

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

AGRONOMIA

MÉTODOS ALTERNATIVOS DE DETERMINAÇÃO DO GRAU DE UMIDADE
DE SEMENTES DE MILHO

SAULO PEREIRA DE SOUZA

SAULO PEREIRA DE SOUZA

MÉTODOS ALTERNATIVOS DE DETERMINAÇÃO DO GRAU DE
UMIDADE DE SEMENTES DE MILHO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto de Ciências
Agrárias da Universidade Federal de
Minas Gerais, como requisito parcial, para
a obtenção do título de Bacharel em
Agronomia.

Orientador: Prof. Delacyr da Silva
Brandão Junior

Montes Claros
Instituto de Ciências Agrárias - UFMG
2022



DECLARAÇÃO

Declaro que a monografia intitulada:

"Métodos alternativos para determinação do grau de umidade em sementes de milho"

de autoria do aluno: Autor (A): Saulo Pereira de Souza

Matrícula Nº: 2016001784 está em conformidade com a Resolução aprovada pelo Colegiado do Curso em Agronomia

Declaro, ainda que a mesma poderá () não poderá ser disponibilizada na página eletrônica do ICA/UFMG.

Montes Claros-MG, 12 de julho de 2022.

Nome do professor orientador: Delacyr da Silva Brandão Junior

Assinatura do professor orientador

Saulo Pereira de Souza

MÉTODOS ALTERNATIVOS DE DETERMINAÇÃO DO GRAU DE UMIDADE
DE SEMENTES DE MILHO

Aprovada pela banca examinadora constituída por:

Prof. Edson de Oliveira Vieira - ICA/UFMG

Ana Clara Santos Duarte – Mestranda - ICA/UFMG

Josiane Cordeiro dos Santos – Bióloga - ICA/UFMG

Prof. Delacyr da Silva Brandão Junior - Orientador ICA/UFMG

Montes Claros, 12 de julho de 2022.

Dedico aos meus pais, exemplo de força e
determinação, que me trouxeram até aqui.

AGRADECIMENTOS

Ao professor orientador Delacyr da Silva Brandão Junior, pela paciência e disponibilidade durante todo o desenvolvimento do trabalho.

Ao Instituto de Ciências Agrárias da UFMG pelo acolhimento durante toda a trajetória de graduação.

A todos do Laboratório de Análise de Sementes do ICA.

Aos amigos que comigo caminharam, nos dias bons e ruins durante todo o percurso da graduação, foi uma boa jornada.

Por fim a todos os amigos e familiares que confiaram e ainda confiam em mim como alguém capaz de coisas grandes, espero continuar por longos anos compartilhando da fé e da coragem.

Muito obrigado.

*“Todavia, ao SENHOR agradou o moê-
lo, fazendo-o enfermar; quando a sua
alma se puser por expiação do pecado,
verá a sua posteridade, prolongará os
dias, e o bom prazer
do SENHOR prosperará na sua mão.”*

(Isaías 53: 10)

RESUMO

É fundamental levar ao produtor, alternativas acessíveis para a determinação do grau de umidade de sementes, primordial para tomada de decisões acerca do momento ideal de colheita, secagem, processamento, armazenamento, comercialização e proteção. O cenário socioeconômico diverso da agricultura brasileira pede que se estudem e desenvolvam tais alternativas, principalmente de baixo custo. Nesse sentido, é importante caracterizar as sementes e propor a adequação de metodologias, visando permitir a autonomia e monitoramento da qualidade por parte do agricultor. Portanto, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de comparar métodos alternativos, utilizando equipamentos domésticos aos métodos oficiais para determinação do grau de umidade: método da estufa 105°C/24h, método da estufa 130°C/4h, e também os métodos do medidor de capacitância e medidor infravermelho, que já tem sua utilização respaldada por estudos. Foram utilizadas sementes de milho, em três diferentes níveis de grau de umidade. Foram avaliados ainda os métodos utilizando equipamentos domésticos: do micro-ondas, na potência de 600 Watts, nos tempos de 2min30s, 5min, 7min30s e 9min e método do Air Fryer 200°C, pelos tempos de 45min, 60min, 75min e 90min. Para cada tratamento citado utilizou-se quatro repetições. A determinação do grau de umidade foi calculada com base no peso em balança de precisão e em balança doméstica. Os resultados mostraram que os métodos do micro-ondas e air fryer são passíveis de utilização para este fim, sem ônus na consistência dos resultados, com boa redução de tempo operacional de execução. A relação tempo/potência foi estabelecida e aderência estatística da avaliação ao método padrão corroborada. Conclui-se que há nos métodos do air fryer e do micro-ondas uma via de cálculo de umidade de sementes confiável e acessível, o que pode aumentar a independência do pequeno produtor na obtenção de informações sobre seu produto e na sua autonomia frente as decisões a serem tomadas.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Gráfico 1 - Grau de umidade em sementes de milho, em três níveis de umidade (N1 - baixa, N2 - intermediária e N3 - alta), obtidos no aparelho Air fryer na temperatura de 200°C, em função do tempo..... 18
- Gráfico 2 - Grau de umidade em sementes de milho, em três níveis de umidade (N1 - baixa, N2 - intermediária e N3 - alta), determinada no aparelho Micro-ondas na potência de 600 Watts, em função do tempo..... 19

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Parâmetros relacionados às características físicas (peso de 100 sementes, uniformidade de retenção em peneiras e grau de umidade, método padrão da estufa a 105 °C/24h) de sementes de milho, em três níveis de umidade.....	18
Tabela 2 - Análise de variância para grau de umidade de sementes de milho secas (N1), intermediárias (N2) e úmidas (N3), obtidos pelos métodos padrão da estufa a 105°C/24 h, estufa a 130°C/4h, forno micro-ondas (nos tempos de 2'30", 5', 7'30" e 9') e AirFryer (nos tempos de 45', 60', 75' e 90'), pesadas em balança doméstica e de precisão.....	18
Tabela 3 - Grau de umidade de sementes de milho em três níveis de umidade (N1 - baixa, N2 - intermediária e N3 - alta), obtidas pelos métodos padrão da estufa a 105°C/24 h, estufa a 130°C/4h, forno Micro-ondas e AirFryer.....	18
Tabela 4 - Grau de umidade de sementes de milho em três níveis de umidade (N1 - baixa, N2 - intermediária e N3 - alta), obtidas pelos métodos padrão da estufa a 105°C/24h, estufa a 130°C/4h, Micro-ondas, AirFryer, Capacitância e Infravermelho.....	19
Tabela 5 - Grau de umidade de sementes de milho em três níveis de umidade de sementes (N1 - baixa, N2 - intermediária e N3 - alta), pesadas em balança doméstica e balança de precisão.....	21
Tabela 6 - Comparação de valores aproximados de aquisição de estufas para laboratório e aparelhos de Air fryer no mercado.....	21
Tabela 7 - Comparação dos valores aproximados de obtenção de balanças de precisão e doméstica no mercado.....	21

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RAS – Regras para Análise de sementes.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

N1 – Nível de umidade de sementes 1, estado seco.

N2 – Nível de umidade de sementes 2, estado intermediário.

N3 – Nível de umidade de sementes 3, estado úmido.

T1 – Tempo primário de exposição ao método.

T2 – Tempo secundário de exposição ao método.

T3 – Nível terciário de exposição ao método.

T4 – Nível quartanário de exposição ao método.

B.U. (base úmida – relação entre a massa de água presente na semente e a massa total da semente).

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1	SEMENTES DE MILHO E UMIDADE.....	3
2.2	MÉTODOS DE ANÁLISES DE UMIDADE DE SEMENTES.....	3
3.	MATERIAL E MÉTODOS.....	4
3.1	LOCAL DO ESTUDO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	4
3.2	CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE FÍSICA DAS SEMENTES.....	4
3.3	MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DOS TRÊS NÍVEIS DE UMIDADE.....	5
3.3.1	MÉTODO DA ESTUFA (105±3°C/24H).....	5
3.3.2	MÉTODO DA ESTUFA (130±3°C/4H).....	5
3.3.3	MÉTODO DE CAPACITÂNCIA - MEDIDOR G650	5
3.3.4	MÉTODO DO INFRAVERMELHO	6
3.3.5	MÉTODO DO MICRO-ONDAS.....	6
3.3.6	MÉTODO DO AIR FRYER.....	7
3.4	ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	7
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	8
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE FÍSICA DAS SEMENTES.....	8
4.2	MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DOS TRÊS NÍVEIS DE UMIDADE.....	11
5.	CONCLUSÃO.....	17
6.	REFERÊNCIAS.....	17

INTRODUÇÃO

O grau de umidade apresentado pelas sementes é de fundamental importância sob diversos aspectos, sejam fisiológicos, físicos, de germinação e na avaliação de seu estado de viabilidade, e sua detecção precisa é a chave para tomada de decisões acerca de todo o processo, da colheita ao beneficiamento e armazenamento. Os indicativos de umidade das sementes influenciam as decisões a serem tomadas no âmbito de pré-tratamentos, mecanização de processos e proteção sanitária (SARMENTO et al., 2015).

A determinação do grau de umidade das sementes tem um viés econômico muito relevante, pois esse produto é comercializado com o valor atrelado ao peso, sendo preponderante a influência da umidade em tal (RASCHEN et al., 2014). Para que haja consistência na sua aplicação, um método de avaliação de umidade de sementes deve apresentar dois aspectos primordiais: 1) tem que apresentar resultados passíveis de serem reproduzidos e 2) indicar com precisão as alterações de umidade ocorridas.

Os métodos oficialmente estabelecidos pela RAS – Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), visam criar um padrão de análise passível de ser reproduzido em diferentes laboratórios e para diferentes materiais. Dentre eles, o método da estufa a $105\pm 3^{\circ}\text{C}$ por 24 horas pode ser utilizado para todas as sementes e com sementes inteiras. O método de estufa de alta temperatura 130° - 133°C compõe em sua aplicação um escopo de espécies pré-estabelecido, cujo tempo de aplicação também é relativo ao material estudado (BRASIL, 2009).

O desenvolvimento de técnicas alternativas que reduzam o tempo e o custo do cálculo da umidade de sementes é de fundamental importância para o cenário agrícola brasileiro, dotado das mais variadas realidades. Os equipamentos necessários para a análise padrão da RAS nem sempre estão acessíveis em todas essas realidades, o que demonstra necessidade de adaptação de ferramentas que se encontrem mais facilmente disponíveis nas propriedades ou trazendo métodos que, ao serem aplicados de maneira inicial, tragam seu custo agregado reduzido.

A autonomia do agricultor é um ponto chave a ser considerado, uma vez que produtores da agricultura familiar necessitam de um conjunto metodológico que os garantam uma contrapartida de informações acerca da qualidade dos produtos por eles comercializados nos centros comerciais e nos centros de captação de sementes. Assim,

nas propriedades de menor porte, o próprio agricultor pode analisar a qualidade das sementes, aplicando técnicas disponíveis e confiáveis.

Os aparelhos elétricos de uso doméstico, Micro-ondas e Air fryer são bem difundidos, devido às suas facilidades de uso, custos relativamente baixos e amplitude de aplicações. Devido às naturezas de suas operações, faz-se o questionamento em relação a viabilidade e eficiência como métodos alternativos para determinação do grau de umidade de sementes. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi comparar métodos alternativos, utilizando equipamentos domésticos aos métodos diretos oficiais e indiretos para determinação do grau de umidade de sementes de milho, visando obter os melhores tempos e temperaturas de aplicação desses aparelhos na obtenção de resultados consistentes. Além disso, verificar se existem diferenças entre a balança de precisão e a de uso doméstico.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. SEMENTES DE MILHO E UMIDADE

O milho (*Zea mays* L.) é pertencente à família Poaceae, com seu centro de origem localizado no México, sendo uma das principais culturas agrícolas do mundo e cultivado em todo território brasileiro, com impacto econômico significativo dentre as culturas anuais (CONAB, 2021).

A cultura do milho é elemento chave da produção agropecuária em todo o Brasil, em vista das suas variadas formas de consumo e utilização e toda a abrangência de suas vias de utilização industrial (CALONEGO *et al.*, 2022).

Segundo levantamentos da CONAB (2022), a alta na produção de milho no Brasil na safra 2021/22 deverá chegar a 5,4% em relação à produção em 2020/21, atingindo a casa das 115 milhões de toneladas.

Visto isso, é importante destacar que as fases de colheita e armazenamento do milho são essenciais para que se garanta o seu melhor uso e a longevidade da viabilidade dos aspectos fisiológicos, mecânicos e sanitários dos grãos, com menores danos possíveis, e para isso o cálculo da umidade é fator preponderante (GUEDES *et al.*, 2021).

Mesmo em relação à germinação, todo o metabolismo envolvido é iniciado com a embebição e vai até a emissão da raiz primária, variando conforme o nível de hidratação da semente. A hidratação é inicialmente caracterizada pela rápida absorção de água e aumento do potencial hídrico do embrião, com uma redução na velocidade de hidratação. Ao atingir um grau de umidade similar ao da maturidade fisiológica, a semente passa a apresentar novamente um aumento da velocidade da absorção de água (VILELA *et al.*, 2013).

Já em relação à colheita, esta deve ser realizada quando os grãos estiverem já bastante secos, com grau de umidade em torno de 14%, caso o objetivo seja o armazenamento do produto debulhado e ensacado ou debulhado e a granel. É possível que se faça a colheita com o grau de umidade mais alto, em até 28%, desde que se faça a secagem artificial imediatamente (SILVA, 2018). Em campo, o ponto ideal de colheita do milho é o momento em que 50% das espigas estão com uma pequena mancha preta no ponto de inserção com o sabugo.

2.2 MÉTODOS DE ANÁLISES DE UMIDADE DE SEMENTES

É possível determinar o grau de umidade das sementes pelos métodos diretos e indiretos: os métodos diretos são aqueles em que ocorre a retirada da água das sementes

seja pelo método da estufa ou pela destilação, e os indiretos têm sua aplicação ligada às propriedades das sementes vinculadas ao grau de umidade do material estudado, sejam elas físicas ou químicas (ALVES *et al.*, 2015).

Existem métodos dos mais variados para análise do grau de umidade em sementes, sendo eles de natureza de aplicação química, elétrica, por micro-ondas, medidores digitais, entre outros (MARCOS FILHO *et al.*, 1987)

O método mais recomendado e tido como padrão pela comunidade científica é o método da estufa a 105°C por 24 horas, pelas recomendações das Regras de Análise de Sementes - RAS (BRASIL, 2009), abrangendo em sua aplicação todas as espécies vegetais.

Os métodos oficiais da RAS apresentam precisão, porém demandam muito tempo, mostrando-se pouco dinâmicos ao estabelecer de modo rápido e coeso, o grau de umidade das sementes, durante as operações em campo e de armazenamento. Assim, é de destaque a necessidade de viabilidade de métodos igualmente precisos, porém de maior agilidade nos resultados (ALVES *et al.*, 2015).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCAL DO ESTUDO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido no Laboratório de Sementes do Instituto de Ciências Agrárias da UFMG – Campus Montes Claros, Minas Gerais. Foram utilizadas sementes de milho do ano agrícola 2021/2022, obtidas de comerciante local no Mercado Municipal de Montes Claros.

As sementes foram selecionadas da fração pura com a retirada das impurezas, sementes chochas, malformadas, mal granadas, quebradas, partidas, deterioradas e com danos por insetos pragas de armazenamento. Em sequência, foram homogeneizadas e divididas em três subamostras para obtenção de diferentes níveis de umidade das sementes: baixo (N1), intermediário (N2) e alto (N3).

As sementes da subamostra N1 foram acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas em câmara fria e seca, na temperatura constante de 10°C. A subamostra N2 teve sua umidade aumentada em estufa de germinação, na temperatura de 30°C durante 72 horas. Já as sementes da subamostra N3, foram semeadas em papel Germitest umedecido com quantidade de água referente a três vezes o peso do papel, no

sistema rolo, acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas em câmara fria e seca na temperatura constante de 10°C por 72 horas.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE FÍSICA DAS SEMENTES

Para a caracterização da qualidade física das sementes foi realizada a retenção em peneira. Foi utilizado um jogo composto por cinco peneiras dispostas da seguinte maneira: peneira 22/64, peneira 20/64, peneira 18/64, peneira 16/64 e fundo cego. Foram realizadas quatro determinações de 100 g de sementes por tratamento. Foi disposta cada amostra no jogo de peneiras o qual foi agitado por um minuto (A). As amostras foram separadas e pesadas para determinação da percentagem de sementes retidas em cada peneira (BRASIL, 2009).

A massa de 100 sementes foi obtida com quatro subamostras de 100 sementes provenientes de cada peneira, de acordo com as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), sendo os resultados expressos em gramas.

Para a obtenção do grau de umidade as sementes foram dispostas em cadinhos e acondicionadas em estufa de secagem a $105\pm 3^{\circ}\text{C}$ por 24 horas. Decorrido esse período, as amostras foram pesadas em balança analítica de precisão de 0,001 g e os resultados expressos em porcentagem (%) b.u. (base úmida – relação entre a massa de água presente na semente e a massa total da semente).

3.3 MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DOS TRÊS NÍVEIS DE UMIDADE

Os métodos utilizados para determinação nos três níveis de umidade foram:

3.3.1 MÉTODO ESTUFA ($105\pm 3^{\circ}\text{C}/24\text{h}$)

Método descrito na RAS (BRASIL, 2009) e que será usado como método testemunha para as análises de grau de umidade de sementes. Utilizou-se a estufa a $105\pm 3^{\circ}\text{C}$ com quatro repetições de cinquenta sementes, distribuídas em recipientes com

suas respectivas tampas. A tara do recipiente foi pesada e anotada, bem como o peso inicial, em balança de precisão, sendo os resultados descritos em porcentagem (%) b.u..

3.3.2 MÉTODO ESTUFA ($130\pm 3^{\circ}\text{C}$ 4h)

Método também descrito na RAS (BRASIL, 2009), que se utiliza da estufa a $130\pm 3^{\circ}\text{C}$ por quatro horas, com quatro repetições de cinquenta sementes para cada um dos graus de umidade estudados, distribuídas em recipientes com suas respectivas tampas. A tara do recipiente foi pesada em balança de precisão 0,001g e balança doméstica, e anotada, bem como o peso das sementes nele alocadas, antes e após o processo de secagem, sendo os resultados descritos em porcentagem (%) b.u.

3.3.3 MÉTODO DE CAPACITÂNCIA

Para medição do grau de umidade no medidor de capacitância G650, foi colocada na cuba de pesagem através da concha plástica a quantidade de 100 gramas de sementes, até que, no visor, apareça a indicação de 100%, para cada um dos três graus de umidade estudados (GEHAKA, 2014).

Logo após, o conteúdo foi rapidamente despejado no funil de carga do aparelho, para obtenção da umidade. A umidade foi anotada para as posteriores comparações (GEHAKA, 2014).

3.3.4 MÉTODO DO INFRAVERMELHO

No método do infravermelho foram aferidos os graus de umidade por meio do aparelho de medição a 160°C por 30 segundos. As sementes foram depositadas no receptor do aparelho até atingirem o peso de 100 gramas demonstrado no visor, então foi aplicada a precisão de 0,01%, seguindo o manual, para a obtenção do grau de umidade das amostras.

3.3.5 MÉTODO DO MICRO-ONDAS

Para cada verificação de grau de umidade, foram feitas modificações no estado físico das sementes a serem avaliadas. Verificou-se em pré-testes que as sementes em seu grau de umidade tal qual recebidas na aquisição apresentavam facilidade em estourar pelo método de micro-ondas, sendo então trituradas por impacto para romper a estrutura do pericarpo e facilitar a perda de água.

As sementes do estado intermediário foram partidas em quatro pedaços cada, e as do estado úmido foram cortadas para romper a tensão do pericarpo. Foram utilizadas placas de Petri que tiveram seu peso previamente aferido e anotado em balança de precisão 0,001g e balança doméstica. Posteriormente, cada placa foi forrada na base com papel filtro e uma amostra pequena de sementes foi distribuída e pesada, também em balança de precisão 0,001g e balança doméstica.

As placas foram cobertas posteriormente com outro papel filtro, dispostas em quatro repetições na potência de 600 Watts, nos tempos de 2min30s, 5min, 7min30s e 9mins, para cada um dos três níveis de umidade avaliados. O peso de cada placa de Petri sem a cobertura superior de papel filtro foi aferido após o processo de secagem e tiveram o peso final de cada repetição anotado para os cálculos.

3.3.6 MÉTODO DO AIR FRYER

Para cada determinação de grau de umidade, cápsulas de alumínio foram pesadas em balança de precisão 0,001g e balança doméstica. As sementes foram colocadas nas cápsulas posteriormente, sendo o peso na balança de precisão e em balança doméstica também anotado. Foram utilizadas quatro repetições para cada nível de umidade avaliada, nos tempos de 45min, 60min, 75min e 90 min, na temperatura de 200°C. O peso final de cada repetição após a secagem foi anotado para os cálculos. Foi utilizado um aparelho de potência de 1300W com capacidade total de 2,8 litros, com um controle de temperatura que varia de 80°C a 200°C e uma voltagem de 110 Volts.

3.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Foi mensurado o comportamento dos dados em torno dos parâmetros de dispersão (medidas de dispersão), assimetria e curtose. Para os procedimentos estatísticos, foi utilizado o software R com aplicação do pacote ExpDes.pt desenvolvido pelo departamento de Estatística da Universidade Federal de Viçosa. Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e, para as variáveis cujo teste F foi significativo, as médias foram comparadas pelo teste Newman Keuls ($p < 0.05$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE FÍSICA DAS SEMENTES

A análise descritiva geral para as características físicas analisadas nas sementes de milho está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros relacionados às características físicas (peso de 100 sementes, uniformidade de retenção em peneiras e grau de umidade, método padrão da estufa a 105 °C/24h) de sementes de milho, em três níveis de umidade.

Parâmetros	Peso 100 (g)			Peneira 22 (7,50mm)			Umidade (%)		
	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3
Média	37,39	41,02	45,14	84,345	91,085	95,862	11,22	18,42	30,09
Máximo	37,75	41,71	45,86	84,73	94,08	96,97	11,41	18,75	30,78
Mínimo	37,13	40,0	44,67	83,28	87,81	94,36	11,05	18,21	29,74
Mediana	37,33	41,19	45,01	84,68	91,22	96,06	11,21	18,36	29,93
Curtose	2,071	1,655	-2,115	3,926	1,264	-1,244	0,997	1,835	2,758
Assimetria	1,127	-1,205	0,694	-1,979	-0,318	-0,708	0,290	1,307	1,655
Desvio Padrão	0,261	0,717	0,568	0,711	2,563	1,169	0,149	0,228	0,471
CV(%)	0,691	1,747	1,259	0,839	2,814	1,220	1,303	1,237	1,565

Fonte: Do autor, 2022

A partir da análise dos dados obtidos é possível verificar que os valores de média e mediana foram semelhantes. A assimetria e a curtose apresentaram valores próximos de zero. Esses resultados indicam, portanto, uma aproximação dos dados a distribuição normal. Além disso, verifica-se que o coeficiente de variação dos parâmetros avaliados variou de 0,6915% a 2,814 indicando baixa heterogeneidade dos dados.

Os valores de massa são definidos basicamente pelo conteúdo de matéria seca e pelo grau de umidade das sementes. O peso médio de 100 sementes variou de 37,39g, 41,02g e 45,14g de acordo com o nível de umidade, interferindo no processo de comercialização, visto que em um saco de 50.000 sementes o peso final seria 18,6922 Kg, 20, 510 Kg e 22,570 Kg, respectivamente. O nível de umidade afeta o peso e a quantidade de sementes por peso, o que em termos práticos é de suma importância para a comercialização do produto, já que os valores de massa são definidos basicamente pelo conteúdo de matéria seca e pelo grau de umidade das sementes (EICHELBERGER, 2004). Dessa forma, é possível que haja fraudes nos trâmites de venda, haja vista a possibilidade de que se vendam sementes com alto grau de umidade e conseqüentemente com peso de lote elevado, sem aumento efetivo na quantidade unitária de sementes, basicamente.

A uniformidade de retenção baseia-se em classificar a amostra por porcentagem de sementes retidas em cada peneira. A maior porcentagem de retenção ocorreu na peneira 22 (7,50mm), que variou de 84,345, 91,085 e 95,862 % de acordo com o nível do grau de umidade. A uniformidade de retenção de peneira está associada à plantabilidade das sementes, uma vez que um padrão de tamanho é requerido para que se estabeleça homogeneidade para o plantio. Classificando as amostras por porcentagem de sementes retidas em cada peneira, é possível determinar estes valores para o requerente do lote (BRASIL, 2009). A classificação, normalmente, é realizada para facilitar e uniformizar a semeadura, além de interferir no ajuste das semeadoras (PAIVA *et al.* 2006). É necessário que haja um padrão mínimo de 94% de retenção em uma mesma peneira (BRASIL, 2009).

O nível de umidade das sementes variou de 11,22, 18,42 e 30,09% de grau de umidade. Nível 1 (0 a 8%) - ligação iônica – constituição, Nível 2 (8 a 22%) - ligação fraca – composição e Nível 3 (22 a 33%) - propriedade de solvente. Nível 1: faixa com grau de umidade considerado aceitável para a maioria das espécies em armazenamento, entretanto susceptível ao dano mecânico imediato (tensão, impacto promovido por quedas, compressão, debulha, etc.), o pode levar, por exemplo, à ocorrência de trinca, quebra e rachadura no processamento. Nível 2: apesar da diminuição na respiração, permanece o risco de aquecimento. Nível 3: aquecimento em função da intensa atividade respiratória das sementes, microrganismos e insetos.

O nível de hidratação das sementes também influi na sua atividade fisiológica, uma vez que sob um grau de umidade alto, estas permanecem com uma elevada taxa de respiração que, concomitantemente com a ação dos microrganismos, causa aumento da temperatura (MARTINELLI, 1985). De maneira inicial, o vigor é comprometido com impacto na capacidade de armazenamento e após isso a germinação também é comprometida, até a completa deterioração. A eficiência da secagem então tem importância com ênfase no fato de o grau ideal de umidade para o que se faça o armazenamento aberto de sementes está entre 10% e 13%, e a armazenabilidade é diminuída pela metade para cada ponto porcentual de aumento do grau de umidade que se situam no intervalo de 5% a 14% (HARRINGTON, 1972).

Assim, a secagem pode ser realizada de maneiras diferentes, mas há a necessidade de cuidados especiais no que diz respeito às temperaturas. Temperaturas altas podem causar danos às membranas celulares e ocasionar a desnaturação de proteínas, e ainda causar fissuras. Estes danos ocasionam uma diminuição da qualidade física e fisiológica das sementes, podendo ser após a secagem (efeito imediato) ou durante o tempo em que fica em armazenamento (efeito latente) (VILLELA, 2003).

Os resultados comparativos entre os métodos mostram diferença significativa, bem como entre os níveis de umidade das sementes, que foram artificialmente alterados para a avaliação em contraste, como demonstrado na tabela 1. A diferença entre os métodos utilizados e os níveis de umidade de sementes foi significativa pelo fato dos mesmos serem eficientes de maneira distinta em sua aplicação. Resultados parecidos foram obtidos por Pedrosa *et al.* (2014), que observaram variação da quantidade de água retirada conforme o grau de umidade em que os testes foram executados em seu estudo, em especial no uso do micro-ondas.

Tais fatos podem se justificar pela natureza dos mecanismos de funcionamento dos aparelhos, que se diferem quanto à sua essência, grau de intensidade e tempo de exposição necessário. Sementes com um grau de umidade mais baixo tendem a perder água com menos facilidade, devido à ação da pressão osmótica, correndo maior risco de perda de tecidos constituintes por volatilização, em caso de exposição constante a processos de alta temperatura. Sementes em graus de umidade mais elevados tendem a liberar água mais facilmente, sem maiores danos à sua integridade (FARIA *et al.*, 2020).

O grau de umidade das sementes influencia diretamente vários aspectos de sua qualidade, por isso a sua determinação é fundamental em testes oficiais de qualidade de lotes de sementes. Também pode interferir na maturação das sementes, longevidade de armazenamento, em possíveis pré-tratamentos necessários em teste de germinação, e está intimamente ligada ao período ideal de colheita, ao peso das sementes e a suscetibilidade a injúrias pelo calor, congelamento, fumigação, danos mecânicos e danos causados por pragas (GRABE, 1989) citado por Sarmiento *et al.* (2015).

4.2 MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DOS TRÊS NÍVEIS DE UMIDADE

Os resultados mostram diferença significativa entre os métodos, bem como entre os níveis de umidade das sementes, que foram artificialmente alterados para a avaliação em contraste, como demonstrado na tabela 2.

Tabela 1 - Análise de variância para grau de umidade de sementes de milho secas (N1), intermediárias (N2) e úmidas (N3), obtidos pelos métodos padrão da estufa a 105°C/24 h, estufa a 130°C/4h, forno micro-ondas (nos tempos de 2min30s, 5min, 7min30s e 9min) e AirFryer (nos tempos de 45min, 60min, 75min e 90min), pesadas em balança doméstica e de precisão.

FV	GL	QM
Método	9	405.23881*
Balança	1	19.6156 ^{ns}
Níveis de Umidade	2	6028.50088*
Método*Balança	9	8.65828 ^{ns}
Níveis de Umidade	18	162.71304*
Balança*Semente	2	57.52382*
Método*Balança*Semente	18	12.5482 ^{ns}
Resíduo	180	15.59319
Total	239	

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

Fonte: Do autor, 2022

Tais fatos podem se justificar pela natureza dos mecanismos de funcionamento dos aparelhos, que se diferem quanto à sua essência, o grau de intensidade e tempo de exposição necessário. Sementes com um grau de umidade mais baixo tendem a perder água com menos facilidade, devido à ação da pressão osmótica, correndo maior risco de

perda de tecidos constituintes por volatilização, em caso de exposição constante a processos de alta temperatura. Sementes em graus de umidade mais elevados tendem a liberar água mais facilmente, sem maiores danos à sua integridade (FARIA *et al.*, 2020).

Acerca da comparação direta entre os métodos avaliados, os resultados mostraram aderência do método do Air fryer ao método oficial da RAS em diferentes níveis. No nível N1 de umidade, nenhum dos quatro tempos utilizados no Air fryer diferiu estatisticamente do método da estufa 105°C/24h, o que mostra que o método é eficaz e que não houve diferença relevante entre os tempos utilizados. Conforme os resultados descritos na Tabela 3.

Tabela 2- Grau de umidade de sementes de milho em três níveis de umidade, obtidas pelos métodos padrão da estufa a 105°C/24 h, estufa a 130°C/4h, forno Micro-ondas e AirFryer.

Métodos	Grau de umidade das sementes b.u. (%)					
	N1		N2		N3	
Estufa 105°C/24h	11.32062	ab	19.11275	b	29.97638	a
Estufa 130°C/4h	11.14987	ab	16.9235	bc	26.85963	a
Micro-ondas 2'30"	4.882375	c	10.61913	d	10.41375	a
Micro-ondas 5'	8.16475	abc	13.38213	cd	20.87862	b
Micro-ondas 7'30"	11.912	a	14.22025	cd	28.42813	c
Micro-ondas 9'	5.618625	bc	34.46563	a	28.49038	a
AirFryer 45'	5.773125	bc	20.15525	b	28.5245	a
AirFryer 60'	8.9725	abc	19.61763	b	31.69662	a
AirFryer 75'	13.43838	a	21.28325	b	29.03	a
AirFryer 90'	10.59587	ab	20.58888	b	30.59137	a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Newman Keuls a 5% de probabilidade (N1 – baixa, N2 - intermediária e N3 - alta).

Fonte: Do autor, 2022

Devido ao fato do método do infravermelho e do medidor de capacitância limitarem sua aplicação à balança de precisão, possuindo uma em sua arquitetura própria e demonstrarem a umidade final no visor digital de cada aparelho, foi feita uma análise comparativa entre eles e os demais métodos (TABELA 4), apenas com seus resultados de balança de precisão. Essa análise é passível de ser feita sem ônus em relação a ausência de balança doméstica uma vez que não houve diferença estatística entre balança doméstica e a de precisão neste estudo.

Tabela 4 - Grau de umidade de sementes de milho em três níveis de umidade (N1 - baixa, N2 - intermediária e N3 - alta), obtidas pelos métodos padrão da estufa a 105°C/24 h, estufa a 130°C/4h, Micro-ondas, AirFryer, Capacitância e Infravermelho.

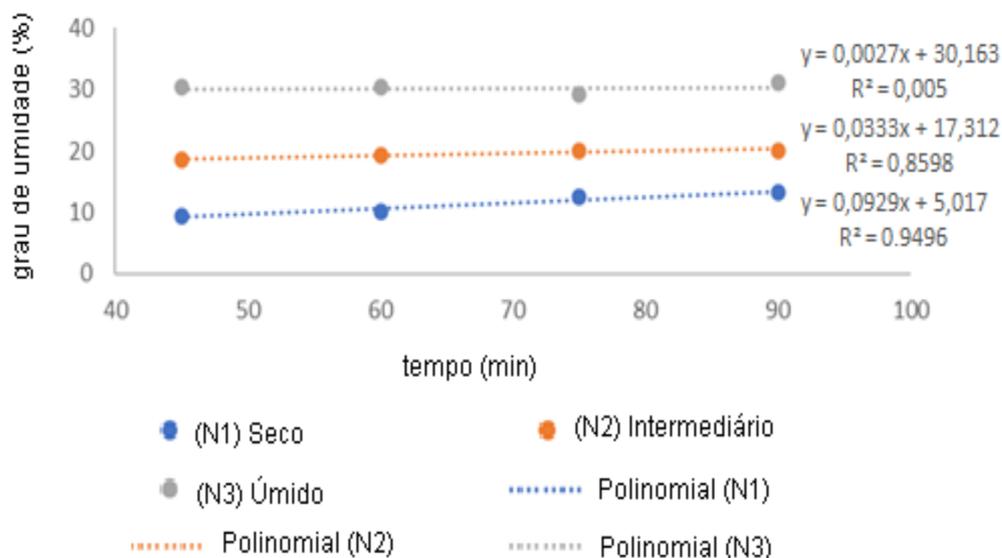
Métodos	Grau de umidade das sementes b.u. (%)					
	N1		N2		N3	
Estufa 105°C/24h	11.22325	ab	18.42325	b	30.09775	a
Estufa 130°C/4h	10.13625	abc	17.2915	b	27.39175	ab
Micro-ondas 2'30"	5.43475	c	10.41375	c	12.4945	c
Micro-ondas 5'	9.03775	abc	11.12925	c	23.4005	b
Micro-ondas 7'30"	11.32375	ab	14.4505	bc	28.24325	ab
Micro-ondas 9'	6.89675	bc	33.494	a	29.97025	a
AirFryer 45'	9.2735	abc	18.63225	b	30.534	a
AirFryer 60'	10.20675	abc	19.422	b	30.5065	a
AirFryer 75'	12.536	ab	20.121	b	29.29525	a
AirFryer 90'	13.13625	a	20.06775	b	31.0785	a
Capacitância	12.6	ab	19.15	b	31.975	a
Infravermelho	5.025	c	14.6	bc	23.875	b

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Newman Keuls a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor, 2022

A precisão do método do medidor de capacitância se comprova na aderência deste ao método padrão da RAS nos três níveis de umidade, o que é esperado frente à sua expertise de utilização neste tipo de cálculo (WALKER *et al.*, 2018; MANANDHAR *et al.*, 2018), embora tenha um custo elevado em relação aos métodos alternativos testados. O método do infravermelho se mostrou estatisticamente igual ao método testemunha apenas no nível N2 de umidade, embora demonstre aderência no método 130°C/4h em todos os níveis, o que sugere uma adaptação para sua utilização, sendo também mais oneroso no quesito custo frente aos principais métodos do objetivo deste estudo. Nos níveis de umidade N2 e N3, também todos os tempos de aplicação do air fryer se mostraram aderentes ao método oficial, o que demonstra que é possível que se faça inferências acerca das vias de sua aplicação.

Gráfico 1. Grau de umidade em sementes de milho, em três níveis de umidade (N1 - baixa, N2 - intermediária e N3 - alta), obtidos no aparelho Air fryer na temperatura de 200°C, em função do tempo.



Fonte: Do autor, 2022

Não houve grande alteração entre o grau de umidade removido e o tempo de exposição das sementes ao método do Air fryer, o que corrobora a viabilidade da otimização. É viável neste caso a aplicação do menor tempo avaliado, sem que haja prejuízo à consistência do resultado.

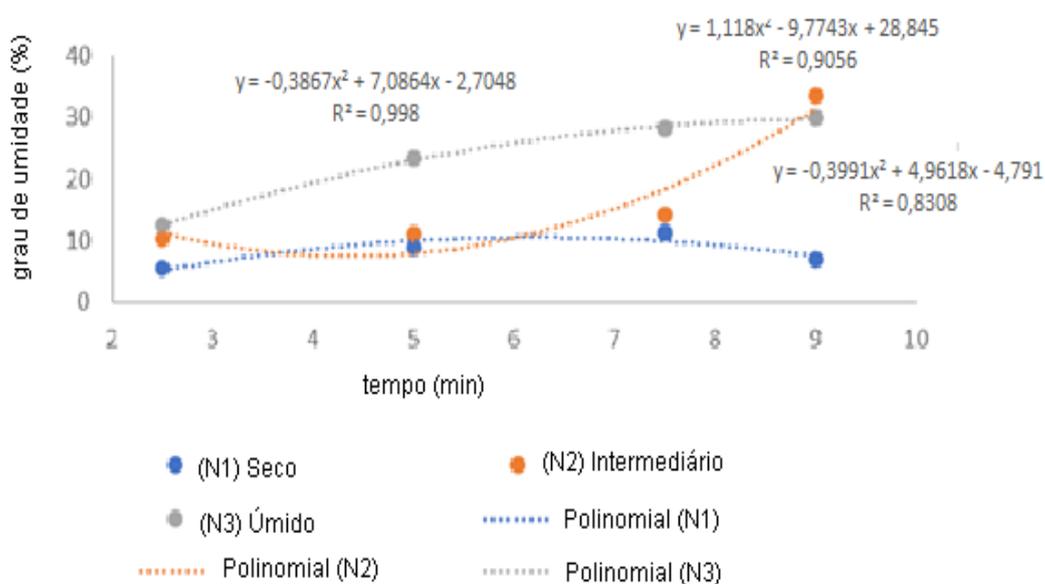
No método do micro-ondas, os resultados de utilização se mostraram consistentes frente ao método oficial em três dos quatro tempos utilizados em N1. O método também oficial 130°C/4h corrobora esses resultados demonstrando aderência estatística (SARMENTO *et al.*, 2015; NIRMAAN *et al.*, 2020). Sementes neste nível de umidade estão propensas a sofrer o chamado dano imediato, que são danos visíveis no tegumento das sementes, tornando-as por vezes inviabilizadas para uso, o que pode trazer importantes implicações na tomada de decisões acerca da mecanização dos processos neste nível (BEFIKADU, 2014).

O nível N2 não obteve aderência em nenhum dos tempos utilizados em relação ao método oficial 105°C/24h, porém os tempos 7min30s e 9min demonstraram aderência ao método da estufa 130°C/24h, o que sugere que para este nível de umidade

podem ser testados novos tempos relativamente próximos a estes para a obtenção de melhores resultados. A entrada e a elevação da temperatura das sementes no aparelho de micro-ondas acontecem numa alta velocidade, diferentemente dos métodos convencionais, onde isso pode ocorrer cerca de 10 vezes mais rápido (GARCIA, 2014).

Sementes nesta faixa de umidade estão mais suscetíveis a sofrer os chamados danos latentes, que são rachaduras microscópicas que prejudicam o seu armazenamento e viabilidade, o que torna mais difícil seu manuseio (CORADI *et al.*, 2015). No nível de umidade N3, tanto o tempo de micro-ondas T1 quanto T4 demonstraram aderência estatística ao método oficial. O gráfico 2 demonstra o comportamento do método do micro-ondas nos três níveis testados.

Gráfico 2 - Grau de umidade em sementes de milho, em três níveis de, determinada no aparelho Micro-ondas na potência de 600 Watts, em função do tempo.



Fonte: Do autor, 2022

Esses resultados compactuam com o que foi observado em trabalhos que avaliaram a eficácia do uso do aparelho de micro-ondas em relação ao método estufa $105 \pm 3/24h$ em diferentes culturas, a exemplo do ipê-do-cerrado, feijão e pinhão-manso (NERY *et al.*, 2004; PEDROSA *et al.*, 2014; SARMENTO *et al.*, 2015; ALVES *et al.*, 2015).

Como citado anteriormente, não houve diferença estatística no uso da balança doméstica em relação à balança de precisão, como demonstrado na tabela 5.

Tabela 5 – Grau de umidade de sementes de milho em três níveis de umidade de sementes (N1 - baixa, N2 - intermediária e N3 - alta), pesadas em balança doméstica e balança de precisão.

Grau de umidade das sementes b.u. (%)	Balança	
	Doméstica	Precisão
N1	8,445125Ac	9,9205Ac
N2	19,72915Ab	18,34453Ab
N3	25,6766Aa	27,30122Aa

Letras maiúsculas iguais nas linhas são estatisticamente iguais pelo teste de Newman Keuls a 5% significância. Letras minúsculas nas colunas são estatisticamente iguais pelo teste Newman Keuls a 5% significância.

Fonte: Do autor, 2022.

Essa similaridade pode implicar na economia que pode ser feita no âmbito da determinação da umidade de sementes, seja pela comparação de valores ou ainda pela redução de gastos no processo de forma geral, conforme análises comparativas de preços descritas nas tabelas 5 e 6.

Tabela 6- Comparação de valores aproximados de aquisição de estufas para laboratório e aparelhos de Air fryer no mercado.

Aparelho	Valor Aproximado
Estufa para Laboratório	R\$ 6.000,00
Air fryer	R\$ 400,00
Economia aproximada	R\$ 5.600,00

Fonte: Do autor, 2022

Tabela 7- Comparação dos valores aproximados de obtenção de balanças de precisão e doméstica no mercado:

Aparelho	Valor aproximado
Balança de Precisão	R\$ 8.000,00
Balança Doméstica	R\$ 30,00
Economia aproximada	R\$ 7.970,00

Fonte: Do autor, 2022

As tabelas acima demonstram parte da economia que pode ser feita na obtenção dos aparelhos necessários para a utilização dos métodos avaliados, não levando em consideração questões como deslocamento para as análises e custo energético inferido.

CONCLUSÃO

O método alternativo do air fryer e pode ser utilizados para a determinação do grau de umidade das sementes como alternativa ao método padrão da estufa. Foi possível traçar uma relação de tempo e temperatura efetivos para o uso.

As balanças domésticas podem ser utilizadas como alternativa para a realização das análises. Em termos gerais é possível também fazer uma redução considerável do custo operacional das análises sem comprometer a confiabilidade dos resultados.

5. REFERÊNCIAS

ALVES, B. M., Cargnelutti Filho, A., Toebe, C. B. M. & Silva, L. P. (2015). **Divergência genética de milho transgênico em relação à produtividade de grãos e da qualidade nutricional**. *Revista Ciência Rural*, Santa Maria, 45(5), 884-891.

BEFIKADU, D. **Factors Affecting Quality of Grain Stored in Ethiopian Traditional Storage Structures and Opportunities for Improvement**. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR)*, v. 18, n. 1, p. 235-257, 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. SNDA/DNPV/CLAV, 1992. 365p.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e do Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: SNDA/DNDV/ CLAV, 2009. Cap.7, p.307-323. Disponível em: Acesso em: 10 mai. 2022.

CALONEGO, J. C. **Produtividade e crescimento de milho em diferentes arranjos de plantas**. *Agrarian*, v. 4, n. 12, p. 84-90, 2022

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira grãos**, v. 7 – safra 2020/21 – Décimo primeiro levantamento, Brasília, p. 1-62, agosto 2022 Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>.

CORADI, P. C.; MILANE, L. V.; CAMILO, L. J.; ANDRADE, M. G. O. **Drying and storage of corn grains for ethanol production in Brazil**. *Bioscience Journal*, v. 32, p. 1175-1190, 2016.

FARIA, R.Q.; DOS SANTOS, A.H.P.; GARIEPY, Y.; DA SILVA, E.A.A.; EIRA SARTORI, M.M.P.; RAGHAVAN, V. **Optimization of the process of drying of corn seeds with the use of microwaves**. *Drying Technology*, v. 38, p. 676–684, 2020.

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

GUEDES, R. S., Alves, E. U., Gonçalves, E. P., Bruno, R. D. L. A., Júnior, J. M. B., & de Medeiros, M. S. (2009). **Germinação de sementes de Cereus jamacaru DC. em diferentes substratos e temperaturas**. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 31(2), 159-164.

MARCOS FILHO, J.; CICERO, S.M.; SILVA, W.R. DA. **Avaliação da qualidade das sementes**. Piracicaba: FEALQ, 1987. 230 p

NERY, M. C.; CARVALHO, M. L. M.; OLIVEIRA, L. M. **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.

PEDROSA, C. R. G.; MELO L. F.; FAGIOLI, M. **Viabilidade do uso de aparelho de microondas na determinação do grau de água em sementes de milho e soja.** Rev. Agrotec., v. 35, n. 1, p. 48–53, 2014.

PUZZI, D. **Abastecimento e armazenagem de grãos.** Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1986. 603 p.

RASCHEN, Matheus Rafael et al. **Determinação do grau de umidade em grãos empregando radiação micro-ondas.** Ciência Rural, v. 44, p. 925-930, 2014

SARMENTO, A.P.; KRÜGER, D.S.; REDU, R.N.; LUZ, C.A.S.; LUZ, M.L.G.S.; VILLELA, F.A. **Determinação de uma equação de correção para o medidor de umidade Elotest 777.** In: Anais do XV Congresso de Iniciação Científica e VIII Encontro de Pós-graduação. XV Congresso de Iniciação Científica e VIII Encontro de Pósgraduação. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária, 2006. n.pag

SARMENTO, H. G. S.; DAVID, A. M. S. S.; BARBOSA, M. G.; NOBRE, D. A. C.; AMARO, H. T. B. **Determinação do grau de água em sementes de milho, feijão e pinhão-manso por métodos alternativos.** Energ. Agric., Botucatu, v. 30, n.3, p. 249-256, 2015.

WALKER, S.; JAIME, R.; KAGOT, V.; PROBST C. **Comparative effects of hermetic and traditional storage devices on maize grain: Mycotoxin development, insect infestation and grain quality.** Journal of Stored Products Research, v. 77, p. 34–44, 2018.

VILLELA, F. A., MARCOS FILHO, JULIO E NOVEMBRE, COELHO A. D.. **Estado energético da água na semente de milho no processo de germinação.** Revista Brasileira de Sementes [online]. 2013, v. 25, n. 1 [Acessado 01 Julho 2022] , pp. 95-100. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0101-31222003000100015>>. Epub 28 Jun 2014. ISSN 0101-3122. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222003000100015>.

SILVA, T. T. A.. **Qualidade fisiológica de sementes de milho na presença de bioestimulantes.** Ciência e Agrotecnologia. v. 32, p. 840-844, 2018.