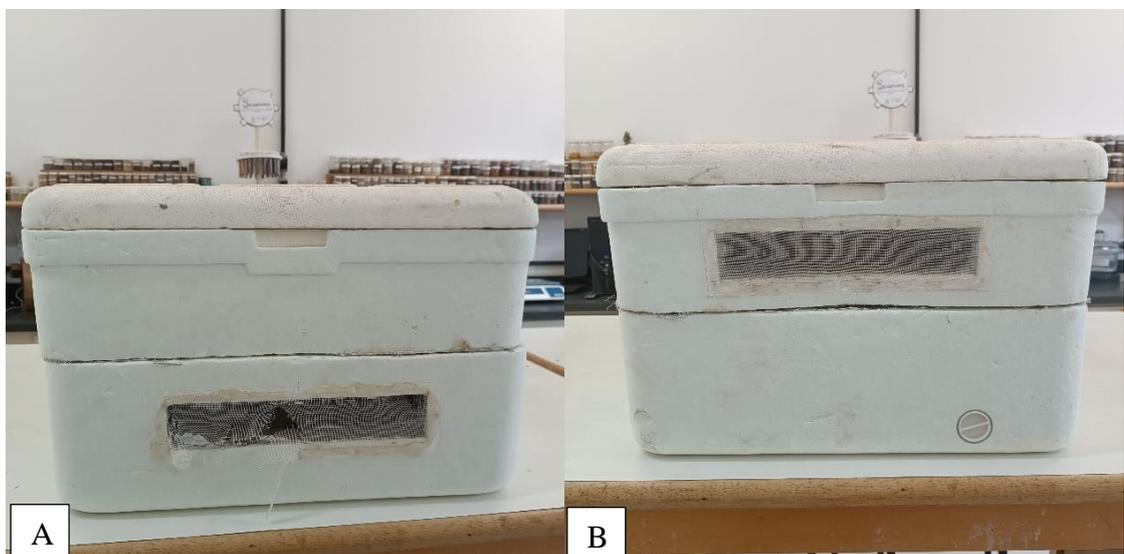
Em cada lateral, foi feita uma abertura de 30cm de comprimento e 6cm de altura protegidas com telas para evitar a entrada de insetos, sendo uma na parte inferior para entrada de ar frio, como mostrado na Figura 2A e outra na parte superior da outra lateral para saída do ar quente, de acordo com a Figura 2B. Além disso, uma tela a uma altura de 16cm do fundo da caixa onde as amostras são dispostas.

Figura 1 – Estrutura da caixa artesanal de secagem



Fonte: De autoria própria, 2023

Figura 2 – Saídas de ar da caixa artesanal de secagem. A – Abertura inferior, saída de ar frio, B- Abertura superior, saída de ar quente.



Fonte: De autoria própria, 2023

As sementes foram distribuídas em telas em aço inoxidável para caixa gerbox e dispostas sobre a tela da caixa de secagem artesanal. Foram adicionados 20 gramas de sementes em cada uma e foram avaliados 6 tempos, após o tempo de exposição à secagem de 5 horas (h), 6h, 7h, 8h, 9h e 10h, utilizando 4 repetições. A distribuição das amostras pode ser verificada pela Figura 3.

A caixa foi levada para a área aberta do Viveiro de Mudanças ICA/UFMG para secagem pela radiação solar por meio da circulação espontânea de ar no interior da caixa, promovido pelas aberturas laterais. Quando esse ar é aquecido, em função da menor densidade, gera uma corrente de ar promovendo a secagem das sementes pela vaporização da água. Ao final de cada tempo, as 4 amostras referentes foram pesadas por meio da balança de precisão 0.001g e pela balança doméstica eletrônica. O grau de umidade foi obtido pela fórmula indicada na RAS (Brasil, 2009).

Figura 3 – Disposição das amostras em telas de aço inoxidável para caixa gerbox na caixa artesanal de secagem



Fonte: De autoria própria, 2023

As condições climáticas do período, 04 de setembro de 2023, das 7 às 18 horas, referentes a temperatura do ar, umidade relativa do ar e radiação global, estão descritas na Tabela 1. Os dados foram obtidos a partir da estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) A506 localizada na cidade de Montes Claros para o período no qual o experimento foi realizado, das 7:30 às 17:30, no dia 04 de setembro de 2023.

Tabela 1 - Dados climáticos obtidos da estação meteorológica automática do INMET A506 – Montes Claros (MG) – 04.09.2023.

Hora	Temperatura do ar (°C)	Umidade relativa do ar (%)	Radiação global (Kj/mÂ²)
7:00	20.2	68	-3.54
8:00	19.7	71	-3.54
9:00	19.5	72	-3.389
10:00	21.4	63	240.432
11:00	23.3	58	1051.072
12:00	25	51	1878.292
13:00	27.4	43	2558.137
14:00	29.3	37	3021.221
15:00	29.8	34	3261.797
16:00	30.9	31	3223.196
17:00	32.6	27	2923.946
18:00	32.5	25	2236.046

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do INMET (2023)

3.3 Análise de custo-benefício

A análise de custo-benefício foi feita comparando unicamente os valores dos equipamentos utilizados, desconsiderando valores adicionais como custo energético. Para isso, foram feitas pesquisas em lojas online, buscando aparelhos e equipamentos com as mesmas características dos utilizados nesse estudo.

3.4 Análises estatísticas

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 2x11 para o Experimento 1 e em esquema fatorial 2x6 para o Experimento 2 com 4 repetições contendo 20 gramas. Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste “F”, as médias comparadas pelo Teste de Tukey e Duncan a 5% de significância com o auxílio do software R. Para determinação do tempo ótimo de secagem, os dados foram utilizados para obtenção da equação da regressão linear.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento 1: Uso de eletrodomésticos para a determinação do grau de umidade em sementes de feijão

4.1.1 Análise das características das sementes de feijão

A análise descritiva geral para as características físicas analisadas nas sementes de feijão está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros relacionados às características físicas de sementes de feijão, *Phaseolus vulgaris*, cultivar carioca, provenientes da safra 2022/2023.

Parâmetros	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Peso de 100 sementes (g)	Grau de umidade (%)
Média	10,19	6,46	4,94	24,07	10,52
Máximo	11,90	7,43	5,61	24,68	10,79
Mínimo	9,31	5,76	4,43	23,29	10,36
Mediana	10,07	6,44	4,93	24,21	10,47
Curtose	-0,09	0,22	-0,23	-1,15	1,76
Assimetria	0,66	0,40	0,13	-0,55	1,35
Desvio padrão	0,57	0,32	0,25	0,52	0,19
CV (%)	5,56	4,97	5,05	2,17	1,77

Fonte: De autoria própria, 2023.

Os dados obtidos revelam que os valores de comprimento, largura e espessura das sementes variam de 9,31 a 11,90 mm, 5,76 a 7,43 mm e 4,43 a 5,61 mm respectivamente. Verifica-se ainda que os valores de média e mediana são próximos e que os valores de assimetria e curtose são próximos ao zero, indicando uma aproximação da distribuição normal. Nota-se, por conseguinte, que o coeficiente de variação dos parâmetros avaliados variou de 1,77 a 5,56%, indicando uma baixa heterogeneidade dos dados devido a seleção inicial das sementes utilizando a amostra retida na peneira de 4.5x22.0 milímetros. Ademais, as sementes apresentam o coeficiente J de 1,57 e o coeficiente H de 0,76, sendo classificadas, dessa forma, como elípticas (1,43 a 1,65) e semi-achatadas (0,70 a 0,79). O peso de mil sementes obtido foi de 240,70 g e 10,52% de grau de umidade, esse valor foi utilizado como controle, comparativo

para os demais métodos testados, indicando o valor real de umidade da amostra, o maior conteúdo de água que pode ser retirado da para a amostra.

Quanto a caracterização sanitária, as sementes não apresentaram contaminação, a taxa de sementes danificadas foi de 0%, resultado da seleção inicial da amostra de estudo.

4.1.2 Métodos para determinação do grau de umidade

Os resultados mostram diferença significativa entre os métodos utilizados, não significativa entre as balanças, evidenciando a eficiência da utilização da balança doméstica para determinação do grau de umidade e que não houve interação significativa entre os métodos e as balanças utilizadas, conforme demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Análise de variância para grau de umidade de sementes de feijão, *Phaseolus vulgaris*, cultivar carioca, provenientes da safra 2022/2023, obtidos pelos métodos padrão da estufa a 105°C/24 h, forno micro-ondas (nos tempos de 2min40s, 3min, 3min20s, 3min40s e 4min) e fritadeira elétrica air fryer (nos tempos de 15 min, 20 m 45min, 60min, 75min), pesadas em balança analítica de precisão e eletrônica doméstica.

FV	GL	QM
Método	10	19,6384*
Balança	1	0,4728ns
Método*Balança	10	1,5946ns
Resíduo	66	2,0305

* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F, ns não significativo.

Fonte: De autoria própria, 2023.

Comparando os métodos avaliados, os resultados mostram similaridade dos métodos do micro-ondas e da fritadeira air fryer quanto ao método oficial padrão de estufa da RAS. Para a determinação do grau de umidade pela secagem no micro-ondas de 1300W, no tempo de 3min20s e na air fryer a 200°C, no tempo de 45 min, verifica-se que não houve diferença estatística significativa com o método padrão de estufa a 105°C/24 horas, conforme os resultados descritos na Tabela 4.

Tabela 4 - Graus de umidade de sementes de feijão, *Phaseolus vulgaris*, cultivar carioca, provenientes da safra 2022/2023, obtidos pelo método padrão da estufa a 105 °C/24h, forno micro-ondas e fritadeira elétrica air fryer em diferentes tempos.

Métodos	Grau de umidade b.u. (%)
Estufa 105°C/24 horas	10,21 cd
Micro-ondas 2'40"	9,62 d
Micro-ondas 3'	11,28 bcd
Micro-ondas 3'20"	10,25 cd
Micro-ondas 3'40"	12,49 ac
Micro-ondas 4'	14,26 a
Air Fryer 15'	9,81 d
Air Fryer 30'	9,88 d
Air Fryer 45'	10,23 cd
Air Fryer 60'	11,12 bcd
Air Fryer 75'	13,34 ab
CV (%)	12,80

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância.

Fonte: De autoria própria, 2023.

De acordo com os dados, há diferenças entre os tempos utilizados na determinação da umidade devido aos tipos de água presentes na semente, água absorvida e água adsorvida que são facilmente removidas pelo calor e água de constituição, que é removida pelo emprego de altas temperaturas porque está fortemente ligada ao material sólido (Puzzi, 2000).

A secagem pela estufa tem primeiramente um processo de aquecimento, seguindo-se a transferência de calor para a superfície das sementes por meio da condução. Esse processo é longo porque a condutividade térmica das sementes é baixa, requerendo tempo para que o centro das sementes atinja a temperatura desejada, considerando também que há perda de energia no aquecimento do ar, paredes internas, utensílios e ambiente (Frاندoloso *et. al.*, 1998).

Observa-se que a utilização do micro-ondas o processo de secagem é mais rápido porque, no processo de aquecimento, as micro-ondas são geradas numa válvula (magnetron) e atingem o interior da câmara por um guia de ondas, não interagindo com o ar, utensílios ou paredes do equipamento, promove uma rápida determinação do grau de umidade e uso eficiente da energia. Como nesse processo há uma radiação de alta frequência, resultando em uma rápida remoção de água e podendo levar à incineração. Os trabalhos para determinação do tempo

ótimo se mostram importantes para evitar a perda de compostos voláteis no processo de secagem e erro no valor obtido (Frandosolo *et al.*, 1998; Garcia, 2014).

Para a determinação pela air fryer, nota-se que o processo ocorre em um tempo maior em comparação ao forno-micro-ondas devido a diferença no processo de aquecimento, a fritadeira air fryer utiliza o calor por convecção, no qual o ar é aquecido e circula em torno das sementes, o calor então é transferido para a superfície das sementes, removendo a umidade ao longo do tempo.

Os resultados convergem com outros trabalhos realizados para as culturas do arroz, soja, milho, feijão, ipê-do-cerrado e pinhão-manso, sobretudo na eficiência do uso do micro-ondas para determinação do grau de umidade com confiabilidade e rapidez em relação ao método padrão de estufa, podendo ser usado em uma faixa ampla, na determinação do grau de umidade de sementes (Luz *et al.*, 1998; Nery *et al.*, 2004; Pedrosa *et al.*, 2014; Sarmiento *et al.*, 2015; Nirmaan *et al.*, 2020; Zolini *et al.* 2022). Quanto ao uso da fritadeira elétrica air fryer, não foram encontrados trabalhos que avaliassem o método para comparação de resultados.

Em relação ao uso das balanças, conforme os dados obtidos na análise de variância, verifica-se que não houve diferença estatística significativa entre as balanças utilizadas, a interpretação é confirmada pelo teste de médias conforme a Tabela 5. Logo, a balança digital doméstica pode ser utilizada para determinação do grau de umidade em alternativa a balança de precisão, contribuindo para redução do custo operacional do processo.

Tabela 5 - Grau de umidade de sementes de feijão, *Phaseolus vulgaris*, cultivar carioca, provenientes da safra 2022/2023, pesadas em balança analítica de precisão e balança digital doméstica.

Tipo de balança	Grau de umidade b.u. (%)
Balança analítica de precisão 0.001 g	11,21 a
Balança digital doméstica	11,06 a
CV (%)	12,80

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância.

Fonte: De autoria própria, 2023.

O medidor de capacitância possui uma metodologia singular para determinação do grau de umidade, limitando a comparação utilizando somente a balança de precisão. A análise é possível, por consequência, ao fato que não houve diferença estatística significativa entre a balança de precisão e a doméstica neste estudo. Os resultados estão descritos na Tabela 6, observa-se que o resultado do grau de umidade utilizando o medidor de capacitância não se difere estatisticamente do método oficial da RAS, utilizando a estufa a 105°C.

Tabela 6 - Graus de umidade retirado de sementes de feijão, *Phaseolus vulgaris*, cultivar carioca, provenientes da safra 2022/2023, obtidos pelo método padrão da estufa a 105 °C/24h, forno micro-ondas, fritadeira elétrica air fryer e medido de capacitância.

Métodos	Grau de umidade b.u. (%)
Estufa 105°C/24 horas	10,53 bcd
Micro-ondas 2'40''	9,48 d
Micro-ondas 3'	10,53 bcd
Micro-ondas 3'20''	10,98 ad
Micro-ondas 3'40''	12,84 ac
Micro-ondas 4'	14,05 a
Air Fryer 15'	9,86 bcd
Air Fryer 30'	9,76 cd
Air Fryer 45'	10,71 bcd
Air Fryer 60'	11,63 ad
Air Fryer 75'	12,93 ab
Capacitância	10,93 bcd
CV (%)	11,18

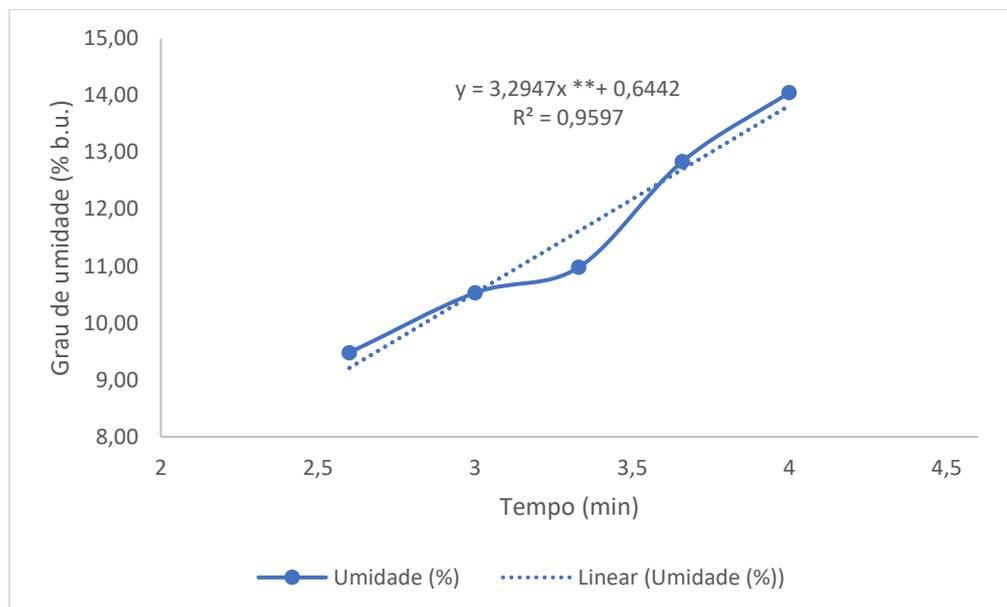
Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância.

Fonte: De autoria própria, 2023.

A partir dos resultados obtidos, por meio da análise de regressão, pode-se compreender o comportamento da variação do grau de umidade retirado das sementes em função do tempo de secagem. O Gráfico 1 apresenta esses dados e a equação linear obtida para o conjunto de dados. Considerando a umidade ideal obtida pelo método padrão de estufa, 10,53%, e equação gerada a partir dos dados obtidos, o tempo ótimo para determinação de umidade pelo micro-ondas é de, aproximadamente, 3 minutos.

Pela análise de variância, obteve-se o p valor de 0,00348, valor significativo ao nível de 0.1%, dessa forma, a variação dos valores preditos pelo modelo não se deve ao acaso, a regressão linear explica a variação da umidade em função do tempo durante a utilização do micro-ondas. O coeficiente angular (3,2947) apresentou variação significativa ao nível de 1%, demonstrando que variações no tempo trazem variações significativas na umidade. Ademais, o coeficiente de determinação apresentou valores superiores a 0,95, ou seja, a equação linear determinadas podem explicar mais de 95% dos dados, indicando também elevada dependência entre as variáveis, o grau de umidade e o tempo.

Gráfico 1 - Graus de umidade em sementes de feijão, *Phaseolus vulgaris*, cultivar carioca, provenientes da safra 2022/2023, obtidos pelo forno micro-ondas de em função do tempo.



**significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

Fonte: De autoria própria, 2023

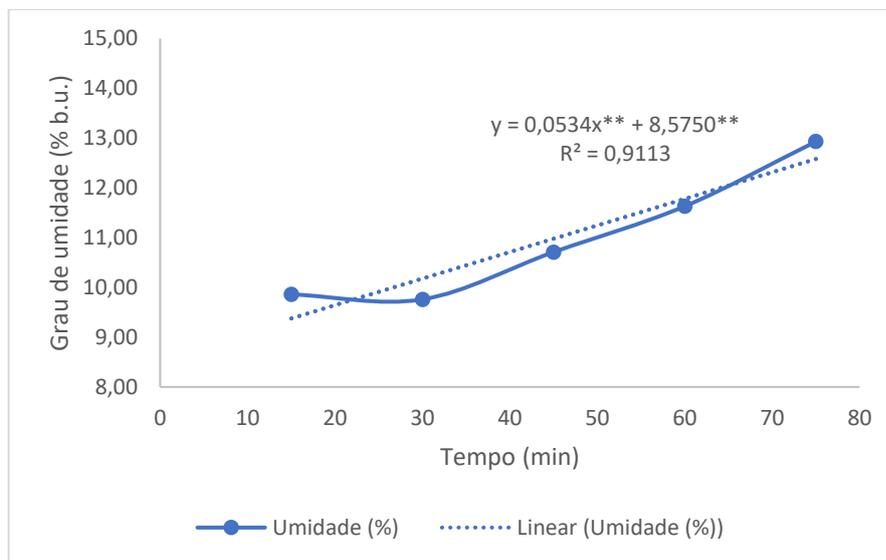
Como mencionado anteriormente, o uso do micro-ondas apresenta pontos positivos, além da redução do tempo de determinação, eficiência, execução simplificada e redução no consumo energético.

A mesma análise foi feita com os dados provenientes da secagem pela fritadeira elétrica air fryer. Pela equação gerada a partir dos dados obtidos, conforme o Gráfico 2, o tempo ótimo para determinação de umidade pela air fryer é de 37min.

Pela análise de variância, obteve-se o p valor de 0,01153, valor significativo ao nível de 1%, dessa forma, a variação dos valores preditos pelo modelo não se deve ao acaso, a regressão linear explica a variação da umidade em função do tempo durante a utilização da air fryer.

O coeficiente linear (8,5750) e o angular (0,0534) apresentaram variação significativa ao nível de 1%, demonstrando que o intercepto é significativo, é diferente de 0 e que variações no tempo trazem variações significativas na umidade respectivamente. Assim como a determinação da regressão linear para o micro-ondas, o coeficiente de determinação apresentou valores superiores a 0,91, ou seja, a equação linear determinadas podem explicar mais de 91% dos dados.

Gráfico 2 - Graus de umidade em sementes de feijão, *Phaseolus vulgaris*, cultivar carioca, provenientes da safra 2022/2023, obtidos pela fritadeira elétrica air fryer em função do tempo.



**significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

Fonte: De autoria própria, 2023

4.2 Experimento 2: Uso de uma caixa de poliestireno expandido (isopor) de secagem artesanal para a determinação do grau de umidade em sementes de feijão

4.2.1 Análise das características físicas das sementes

A análise descritiva geral para as características físicas analisadas nas sementes de feijão está apresentada na Tabela 7.

Os dados obtidos revelam que os valores de comprimento, largura e espessura das sementes variam de 8,36 a 12,91, 6,08 a 7,70 e 3,76 a 5,79 respectivamente. Verifica-se ainda que os valores de média e mediana são próximos e que os valores de assimetria e curtose são próximos ao zero, indicando uma aproximação da distribuição normal. Nota-se, em vista disso, que o coeficiente de variação dos parâmetros avaliados variou de 2,47 a 8,01, indicando uma baixa heterogeneidade dos dados. Ademais, as sementes apresentam o coeficiente J de 1,44 e o coeficiente H de 0,70, sendo classificadas, dessa forma, como elípticas e semi-achatadas. O peso de mil sementes obtido foi de 259,70 gramas e 16,50% de grau de umidade.

Tabela 7 - Parâmetros relacionados às características físicas de sementes de feijão, *Phaseolus vulgaris*, cultivar carioca, provenientes do comércio local de Montes Claros-MG.

Parâmetros	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Peso de 100 sementes (g)	Grau de umidade (%)
------------	------------------	--------------	----------------	--------------------------	---------------------

Média	10,21	7,06	4,97	25,97	16,50
Máximo	12,91	7,70	5,79	27,46	17,12
Mínimo	8,36	6,08	3,76	25,46	14,79
Mediana	10,19	7,10	5,01	25,82	17,04
Curtose	3,01	-0,77	0,14	5,15	3,94
Assimetria	0,64	-0,27	-0,42	2,14	-1,98
Desvio padrão	0,63	0,41	0,40	0,64	1,14
CV (%)	6,17	5,80	8,01	2,47	6,91

Fonte: De autoria própria, 2023

Observa-se que as sementes utilizadas para os dois trabalhos apresentam o mesmo formato e grau de achatamento e, dessa forma, o material utilizado em ambos apresentam similitude quanto ao processo de secagem. O grau de umidade apresentou níveis diferentes, para o Experimento 1, obteve-se uma média de 10,53% e para o Experimento 2, uma média de 16,50%.

4.2.2 Métodos para determinação do grau de umidade

Os resultados mostram diferença significativa entre os métodos utilizados, não significativa entre as balanças, evidenciando a eficiência da utilização da balança doméstica para determinação do grau de umidade e que não houve interação significativa entre os métodos e as balanças utilizadas, conforme demonstrado na Tabela 8.

Tabela 8 - Análise de variância para grau de umidade de sementes de feijão, *Phaseolus vulgaris*, cultivar carioca, provenientes do comércio local de Montes Claros-MG, obtidos pelos métodos padrão da estufa a 105°C/24 h, forno micro-ondas (3min), na fritadeira elétrica air Fryer (37 min) e caixa de secagem (nos tempos de 5h, 6h, 7h, 8h, 9h, 10h) pesadas em balança analítica de precisão e eletrônica doméstica.

FV	GL	QM
Método	8	135,0091*
Balança	1	12,9965ns
Método*Balança	8	4,7511ns
Resíduo	54	5,3314

* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F, ns não significativo

Fonte: De autoria própria, 2023

Comparando os métodos avaliados, os resultados mostram similaridade dos métodos do micro-ondas e da fritadeira air fryer quanto ao método oficial padrão de estufa da RAS. Para a determinação do grau de umidade pela secagem nos tempos ótimos obtidos pela regressão linear, no tempo de 3min para o forno micro-ondas e na air fryer no tempo de 37min, verifica-se que não houve diferença estatística significativa ao método padrão de estufa a 105°C/24 horas. É válido ressaltar que os lotes utilizados apresentaram níveis de umidade distintos e, dessa forma, os métodos testados se mostraram confiáveis. Para as determinações do grau de umidade utilizando a caixa artesanal de secagem, observa-se que os resultados, que indicam o grau de umidade retirado das sementes em cada período analisado, foram diferentes estatisticamente, sendo que houve uma taxa de secagem para cada tempo testado. Os resultados descritos na Tabela 9.

Tabela 9 - Graus de umidade retirados de sementes de feijão, *Phaseolus vulgaris*, cultivar carioca, provenientes do comércio local de Montes Claros-MG, obtidos pelo método padrão da estufa a 105 °C/24h, forno micro-ondas (3min), fritadeira elétrica air fryer (37min) e caixa de secagem (nos tempos de 5h, 6h, 7h, 8h, 9h, 10h).

Métodos	Grau de umidade b.u. (%)
Estufa 105°C/24 horas	15,85 a
Micro-ondas 3min	16,19 a
Air Fryer 37min	17,07 a
Caixa de secagem 5 h	7,44 b
Caixa de secagem 6 h	7,88 b
Caixa de secagem 7 h	7,49 b
Caixa de secagem 8 h	9,81 b
Caixa de secagem 9 h	8,88 b
Caixa de secagem 10 h	9,05 b
CV (%)	21,05

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Duncan a 5% de significância

Fonte: De autoria própria, 2023

Os resultados do grau de umidade considerando apenas a balança de precisão e sendo comparados com o método da capacitância estão descritos na Tabela 10, observa-se que o resultado do grau de umidade, utilizando o medidor de capacitância não se difere estatisticamente do método oficial da RAS, utilizando a estufa a 105°C, bem como dos métodos alternativos empregados, micro-ondas e air fryer.

Tabela 10 - Graus de umidade de sementes de feijão, *Phaseolus vulgaris*, cultivar carioca, provenientes do comércio local de Montes Claros-MG, obtidos pelo método padrão da estufa a 105 °C/24h, forno micro-ondas, fritadeira elétrica air fryer e medidor de capacitância.

Métodos	Grau de umidade b.u. (%)
Estufa 105°C/24 horas	16,50 a
Capacitância	17,53 a
Micro-ondas 3'	15,74 a
Air Fryer 37'	17,50 a
Caixa de secagem 5 h	6,49 b
Caixa de secagem 6 h	7,36 b
Caixa de secagem 7 h	7,72 b
Caixa de secagem 8 h	8,08 b
Caixa de secagem 9 h	7,04 b
Caixa de secagem 10 h	8,45 b
CV (%)	11,17

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância

Fonte: De autoria própria, 2023

Como mencionado, os métodos testados para a determinação do grau de umidade utilizando a caixa de secagem não apresentaram valores iguais estatisticamente ao método padrão da RAS, no entanto, verificou-se uma taxa de secagem para cada um dos tempos testados de acordo com a umidade de 16,50 % obtida pela determinação pela estufa. Os dados são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11- Grau de umidade retirado das sementes pelo método da caixa de secagem e taxa de secagem em relação ao método padrão es estufa a 105 °C/24h.

Método	Grau de umidade b.u. (%)	Taxa de secagem (%)
	retirado das sementes	
Caixa de secagem 5 h	6,49	46,94
Caixa de secagem 6 h	7,36	49,72
Caixa de secagem 7 h	7,72	47,26
Caixa de secagem 8 h	8,08	61,89
Caixa de secagem 9 h	7,04	56,03
Caixa de secagem 10 h	8,45	57,10

Fonte: De autoria própria, 2023

Na caixa de secagem artesanal por exposição solar, a energia radiante aquece as sementes e o ar dentro do sistema, e como o ar aquecido é menos denso, ele tende a subir num processo de convecção natural, saindo pela parte superior do sistema, levando a umidade retirada das sementes. Desse modo, é um método que exige um período de exposição solar superior ao testado.

Em contrapartida, apresenta-se como um bom método para redução do grau umidade das sementes, visto que proporcionou uma redução superior a 50% no valor. De acordo com o postulado de Harrington (1972), essa redução traz significativo aumento da de viabilidade das sementes, a cada 1% reduzido, duplica-se o período de vida das sementes. Além disso, o menor grau de umidade possibilita a escolha de embalagens para o armazenamento que contribuam para a manutenção dessa viabilidade.

Conforme Aguirre e Peske (1991), é recomendado o uso de embalagem permeável ou a granel para as sementes de feijão armazenadas com teor de água inferior a 13%, considerando que o tempo de armazenamento, da colheita à semeadura, é de no máximo oito meses. Para armazenar sementes de feijão em embalagens impermeáveis, por até oito meses, o seu teor de água tem de ser inferior a 11%. Teores abaixo de 9%, conforme os resultados encontrados neste trabalho para a utilização da caixa de secagem, possibilita o acondicionamento em embalagem impermeável por períodos mais prolongados (Harrington, 1972).

4.3 Custo-benefício dos métodos alternativos

Como citado, não foi observada diferença estatística entre as balanças utilizadas, essa correspondência contribui para redução de gastos dos equipamentos necessários para a determinação do grau de umidade. É válido ressaltar que a comparação se refere somente ao preço dos equipamentos, desconsiderando gastos adicionais, como o custo energético. A Tabela 12 traz a análise comparativa de preço das balanças que podem ser utilizadas para a determinação do grau de umidade.

Tabela 12- Comparação de valores aproximados de aquisição de uma balança analítica de precisão 0,001g e uma balança eletrônica doméstica no mercado.

Equipamento	Preço (R\$)
Balança analítica de precisão 0,001g	6000,00
Balança eletrônica doméstica	28,00
Economia	5972,00

Fonte: De autoria própria, 2023

Ademais, os métodos do micro-ondas e air fryer apresentaram resultados eficientes, dessa forma, pode-se comparar também os valores que, assim, como a balança, contribuem para que se tenha uma redução dos gastos com os equipamentos. A comparação se encontra nas Tabelas 13 e 14.

Tabela 13- Comparação de valores aproximados de aquisição de uma estufa de circulação forçada de ar e um forno micro-ondas doméstica no mercado.

Equipamento	Preço (R\$)
Estufa de circulação forçada de ar	8000,00
Forno micro-ondas	520,00
Economia	7480,00

Fonte: De autoria própria, 2023

Tabela 14 - Comparação de valores aproximados de aquisição de uma estufa de circulação forçada de ar e uma fritadeira elétrica air fryer doméstica no mercado.

Equipamento	Preço (R\$)
Estufa de circulação forçada de ar	8000,00
Fritadeira elétrica air fryer	330,00
Economia	7670,00

Fonte: De autoria própria, 2023

Observa-se uma redução significativa no custo dos equipamentos utilizados, podendo apresentar uma variação superior devido as características apresentadas por cada um.

5 CONCLUSÃO

A determinação do grau de umidade em sementes de feijão utilizando os eletrodomésticos micro-ondas, air fryer e balança digital doméstica são eficientes e podem ser utilizados em alternativa ao método padrão de estufa de secagem a temperatura de 105 °C por 24 horas. O tempo ótimo de 3min para o forno micro-ondas, a uma potência de 1300W, e de 37min na air fryer, a uma temperatura de 200° C, são ideais para a determinação do grau de umidade em sementes feijão carioca. A balança doméstica pode ser utilizada como alternativa para a determinação, uma vez que se mostrou eficiente quando comparada a balança analítica.

A utilização da caixa artesanal de secagem não se mostrou eficiente para a determinação do grau de umidade nos tempos testados, porém apresentou uma taxa de secagem que pode auxiliar nos processos de armazenamento e conservação de sementes de feijão, utilizando embalagens adequadas.

Os métodos alternativos, utilizando micro-ondas, air fryer e balança digital doméstica podem ser utilizados para determinação do grau de umidade de maneira rápida, prática e eficiente, além de possibilitar redução do custo operacional das análises e autonomia ao pequeno e médio agricultor.

REFERÊNCIAS

- AGUIRRE, R.; PESKE, S. Efecto de la humedad en el almacenamiento hermético a corto plazo de semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris*). **Seed Science & Technology**, v.19, p.117-122, 1991.
- ARAÚJO, C.V.M.; GUERRA, F.K. de O.M.V.; VALE, M.R.B.G. Construção de secador solar no Semiárido nordestino utilizando materiais recicláveis. **Revista Brasileira de Energia Solar**, Fortaleza, ano 12, v. 12, n. 1, p. 21-30, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.59627/cbens.2020.1001>. Acesso em: 6 nov. 2023.
- ARAÚJO, *et al.* **O. Cultura do Feijoeiro Comum no Brasil**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1996.
- BARRIGOSI, J.A.F.; FERREIRA, C.M. Arroz e feijão: tradição e segurança alimentar. Brasília, DF: Embrapa, 2021. 164p
- BRAGANTINI, C. **Alguns aspectos do armazenamento de sementes e grãos de feijão**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. 28 p. (Documentos / Embrapa Arroz e Feijão, ISSN 1678-9644; 187) Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/194008/1/doc187.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2023.
- BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e do Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: SNDA/DNDV/ CLAV, 2009. p. 309, 312,342. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise_sementes.pdf. Acesso em: 10 abr. 2023.
- Clima Montes Claros: Temperatura, Tempo e Dados climatológicos Montes Claros**. Climate-data.org. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/minas-gerais/montes-claros-2886/>>. Acesso em: 16 nov. 2023.
- CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento (Conab). Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Brasília, DF, v. 11, safra 2023/24, n. 2 segundo levantamento, novembro 2023, 111p. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em 15 abr. 2023.
- CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Perspectivas para a agropecuária - safra 2016-2017**. Brasília, 2016. v. 4, 129 p.
- DEMITO, A.; AFONSO, A.D.L. Qualidade das sementes de soja resfriadas artificialmente. **Revista Engenharia na Agricultura: REVENG**, [s. l.], v. 17, n. 1, p. 7-14, 2009. DOI 10.13083/reveng.v17i1.88. Disponível em: <https://doi.org/10.13083/reveng.v17i1.88>. Acesso em: 17 abr. 2023.
- FRANÇA NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A. **A importância do uso de sementes de soja de alta qualidade**. Londrina: ABRATES, 2010. p.037-038.
- FRANDOLOSO, V. *et al.* Determinação do grau de umidade de sementes de cebola, cenoura e tomate em forno de micro-ondas. **Revista Brasileira de Sementes**, [s. l.], v.20, n.2, p.48-

57. 1998. DOI 10.17801/0101-3122/rbs.v20n2p48-57. Disponível em: <https://doi.org/10.17801/0101-3122/rbs.v20n2p48-57>. Acesso em 22 abr. 2023.

GARCIA, L.G.C. Determinação do teor de água em farinhas por micro-ondas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 16, n. 1, p. 17-25, 2014

GEHAKA. **Manual de Instruções Analisador de Umidade e Impurezas G650i**. São Paulo, SP. 2014, 48p. Disponível em: https://www.gehaka.com.br/produtos/linha-agricola/medidor-de-umidade-de-graos-portatil/g650i/manual_g650i.pdf. Acesso em: 10 abr. 2023.

GOLDFARB, M.; QUEIROGA, V. de P. **Considerações sobre o armazenamento de sementes**. João Pessoa: Tecnologia e Ciência Agropecuária, v.7, p.71-74, 2013. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/982507/1/sementes.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2023.

HARRINGTON, J. F. Seed storage and longevity. In: KOLOSWSKI, T. T. (Ed.). **Seed Biology**. New York: Academic Press. p. 145 – 245, 1972.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Agropecuário 2017. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>>. Acesso em: 08 nov. 2023.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia - Inmet.gov.br. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/paginas/catalogoaut>>. Acesso em: 20 nov. 2023.

LUZ, C. *et al.* Determinação do teor de água de sementes de arroz por secagem com micro-ondas. **Revista Brasileira de Sementes**, [s. l.], v. 20, n. 1, p.70-74, 1998. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/287941518_Determinacao_do_teor_de_agua_de_sementes_de_arroz_por_secagem_com_microondas. Acesso em: 14 abr. 2023.

MORITZ, A. *et al.* Comparação de métodos para a determinação do teor de umidade em grãos de milho e de soja. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 145-154, 2012.

NERY, M. C. *et al.* Determinação do grau de umidade de sementes de ipê-do-cerrado *Tabebuia ochracea* ((cham.) standl.) pelos métodos de estufa e forno de microondas. **Ciênc. Agrotec.**, v. 28, n. 6, p. 1299-1305, 2004.

NIRMAAN, A. M. C. *et al.* Comparison of microwave drying and oven-drying techniques for moisture determination of three paddy (*Oryza sativa* L.) varieties. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 7, p.1-7, 2020

OLIVEIRA, V. R. de *et al.* Qualidade para o cozimento e composição nutricional de genótipos de feijão com e sem armazenamento sob refrigeração. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 5, p. 746-752, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011005000050>. Acesso em 16 abr. 2023.

PEDROSA, C. R. G. *et al.* Viabilidade do uso de aparelho de micro-ondas na determinação do teor de água em sementes de milho e soja. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 35, n.1, p48-53, 2014

PUERTA-ROMERO, J. Variedades de judias cultivadas em Espanha. Madrid: Ministério de Agricultura/INIA, 798p, 1961

PUZZI, D. Abastecimento e armazenamento de grãos. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola; 666p, 2000

RASCHEN, M. F. *et al.* Determinação do grau de umidade em grãos empregando radiação micro-ondas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 5. p. 925-930, 2014. DOI [10.1590/S0103-84782014000500026](https://doi.org/10.1590/S0103-84782014000500026). Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782014000500026>. Acesso em 20 abr. 2023.

SARMENTO, H. G. dos S. *et al.* Determinação do teor de água em sementes de milho, feijão e pinhão-manso por métodos alternativos. **Energia na agricultura**, [s. l.], v. 30, n. 3, p. 250–256, 2015. DOI 10.17224/EnergAgric.2015v30n3p250-256 Disponível em: <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2015v30n3p250-256>. Acesso em: 21 abr. 2023

SCARIOT, M. A. *et al.* Moisture content at harvest and drying temperature on bean seed quality. **Pesquisa Agropecuária Tropical** [online], [s. l.], v. 47, n. 1, p. 93-101 2017. DOI 10.1590/1983-40632016v4743135. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4743135>. Acesso em: 17 abr. 2023.

SILVA, O. F. da; WANDER, A. E. **O feijão comum no Brasil: passado, presente e futuro**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2013. (Documentos, 287)

TAMBARA, S.V.B. *et al.* O real valor de umidade dos produtos agrícolas. Grãos 2001, p.40-42.

TOLEDO, M. Z. *et al.* Qualidade fisiológica e armazenamento de sementes de feijão em função da aplicação tardia de nitrogênio em cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 2, p. 124–133, 2009. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/3486> . Acesso em: 15 abr. 2023.

ZOLINI, G. N. *et al.* Eficiência do uso de micro-ondas para determinação de umidade em grãos de soja (*Glycine max* (L.) Merr.): Uso na radiação não-ionizante na agricultura. **Diversitas Journal**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 0071–0081, 2022. DOI <https://doi.org/10.48017/dj.v7i1.1713>. Disponível em: https://diversitasjournal.com.br/diversitas_journal/article/view/1713. Acesso em: 18 abr. 2023.

