



FACULDADE DE ENFERMAGEM NOVA ESPERANÇA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM RADIOLOGIA

RAFAEL SANTOS FERREIRA

**USO DE RAIOS-X NA AVALIAÇÃO DE DANOS MECÂNICOS E DE
DESSECAÇÃO EM SEMENTES DE SORGO**

JOÃO PESSOA - PB

2024

RAFAEL SANTOS FERREIRA

**USO DE RAIO-X NA AVALIAÇÃO DE DANOS MECÂNICOS E DE
DESSECAÇÃO EM SEMENTES DE SORGO**

Monografia apresentada à faculdade Nova
Esperança como parte dos requisitos
exigidos para conclusão do curso superior
de tecnologia em radiologia.

Orientador: Prof. Dr. Kennedy Nascimento de Jesus.

JOÃO PESSOA - PB

2024

F444u

Ferreira, Rafael Santos

Uso de raio-x na avaliação de danos mecânicos e dessecação de sementes de sorgo (sorghum bicolor) / Rafael Santos Ferreira. – João Pessoa, 2024.

26f.; il.

Orientador: Prof. Dr. Kennedy Nascimento de Jesus.

Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Radiologia) – Faculdade Nova Esperança – FACENE.

1. Pós-Colheita. 2. Análise Radiográfica. 3. Sorghum Bicolor. 5. Germinação. I. Título.

CDU: 615.849:631

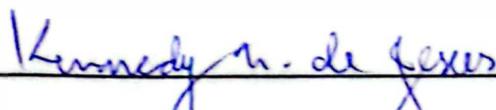
RAFAEL SANTOS FERRIRA

**USO DO RAIOS-X NA AVALIAÇÃO DE DANOS MECÂNICOS E
DESSECAÇÃO DE SEMENTES DE SORGO (SORGHUM BICOLOR)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado pelo aluno RAFAEL SANTOS FERREIRA, do curso de Tecnologia em Radiologia da Faculdade de Enfermagem Nova Esperança – FACENE, tendo obtido o conceito de _____, conforme a apreciação da banca examinadora tendo obtido o conceito de, conforme a apreciação da banca examinadora constituída pelos professores:

Aprovado em: 08 de Outubro de 2024

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Kennedy Nascimento de Jesus

Faculdade de Enfermagem Nova Esperança – FACENE



Prof. Dr. Alex Cristóvão de Holanda

Faculdade de Enfermagem Nova Esperança – FACENE



Prof. Dr. Débora Teresa da Rocha Gomes Ferreira de Almeida

Faculdade de Enfermagem Nova Esperança – FACENE

Dedico este momento aos meus pais adotivos, Assis e Júlia, que acreditaram naquela criança que ninguém acreditava.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a **Deus** por todas as bênçãos em minha vida.

Em segundo lugar, dedico este momento aos meus pais adotivos, **Assis e Júlia**, que sempre ofereceram amor, apoio e oportunidades para sonhar e conquistar.

Agradeço também à minha família principalmente ao **meu irmão Dama**, por todo suporte e carinho.

Esta graduação é reflexa de tudo o que me foi dado, da força que recebi e do caminho que percorri com fé e determinação.

RESUMO

A qualidade das sementes desempenha um papel fundamental no desenvolvimento saudável e vigoroso das plantas. No entanto, diversos fatores podem afetar negativamente a qualidade das sementes, como danos mecânicos e processos de dessecação inadequados. Este trabalho tem como objetivo estudar o uso de raio x na avaliação de danos mecânicos e dessecação de sementes de sorgo. O teste de raio x é um método não destrutivo e eficiente para avaliar a morfologia das sementes, permitindo a identificação de danos mecânicos e alterações causadas pela dessecação. A viabilidade das sementes não é comprometida durante o teste de raio x, possibilitando a realização de testes adicionais. A análise de raio x será comparada com testes de germinação para associar a integridade das sementes ao seu potencial fisiológico. O método de pesquisa compreenderá a coleta de amostras de sementes de sorgo, a aplicação das técnicas de raio X e a análise dos resultados obtidos. Será adotada uma abordagem quantitativa para mensurar a eficácia da técnica na identificação de danos mecânicos e dessecação. Espera-se que este projeto contribua para o avanço no entendimento das aplicações do raio X na agricultura, fornecendo informações valiosas para aprimorar as práticas de seleção de sementes de sorgo. A relevância dessa pesquisa reside na potencial melhoria da eficiência do processo agrícola, promovendo uma produção mais sustentável e eficaz.

Palavras-chave: pós-colheita; secagem; análise radiográfica; *Sorghum bicolor* L; germinação.

ABSTRACT

The quality of seeds plays a crucial role in the healthy and vigorous development of plants. However, various factors can negatively affect seed quality, such as mechanical damage and inadequate desiccation processes. This study aims to investigate the use of X-ray in evaluating mechanical damage and desiccation of sorghum seeds. The X-ray test is a non-destructive and efficient method for assessing seed morphology, allowing for the identification of mechanical damage and changes caused by desiccation. Seed viability is not compromised during the X-ray test, enabling additional tests to be conducted. The X-ray analysis will be compared with germination tests to associate seed integrity with their physiological potential. The research method will involve collecting samples of sorghum seeds, applying X-ray techniques, and analyzing the results obtained. A quantitative approach will be adopted to measure the effectiveness of the technique in identifying mechanical damage and desiccation. It is expected that this project will contribute to the advancement in understanding the applications of X-ray in agriculture, providing valuable information to improve sorghum seed selection practices. The relevance of this research lies in the potential improvement of agricultural process efficiency, promoting more sustainable and effective production.

Keywords: post-harvest; drying; radiographic analysis; Sorghum bicolor L; germination.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 HIPÓTESE	11
3 OBJETIVOS.....	12
3.1 Objetivo Geral.....	12
3.2 Objetivos Específicos	12
4 REVISÃO DE LITERÁRIA	13
4.1 A origem do Sorgo.....	13
4.2 A cultura do Sorgo	13
4.3 Produção de sorgo e importância para o mercado	15
4.4 Avaliação de sementes por raio-x	15
4.5 Sistemas de imagem por raio-x.....	16
5 METODOLOGIA.....	18
5.1 Aquisição das sementes	18
5.2 Obtenção das radiografias.....	18
5.3 Testes de germinação.....	18
5.3.1 Segundo exame: lavagem de areia e folha de germinação.....	20
5.3.1.1 Teste entre areia	21
5.3.1.2 Método entre areia.....	21
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
7 DISCUSSÃO	30
8 CONCLUSÃO.....	31
9 REFERÊNCIAS	32
10 CRONOGRAMA DE ATIVIDADES.....	35
11 ORÇAMENTO.....	36

1 INTRODUÇÃO

A produção agrícola é um setor fundamental para garantir o abastecimento alimentar da população. Nesse contexto, a qualidade das sementes desempenha um papel fundamental no desenvolvimento saudável e vigoroso das plantas (CONTINI et al., 2010). No entanto, diversos fatores podem afetar negativamente a qualidade das sementes como danos mecânicos e processos de dessecação inadequados (FLOR et al., 2004).

Os danos mecânicos ocorrem durante a colheita, o transporte e o armazenamento das sementes, podendo resultar em fissuras, quebras ou fraturas nas cascas. Esses danos podem comprometer a integridade das sementes, levando à redução da sua capacidade germinativa e do sua vigor. Da mesma forma, a dessecação inapropriada pode levar à perda de água excessiva nas sementes, resultando em deficiência metabólica, deterioração precoce e perda de viabilidade (PESKE; BARROS, 2003).

A identificação precisa de danos mecânicos e alterações causadas pela dessecação em sementes de sorgo é um desafio para os produtores e pesquisadores. Métodos tradicionais de avaliação podem ser demorados, destrutivos e subjetivos. Portanto, torna-se imprescindível a utilização de técnicas eficientes para avaliar esses danos nas sementes, a fim de garantir a qualidade e a produtividade das culturas (JAVORSKI et al., 2017).

A avaliação da qualidade das sementes é essencial para garantir o sucesso na produção agrícola. Danos mecânicos e dessecação inadequada podem afetar a viabilidade e a vigor das sementes, comprometendo o potencial de germinação e o estabelecimento das plantas. Nesse contexto, o uso de técnicas não destrutivas, como o teste de raios-X, é uma ferramenta eficiente para avaliar a integridade das sementes de sorgo (BATISTI et al., 2000).

Nesse contexto, a tecnologia de raios x tem se mostrado uma ferramenta promissora na análise não destrutiva e precisa das sementes, fornecendo informações valiosas sobre sua estrutura interna (SILVA et al., 2014; SILVA et al., 2020).

O uso de raios-X na avaliação de sementes de sorgo pode trazer benefícios significativos para a produção agrícola. Essa técnica permite visualizar a morfologia das sementes, identificar danos mecânicos e alterações causadas pela dessecação, sem comprometer sua viabilidade. Além disso, a comparação dos resultados do teste de raios-X com testes de germinação permite associar a integridade das sementes ao seu

potencial fisiológico. Portanto, este estudo se justifica pela necessidade de desenvolver métodos mais eficientes e precisos para avaliar a qualidade das sementes de sorgo.

Sendo assim, o presente trabalho propõe investigar o uso de raios x na avaliação de danos mecânicos e da dessecação em sementes de sorgo (*Sorghum bicolor* L.), visando obter respostas fundamentais para aprimorar os processos agrícolas relacionados à produção de sementes de alta qualidade e qual será o impacto dos danos mecânicos e da dessecação nas sementes de sorgo, avaliado por meio da técnica de raios x, para a produção agrícola.

Espera-se que os resultados deste estudo forneçam subsídios para o desenvolvimento de práticas mais eficientes na identificação e no tratamento de sementes danificadas, contribuindo para o aumento da produtividade e da sustentabilidade na agricultura.

2 HIPÓTESE

O teste de raios X em sementes apresenta a mesma precisão dos testes de germinação estabelecidos pela RAS (Regras para Análise de Sementes), para analisar a viabilidade em lotes de sementes de *Sorghum bicolor* L.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Avaliar o uso de raios x na determinação de danos mecânicos e de dessecação em sementes de sorgo.

3.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a morfologia interna das sementes de sorgo através da utilização de raios x;
- Identificar danos mecânicos e possíveis alterações causadas pela dessecação nas sementes de sorgo;
- Comparar os resultados dos testes de raios x com testes de germinação tradicionais visando associar a integridade das sementes ao seu potencial fisiológico.

4 REVISÃO DE LITERÁRIA

4.1 A origem do Sorgo

O sorgo é uma planta tropical do tipo C4 (Figura 2), que tem a vantagem de realizar a fotossíntese de forma eficiente. Além disso, é capaz de se adaptar a diversas condições de fertilidade do solo e é mais resistente ao calor e à falta de água do que o milho. Por esse motivo, o sorgo é cultivado em uma ampla faixa de latitudes, mesmo em regiões muito quentes, muito secas ou sujeitas a períodos de estiagem. Estas características tornam o cultivo de sorgo mais viável nessas regiões, onde outros cereais teriam uma produção economicamente inviável. Essas informações são baseadas em estudos realizados por (MAGALHÃES et al., 2007 e RIBAS 2007).

Figura 2 – Inflorescência de plantas de Sorgo (*Sorghum bicolor* L.).



Fonte: myfarm.com

O sorgo é originário da África, e há evidências arqueológicas que sugerem seu cultivo na região do Saara há mais de 4.000 anos. Da África, a planta foi disseminada para outras partes do mundo, incluindo a Índia, China e Oriente Médio. Atualmente, o sorgo é cultivado em várias regiões tropicais e subtropicais, bem como em climas temperados (HARLAN, 1971).

4.2 A cultura do Sorgo

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é um cereal de grande importância, sendo o quinto mais cultivado no mundo (Figura 1). Sua versatilidade de uso, tanto na alimentação humana quanto animal, como na produção de energia e na comercialização

interna, o torna uma cultura muito conhecida e valorizada. No Brasil, a produção do sorgo tem apresentado um crescimento significativo, sendo considerada uma das culturas mais rentáveis, em comparação a outras culturas (WAHYUNI et al., 2019).

Figura 1 – Sementes de Sorgo (*Sorghum bicolor* L.)



Fonte: Unilab sementes

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L). Moench) está entre os principais cereais do globo, sendo alimento básico para milhares de pessoas principalmente na África e Ásia. O consumo desse cereal pela população, em alguns países como Sudão e Nigéria. Na Ásia, os principais países do total (Queiroz et al., 2009). No Brasil, o sorgo é usado principalmente como ração animal, mas está se tornando popular para uso como forrageira e em produtos alimentícios por causa da demanda por grãos especiais, para fabricação de produtos sem glúten. Além disso, em anos recentes, o uso dessa planta na produção de bioenergia tem sido objeto de pesquisas por parte dos setores públicos e privado.

Dentre os cultivos de sorgo, destaca-se a produção de cultivares voltada para a produção de grãos (sorgo granífero), mas também para a produção de fibra (sorgo biomassa), forragem (sorgo forrageiro) e também para a produção de açúcar (sorgo sacarino) (CARVALHO et al., 2000).

O ciclo de vida do sorgo varia de 90 a 120 dias. O sorgo é uma alternativa de cultivo em regiões semiáridas, sendo comumente semeado após o cultivo de outras culturas, como soja, milho e cana-de-açúcar, com foco na produção de grãos (BRASIL, 2009).

Além de ser um alimento sem glúten, o sorgo possui benefícios para a saúde e é considerado um produto de alto valor nutricional. É rico em antioxidantes, fibras alimentares, macro e micronutrientes, sendo amplamente utilizado em produtos alimentares sem glúten, como farinha e cereais integrais. O sorgo desempenha um papel importante no consumo humano.

4.3 Produção de sorgo e importância para o mercado

A produção de sorgo em grãos tem dois destinos primários. A primeira opção de consumo é interna ao estabelecimento rural, sendo direcionado ao consumo animal em composição de sistemas de produção integrados. A segunda destinação é a oferta do produto no mercado consumidor, sendo direcionado para fabricação de ração e industrialização.

Segundo o IBGE, a estimativa da produção do sorgo, para 2024, é de 3,8 milhões de toneladas, com queda de 10,0% ante 2023. São esperadas quedas de produção em todas as regiões, à exceção da Nordeste, onde há expectativa de aumento de 1,6%, sobretudo na Bahia e Alagoas. Em Goiás e Minas Gerais, principais produtores espera-se quedas de 10,9% e de 13,5% na produção, respectivamente, com um menor rendimento médio das culturas.

Embora o sorgo seja reconhecido como um promissor substituto do milho na agricultura e na alimentação animal, questões culturais influenciam o comportamento dos agentes do agronegócio no Brasil, criando obstáculos à sua substituição e desafios no mercado. A integração quase completa dos produtores de sorgo com algumas empresas de rações reflete dificuldades nos canais tradicionais de comercialização. Por exemplo, os armazéns graneleiros priorizam milho e soja, reservando apenas espaços marginais para o sorgo. A cultura do sorgo está intrinsecamente ligada ao desempenho do milho no mercado, como evidenciado pelo preço, que mantém uma relação de cerca de 80% em relação ao milho. Esses aspectos delineiam um panorama desafiador para a aceitação plena do sorgo no mercado agrícola brasileiro.

4.4 Avaliação de sementes por raio-x

O uso do raio-X para avaliação por imagem de danos mecânicos e de dessecação em sementes de sorgo tem sido amplamente estudado e documentado na literatura

científica (JAVORSKI e CÍCERO et al., 2017). Estudos demonstraram a eficácia deste método na detecção e quantificação de danos mecânicos, como rachaduras e fraturas, bem como na avaliação do nível de dessecação das sementes de sorgo (GOMES-JUNIOR, 2010; MARCOS-FILHO et al., 2010).

Um estudo relevante nesta área foi realizado por Santos et al. (2015), onde os autores utilizaram a técnica de radiografia para avaliar os efeitos de diferentes níveis de dessecação nas sementes de sorgo. Os resultados mostraram que a radiografia foi capaz de detectar variações na estrutura interna das sementes, proporcionando uma avaliação precisa do nível de dessecação e seus efeitos na germinação e vigor das sementes.

Outro estudo significativo foi conduzido por Oliveira et al. (2018), que investigaram a aplicação da radiografia na detecção de danos mecânicos em sementes de sorgo. Os pesquisadores demonstraram que a técnica de raio x foi capaz de identificar com precisão a ocorrência de danos mecânicos, fornecendo informações importantes sobre a qualidade das sementes e sua viabilidade de germinação.

Portanto, a utilização da radiografia na avaliação de danos mecânicos e de dessecação em sementes de sorgo é uma ferramenta eficaz e confiável, que pode fornecer percepção valiosa para a seleção e manuseio de sementes de alta qualidade. Estes estudos destacam a importância e relevância do uso da radiografia como uma ferramenta não destrutiva na avaliação de sementes de sorgo.

4.5 Sistemas de imagem por raio-x

Atualmente, existem vários tipos de sistemas de imagem por raios-X, o mais tradicional e difundido é a radiografia. A radiografia é obtida pela detecção do feixe de raios-X que atravessa o corpo ou objeto exposto. O processo de produção de raios-X ocorre no tubo de raios-X do equipamento de imagem. Nele, um filamento é aquecido, gerando elétrons que são acelerados em direção a um ânodo de metal. Quando os elétrons atingem o ânodo, ocorre a desaceleração abrupta, resultando na produção de raios-X.

Convencionalmente, as imagens de radiografia são adquiridas com o uso de filmes radiográficos. Contudo, atualmente são mais utilizados os receptores de imagem digital, que podem ser de dois tipos: radiografia computadorizada (CR - Computed Radiography) e radiografia digital (DR - Digital Radiography) (BUSHONG, 2010).

O sistema CR é uma tecnologia avançada utilizada na aquisição, processamento e armazenamento de imagens radiográficas. Este sistema substitui os filmes radiográficos convencionais por placas de fósforo fotoestimulável, oferecendo uma transição mais eficiente e digitalizada no campo da radiologia. Vamos explorar o funcionamento deste sistema em detalhes (BUSHONG, 2010).

No sistema CR, a aquisição de imagens começa com a exposição da região do corpo a ser examinada a radiações ionizantes. Em vez de utilizar filmes radiográficos tradicionais, o sistema CR utiliza placas de fósforo fotoestimuláveis. Essas placas absorvem a radiação e retêm a energia (BUSHBERG et al., 2011).

Após a exposição, a placa de fósforo é inserida no leitor CR. Neste processo, um laser de baixa energia é utilizado para estimular o fósforo, liberando a energia armazenada na forma de luz. Essa luz é então convertida em sinais elétricos proporcionais à intensidade da exposição radiográfica (FAUBER, 2015).

Os sinais elétricos convertidos a partir do estímulo do fósforo são transformados de analógicos para digitais. Isso é crucial para a manipulação e processamento eficiente das imagens, permitindo uma ampla gama de ajustes e melhorias de qualidade. Isso inclui técnicas de realce de bordas, filtragem e correção de artefatos, visando melhorar a qualidade e a nitidez das imagens. O processamento avançado contribui para uma interpretação mais precisa por parte dos radiologistas. (CHRISTENSEN, et al., 2005).

O sistema DR é uma forma avançada de radiologia digital que utiliza detectores eletrônicos para a captura de imagens. Os detectores DR convertem diretamente a radiação ionizante em sinais elétricos, formando imagens digitais instantaneamente durante a exposição à radiação (BUSHBERG et al., 2011).

5 METODOLOGIA

5.1 Aquisição das sementes

As sementes de sorgo (*Sorghum Bicolor*) foram adquiridas por recursos próprios, na internet, em uma loja especializada em venda de sementes, como lojas de produtos agropecuários e jardinagem. Seguindo os critérios estabelecidos pela RAS (BRASIL, 2009).

Para a realização desta pesquisa, o trabalho foi segmentado em duas fases. Na primeira, foram realizadas radiografias das sementes de sorgo (*Sorghum bicolor*), utilizando um equipamento de mamografia. Na segunda fase, procedeu-se ao teste de germinação utilizando as mesmas sementes.

5.2 Obtenção das radiografias

Materiais empregados para a realização do teste de radiografia; 4 placas de isopor com espessura de 20mm; adesivo; 2 Clips; 1 Caneta; 200 sementes de sorgo; 3 painéis acrílicos, filme plástico; régua.

5.3 Testes de germinação

Materiais empregados para a realização do teste de germinação: 8 folhas de germinação; 22 ml de água destilada; 8 ligas elásticas; bandeja; proveta; papel-filme; 200 sementes de sorgo. Foram divididas em sub-lotes de 50 sementes, foram realizadas duas repetições.

De acordo com a RAS (2009), para realizar o teste de germinação, é preciso cumprir algumas fases, como a pesagem das folhas germinativas e a execução de um cálculo para calcular a quantidade de água requerida. Essa quantidade precisa ser adequada para não prejudicar o teste, promovendo a dormência física das sementes e prevenindo que o papel de germinação fique molhado.

Primeiramente, duas folhas germinativas foram pesadas, resultando nos seguintes pesos: 7,0957g para a primeira e 7,0327g para a segunda. O total de pesos atingiu 14,1284g e, ao calcular a média, chegou-se a um valor de 7,0642g. De acordo com a RAS, o volume de água requerido pode ser determinado ao multiplicar o peso médio das folhas por um fator entre 2,5 e 3. A realização do teste prático seguiu os procedimentos descritos a seguir:

A primeira folha a germinar foi colocada em uma bandeja e 22 ml de água foram adicionados, assegurando que a folha ficasse completamente úmida; em seguida a folha foi colocada em uma bandeja limpa, foi colocada as 50 sementes na folha; mantendo um espaço entre cada uma; na segunda folha foi colocada na bandeja, molhada com água destilada e removida quando estava completamente úmida; a segunda foi posicionada em cima das sementes e a primeira folha, estendida na bancada, com a finalidade de finalizar a montagem por cima; dobraram-se as extremidades das folhas para prevenir que estas escapassem; então, as folhas foram enroladas, mantendo as sementes no meio, mantendo-as conforme o padrão. Por fim, as folhas enroladas foram levadas ao laboratório e colocadas em uma B.O.D. (Biochemical Oxygen Demand) a uma temperatura de 25°C (Figura 4).

Figura 4 – B.O.D.



Fonte: Autor 2024.

Dia inicial da avaliação da germinação das sementes: O início do período de germinação ocorreu em 15 de agosto, conforme a RAS (2009), as observações foram realizadas no 4º e 10º dia após os testes. Portanto, a primeira observação aconteceu em 19 de agosto. (Figura 5).

Nesta primeira avaliação, ao examinar dois dos quatro sub-lotes de germinação, observou-se uma perda de umidade no papel, provavelmente por causa da ventilação excessiva na B.O.D, o que pode ter provocado a evaporação de umidade nas folhas.

Figura 5 – Bandeja no primeiro dia de observação.



Fonte: Autor 2024.

Depois de abrir todos os quatro sublotes, notou-se que nenhuma das 200 sementes mostrou avanço na germinação. E em função do problema detectado, o experimento foi refeito para assegurar a umidade correta e confirmar se o ambiente estava seco (Figura 6).

Figura 6 – Já com adaptação com pote com água para evitar a perda da umidade.



Fonte: Autor 2024.

5.3.1 Segundo exame: lavagem de areia e folha de germinação

Foi feita uma nova tentativa de germinação no dia 20 de agosto, desta vez usando areia limpa como substrato. O procedimento seguiu a mesma linha do anterior, que empregou a folha de germinação, mas com a implementação de novas técnicas.

Conforme a RAS (2009), algumas especificações fundamentais são necessárias para o teste de germinação com areia: água destilada; escolha de sementes homogênea para não interferir no nivelamento e distribuição subsequente das sementes, que deverão ser peneirados; areia esterilizada, a areia foi lavada e esterilizada antes do uso para eliminar micro-organismos presentes. Capacidade de retenção de água; para aeração adequada e possibilitar a germinação e crescimento da raiz.

De acordo com essas diretrizes, o processo de germinação do tipo Entre Areias é realizado.

A avaliação foi realizada no laboratório com o uso dos seguintes recursos: Areia limpa, peneira; dois cestos; cerca de um litro de água destilada.

Este novo experimento foi concebido para analisar o efeito da areia lavada como substrato e aderir às práticas recomendadas de germinação para aprimorar as condições de crescimento das sementes.

5.3.1.1 Teste entre areia

Figura 7 – Materiais utilizados e areia peneirada.



Fonte: Autor 2024.

5.3.1.2 Método entre areia

A areia passou por um peneiramento para eliminar os grãos de tamanho adequado. Em um recipiente, a areia foi espalhada de maneira homogênea, sem nivelamento, e o solo foi umedecido. Distribui 50 sementes na areia, dispostas em 5 linhas de 10 sementes cada, seguindo uma distribuição análoga à usada em folhas de germinação. Uma camada adicional de areia foi aplicada, cobrindo as sementes e criando uma camada de 1 cm de espessura (de acordo com RAS, 2009).

A bandeja contendo as sementes foi novamente umedecida, posicionada numa prateleira no laboratório e acompanhada com um termômetro, mantendo a temperatura do ambiente entre 24°C e 26°C, com iluminação constante (similar a uma estufa, figura 8).

Figura 8 – Teste entre a areia com iluminação similar a uma estufa.



Fonte: Autor 2024.

Material de isopor empregado (Figura 9).

Figura 9 – Isopor cortado com as medidas para o teste de radiografia.



Fonte: Autor 2024.

Durante a exposição, as placas foram dispostas da seguinte maneira (Figura 10)

Figura 10 – Placa de isopor com as sementes



Fonte: O autor 2024.

Na clínica Nova Esperança, as sementes foram expostas para a captura das imagens no consultório de mamografia, onde o mamógrafo (Figura 11), foi usado para registrar as radiografias. A exposição foi realizada posicionando a placa de isopor com as sementes entre três placas de acrílico: duas acima das sementes e uma abaixo da placa de isopor, conforme mostrado na Figura 10. A distribuição das sementes resultou em uma matriz onde as linhas de A a E contêm 5 sementes cada uma, enquanto as colunas de 1 a 10 formam 10 linhas (Figura. 10). Perfuramos a placa de isopor o suficiente para acomodar uma semente em cada quadrado, assegurando que elas não ficassem profundas.

Figura 11 – Mamógrafo utilizado para obter as radiografias das sementes.



Fonte: Autor 2024.

A realização do exame de raio-X ocorreu nas salas 38 e 39 da Clínica de Saúde Nova Esperança, Unidade II, situada no bairro Gramame, em João Pessoa, capital da Paraíba. O equipamento digital Senographe 700T GE, modelo 2301405TYPE (Figura 11), foi usado para produzir as imagens radiográficas das sementes. Este dispositivo estava ligado a um PC HP Intel i2 e a um monitor de negócios HP V225HZ de 21,5 polegadas.

Durante o processo de obtenção das imagens radiográficas, diferentes combinações de parâmetros foram testadas para encontrar a melhor qualidade diagnóstica. Na primeira exposição, utilizou-se um valor de 25 kV e 61 mAs. Por conta da espessura do material isopor e o acrílico, no entanto, a imagem apresentou um artefato de processamento (manchas) que comprometem sua qualidade, impossibilitando um diagnóstico preciso.

Na tentativa de corrigir o problema, foram ajustados os parâmetros na segunda exposição, utilizando 22 kV e 100 mAs. Embora tenha ocorrido uma melhora, a imagem ficou com ruído (imagem com aspecto granulado) considerável, o que também dificultou a interpretação adequada.

Por fim, na terceira exposição, os parâmetros foram ajustados para 22 kV e 160 mAs. Essa combinação resultou em uma imagem radiográfica de boa qualidade, adequada para o diagnóstico, sem artefatos e com baixo nível de ruído. Esse resultado evidenciou a importância do ajuste preciso dos parâmetros radiográficos para garantir uma imagem clara e confiável.

Tratamento das Imagens Radiográficas: As imagens radiográficas foram processadas com software especializado, aplicando-se filtros de contraste e redução de ruído para melhorar a qualidade e eliminar artefatos, visando uma análise precisa das estruturas internas das sementes.

A avaliação das sementes deu-se por dois métodos: Teste de Germinação (realizado em papel germitest e areia, acompanhando o desenvolvimento das plântulas e registrando vigor e porcentagem de germinação), e Análise Radiográfica (imagens radiográficas das sementes foram usadas para identificar danos internos, como fissuras, que poderiam impactar a germinação).

Na correlação entre os métodos, foi realizada uma comparação entre os resultados dos testes de germinação e as características internas observadas nas radiografias. Utilizou a qualidade visualizada na radiografia e o desempenho germinativo, demonstrando que a radiografia é um método eficiente para prever a viabilidade das sementes.

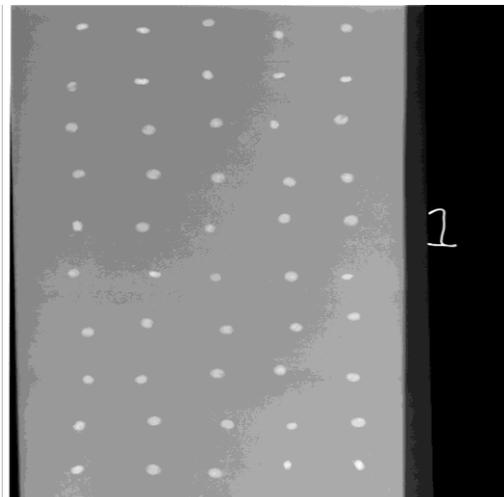
As imagens digitais foram melhoradas utilizando o ajuste de brilho e contraste com a ferramenta Window/Level (figura 12A). Para facilitar a visualização, a escala de

cinza das imagens foi convertida em uma escala colorida, utilizando a escala Red/Green, assim outra perspectiva de tons (figura 12B).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Imagem do teste de radiografia na Figura 11.

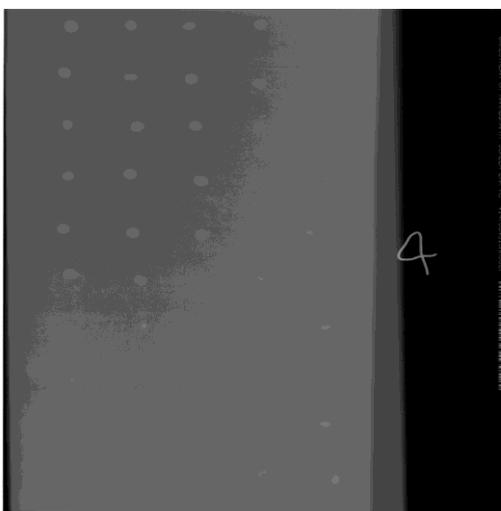
Figura 11 – Teste de radiografia.



Fonte: Autor 2024.

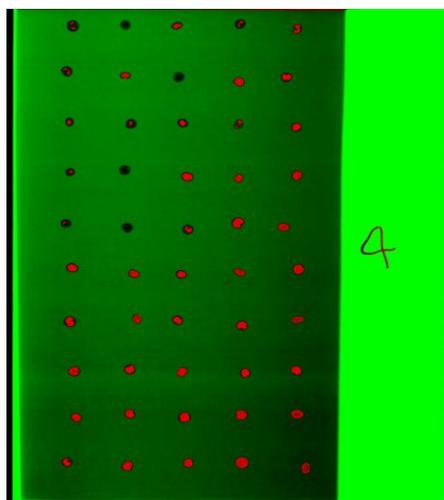
Comparativo das imagens do teste de radiografia com aplicação da escala colorida nas Figuras 12A e 12B.

Figura 12A – Radiografia sem escala de cor.



Fonte: Autor 2024.

Figura 12B – Radiografia com escala de cor.



Fonte: Autor 2024.

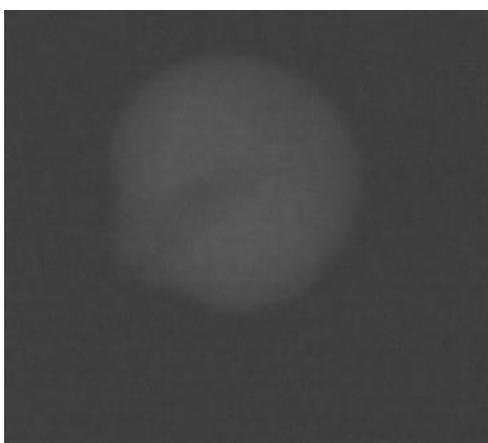
Como mencionado anteriormente, o uso da escala colorida destaca certos detalhes que podem não ser notados numa imagem em escala de cinza. Em relação à imagem colorida, é mais simples identificar características específicas. Na medicina nuclear, é frequente o uso de diversas escalas em imagens, principalmente para

melhorar e destacar áreas de interesse que necessitam de investigação para o diagnóstico de doenças.

Ao examinar as sementes de forma individual, é mais fácil detectar falhas na escala colorida, enquanto na escala cinza, alguns pormenores podem não ser percebidos, conforme demonstrado na figura 12B. Nesta fotografia, notaram-se defeitos internos em algumas sementes. Mesmo que a anomalia seja perceptível nas duas escalas, a utilização da escala Red/Green realça os danos internos com mais eficácia.

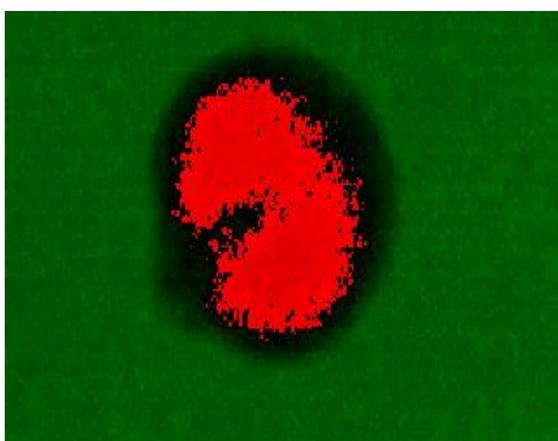
Comparativo da semente individual (Figuras 13A e 13B).

Figura 13A



Fonte: Autor 2024.

Figura 13B



Fonte: Autor 2024.

Com a escala de cor aplicada, a visualização do endosperma, pericarpo e o eixo embrionário.

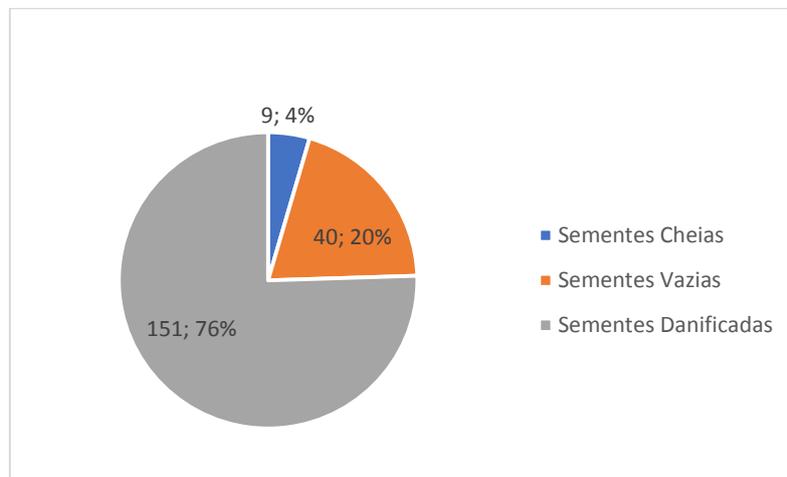
Depois de examinar as imagens radiográficas, as sementes foram categorizadas em três grupos. Isso foi realizado para que, após a realização do teste de germinação, a porcentagem de sementes classificadas como boas nas radiografias pudessem ser comparadas ao número de germinações observadas nos experimentos. A categorização é mostrada na tabela e no gráfico a seguir.

Tabela com as classificações das sementes:

CLASSIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES INTERNAS DAS SEMENTES DE SORGO SORGHUM BICOLOR	
CHEIAS	9
VAZIAS	40

DANIFICADAS	151
-------------	-----

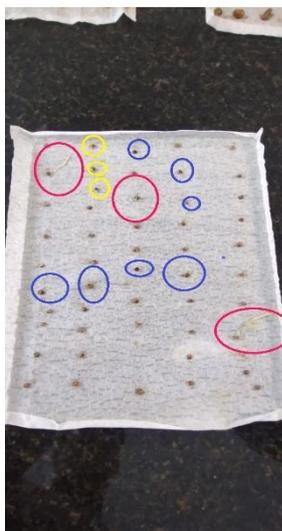
Gráficos com os resultados dos testes de radiografias e de germinação:



A partir dos resultados do segundo teste de germinação com areia e papel germitest, notou-se uma diferença relevante entre os dois substratos.

No experimento com o papel germitest, três sementes se desenvolveram com êxito, conforme demonstrado na (figura 14A). Em relação às sementes que foram plantadas na areia, não houve germinação, conforme evidenciado na (figura 14B). Este resultado pode estar ligado à qualidade das sementes utilizadas. Círculo vermelho germinou, amarela mofo na radícula e azul apodreceram.

Figura 14A



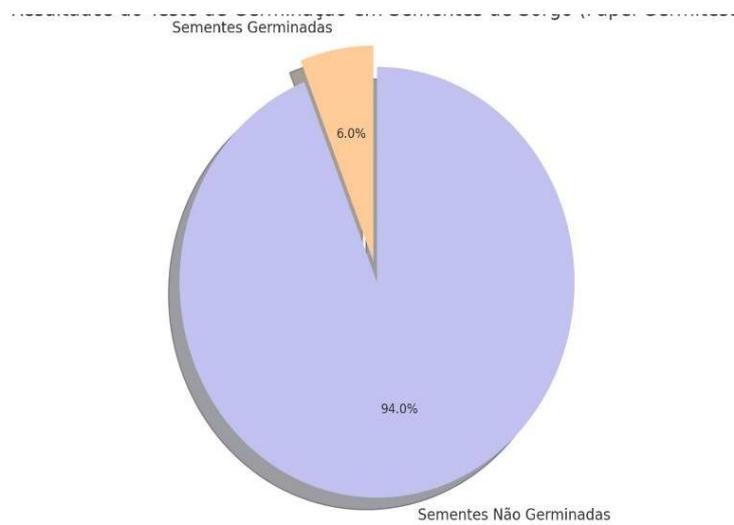
Fonte: Autor 2024.

Figura 14B



Fonte: Autor 2024.

Gráfico do resultado do teste de germinação entre areia.



Os testes realizados com sementes de sorgo revelaram que a radiografia é uma ferramenta eficaz para a avaliação de danos mecânicos e dessecação, quando comparada aos métodos tradicionais citados neste trabalho.

7 DISCUSSÃO

O uso da radiografia permitiu uma análise detalhada das estruturas internas das sementes de sorgo, identificando com precisão as condições de cada lote. Observamos que 141 sementes apresentaram danos mecânicos, uma proporção significativa comparada às sementes cheias (9) e vazias (40). Esses dados indicam uma possível vulnerabilidade do lote aos processos de manuseio, transporte ou colheita, que podem gerar danos físicos às sementes.

Nos testes de germinação, foi constatado que a taxa de germinação foi baixa tanto no papel germitest (3 sementes germinadas) quanto na areia (nenhuma germinação), sugerindo que as condições internas da maioria das sementes provavelmente não estavam favoráveis para o desenvolvimento, o que é consistente com o alto número de sementes danificadas. Seguindo as normas da RAS (2009), para assegurar resultados confiáveis.

A partir desses achados, é possível discutir a eficiência do teste de radiografia como uma etapa fundamental de triagem em sementes de sorgo, contribuindo para evitar o plantio de sementes comprometidas. Além disso, a baixa taxa de germinação sugere que métodos adicionais ou melhorias nos processos pós-colheita poderiam reduzir os danos mecânicos, otimizando o potencial germinativo do lote.

8 CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que a radiografia, além de proporcionar uma avaliação rápida e não destrutiva, foi eficaz na detecção de irregularidades internas nas sementes que poderiam comprometer o processo de germinação. Esta abordagem se mostrou vantajosa, permitindo a visualização direta da integridade física das sementes, um fator essencial para prever com maior precisão seu potencial de germinação.

As análises de germinação reforçaram as observações realizadas por meio da radiografia, indicando que as sementes com danos em suas estruturas internas apresentaram uma taxa de germinação inferior, tanto no substrato quanto na areia.

9 REFERÊNCIAS

ALBURQUERQUE, C. J. B.; MENEZES, C. B.; FREITAS, R. S. Origem, evolução e domesticação do sorgo. Capítulo 2. Em: MENEZES, C. B. **Melhoramento Genético de Sorgo**. Embrapa: Brasília - DF, 2021.

AZEVEDO, J.T. **Efeitos dos danos mecânicos durante a colheita sobre a qualidade das sementes de sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L. Moench.)**, Pelotas: UFPel, 1980. 79p. Tese de Mestrado.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: Departamento Nacional de Produção Vegetal, 1992.365p.

BATTISTI A et al. 2000. **Detection and evaluation of seed damage of cypress, *Cupressus sempervirens* L.**, in Italy. *Seed Science and Technology* 28: 729-738

BUSHBERG J. T., Seibert, J. A., Leidholdt Jr., E. M., & Boone, J. M. (2011). "The Essential Physics of Medical Imaging." Lippincott Williams & Wilkins.

CARVALHO, M.L.M.; OLIVEIRA, L.M. **Raios X na avaliação da qualidade de sementes**. Informativo Abrates, Brasília, DF, v.16, n°1, 2,3, 2006.

COPELAND, L. O. **Principles of seed science and technology**. Minneapolis: Burges Publishing Company, 1976. 369p.

CONAB (2020). **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. Retrieved from: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>

CONTINI, E., GASQUES, J. G., ALVEZ, E. e BASTOS, E. T. **Dinamismo da agricultura brasileira**. Revista de Política Agrícola, Brasília, jul. 2010. Edição Especial.

FAUBER, T. L. (2015). "Radiographic Imaging and Exposure." Elsevier Health Sciences.

FLOR, E. P. O.; CÍCERO, S. M.; FRANÇA NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C. Avaliação de danos mecânicos em sementes de soja por meio da análise de imagens. *Revista Brasileira de Sementes*, Brasília, vol. 26, n°1, p.68-76, 2004

GOMES-JUNIOR, F.G. Aplicação da análise de imagens para a avaliação da morfologia interna de sementes. Informativo ABRATES, Londrina, v. 20, p. 33-39, 2010.

HAMAD, A., et al. (2019). Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) as a Potential Food and Feed Grain: Physicochemical Properties and Nutritional Aspects. *Foods*, 8(7), 275.

HARLAN, J. R. Agricultural Origins: Centers and Noncenters. *Science*, 174, 4, 468-474, 1971.

ISTA. International Rules For Seed Testing Association, Zurich, 174p. 2004.

JAVORSKI, MAICON & Cicero, Silvio. (2017). UTILIZAÇÃO DE RAIOS X NA AVALIAÇÃO DA MORFOLOGIA INTERNA DE SEMENTES DE SORGO. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*. 16. 310. 10.18512/1980-6477/rbms.v16n2p310-

MACHADO, C.F.; CICERO, S.M. Aroeira-branca (*Lithraea molleoides* (Vell.) Engl. – Anacardiaceae) seed quality evaluation by the X-ray test. *Scientia Agricola*, v.60, n.2, p.393-397, Abr./Jun. 2003.

Magalhães, P. C.; Durães, F. O. M.; Rodrigues, J. A. S. Ecofisiologia. In: *Cultivo do Sorgo*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de Produção, 2. <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo/ecofisiologia.htm> 26 Nov. 2007.

MARCOS FILHO, J.; GOMES JUNIOR, F.G.; BENNETT, M.A.; WELLS, A.A.; STIEVE, S. Using tomato analyzer software to determine embryo size in X-rayed seeds. *Revista Brasileira de Sementes*, Londrina, v. 32, n. 2, p. 146-153, 2010.

MARCOS FILHO, J. Utilização de testes de vigor em programas de qualidade de sementes. *Informativo Abrates*, Londrina, v.4, n.2, p. 33-35, 1994.

OLIVEIRA, L.C. et al. (2018). Utilização da técnica de raios X na identificação de danos mecânicos em sementes de sorgo. *Revista Brasileira de Sementes*, 40(3), 125-132.

PESKE, S.T.; BARROS, A.C.S.A. Produção de Sementes. In: *Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos*. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas. Ed. Universitária, 2003.

QUEIROZ, V. A. V.; VIZZOTTO, M.; CARVALHO, C. W. P.; MARTINO, H. S. D. O sorgo na alimentação humana. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 133).

Ribas, P. M. Cultivo do sorgo. Importância econômica. In: *Sistemas de Produção*, 2. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo/importancia.htm> 26 Nov. 2007.

SANTOS, V.S. et al. (2015). Efeito da dessecação sobre a qualidade fisiológica de sementes de soja por meio do teste de raios X. XXV Congresso Nacional de Sementes, Foz do Iguaçu, PR.

SILVA, P. P. et al. Análise de imagens no estudo morfológico e fisiológico de sementes de abóbora. Horticultura Brasileira, Brasília, v. 32, n,2, p.210-214, 2014.

SILVA, J.A et al. Seed quality analysis of Senna siamea Lam, using image analysis techniques. Journal of Seed Science, v. 42, e202042042, 2020.

SUETENS, P. (2009). "Fundamentals of Medical Imaging." Cambridge University Press.

STEFOSKA-NEEDHAM, A., & TAPSELL, L. C. (2020). Sorghum as a Nutritional Grain Crop: Opportunities and Challenges. Nutrients, 12(6), 1704.

TABOSA, J. N., et al. (2019). Caracterização física e fisiológica de sementes de sorgo. Revista Brasileira de Sementes, 41(2), e2018009.

WAHYUNI, Y., et al. (2019). Sorghum bicolor L. Moench: A Review on Its Phytochemical and Pharmacological Profile. Journal of Applied Pharmaceutical Science, 9(11), 123-130.

ZWIRTES, D. P., et al. (2015). Sorgo: alternativa de cultivo para o semiárido brasileiro. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 19(7), 661-667.