



RANUELLI RENON FLOR

**ANÁLISE DE IMAGENS DE SEMENTES DE MILHO
SUBMETIDAS AOS DANOS MECÂNICOS VIA TESTE DE
IMPACTO**

**LAVRAS - MG
2021**

RANUELLI RENON FLOR

**ANÁLISE DE IMAGENS DE SEMENTES DE MILHO SUBMETIDAS AOS DANOS
MECÂNICOS VIA TESTE DE IMPACTO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

Profª. Dra. Raquel Maria de Oliveira Pires
Orientadora

Dra. Juara Rodrigues Cardoso Santos
Coorientadora

**LAVRAS – MG
2021**

*À Deus, minha família, por todo amparo,
dedicação, incentivo, apoio e exemplos de
honestidade e amor.*

*Aos amigos, professores e tantas outras
pessoas que direta ou indiretamente me
entusiasmaram e contribuíram para a
realização deste.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Minha gratidão, primeiramente, a Deus e a Nossa Senhora por estar comigo em todos os momentos, iluminando e guiando-me nas horas mais difíceis.

Aos meus pais Paulo Sérgio Flor e Maria Martinha da Silva, agradeço especialmente por me apoiarem e incentivarem nesta jornada.

À Universidade Federal de Lavras por todas as oportunidades e aprendizado ao longo da graduação.

À professora Dra. Raquel Maria de Oliveira Pires que me possibilitou aprendizagens únicas, agradeço pela paciência, dedicação, ensinamentos, confiança e orientação que me foram concedidas.

À doutoranda Juara Cardoso pela coorientação, dedicação e acima de tudo, pela empatia para com o próximo.

Gostaria de agradecer à Renato Coelho de Castro Vasconcellos e Dayliane Bernades de Andrade por aceitarem fazer parte da banca examinadora.

Aos amigos do Setor de sementes e, também, do setor de olericultura e fruticultura da UFLA, obrigado pelos momentos de convivência, trabalhos e distrações.

Aos meus amigos Thiago Sampaio Guerra, Rafael Resende Carvalho, Ana Luísa Machado, Giovana Murari Moraes, Lívia Karine Pereira, Renato Chaves, Anna Carolina de Abreu, Douglas Alves e Amara Lana de Abreu agradeço pela amizade, companheirismo e por toda ajuda.

Enfim, a todos que compartilharam comigo deste sonho, contribuindo e auxiliando direta ou indiretamente para que eu pudesse alcançá-lo.

A TODOS MUITO OBRIGADO!

*Aquele que habita no esconderijo do Altíssimo,
à sombra do Onipotente descansará.
Direi do Senhor: Ele é o meu Deus, o meu refúgio,
a minha fortaleza, e nele confiarei.
Porque ele te livrará do laço do passarinho e da peste perniciosa.
Ele te cobrirá com as suas penas,
e debaixo das suas asas te confiarás;
a sua verdade será o teu escudo e broquel.
Não terás medo do terror de noite nem da seta que voa de dia,
Nem da peste que anda na escuridão,
nem da mortandade que assola ao meio-dia.
Mil cairão ao teu lado, e dez mil à tua direita, mas tu não serás atingido.
Somente com os teus olhos contemplarás,
e verás a recompensa dos ímpios.
Porque tu, ó Senhor, és o meu refúgio.
No Altíssimo fizeste a tua habitação.
Nenhum mal te sucederá,
nem praga alguma chegará à tua tenda.
Porque aos seus anjos dará ordem a teu respeito,
para te guardarem em todos os teus caminhos.
Eles te sustentarão nas suas mãos,
para que não tropeces com o teu pé em pedra.
Pisarás o leão e a cobra,
calcarás aos pés o filho do leão e a serpente.
Porquanto tão encarecidamente me amou,
também eu o livrarei, pô-lo-ei em retiro alto,
porque conheceu o meu nome.
Ele me invocará, e eu lhe responderei;
estarei com ele na angústia;
dela o retirarei, e o glorificarei.
Fartá-lo-ei com longura de dias,
e lhe mostrarei a minha salvação.*

RESUMO

Durante todo processo produtivo, as sementes estão sujeitas a danos e injúrias. Fissuras, quebras e arranhões, prejudicam a germinação, o vigor e conseqüentemente, o estabelecimento de plântulas em campo, tornando essas futuras plantas mais susceptíveis às adversidades do ambiente e conseqüentemente, a produtividade da lavoura. Diante disso, o objetivo no presente trabalho, foi avaliar a eficiência da análise de imagens na identificação dos danos mecânicos simulados em sementes de milho, submetidos ao teste de impacto e sua relação com a qualidade fisiológica. Foram utilizados quatro híbridos de milho, avaliados quanto a sua qualidade inicial. Após, estes foram submetidos ao teste de impacto ou teste de pêndulo, em um danificador mecânico desenvolvido na Universidade Federal de Lavras, para a simulação de impactos em sementes. O danificador consiste de um peso pré-estabelecido de 105 gramas e três diferentes alturas baixa = 7 cm, média = 13cm e alta = 17cm, nas quais o peso despencava em queda livre sobre as sementes. Cada uma das 1200 semente que receberam os impactos provenientes das três diferentes alturas, foram divididas em um quadrante e classificadas com nota de um a quatro, quanto ao dano sofrido, e após individualmente identificadas, foram radiografadas no equipamento raios X. Além disso, foi realizado o teste de germinação para cada híbrido e aos quatro dias as plântulas provenientes e separadas de acordo com a altura e a localização do impacto foram avaliadas no equipamento GroundEye® quanto as características de comprimento médio do hipocótilo e raiz, comprimento médio da raiz primária e comprimento total. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado. Para a análise dos dados da caracterização inicial da qualidade dos híbridos, estes foram transformados em $\text{arc sen.} \sqrt{x/100}$ e submetidos à análise de variância. O ensaio 2 que consistiu do teste de pêndulo e demais avaliações foi em esquema fatorial 4x3x3 (4 híbridos, 3 alturas e 3 testes) e os dados foram submetidos à análise de variância. O método estudado permite relacionar o dano mecânico com eventuais prejuízos ocasionados ao vigor das sementes de milho. O teste de raios X permite identificar danos mecânicos externos e internos em sementes de milho com maior precisão.

Palavras-chave: Danos Latentes e Imediatos. Injúrias Mecânicas. Qualidade fisiológica. Técnicas Não Destrutivas.

ABSTRACT

During the entire production process, the seeds are subject to damages and injuries. Cracks, breaks and scratches impair germination, vigor and, consequently, the establishment of seedlings in the field, making these future plants more susceptible to the adversities of the environment and, consequently, the productivity of the crop. Therefore, the objective of the present work was to evaluate the efficiency of image analysis in the identification of simulated mechanical damage in corn seeds, subjected to the impact test and its relationship with physiological quality. Four corn hybrids were used, evaluated for their initial quality. Afterwards, they were submitted to the impact test or pendulum test, in a mechanical damage developed at the Federal University of Lavras, for the simulation of impacts in seeds. The damager consists of a pre-established weight of 105 grams and three different heights: low = 7 cm, medium = 13 cm and high = 17 cm, in which the weight fell in free fall on the seeds. Each of the 1200 seeds that received the impacts from the three different heights, were divided into a quadrant and classified with a score from one to four, regarding the damage suffered, and after being individually identified, they were radiographed on the X-ray equipment. The germination test was carried out for each hybrid and at four days the seedlings from and separated according to the height and location of the impact were evaluated on the GroundEye® equipment for the characteristics of average length of the hypocotyl and root, average length of the primary root and Total length. The design used was completely randomized. For the analysis of the data of the initial characterization of the quality of the hybrids, they were transformed into $\text{arc sen.} \sqrt{x / 100}$ and submitted to analysis of variance. Test 2, which consisted of the pendulum test and other evaluations, was in a 4x3 factorial scheme (4 hybrids and 3 heights) and the data were subjected to analysis of variance. The studied method allows to relate the mechanical damage with eventual damages caused to the vigor of the corn seeds. The X-ray test allows the identification of external and internal mechanical damage in corn seeds with greater precision. The mechanical damage assessment methodology using the *Amaranth* dye is easier and cheaper to apply, providing better visualization of the damage.

Keywords: Latent and Immediate Damage. Non-Destructive Mechanical and Technical Injuries. Physiological quality.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Danificador mecânico desenvolvido na Universidade Federal de Lavras, para avaliar o efeito dos danos simulados em sementes de milho, através da exposição das sementes a diferentes alturas. **Error! Bookmark not defined.**
- Figura 2 - Divisão dos quadrantes das sementes para avaliação dos danos mecânicos. Para esta avaliação foi utilizado o programa RadiAnt DICOM Viewer. 23
- Figura 3 - Identificação das classes de danos mecânicos em sementes de milho após teste de Amaranth. Nota 0 = SDM (sem danos mecânicos), nota 1 = DML1 (dano mecânico leve 1), nota 2 = DML2 (dano mecânico leve 2), nota 3 = DMSS (dano mecânico severo superficial), nota 4 = DMSP (dano mecânico severo profundo). 24
- Figura 4 - Boxplots para avaliação exploratória e inferencial dos danos simulados em sementes de quatro híbridos de milho (H1, H2, H3 e H4), após sofrerem impactos provenientes de três diferentes alturas (0,7cm, 13,0cm e 17,0cm) e serem avaliadas por três diferentes testes (teste de *Raios X*, teste *fast green* e corante *Amaranth*). A caixa representa 50% dos dados; a marca central no box indica a mediana e os pontos fora das dimensões compreendidas pelo box, os outliers. 28
- Figura 5 - Boxplots para avaliação exploratória e inferencial dos danos simulados em sementes de quatro híbridos de milho (H1, H2, H3 e H4), após sofrerem impactos provenientes de três diferentes alturas (0,7cm, 13,0cm e 17,0cm) e serem avaliadas por três diferentes testes (teste de *Raios X*, teste *fast green* e corante *Amaranth*). A caixa representa 50% dos dados; a marca central no box indica a mediana e os pontos fora das dimensões compreendidas pelo box, os outliers. 29
- Figura 6 - Boxplots para avaliação exploratória e inferencial dos danos simulados em sementes de quatro híbridos de milho (H1, H2, H3 e H4), após sofrerem impactos provenientes de três diferentes alturas (0,7cm, 13,0cm e 17,0cm) e serem avaliadas por três diferentes testes (teste de *Raios X*, teste *fast green* e corante *Amaranth*). A caixa representa 50% dos dados; a marca central no box indica a mediana e os pontos fora das dimensões compreendidas pelo box, os outliers. 29
- Figura 7 - Boxplots para avaliação exploratória e inferencial dos danos simulados em sementes de quatro híbridos de milho (H1, H2, H3 e H4), após sofrerem impactos provenientes de três diferentes alturas (0,7cm, 13,0cm e 17,0cm) e serem avaliadas por três diferentes testes (teste de *Raios X*, teste *fast green* e corante *Amaranth*). A caixa representa 50% dos dados; a marca central no box indica a mediana e os pontos fora das dimensões compreendidas pelo box, os outliers. 30

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Resultados da caracterização inicial da qualidade de sementes de quatro híbridos de milho pelos testes de teor de água (TA%), primeira contagem aos quatro dias (PC%), germinação aos sete dias (G%), porcentagem de plântulas normais contabilizadas aos sete dias (PA%), porcentagem de sementes mortas contabilizadas aos sete dias (SM%), teste de frio (TF%) e porcentagem de plântulas normais após envelhecimento acelerado aos quatro dias (EA%)..... 26
- Tabela 2 - Resumo da análise de variância para os parâmetros de danos mecânicos simulados em sementes dos híbridos de milho (H1, H2, H3 e H4), submetidos a três diferentes alturas ((AB) = 7 cm, média (AM) = 13cm e alta (AA) = 17 cm) e avaliados por três diferentes testes (teste *Fast Green*, corante *Amaranth* e teste de *Raios X*)..... 27
- Tabela 3 - Análise das sementes de quatro híbridos de milho (H1, H2, H3 e H4), após submissão a danos mecânicos simulados e avaliação por três diferentes testes (teste de *Raios X*, teste *fast green* e corante *Amaranth*)..... 31
- Tabela 4 - Médias obtidas no teste de primeira contagem aos quatro dias (PC%), germinação aos sete dias (G%), porcentagem de plântulas anormais contabilizadas aos sete dias (PA%), porcentagem de sementes mortas contabilizadas aos sete dias (SM%) de quatro híbridos de milho (H1, H2, H3 e H4) após análises radiográficas. 33
- Tabela 5 - Média dos resultados das avaliações do comprimento médio do hipocótilo (cm), comprimento médio da raiz (cm), razão entre o comprimento médio do hipocótilo e o comprimento médio da raiz (cm) e comprimento total de plântulas (cm), fornecidos pelo sistema GroundEye®, de quatro híbridos de milho (H1, H2, H3 e H4), após serem submetidos a danos simulados por pesos em três diferentes alturas (7cm, 13cm e 17cm)..... 34

SUMÁRIO

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 10 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO..... | 12 |
| 2.1 | Importâncias econômica da cultura do milho | 12 |
| 2.2 | Morfologia e composição química de sementes de milho | 13 |
| 2.3 | Danos mecânicos no processo de produção de sementes..... | 15 |
| 2.4 | Aspectos gerais da qualidade de sementes | 17 |
| 2.5 | O uso da análise de imagens em sementes de milho..... | 18 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODOS | 20 |
| 3.1 | Etapa 1: caracterização da qualidade inicial dos 4 híbridos. | 20 |
| 3.2 | Etapa 2: simulação de danos nas sementes através do teste do pêndulo..... | 21 |
| 3.3 | Etapa 3: avaliação das sementes por meio do teste de <i>Raios X</i> , teste <i>fast green</i> e corante <i>Amaranth</i> | 22 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 26 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 36 |
| | BIBLIOGRAFIA | 37 |

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) desempenha um importante papel na economia nacional, sendo um dos produtos mais utilizados na alimentação animal e na indústria. A maior parte da utilização do grão de milho, cerca de 70%, é voltada para a alimentação animal (DUARTE, GARCIA & MIRANDA, 2011).

A utilização de insumos de qualidade é de grande importância, a começar pelas sementes que carregam em si altas tecnologias responsáveis pelo sucesso ou fracasso da lavoura (COSTA & CAMPOS, 1997). As sementes ao longo de vários anos, passaram por diversos processos de melhoramento genético, que impactaram a vida do produtor (MENEGUETTI et al., 2002).

As diversas mudanças das variedades tradicionais para as variedades melhoradas acarretaram na implantação de pacotes tecnológicos que visavam principalmente maiores produtividades, resistências a pragas e patógenos, resistências mecânicas que auxiliam no processo de colheita, dentre outros. Destes, a característica de resistência às danificações mecânicas, é de extrema importância, já que os danos ocasionados em sementes, têm se revelado como um dos principais problemas que coloca em risco a qualidade fisiológica e a sanidade das sementes (FERREIRA et al., 2013).

A automatização das diferentes etapas do processo de produção de sementes, traz diversos benefícios e facilidades, como otimização e agilidade do processo, devendo-se, no entanto, atentar para os problemas que podem ocasionar às sementes se essa mecanização não for realizada de forma correta.

Dano mecânico se refere à injúria causada por agentes físicos no manuseio das sementes, na forma de quebras, fissuras, trincas, cortes e abrasões, podendo ter como consequência a redução da sua qualidade fisiológica após a injúria (efeito imediato) e/ou após determinado período de armazenamento (efeito latente), ambos no entanto, acarretando na redução da sua qualidade fisiológica (FERREIRA et al., 2012).

Detectar esses danos com antecedência, pode permitir um melhor ajuste do controle interno de qualidade das empresas produtoras de sementes, por meio de ações preventivas que vão diminuir seus efeitos ao longo do processo. Para tal, analisar a qualidade das sementes produzidas é fundamental.

A utilização de técnicas rápidas e precisas na identificação de injúrias mecânicas, ocorridas durante o processo de produção de sementes, é de extrema importância para a obtenção de lotes de sementes de melhor qualidade. Nesse sentido, testes que apresentem

características como rapidez, reprodutibilidade, baixo custo, eficiência e objetividade, são importantes e auxiliam nas tomadas de decisões nas empresas produtoras de sementes.

Atendendo esses princípios que caracterizam um bom teste de análise de sementes e com a ideia de simular a identificação de danos mecânicos em sementes, foi criado o teste do pêndulo ou também chamado, de teste de impacto.

Adicional a esses testes, e hoje, considerada fundamental em controles de qualidade, a análise digital de imagens é uma eficiente ferramenta para análise dos danos mecânicos, pois além de apresentar resultados rápidos, consegue expor corretamente os locais das lesões, de forma não destrutiva, permitindo ainda, a análise individual das sementes.

O fato de ser uma técnica não destrutiva, permite que as sementes utilizadas sejam colocadas para germinar, permitindo ainda a correlação da extensão dos danos mecânicos com o crescimento e desenvolvimento de sementes e plântulas (CICERO & JUNIOR, 2003).

Considerando a importância dos danos mecânicos durante todos os processos de produção de sementes, o objetivo no trabalho é avaliar a eficiência da análise de imagens na identificação dos danos mecânicos em sementes de milho submetidos ao teste de impacto e sua relação com a qualidade fisiológica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância econômica da cultura do milho

No Brasil o cultivo do milho é feito em duas épocas de plantio, a primeira safra (menor produção) e na segunda (maior produção), sendo esta última a que vem mais se destacando em produção nos últimos anos, mesmo com uma área plantada menor, apresenta melhor produtividade (EMBRAPA, 2006).

Segundo estimativas da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2020), no seu quinto levantamento da safra 2019/2020 a produção total de milho é de cerca de 100.485,9 milhões de toneladas, em uma área total de 17.986,2 milhões de hectares o que representa um aumento de 0,4% de produção e de 2,8% de área em relação à safra 2018/2019. Em termos de comparação, na safra 2017/2018 a produção de milho era de cerca de 80 milhões de toneladas. Alguns fatores influenciaram nesse aumento da produção, como o aumento da demanda interna, principalmente nos setores de avicultura, suinocultura e também, o aumento da demanda externa com os crescentes picos de exportação Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2019).

O Brasil bateu recorde de produção de grãos na safra 2018/2019 totalizando 242,1 milhões de toneladas (CONAB, 2019). Dentre as culturas, milho e algodão se destacaram impulsionando o valor final de produção. Segundo a Conab esse valor representa 6,4% a mais, quando comparada com a safra passada, antes disso o último recorde foi na safra 2016/2017 com 237,6 milhões de toneladas (CONAB, 2019).

A safra total de milho chegou a quase 100 milhões de toneladas em 2018/2019. Em relação aos períodos de produção a segunda safra teve um crescimento de 36,9% e sua produção foi de 73.795 milhões de toneladas. Já a primeira safra obteve uma pequena queda em relação à safra anterior cerca de 2,3% e sua produção foi de 26.188 milhões de toneladas. Um outro recorde também deve ser batido, a exportação, uma vez que o valor gira em torno de 35 milhões de toneladas (CONAB, 2019).

O milho é considerado a segunda cultura mais importante no agronegócio brasileiro, sendo uma atividade que gera uma grande riqueza no cenário nacional, colocando o país em condições de destaque tanto no mercado interno, como no externo. O mercado de milho no Brasil gerou 63,46 bilhões de reais em 2018 sendo o terceiro maior do agronegócio, perdendo apenas para soja e a carne bovina Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA, 2019).

O desenvolvimento da produção das sementes de milho, é composta por alguns fatores como: tecnologia, pesquisas e desenvolvimento por parte dos órgãos produtores os quais prezam principalmente pela qualidade das sementes (BELLUZZO et al., 2014).

As tecnologias aplicadas em sementes de milho foram um dos fatores mais importantes para o aumento da produção de milho no Brasil. Um incremento que ocorreu foi a liberação de plantio comercial de sementes modificadas (OGM) para o controle de insetos (Bt) e a resistências a plantas daninhas (RR). A tecnologia (Bt) no milho foi de extrema importância ao longo dos anos para um aumento da produtividade por hectare sendo de 12 a 13,7 sacas por hectare na primeira safra, e de 4,9 a 7,7 sacas por hectare na segunda safra (2017/2018). Estes valores foram possíveis pois com a tecnologia (Bt), houve uma maior regulação da taxa de insetos na lavoura minimizando danos econômicos e consequentemente maiores produtividades (EMBRAPA, 2019).

Outros fatores de destaque são a genética e o aumento da taxa de utilização de sementes certificadas da cultura no país. Segundo a Associação Paulista de Produtores de Sementes e Mudas, na safra 2018/2019, foram comercializados 19,7 milhões de sacos de semente para uma área plantada de 17,2 milhões de hectares (EMBRAPA, 2019).

Graças ao conhecimento aplicado, novas tecnologias, políticas públicas, pesquisas de instituições públicas e privadas e ao empreendedorismo, foi possível que o Brasil na safra 2018/2019 produzisse aproximadamente 100 milhões de toneladas de milho, consolidando assim o país como um grande celeiro mundial (EMBRAPA, 2019).

2.2 Morfologia e composição química de sementes de milho

A semente de milho, cuja classificação botânica é do tipo cariopse, apresenta três partes: pericarpo, endosperma e embrião. O endosperma está envolto pelo pericarpo e constitui a maior parte do conteúdo da semente. Este endosperma é formado por uma camada amilácea e outra região mais externa, a aleurona. Esta camada de aleurona apresenta pouco ou nenhum amido, mas contém proteínas e gorduras, com importante participação no processo de germinação.

No endosperma, há algumas enzimas que foram produzidas pelas células externas do escutelo, que possuem como função, digerir os alimentos armazenados no endosperma. O embrião presente ao lado do endosperma, possui primórdios de todos os órgãos da planta que será desenvolvido, já o coleóptilo, permanece nos primeiros dias de germinação, sendo que posteriormente ele se rompe e propicia a origem das folhas novas (EMBRAPA, 2012).

As injúrias nas sementes são um dos problemas mais comuns durante todo o processo de produção de sementes de milho, desde o momento da semeadura, até a comercialização. Esses danos não podem ser evitados, pois acontecem de forma gradativa, sendo atenuados durante o processo produtivo (POPINIGIS, 1985).

A semente de milho tem um peso médio que varia de, 250 a 300mg e sua composição média em base seca é 72% de amido, 9,5% proteínas, 9% fibra (a maioria resíduo detergente neutro) e 4% de óleo. O amido que é o principal constituinte da semente de milho, no qual fica organizado na forma de grânulos no endosperma. O endosperma representa cerca de 83% da massa seca da semente (EMBRAPA, 2006).

As maiores quantidades de carboidratos são encontradas no endosperma, que representa cerca de 73,5%) do conteúdo total de sementes. Já as proteínas presentes no endosperma, estão entre os grânulos de amido, na camada de aleurona e no embrião, representando cerca de (10,3%). O óleo, em sua maioria se encontra no embrião, mais especificamente no escutelo (4,3%). As fibras presentes nas estruturas dos tecidos, maternos e da própria semente tem sua maior concentração nas camadas envoltórias originadas do tecido materno (MUNDSTOCK; BREDEMEIER, 2006).

Os carboidratos constituem as principais substâncias armazenadas nas sementes e sua principal função é o fornecimento de energia para a retomada de desenvolvimento do embrião durante a germinação. Cereais e gramíneas são ricos em carboidratos, contudo armazenam menores quantidades de proteína e óleos (BUCKERIDGE et al.; 2004; CARVALHO; NAKAGAWA, 2012; MARCOS FILHO, 2005).

Uma das mais importantes reservas alimentares das sementes é a proteína, sendo que após a água, é um dos constituintes de maior importância para o protoplasma, no qual durante a germinação, exerce um papel fundamental na formação de novos tecidos nos pontos de crescimento do embrião (BUCKERIDGE et al.; 2004; CARVALHO; NAKAGAWA, 2012; MARCOS FILHO, 2005).

Sendo assim, pela riqueza nutricional que o milho apresenta, ele é considerado um alimento energético essencial, tanto para as dietas humana e animal, devido à sua composição predominantemente de carboidratos (amido) e lipídeos (óleo). No entanto, essa commodity, não possui apenas aplicação alimentícia, ao contrário, os usos dos seus derivados, estendem-se às indústrias química, farmacêutica, de papéis, têxtil, entre outras de aplicação ainda mais nobres (PAES, 2006).

2.3 Danos mecânicos no processo de produção de sementes

A colheita em espigas de milho com a finalidade de produção de sementes, permite a retirada do material o mais cedo possível do campo, evitando as intempéries que influenciam na qualidade de sementes. Estas, são colhidas o mais próximo possível da maturidade fisiológica, pois assim apresentarão menores perdas. Se colhidas posterior a esse período, as sementes estarão propensas aos ataques de pragas e doenças, assim como ficarão expostas às adversidades ambientais (VASCONCELOS, 2002).

Essa metodologia de colheita, trouxe vários benefícios em relação aos danos mecânicos quando comparados com a colheita a granel, não significando necessariamente que os danos deixaram de existir, mas que foram drasticamente reduzidos.

Durante a etapa de despalha das espigas de milho, os rolos despalhadores têm uma influência negativa, provocando danos mecânicos nas sementes, principalmente no pericarpo das sementes. A configuração que cerca esse rolo está relacionado a resistência do material (FERREIRA, 2012). Quanto mais resistente o material a ser despalhado, mais necessidade de rolos “agressivos” para desempenhar tal função, e se as espigas que passam não obterem um despalhe total, esse material tem que ser repassado várias vezes, aumentando os danos mecânicos.

Após o despalhe, as espigas irão para a secagem estacionária em um secador bidirecional, ou seja, o fluxo de ar é de baixo para cima e depois de algumas horas esse fluxo se inverte de cima para baixo, possibilitando uma maior igualdade no teor de água nas duas formas de secagem. Este processo, tem importância tratando-se de danos ocorridos nas sementes, durante a secagem. Para que não ocorra trincas e rachaduras nas sementes, há necessidade de uma correta regulação do fluxo de ar, taxa de secagem e temperatura (FERREIRA, 2012). Se o fluxo de ar for acima do necessário, ou se a taxa de secagem for mais rápida do que o necessário e a temperatura do ar for muito excessiva (acima dos 40°C), as células dos tecidos das sementes sofrerão com uma grande perda de água, que poderá romper o tecido, causando danos severos às sementes (CARVALHO e NAKAGAWA, 2012).

Com a semente contendo um teor de água de 12%, ocorre a debulha mecânica, sendo considerado um dos processos mais importantes no processamento de sementes de milho, e uma etapa na qual, podem ocorrer vários danos mecânicos que podem interferir na qualidade fisiológica das sementes (BORBA, 1995). Depois da debulha, há uma classificação em relação a largura, tamanho, e espessura das sementes. Durante esse processo de classificação, são várias as etapas distintas que ocorrem sucessivamente podendo ocorrer choques mecânicos, sendo que

a maior fonte de injúrias às sementes, são provenientes dos elevadores presentes entre as fases, cujo objetivo é a movimentação da massa de sementes.

O armazenamento é uma etapa composta por um conjunto de técnicas e procedimentos que visam a preservação e a qualidade de sementes. Tem como objetivo proporcionar homogeneidade no ambiente para que as mudanças fisiológicas e bioquímicas sejam mantidas a níveis que não interfiram na qualidade das sementes ao longo do tempo (FERREIRA, 2012). Para isso, as sementes necessitam estar em boas condições físicas e fisiológicas, ou seja, quanto menor o dano mecânico melhor será a qualidade do produto final.

Os danos mecânicos podem ser do tipo, imediatos e latentes, sendo que esses danos vão afetar na qualidade fisiológica e no vigor das sementes. Os danos imediatos são possíveis de serem visualizados a olho nu, estes danos podem ser trincas, rachaduras, abrasões e até mesmo a quebra da semente. Já os danos latentes, não são visíveis a olho nu pois se tratam de danos internos e são mais acentuados do que os danos imediatos. No dano latente, os efeitos negativos poderão ser observados durante o armazenamento (DELOUCHE, 1967). Danos mecânicos deixam as sementes susceptíveis aos ataques de fungos, pois se trata de uma fonte para início de inóculo (PINTO, 1993).

A constatação de danos mecânicos se dá pela observação de injúrias internas e externas, por meio de trincas, quebras e rachaduras. Não é somente o aspecto físico afetado, mas o aspecto fisiológico também é influenciado, principalmente em relação ao vigor e germinação tornando as sementes mais susceptíveis a ataques de patógenos do solo (BORGES, 2001).

De acordo com Mendonça (2017), as sementes de milho que apresentavam danos mecânicos superficiais nos quais foram submetidas ao teste de germinação, apresentaram plântulas majoritariamente normais. Já quando comparadas com as sementes danificadas severamente na região do embrião, pôde-se observar plântulas anormais e maior número de sementes mortas.

Pacheco et al (1996), trabalhando com sementes de milho, observaram redução da germinação quando estas foram submetidas às injúrias mecânicas. Houve diferença significativa entre a testemunha e as sementes que sofreram danos mecânicos dobrado, em que essas apresentaram uma germinação de 88%, germinação suficiente para comercialização.

2.4 Aspectos gerais da qualidade de sementes

Diversos aspectos determinam a qualidade de sementes, dentre eles, o fisiológico, diretamente relacionado com o desempenho da semente em realizar funções vitais, sendo esse atributo mensurado pela germinação, longevidade e vigor (AZEVEDO, 2003).

Os demais atributos, correspondem aos genético, físico e sanitário e todos eles, em conjunto, são responsáveis pelo desenvolvimento e estabelecimento da planta em campo (BRASIL, 2009).

Para sementes de milho, uma normativa do MAPA (2013), determina a germinação mínima de 80% (instrução normativa de número 45 de 17 de setembro de 2013), porém, cada empresa produtora de sementes possui um padrão interno acima do mínimo exigido pelo MAPA para comercialização. Uma vez que o teste de germinação, pode não refletir o verdadeiro estado fisiológico da semente, justamente por ser realizado em condições ótimas, é interessante para as empresas produtoras de sementes, que haja uma complementação com testes rápidos para avaliar a viabilidade e vigor de sementes.

Essa complementação é feita por meio dos testes de vigor, que são ferramentas que trazem informações adicionais a respeito do nível de deterioração das sementes. Eles visam detectar diferenças no potencial fisiológico de lotes de sementes com germinação semelhante e compatível com as exigências mínimas para a comercialização, sendo usados para distinguir, com segurança, lotes de alto e baixo vigor. Os testes de vigor, complementam o teste de germinação sendo estes, considerados grandes aliados ao controle interno de qualidade, para tomada de decisões em empresas.

Um teste não muito utilizado, mas que apresenta grande potencial de uso, por sua rapidez, eficiência e reprodutibilidade, é o teste de *pêndulo*. Este teste tem como princípio, o uso de um pêndulo de aço em suspensão, que ao ser liberado em queda livre, atinge a massa de sementes disposta em discos de aço, a qual recebe um impacto de valor conhecido. Durante o processo, as sementes sofrem o impacto de um peso previamente estabelecido que gerará uma distribuição de danos desuniformes nas sementes (RUFFATO et al., 2001). Essa estratégia servirá para simular os danos sofridos pelas sementes durante toda cadeia de produção e seus impactos no estabelecimento de futuras plântulas e plantas.

Quando analisadas as sementes de milho submetidas ao teste de pêndulo, autores constataram que a região mais afetada foi a face ventral onde está localizado o embrião, de forma geral, prejudicando a qualidade das sementes e o consequente desenvolvimento da plântula.

Para a avaliação dos danos mecânicos nas sementes, existem os corantes que são substâncias que podem ser utilizadas para facilitar a visualização a olho nu de danos em sementes, permitindo a separação mais eficiente de sementes danificadas. Dos tipos de corantes mais utilizados, destacam-se o *fast green* e o *Amaranth*, onde a concentração e a eficiência variam entre as espécies.

O *Amaranth* é um corante usualmente utilizado para identificação de incidência de sementes amilácea como o milho. Quando em contato com a superfície danificada, onde há exposição do amido do endosperma, gera uma coloração vermelha, sendo essas superfícies identificadas quanto a posição e tamanho de dano. Já o corante *fast green* permite identificar tecidos danificados através da coloração verde, de parte de amido expostas do endosperma, facilitando a identificação visual dos danos (TEIXEIRA et al.,2002).

De forma geral, na escolha dos testes de vigor ou de testes complementares como os corantes, estes devem apresentar características que justifiquem seu uso adicional nos programas de controle de qualidade interno, como: simplicidade, rapidez, baixo custo, reprodutibilidade e resultados que se relacionem com a emergência das plântulas em campo. Sendo assim, considera-se como melhor teste, aquele que atenda às necessidades da empresa produtora de sementes naquele momento, encorajando-as no desenvolvimento de novas metodologias de análises.

2.5 O uso da análise de imagens em sementes de milho

Quando os danos mecânicos, em milho, são visíveis (sementes partidas e com rupturas no tegumento), as sementes podem ser separadas durante a limpeza, por máquinas apropriadas que as separam de acordo com suas propriedades físicas. Danos mecânicos situados superficialmente, como trincas ou rachaduras, são facilmente detectados, ao passo que os danos mecânicos internos exigem exames mais detalhados para sua detecção (FLOR et al., 2004).

Por isso, atualmente estão sendo estudadas e utilizadas técnicas mais sofisticadas, como o uso da análise informatizada de imagens para possibilitar a detecção de mini danificações, pois mesmo danos mecânicos, muito pequenos, podem ser capazes de reduzir a germinação.

A análise de imagens digitais consiste em uma avaliação através de software onde ocorre uma captura de imagens de características dimensionais como: áreas, comprimentos ou atributos e sua mensuração ocorre através de contagem ou frequência de “pixels” (VOOREN & HEIDJEN, 1993).

Os primeiros estudos relacionados a área de sementes foram realizados a partir de software genéricos, cujo objetivo era utilizar as imagens digitais para medir comprimento de raízes de várias espécies. Cicero et al. (1998), visando analisar os danos mecânicos internos e externos em sementes de milho, utilizaram uma combinação de técnicas para análise de imagens, sendo eles, os raios X e processamento digital de imagens.

O teste de raios X é uma técnica simples, rápida e fornece dados precisos a respeito das sementes analisadas. Neste contexto o uso da técnica de Raios X é recomendada pela (ISTA, 1999, 2004 e RAS, 2009), sendo de grande valia, pois pode ser utilizado em um amplo espectro de espécies, pois uma de suas principais características, é ser não destrutivo, e bastante preciso, com aplicação direta no auxílio na seleção de lotes de boa qualidade.

As sementes são colocadas entre uma fonte de baixa energia de raios X e um filme fotossensível. Quando os raios X atravessam a semente e atingem o filme, é criada uma imagem latente. Após o processamento do filme, uma imagem de sombras claras e escuras é formada, criando uma imagem permanente no filme radiográfico (ISTA, 1999, 2004; Simak, 1991). As áreas mais escuras da radiografia correspondem àquelas partes em que os raios X penetram mais facilmente, enquanto que áreas mais claras representam partes mais densas da semente (Simak, 1991).

O teste tem sido aprimorado e utilizado com a finalidade de obter informações sobre a ocorrência de sementes malformadas, vazias, infestações por insetos e fungos, e além dos danos ocorridos em toda semente, que podem ser atribuídos aos danos mecânicos (HUANG et al., 2015). O teste ainda contribui para a seleção e descarte de lotes de sementes indesejáveis e para a correlação de informações acerca dos resultados do teste germinação com os resultados do teste de tetrazólio (CARVALHO; NOVENBRE, 2012)

A análise digital de raios X tem sido utilizada com sucesso para avaliar danos mecânicos internos em semente de milho (Cícero et al., 1998; Carvalho et al., 1999; Cícero et al., 2003) e de soja (Flor et al., 2004).

Um sistema que otimiza essa avaliação, por meio do processamento digital de imagens é o GroundEye®, equipamento que consegue analisar imagens de sementes e de plântulas, obtendo informações acerca de cor, textura e geometria de cada objeto disposto dentro do espectro da imagem e a partir disso fornece informações sobre vigor. (PINTO, 2014).

O equipamento GroundEye® tem sido utilizado com sucesso para avaliar comprimento das plântulas para a avaliação da qualidade fisiológica (BRANDANI, 2017; FERREIRA et al, 2020).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida no Laboratório de Análise de Sementes, do Departamento de Agricultura – Setor de Sementes, da Universidade Federal de Lavras, em Lavras, MG.

Foram utilizadas sementes de milho dos híbridos, aqui nomeados de híbridos 1, 2, 3 e 4 (H1, H2, H3 e H4). Para a determinação da qualidade fisiológica inicial, as sementes foram uniformizadas por tamanho, em peneira de furos circulares de 18 mm e 19 mm de diâmetro. Após, as sementes dos quatro híbridos foram submetidas aos testes discriminados a seguir, sendo o experimento dividido em três etapas:

3.1 Etapa 1: caracterização da qualidade inicial dos 4 híbridos.

O *teor de água* das sementes foi determinado pelo equipamento GAC 2100, utilizando-se duas repetições de 50 sementes. Estas foram colocadas no equipamento, onde o mesmo fez a leitura e disponibilizou o resultado em percentagem.

No teste de *germinação*, para cada híbrido, duas repetições de 50 sementes foram colocadas sobre duas folhas de papel *germitest* e cobertas com uma folha, formando rolos que foram umedecidos com água destilada, na proporção de 2,5 vezes o peso do papel. Os rolos foram colocados no interior de sacos plásticos, para manter a umidade. Os germinadores do tipo BOD foram regulados à temperatura de 25°C. A avaliação das plântulas foi realizada aos quatro (*primeira contagem de germinação*) e aos sete dias após a instalação do teste, sendo os resultados obtidos, expressos em percentagem de plântulas normais, anormais e sementes mortas (BRASIL, 2009).

O teste de *envelhecimento acelerado* foi realizado em caixas plásticas adaptadas, tipo gerbox, com as sementes dispostas em camada única, sobre uma tela de aço inox. As caixas, contendo 40 mL de água sob a tela, foram colocadas em BOD por 96 horas, com temperatura de 42°C. O teste de germinação foi conduzido conforme já descrito, utilizando-se 4 repetições de 50 sementes para cada tratamento, sendo feita avaliação aos quatro dias (MARCOS-FILHO, 1999).

Para o teste de *frio*, foram utilizadas quatro repetições com 50 sementes. Este teste foi realizado em bandejas, contendo substrato areia e terra na proporção 2:1, sendo 2 de areia para 1 de terra de barranco. Os dois substratos foram misturados e peneirados em peneira (2mm). Após, a umidade do solo foi ajustada para 70% da capacidade de saturação, com a quantidade de água calculada, adicionada no substrato e uniformemente distribuída em toda a bandeja.

Estas foram tampadas e levadas a câmara fria (10°C) por sete dias. Após o término desse período, as bandejas foram destampadas e levadas a câmara de (25°C) por mais sete dias. A avaliação do teste foi realizada contabilizando a porcentagem de plântulas normais emergidas.

3.2 Etapa 2: simulação de danos nas sementes através do teste do pêndulo.

Após a caracterização da qualidade inicial de cada híbrido, as sementes usadas para o ensaio 2, também foram uniformizadas por tamanho, em peneira de furos circulares de 18 mm de diâmetro, e submetidas à análise visual para a retirada de todas as sementes danificadas. Deste modo, pôde-se avaliar o efeito isolado do dano mecânico provocado no teste de impacto.

Para avaliar os efeitos dos danos simulados em sementes de milho, foi utilizado um danificador mecânico (Figura 1) desenvolvido na Universidade Federal de Lavras, a partir das metodologias do teste do pêndulo (CARBONELI, 1991).

Figura 1 - Danificador mecânico desenvolvido na Universidade Federal de Lavras, para avaliar o efeito dos danos simulados em sementes de milho, através da exposição das sementes a diferentes alturas.



Fonte: Do autor (2021).

O danificador mecânico foi automatizado, sendo necessário ligá-lo em uma fonte de energia, podendo ser 110v ou 220v. Vale ressaltar que o aparelho também funciona sem fonte de energia, ou seja manual. As sementes de todos os híbridos foram colocadas no centro do aparelho uma por vez, no qual, após escolhido dentre as alturas citadas neste trabalho acionava-se uma dentre duas chaves, “solta” (para o pendulo despençar sobre as sementes) e “prende” (para segurar o pendulo, deixando pronto para a próxima semente)

O princípio do teste de pêndulo se baseia na transferência de energia do sistema de pesos à semente, neste caso, a energia potencial, é transferida após o impacto, na forma de energia cinética. As sementes de cada híbrido foram expostas para receberem o impacto através de uma massa, aqui denominado “peso” de 105g em diferentes alturas: baixa (AB) = 7 cm, média (AM) = 13cm e alta (AA) = 17 cm, o que correspondeu a uma energia cinética de 0,72035 joule (AB), 0,13377 joule (AM) e 0,17493 joule (AA). Os valores em joule foram calculados pela fórmula ($J = F \times A \times G$), onde F= força peso em quilogramas, A= altura em metros e G= gravidade.

As tensões mecânicas nas quais estão submetidas as sementes, são diretamente relacionadas à força de impacto, que por sua vez está vinculada à energia dissipada. Nesse caso, as sementes receberam 3 impactos provenientes das três diferentes alturas. A quantidade de sementes utilizadas nesta etapa, respeitou a quantidade utilizada para cada híbrido, as respectivas alturas de impacto, e as diferentes metodologias de avaliação desses impactos.

3.3 Etapa 3: avaliação das sementes por meio do teste de Raios X, teste *fast green* e corante *Amaranth*.

Após sofrerem os impactos provenientes das três diferentes alturas, as sementes de cada híbrido foram individualmente identificadas, submetidas a três testes para verificação da extensão dos danos e depois contabilizadas.

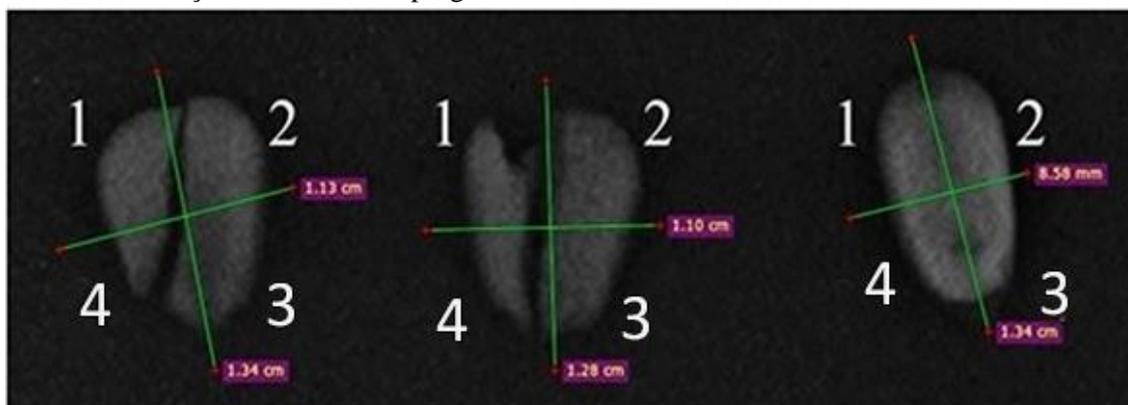
A análise de Raios X consistiu no acondicionamento das sementes que passaram pelo danificador mecânico, posteriormente as sementes de cada híbrido foram dispostas em placas de acrílico, sobre fitas adesivas transparentes de dupla face, sendo identificadas quanto à posição na folha para possibilitar a posterior identificação individual nas análises subsequentes. Após, foram expostas à radiação automática, por dez segundos sob tensão de 27 kV e comprimento focal de 27,8 da fonte de radiação em equipamento Faxitron® HP MX-20 digital, acoplado a um computador. As imagens radiográficas digitais geradas foram salvas no formato TIFF (Tagged Image File Format) e posteriormente analisadas. Foram radiografadas 300 sementes para cada híbrido (duas repetições de 50 sementes por altura).

O teste *Fast Green – Verde Malaquita* – foi realizado com as sementes sendo imersas na solução a 0,1% por dois minutos. Após este período de embebição, as sementes foram lavadas em água corrente para retirar o excesso de corante e avaliadas imediatamente (OLIVEIRA et al., 1998). Foram utilizadas 300 sementes para cada híbrido (duas repetições de 50 sementes por altura).

O teste com o corante *Amaranth* foi realizado com as sementes sendo imersas na solução a 0,5% por cinco minutos. Após este período de embebição, as sementes foram lavadas em água corrente para retirar o excesso de corante e também avaliadas imediatamente (MELO et al., 2012). Assim como o teste anterior, foram radiografadas 300 sementes para cada híbrido (duas repetições de 50 sementes por altura).

Para a melhor identificação e visualização da extensão dos danos, as sementes provenientes dos três testes anteriores, foram divididas em quadrante, conforme representado na Figura 2. A contagem dos quadrantes se iniciou pelo primeiro quadrante superior esquerdo e continuou em sentido horário transversal ao eixo embrionário. Essa divisão seguiu o critério da igualdade entre as partes da semente de milho, com o objetivo de facilitar a contagem dos danos, assim como sua localização.

Figura 2 - Divisão dos quadrantes das sementes para avaliação dos danos mecânicos. Para esta avaliação foi utilizado o programa RadiAnt DICOM Viewer.



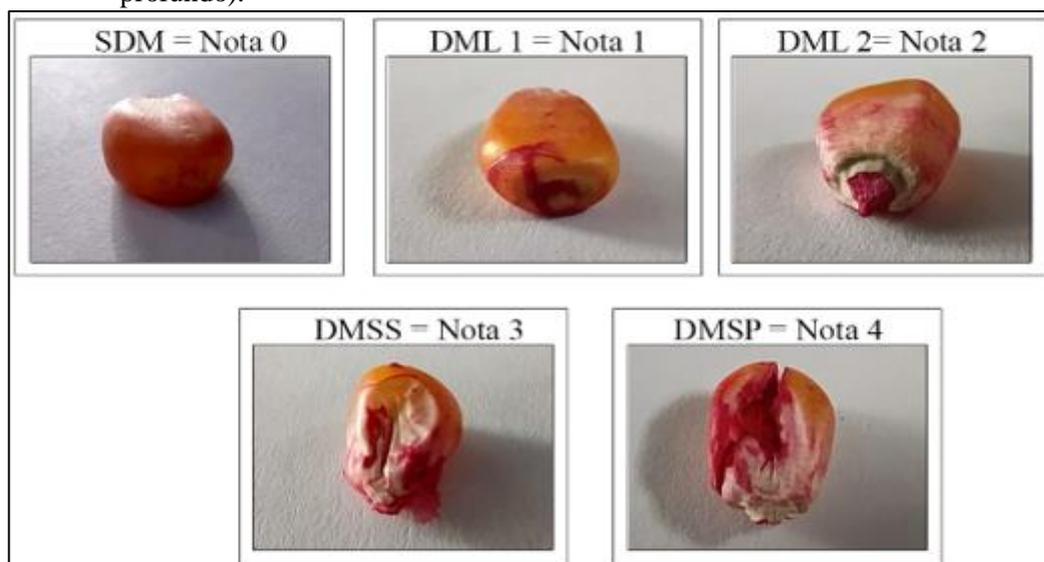
Fonte: Do autor (2021).

Nas avaliações da severidade dos danos, estas seguiram critérios citados na literatura (Carvalho et al.,1994; Menezes et al, 2002; Borba et al., 1996; Oliveira et al., 1998). A classificação foi feita com cada quadrante recebendo uma nota variável de zero a quatro, onde; a nota 0 = SDM (sem danos mecânico), nota 1 = DML1 (dano mecânico leve 1), este dano ocorre no ápice da semente, nota 2 = DML2 (dano mecânico leve 2), o dano é localizado na inserção da semente no sabugo e atinge metade da semente, nota 3= DMSS (dano mecânico

severo superficial), é um dano que provoca trincas, mas não aprofunda na semente e nota 4 = DMSP (dano mecânico severo profundo), aqui ocorre um dano mais acentuado do que o dano DMSS, onde há rachadura e quebra da semente. A classificação de SDM, DML1, DML2, DMSS e DMSP foi baseada na de (MENDONÇA, 2017). Exemplo dessa classificação pode ser observada na Figura 3, após as sementes de milho serem submetidas ao corante *Amaranth*.

Ao final da etapa de dar notas a cada quadrante, foi feito um somatório de todos os danos de cada quadrante, obtendo assim um dano total. Zero é o valor mínimo e significa que a semente não possuiu danos mecânicos aparentes, já 16 é o valor máximo que pode ser alcançado, e representa que a semente sofreu o máximo de danos mecânicos possíveis em todas as suas partes.

Figura 3 - Identificação das classes de danos mecânicos em sementes de milho após teste de *Amaranth*. Nota 0 = SDM (sem danos mecânicos), nota 1 = DML1 (dano mecânico leve 1), nota 2 = DML2 (dano mecânico leve 2), nota 3 = DMSS (dano mecânico severo superficial), nota 4 = DMSP (dano mecânico severo profundo).



Fonte: Do autor (2021).

Para verificação se os danos afetariam a germinação das sementes, após o somatório dos danos em seus quadrantes, as sementes foram colocadas para germinar, seguindo a mesma metodologia descrita na caracterização inicial.

Para o teste de *germinação*, as sementes foram distribuídas sobre substrato rolo de papel umedecido com uma quantidade de água destilada, equivalente a 2,5 vezes o peso seco do substrato e colocado em germinador à temperatura de $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. A *Primeira Contagem de Germinação* (PC), foi realizada juntamente ao teste de germinação, avaliando-se o número de

plântulas normais aos quatro dias após a semeadura e a contagem final aos sete dias após a semeadura (CF). Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais.

As plântulas obtidas, foram caracterizadas por *análise de imagens* usando o sistema GroundEye®. Para isso, as plântulas previamente divididas de acordo com os danos e os híbridos foram colocadas na bandeja do dispositivo de leitura do Sistema GroundEye® v. S120 para captura de imagem. A calibração da cor de fundo utilizada foi o modelo de cor CIELab com luminosidade de 0 a 100, dimensão “a” -120 a 12-, e dimensão “b” de -120 a 30. O tipo de parâmetro de reconhecimento foram plântulas com 4 dias, fundo de preenchimento não selecionado e o tamanho mínimo de descarte de objeto de 0,3 cm².

As imagens capturadas das plântulas foram avaliadas quanto ao comprimento médio do hipocótilo e raiz, comprimento médio da raiz primária e comprimento total, fornecido pelo sistema.

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com duas repetições de 50 sementes por tratamento. Para a análise dos dados da etapa 1, germinação, primeira contagem, envelhecimento acelerado, teste de frio, estes foram transformados em $\arcsin \sqrt{x/100}$ e submetidos à análise de variância. O ensaio 2 que consistiu do teste de pêndulo e demais avaliações o delineamento utilizado foi um fatorial triplo em duplo 4x3x3 (4 híbridos, 3 alturas e 3 testes). Os dados foram submetidos à análise de variância e, independentemente da significância pelo teste de F (1% a 5% de probabilidade), optou-se sempre pelo desdobramento da interação, mesmo quando estas se mostraram não significativas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados referentes ao teor de água inicial das sementes apresentaram similaridade entre os quatro híbridos estudados (Tabela 1), com variação máxima de 0,8% entre eles. Esse fato é importante para a execução dos demais testes, pois uma pequena variação no teor de água entre as amostras, permite uma maior confiabilidade dos resultados obtidos nos testes de qualidade fisiológica, ou seja, essa pequena variação, indica que não houve interferência do teor de água das sementes, nos resultados obtidos nos testes de vigor, sendo a diferença dos danos mecânicos, devida à susceptibilidade dos próprios híbridos à quebra.

O teor de água nas sementes é um dos fatores que possibilita a semente ser mais ou menos susceptível aos danos mecânicos ocorridos durante o processo produtivo. Sementes com baixo teor de água (8%), apresentam mais susceptibilidade aos danos imediatos quando em comparação aos lotes com maior teor (13%) (FRANÇA NETO & HENNING, 1984).

Tabela 1 - Resultados da caracterização inicial da qualidade de sementes de quatro híbridos de milho pelos testes de teor de água (TA%), primeira contagem aos quatro dias (PC%), germinação aos sete dias (G%), porcentagem de plântulas normais contabilizadas aos sete dias (PA%), porcentagem de sementes mortas contabilizadas aos sete dias (SM%), teste de frio (TF%) e porcentagem de plântulas normais após envelhecimento acelerado aos quatro dias (EA%).

| Híbridos | Caracterização da qualidade de sementes de milho | | | | | | |
|----------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | TA (%) | PC (%) | G (%) | PA (%) | SM (%) | TF (%) | EA (%) |
| H1 | 11,8 a | 90,0 a | 94,0 a | 2,0 a | 2,0 a | 55,5 c | 79,0 b |
| H2 | 12,3 a | 91,0 a | 96,0 a | 2,0 a | 1,0 a | 64,5 b | 84,0 a |
| H3 | 11,8 a | 92,0 a | 98,0 a | 0,0 a | 1,0 a | 64,5 b | 88,5 a |
| H4 | 11,5 a | 95,0 a | 94,0 a | 4,0 a | 2,0 a | 85,5 a | 94,5 a |
| CV (%) | 2,45 | 4,13 | 2,91 | 91,51 | 80,00 | 5,59 | 8,17 |

Médias seguidas pela mesma letra minúsculas, na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5%.

Fonte: Do autor (2021).

Pelos dados da Tabela 1, constatou-se que no teste de primeira contagem de germinação e germinação, os lotes não apresentaram diferenças significativas entre si, sendo importante ressaltar, que todos eles apresentaram germinação acima do padrão mínimo recomendado para comercialização de sementes de milho, que de acordo com a IN45 de 2013, é de 80% (MAPA, 2013). Os resultados obtidos nesses testes, corroboram com Marcos Filho (1999), que afirma que um dos objetivos fundamentais dos testes de vigor é detectar diferenças significativas na qualidade fisiológica de lotes de sementes com germinação semelhante, de forma a

complementar as informações fornecidas pelo teste de germinação. Confirmação observada nos testes de frio e de envelhecimento acelerado, que mostraram sensibilidade na identificação dos lotes com maior e menor nível de vigor, com o teste de frio ainda, possibilitando a identificação de um nível intermediário de qualidade.

Nos testes de vigor, a diferença em porcentagem, observada entre o híbrido de maior e menor qualidade, foi de 30% para o teste frio e de 15% para o teste de envelhecimento acelerado, sendo o híbrido 1, considerado o menos vigoroso em ambos os testes (Tabela 1). Importante ressaltar, que esses resultados de vigor, não fornecem informações do número exato de sementes que vão germinar no campo do agricultor. Quando se observa por exemplo, o valor de 94,5% para o híbrido 4 no teste de envelhecimento acelerado, significa dizer que esse híbrido, que apresenta a mesma base genética dos demais, tem maior probabilidade de sobreviver em campo do que o híbrido 1 que apresentou 79%, sendo esses resultados importantes para as tomadas de decisões e balizamento das atividades seguintes no processo de produção de sementes.

Apesar do comportamento distinto desses híbridos na caracterização inicial quando comparados os resultados de germinação com os testes de vigor (Tabela 1), não se sabe muito sobre a procedência desses materiais, o que poderia melhor explicar a não diferenciação entre eles quando se analisa a resistência aos danos simulados em sementes de milho, conforme análise de variância descrita na Tabela 2.

Tabela 2 - Resumo da análise de variância para os parâmetros de danos mecânicos simulados em sementes dos híbridos de milho (H1, H2, H3 e H4), submetidos a três diferentes alturas ((AB) = 7 cm, média (AM) = 13cm e alta (AA) = 17 cm) e avaliados por três diferentes testes (teste Fast Green, corante *Amaranth* e teste de Raios X).

| FV | GL | QM |
|-----------------------------|-----------|-----------|
| Híbridos | 3 | 19.01NS |
| Alturas | 2 | 6122.10* |
| Testes | 2 | 72.55* |
| Híbridos x Alturas | 6 | 12.08NS |
| Híbridos x Testes | 6 | 43.02* |
| Alturas x Testes | 4 | 168.55* |
| Híbridos x Alturas x Testes | 12 | 76.96* |
| Resíduo | 1764 | 8.87 |
| Total | 1799 | |
| CV (%) | 35.25 | |

^{NS} não significativo, * Significativo a 5%.

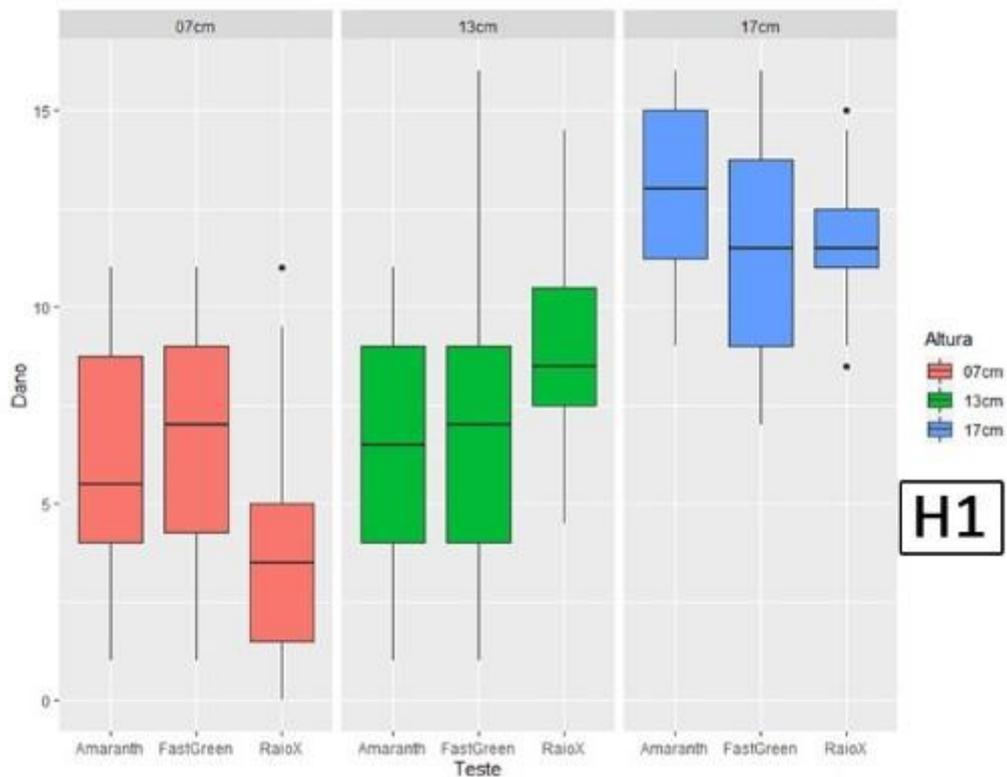
Fonte: Do autor (2021).

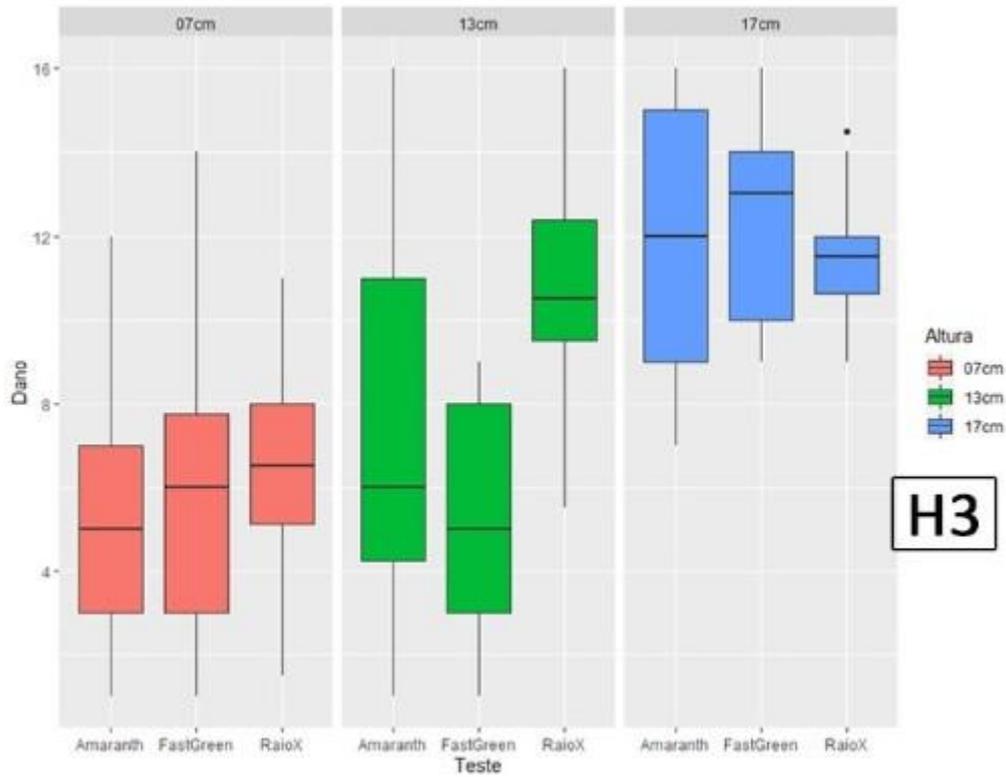
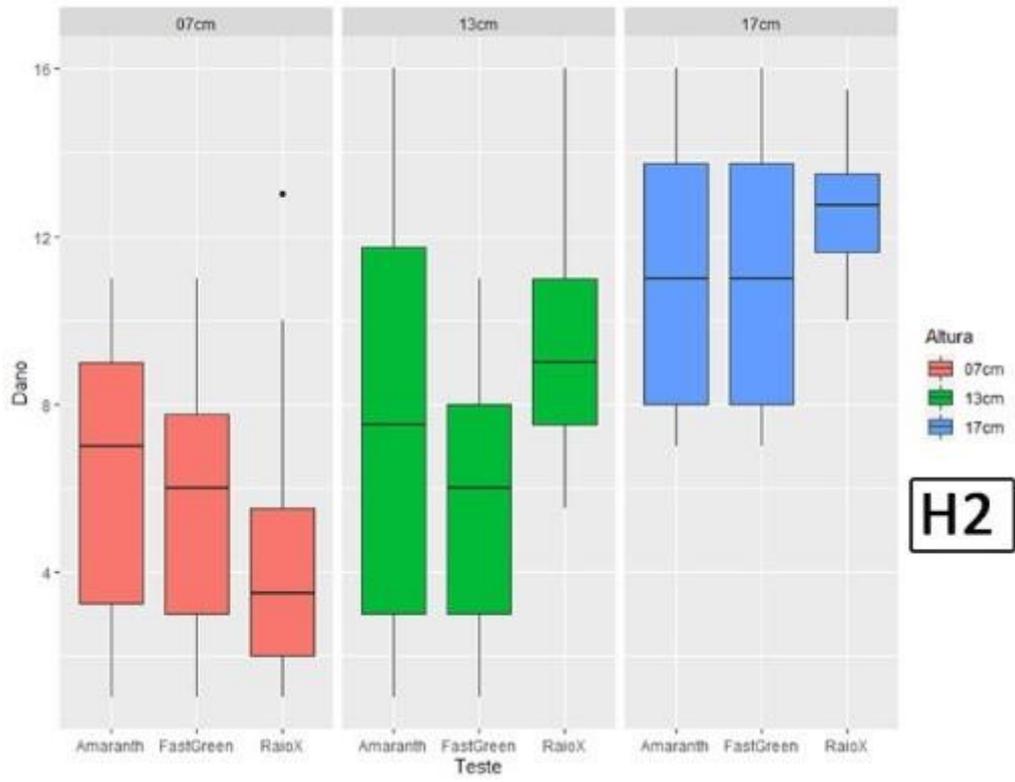
Diversos autores, trabalhando com a mesma metodologia do presente trabalho, conseguiram distinguir híbridos de milho em diferentes níveis de susceptibilidade de acordo com os danos mecânicos observados em partes das sementes (CARVALHO et al., 2011 e SILVA et al., 2016). Esse fato, não foi observado no presente trabalho, onde os híbridos não diferiram significativamente entre si (Tabela 2).

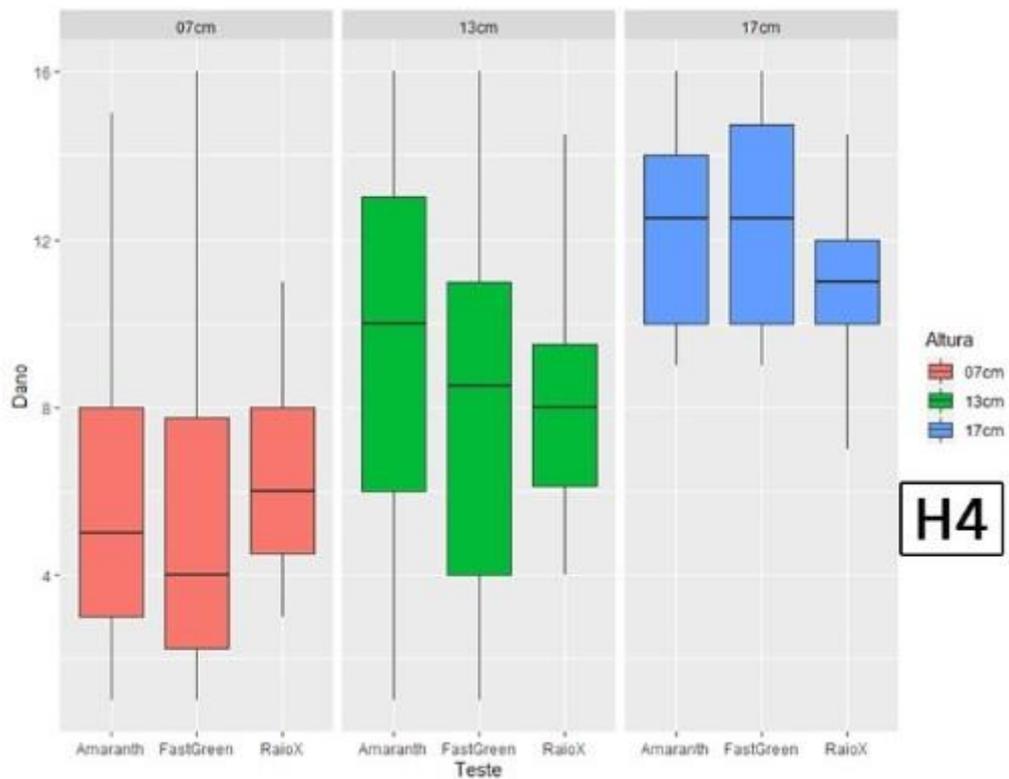
No resumo da análise para os parâmetros de danos mecânicos simulados em sementes dos híbridos de milho, foi observada interação tripla entre híbridos, alturas e testes, indicando que esses três fatores estão interagindo ou são dependentes, com um dos fatores influenciando na ação dos outros dois.

Os resultados dos grãos danificados de cada híbrido, após serem submetidos a impactos em diferentes alturas, se encontram na Figura 4. Para os resultados foi considerado o dano total, resultante do somatório dos danos de cada quadrante e das notas 1, 2, 3 e 4 atribuídas às sementes e observadas pelo teste de *Raios X*, teste *fast green* e corante *Amaranth*.

Figuras 4,5,6,7 - Boxplots para avaliação exploratória e inferencial dos danos simulados em sementes de quatro híbridos de milho (H1, H2, H3 e H4), após sofrerem impactos provenientes de três diferentes alturas (0,7cm, 13,0cm e 17,0cm) e serem avaliadas por três diferentes testes (teste de *Raios X*, teste *fast green* e corante *Amaranth*).







Fonte: Do autor (2021).

Na análise exploratória e inferencial dos dados, usou-se como recurso, o gráfico boxplot com o objetivo de observar a variabilidade dentro e entre os híbridos após a avaliação nos três diferentes testes, além de enxergar a presença ou ausência de indivíduos com características extremas. Aos dados, foi observada uma interação tripla entre híbridos, alturas e testes, indicando que esses três fatores estão interagindo ou são dependentes, com um dos fatores influenciando na ação dos outros dois, conforme observa-se na Figura 4.

A priori, observa-se uma distribuição simétrica dos dados em relação à mediana, característico de menor variabilidade dos dados obtidos, para os híbridos 1 e 2, nos testes *Amaranth* e *fast green* na altura de 17cm e para o teste *Amaranth* na altura de 13cm. Para os demais híbridos, independente da altura e do teste utilizado, foi observada maior variabilidade, ou seja, uma distribuição assimétrica dos dados em relação a mediana.

Na avaliação das diferentes alturas para cada híbrido estudado, observa-se que conforme se aumenta a altura da queda dos pesos, maior a energia aplicada nas sementes e conseqüentemente maiores os danos observados, assim como mais fácil também, a discriminação destes danos através dos diferentes testes utilizados. Essa afirmação está de acordo com o que foi constatado visualmente, uma vez que as sementes que sofreram danos das maiores quedas, apresentaram quebras e rachaduras profundas em quase todos os quadrantes

(somatório aproximado de 16), o que facilitou também a observação dos danos nos três testes estudados (Figura).

Danos mecânicos profundos nas sementes, contribuem com a perda dos conteúdos celulares adquiridos durante o desenvolvimento da semente, no momento da embebição. Além disso, esses danos causados por impactos, cortes, abrasões ou pressões, por destruírem estruturas essenciais das sementes, além de danos diretos à germinação e vigor e impactos na obtenção das plântulas em campo, diminuem a tolerância a insetos e micro-organismos e reduzem o potencial de armazenamento (MARCOS FILHO, 2005).

A taxa, a intensidade e severidade dos danos mecânicos podem ser agravadas dependendo de alguns fatores, como por exemplo, teor de água, composição química das sementes, local de impacto, forma, tamanho, tipo de endosperma etc. Destes, o local do impacto é de extrema importância, pois se o choque acontecer na região do endosperma e não for próximo ao embrião, pode ser que não interfira significativamente na qualidade fisiológica da semente, mas quanto mais próximo do embrião, maiores são as chances dessa semente ser inviabilizada. Pela distribuição dos dados observados para os 4 híbridos, sementes atingidas pelos pesos na altura de 17cm, em sua maioria, tiveram danos no quadrante onde se encontra o embrião (Figuras 4).

Outras considerações podem ser feitas observando ainda a distribuição dos dados nos gráficos boxplots. Uma delas, diz respeito às diferenças existentes dentro de cada híbrido, quanto aos testes utilizados para identificação dos danos. Essa distinção, confirmada pela análise de variância na Tabela 3 é mais expressiva nos híbridos 2, 3 e 4, onde observou-se pelo teste de Tukey ao nível de 5%, diferenças significativas entre todos os testes estudados, sendo o *Raios X* para os híbridos, 3 e 4, aquele que distinguiu os danos com mais eficiência, seguido pelo teste *fast green* e corante *Amaranth*. No híbrido 1, considerado como de menor qualidade fisiológica (Tabela1), não foi observada distinção entre os testes.

Tabela 3 - Análise das sementes de quatro híbridos de milho (H1, H2, H3 e H4), após submissão a danos mecânicos simulados e avaliação por três diferentes testes (teste de *Raios X*, teste *fast green* e corante *Amaranth*).

| Testes | Híbridos | | | |
|------------|----------|----------|---------|----------|
| | H1 | H2 | H3 | H4 |
| Amaranth | 8,44 Aa | 7,09 Ab | 7,02 Ac | 7,04 Ac |
| Fast Green | 8,20 Aa | 8,52 Aab | 8,19 Ab | 8,63 Ab |
| Raio X | 8,18 Ba | 8,75 ABa | 9,57 Aa | 9,43 ABa |

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Fonte: Do autor (2021).

Diversos autores já descreveram as vantagens na utilização de testes de corantes na rápida identificação de danos mecânicos nas sementes de milho. Fessel et al. (2003) utilizaram os mesmos corantes do presente trabalho, e comprovaram suas eficiências na identificação de danos durante a etapa de beneficiamento em sementes de milho. Já Oliveira et al. (1998), mostraram que os corantes também foram eficientes, porém na identificação de danos observados em colheita mecanizada de milho. Resultados não diferentes quanto a eficiência desses corantes, também foram observados para outras culturas, como soja (OLIVEIRA et al., 1999), arroz (VIEIRA et al., 1995) e amendoim (SADER et al., 1991). No entanto, são poucos e antigos os trabalhos que utilizam corantes para avaliação visual de sementes após danos mecânicos simulados, além de escassos aqueles que comparam as melhores metodologias entre si.

No presente trabalho, o teste de *fast green* dificultou a observação dos danos mecânicos, pela dificuldade de distinção do que era a parte atingida com o restante da semente colorida. Após dois minutos submersas na solução, a coloração adquirida em tonalidade verde escuro, superestimou as análises, pois tanto tegumento quanto os danos estavam corados. Pela dificuldade dessa interpretação, em análises posteriores sugere-se a redução do tempo.

Outra observação válida e que também contribuiu para a dificuldade das análises visuais das sementes, quando no teste *fast green*, foi a formação de uma película criada acima do tegumento à medida que o corante secava. Isso demonstra a necessidade da avaliação imediata das sementes, assim que elas se colorem com a solução.

Já as sementes de milho coloridas com *Amaranth* apresentaram uma maior facilidade na identificação dos danos mecânicos, principalmente em ocasião do melhor contraste entre a cor adquirida e a semente, além do tempo de imersão de cinco minutos, que para essa solução, foi considerado adequado, uma vez que não encobriu os danos, como o corante *fast green*.

Quando se compara o custo-benefício na utilização dos dois corantes, vale salientar, que para o presente trabalho, a aquisição do produto verde malaquita, utilizado na elaboração do teste *fast green* foi dificultada pelo preço, uma vez, que o produto custou 60% a mais que o corante vermelho bordeaux- amaranto, utilizado na elaboração do teste *Amaranth*.

Em relação ao teste de *Raios X*, como esperado, foi eficiente para a avaliação dos danos, principalmente quando da observação de danos internos, imperceptíveis a olho nu, mas suficientes para ocasionarem danos à futura plântula. Sendo uma vantagem de seu uso, a possibilidade de realização de novos testes devido as baixas doses de irradiação, as sementes

do presente trabalho, após a análise das radiografias obtidas no teste de *Raios X*, foram colocadas para germinarem e as plântulas obtidas, analisadas pelo equipamento GroundEye®.

Para a avaliação da extensão dos danos observados, realizou-se o teste fisiológico de germinação e primeira contagem, com a observação de anormalidade de plântulas e sementes mortas na contagem final (Tabela 4).

Tabela 4 - Médias obtidas no teste de primeira contagem aos quatro dias (PC%), germinação aos sete dias (G%), porcentagem de plântulas anormais contabilizadas aos sete dias (PA%), porcentagem de sementes mortas contabilizadas aos sete dias (SM%) de quatro híbridos de milho (H1, H2, H3 e H4) após análises radiográficas.

| Híbridos | Avaliações | | | |
|----------|------------|----------|----------|--------|
| | PC(%) | G(%) | PA(%) | SM(%)* |
| H1 | 75,33 b | 76,67 b | 20,83 a | - |
| H2 | 78,50 ab | 78,83 ab | 18,83 ab | - |
| H3 | 80,00 ab | 79,83 ab | 17,17 ab | - |
| H4 | 85,00 a | 84,17 a | 14,17 b | - |
| CV(%) | 5.22 | 4.42 | 20.36 | |

Letras em minúscula na coluna diferem os híbridos dentro de cada avaliação pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. (coluna). * O resultados da análise de sementes mortas SM(%), se mostrou não significativo.

Fonte: Do autor (2021).

Os resultados acima demonstram uma redução da germinação se comparada aos resultados da Tabela 1. De uma maneira geral, a redução da qualidade fisiológica pode estar relacionada com a má formação da plântula, isto quando o dano ocorre próximo ou no eixo embrionário (GOMES-JÚNIOR; CÍCERO, 2012).

O híbrido H1 se destaca negativamente entre os demais híbridos, pois o mesmo apresentou menores resultados na caracterização inicial (Tabela 1), juntamente com a redução de plântulas normais na presente tabela. Vale salientar que essa redução da qualidade já era de certa forma esperada, já que, todas as sementes sofreram danos mecânicos. Destes, o híbrido 4, apresentou os melhores resultados de qualidade fisiológica e vigor do que os demais híbridos.

Em relação ao desenvolvimento de plântulas, as plântulas analisadas pelo software GroundEye® no presente trabalho passaram por correção manual (hipocótilo e raiz), visto que a detecção automática não foi eficiente. Na Tabela 5 encontram-se as médias dos resultados das avaliações do comprimento médio do hipocótilo.

Tabela 5 - Média dos resultados das avaliações do comprimento médio do hipocótilo (cm), comprimento médio da raiz (cm), razão entre o comprimento médio do hipocótilo e o comprimento médio da raiz (cm) e comprimento total de plântulas (cm), fornecidos pelo sistema GroundEye®, de quatro híbridos de milho (H1, H2, H3 e H4), após serem submetidos a danos simulados por pesos em três diferentes alturas (7cm, 13cm e 17cm).

| AVALIAÇÕES GROUNDEYE® | | | |
|---|----------------------------------|--------------|--------------|
| Híbridos | Comprimento do hipocótilo | | |
| | 7 cm | 13 cm | 17 cm |
| H1 | 3.51 Ab | 3.92 Aa | 3.36 Aa |
| H2 | 5.07 Aa | 3.72 Bab | 3.02 Ba |
| H3 | 2.72 Abc | 2.97 Aab | 2.60 Aa |
| H4 | 2.36 Bc | 3.23 Ab | 3.17 ABa |
| Comprimento da raiz primária | | | |
| H1 | 8.38 Aa | 5.52 Ba | 5.14 Ba |
| H2 | 4.19 Ab | 2.82 Ab | 1.84 Ab |
| H3 | 4.20 Bb | 7.14 Aa | 6.45 ABa |
| H4 | 5.31 Ab | 4.64 Aab | 6.99 Aa |
| Comprimento da raiz primária/ hipocótilo | | | |
| H1 | 1.55 Ba | 2.11 Aab | 1.63 ABb |
| H2 | 1.72 Aa | 1.55 Ab | 1.81 Ab |
| H3 | 1.32 Ba | 2.61 Aa | 1.45 Bb |
| H4 | 1.66 Ba | 1.91 Bb | 2.95 Aa |
| Comprimento total | | | |
| H1 | 5.20 Ab | 5.33 Ab | 6.06 Aa |
| H2 | 8.28 Aa | 7.43 Ab | 8.27 Aa |
| H3 | 7.25 Bab | 10.57 Aa | 6.08 Ba |
| H4 | 6.40 Aab | 5.43 Ab | 2.36 Bb |

Letras em maiúscula na linha diferem dentro de cada característica pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras em minúscula na coluna diferem dentro de cada característica pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2021).

Os híbridos H1 e H3 não diferiram entre si quando avaliados pela característica comprimento do hipocótilo em relação as alturas baixa, média e alta. Mas os híbridos H4 e H2 apresentaram diferenças entre os tratamentos. O híbrido H4 não diferiu nas alturas de 13 e 17 cm, apenas nos 7 cm, mostrou diferenças significativas, ou seja, com o aumento da altura houve

maiores danos, refletindo no vigor da plântula. Já o híbrido H2 obteve resultados opostos ao híbrido H4, sendo que nas alturas média e alta não houve diferenças significativas, a surpresa fica por conta do aumento dos valores aos 7 cm mostrando que houve diferenças entre os tratamentos.

O resultado apresentado na Tabela 5, deixa discriminado que o híbrido H1 apresenta valores superiores com 7 cm, tanto quando comparado as alturas, como entre os híbridos. O mesmo não ocorre com o híbrido H2 que demonstra os menores resultados na altura baixa em relação as outras alturas.

É possível afirmar que o comprimento médio da raiz das plântulas foi um parâmetro eficiente para a avaliação do vigor de milho. Ainda pelos resultados expressos na tabela é possível observar que o híbrido H1 na altura de 7 cm diferiu das demais na altura, isso pode significar uma correlação onde os danos mecânicos sofridos na menor altura influenciaram menos no tamanho da raiz primária. Este resultado pode indicar uma menor capacidade de vigor do híbrido aos demais.

Nos resultados do tamanho total das plântulas, o que se espera é que quanto maior altura, maiores os danos que a semente sofre e com isto a plântula gerada pode ser afetada gerando plântulas anormais. Dito isto o híbrido H4 poderia atender a esta ideia, pois apresentou menores resultados com 17 cm e com a redução da altura houve um aumento linear do tamanho total das plântulas. O híbrido H3 apresentou maiores valores na altura de 13 cm e nesta mesma altura diferiu estatisticamente das demais alturas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método estudado permite relacionar o dano mecânico com eventuais prejuízos ocasionados ao vigor das sementes de milho.

O teste de *Raios X* permite identificar danos mecânicos externos e internos em sementes de milho com maior precisão.

A metodologia de avaliação de dano mecânico utilizando o corante *Amaranth* é mais fácil e barata de ser aplicada, proporcionando melhor visualização dos danos.

BIBLIOGRAFIA

ANDRADE, R. V.; BORBA, C. S. Fatores que afetam a qualidade das sementes. Sete Lagoas, MG, 2019. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/57373/1/Circ-19-Fatores-afetam.pdf>>. Acesso em: 3 abr. 2021.

AZEVEDO, M. R., GOUVEIA, J. P., TROVÃO, D. M., & QUEIROGA, V. D. (2003). Influência das embalagens e condições de armazenamento no vigor de sementes de gergelim. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 7(3), 519-524.

BELLUZZO, L. G., FRISCHTAK, C. R., & LAPLANE, M. (2014). **Produção de Commodities e Desenvolvimento Econômico**. TESE, 126. Campinas, SP.

BRANDANI, Erich Barros. Análise de imagens na avaliação do vigor de sementes de soja. 2017. iii, 48 f., il. Dissertação (Mestrado em Agronomia) —Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

BRANDÃO-JUNIOR, D. S. da. Avaliação de danos mecânicos e seus efeitos na qualidade fisiológica de sementes de milho: danos mecânicos e qualidade fisiológica de sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, [s. l.], v. 21, ed. 2, p. 53-58, 1999.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA/DNDV/CLAV, 2009. 395p.

BORGES, J. W. M. **Trincamento interno, tratamento fungicida e qualidade de sementes de milho (Zea mays L.) no armazenamento**. 2001. Tese (Doutorado) - UFPel/FAEM, [S. l.], 2001.

BUCKERIDGE, M. S. (2004). Acúmulo de reservas. Em A. G. FERREIRA, & F. BORGHETTI, Germinação: do básico ao aplicado (1 ed., pp. 31-50). Porto Alegre: Artmed.

CARBONELL, S.A.M. **Metodologia para seleção de genótipos de soja com sementes de soja com semente resistente ao dano mecânico**. Londrina, 1991. 103p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Londrina

CARVALHO, D. C. de. et al. Avaliação da resistência mecânica de grãos de milho via teste de impacto: armazenamento e processamento de produtos agrícolas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s. l.], v. 15, ed. 7, 2011.

CARVALHO, L. R. de. et al. Utilização do teste de raios x na avaliação da qualidade de sementes de espécies florestais de lauraceae. **Revista Brasileira de Sementes**, [s. l.], v. 31, ed. 4, p. 57-66, 2009.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 524p.

CARVALHO, N. M., & NAKAGAWA, J. (2012). **Sementes – Ciência, Tecnologia e Produção** (Vol. 5º). Funep.

CICERO, S., & JUNIOR, H. (2003). Avaliação do relacionamento entre danos mecânicos e vigor, em sementes de milho, por meio da análise de imagens. **Revista Brasileira de Sementes**, 26-39.

CNA. Confederação Nacional da Agricultura. **Panorama do Agro**. Disponível em: <<https://www.cnabrazil.org.br/cna/panorama-do-agro>>. Acesso em: 10 jun. 2020.

COSTA, J. G., & CAMPOS, I. S. (12 de setembro de 1997). Recomendações básicas para a produção de sementes de milho no nível da pequena propriedade rural. Embrapa Acre - Séries anteriores (INFOTECA-E), p. 3.

DELOUCHE, J. C. (1967). Mechanical damage to seed. Mississippi, 1967. **Short Course for Seedsmen**.

DIAS, D.C.F.S. et al. Teste de condutividade elétrica para avaliação do vigor de sementes de cebola. **Revista Brasileira de Sementes**, v.28, n.1, p.154-162, 2006.

DORNBOS JR., D.L. Seed vigor. BARSA, A.S. Seed quality; basic mechanisms and agricultural implications. **New York: Food Products Press**, 1994. p.62-63.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Aspectos Físicos, Químicos e Tecnológicos do Grão de Milho**. Dezembro de 2006^a. Circular Técnica, pp. 1-6.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. H. P. Renato Serena Fontaneli, Ed. Brasília, DF. 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Óleo de milho: aspectos químicos e nutricionais**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo. 30 de 03 de 2006b. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/489408/1/Oleomilho.pdf>>. Acesso em: 11 Mai. 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Tecnologia brasileira e supersafra de milho**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/solos/sibcs/busca-de-noticias/-/noticia/45213254/artigo---tecnologia-brasileira-e-supersafra-de-milho>>. Acesso em: 11 Mai. 2021.

FERREIRA et al. Tecnologia de análise de imagens para a seleção de sementes crioulas de milho. **Gl. Sci Technol**, Rio Verde, v.13, n.02, p.28-38, mai/ago. 2020.

FERREIRA, V. D. 2012. **Qualidade de sementes de milho colhidas e despalhadas com altos teores de água**. Dissertação: Universidade Federal de Lavras. Lavras: UFLA.

FESSEL. S. A. et al. Avaliação da qualidade física, fisiológica e sanitária.

FLOR, E. P. O.; CICERO, S. M.; FRANÇA NETO, J. de B.; KRZYŻANOWSKI, F. C. Avaliação de danos mecânicos em sementes de soja por meio da análise de imagens. **Revista Brasileira de Sementes. Brasília**. v. 26, n. 1, p. 67-75, 2004.

FRANÇA NETO, J. de B.; HENNING, A.A. **Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de soja**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1984. 39p. (EMBRAPA-CNPSO. Circular Técnica, 9).

GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 12.ed. São Paulo: Nobel, 1990. 467p.

GONÇALVES, C.A.R. **Efeito de métodos de colheita e debulha de sementes sobre a germinação e produção de milho (Zea mays L.)**. Piracicaba: ESALQ, 1981. 122p. (Dissertação Mestrado).

GUTORMSON, T.J. Fast green test for corn. Science and Technology, Iowa, 1992. 12p. (Bulletin). RABE, D. F. Measurement of Seed Moisture. STANWOOD: [s. n.], 1989. v. 14.

HAMPTON, J.G.; TEKRONY, D.M. **Handbook of vigour test methods**. 3ed. Zurich : ISTA, 1995. 117p

INTERNATIONAL RULES FOR SEED TESTING. ISTA. **Seed science and technology**. 1999. 333 p. Supplement.

JUDICE, M. G.; MUNIZ, J. A.; AQUINO, L. H.; BEARZOTI, E. Avaliação da precisão experimental em ensaios com bovinos de corte. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras: UFLA, v. 26, n. 5, p. 1035-1040, set./out. 2002.

KRZYŻANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D. Deterioração controlada. In: KRZYŻANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. p.61 -68.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. (10 de Setembro de 2019). **Brasil fecha safra 2018/2019 com recorde de 242,1 milhões de toneladas de grãos**. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/brasil-fecha-safra-2018-2019-com-recorde-de-242-1-milhoes-de-toneladas-de-graos>>. Acesso em: 10 Mai. 2021.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Instrução Normativa Nº 45, DE 17 de Setembro de 2013**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/sementes-e-mudas/publicacoes-sementes-e-mudas/copy_of_INN45de17desetembrode2013.pdf>. Acesso em 04 de Abr 2021

MARCOS FILHO, J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. [S.l: s.n.], 2015.

MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYŻANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, cap. 3, p.3-24, 1999.

MARCOS FILHO, J. Teste de vigor: importância e utilização. In: KRZYŻANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina : ABRATES, 1999. 218p. Cap.1, p.1-21.

MARCOS-FILHO, J.; CÍCERO, J.M. & SILVA, W.R. **Avaliação da qualidade das sementes**. Piracicaba: ESALQ, 1987. 230p.

MELO, L. F. de. et al. Testes Rápidos para Identificação de Danos Mecânicos em Sementes de Milho Doce. **XXIX Congresso nacional de milho e sorgo**, Águas de Lindóia, p. 3467-3474, 2012.

MENDONÇA, M. T. de. **Impacto da danificação mecânica na qualidade fisiológica de sementes de milho durante beneficiamento**. 2017. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, [S. l.], 2017.

MENEGUETTI, G. A., REGINATTO, J. L., & GIRARDI, J. C. (2002). Milho crioulo: tecnologia viável e sustentável. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, 3(1), 12-17.

MONDO, V. H. V.; CÍCERO, S. M. Análise de imagens na avaliação da qualidade de sementes de milho localizadas em diferentes posições na espiga. **Revista Brasileira de Sementes**, v.27, n.1, p.9-18, 2005.

MUNDSTOCK, C. M.; BREDEMEIER, C. **Qualidade de grãos de milho**. Porto Alegre: UFRGS, 2006. 112p.

OLIVEIRA, J. A. et al. Utilização de corantes na verificação de incidência de danos mecânicos em sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 20, no 2, p.125-128 - 1998

OLIVEIRA, J.A.; CARVALHO, M.L.M.; VIEIRA, M.G.G.C.; SILVA, E.A.A. Utilização de corantes na verificação de incidência de danos mecânicos em sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, v.20, n.2, p.125-128, 1998

OLIVEIRA, M. E. C.; ALMEIDA, F. DE A. C; OLIVEIRA, F. M. M.; BARROS NETO, J. J. S.; GOUVEIA, J. P. G. de. Danificações em sementes de milho decorrente da debulha e teor de umidade na colheita. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, v.5, n.2, 2005.

PACHECO, C. A. P. et al. Efeito do dano mecânico na qualidade fisiológica e na capacidade de expansão de sementes de milho pipoca. **Revista Brasileira de Sementes**, [s. l.], v. 18, ed. 2, p. 267-270, 1996.

PAES, M. C. (2006). Circular Técnica, 75. Aspectos Físicos, Químicos e Tecnológicos do Grão de Milho, 1, 6. Sete Lagoas, MG: EMBRAPA, MAPA.

PINTO, C. A. G. Image analysis in the evaluation of the physiological potential of maize seeds. **Revista de Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 46, n. 2, p 319-328, abr-jun, 2015.

PINTO, C.A.G. **Análise de imagens na avaliação do potencial fisiológico em sementes de milho**. Lavras: UFLA, 2014. 52p. (Mestrado - UFLA).

PINTO, N. F. J. A. Tratamento de sementes, uso de fungicidas e qualidade sanitária de grãos. **9º Seminário Nacional de Milho Safrinha. Rumo á estabilidade: anais**, [s. l.], 2007.

POPINIGIS, F. (1985). Fisiologia da semente. Brasília, DF: AGIPLAN.

RIBEIRO, B.G. **Danos mecânicos e tratamento químico na qualidade de sementes de milho armazenadas.** (Dissertação de mestrado). Lavras: UFLA, 2016.

RUFFATO, S., COUTO, S. M., & QUEIROZ, D. M. (2001). Módulo de elasticidade de grãos de milho submetidos a impactos mecânicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 5, 101-106.

SADER, R.; CHALITA, C.; TEIXEIRA, L.G. Influência do tamanho e do beneficiamento na injúria mecânica de sementes de amendoim. **Revista Brasileira de Sementes**, v.13, p.45 51, 1991.

SIMAK, M. Testing of forest tree and shrub seeds by X-radiography. In: GORDON, A.G.; GOSLING, P.; WANG, B.S.P. (Ed.). **Tree and shrub seed handbook.** Zurich: ISTA, 1991. p.1-28.

SILVA, R. M. da. et al. Resistência mecânica de sementes híbridos de milho via teste de impacto. Volume 9 - n° 3, p. 347 a 354. **Revista Cultivando O Saber**

SILVIO MOURE CICERO, H. L. (2003). Avaliação do relacionamento entre danos mecânicos e vigor, em sementes de milho, por meio da análise de imagens. **Revista Brasileira de Sementes**, 29-36.

TEIXEIRA, M. M. et al. Avaliação dos danos mecânicos em sementes de milho, durante a movimentação utilizando transportador helicoidal **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, vol. 11, núm. 2, 2002, pp. 19-24

VASCONCELOS, R. C. (2002). Tecnologias aplicadas na cultura do milho em Lavras-MG na safra 1998/1999. **Ciência Agrotécnica**, 26(1), 117-127.

VIEIRA, A. R.; OLIVEIRA, J.A.; VIEIRA, M.G.G.C.; REIS, M.S. Avaliação da eficiência de máquinas utilizadas no beneficiamento de sementes de arroz (*Oryza sativa* L.) **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 17, n. 2, p. 187-192, 1995.

VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. de. Testes de vigor em sementes. Embrapa Arroz e Feijão, [s. l.], p. 164, 1994.

VOOREN, J.G.; HEIJDEN, G.W.A.M. . (1993). Measuring the size of french beans with image analysis. *Plant Varieties and Seeds*, p.47-53.