UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

MYLLENA TEIXEIRA MARTINS

RESISTÊNCIA À FORÇA DE COMPRESSÃO E ANÁLISE DE RAIO X DAS SEMENTES DE ALGODÃO

Rondonópolis – MT
2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

MYLLENA TEIXEIRA MARTINS

RESISTÊNCIA À FORÇA DE COMPRESSÃO E ANÁLISE DE RAIO X DAS SEMENTES DE ALGODÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Mato Grosso, Campus de Rondonópolis, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Renildo Luiz Mion

Rondonópolis – MT
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

T266r Teixeira Martins, Myllena.
RESISTÊNCIA À FORÇA DE COMPRESSÃO E ANÁLISE DE RAIO X DAS SEMENTES DE ALGODÃO / Myllena Teixeira Martins. -- 2019
77 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Renildo Luiz Mion.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Rondonópolis, 2019.
Inclui bibliografia.

1. Fragmentos de revestimento de sementes. 2. Teste de compressão. 3. Imagens radiografadas. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO-GROSSO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
Avenida dos Estudantes,5055 - Cidade Universitária. - CEP: 78736-900 -Rondonópolis/MT
Tel.: (66) 3410-4121 - E-mail : spgeagri@hotmail.com

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "RESISTÊNCIA À FORÇA DE COMPRESSÃO E ANÁLISE DE RAIO X DAS SEMENTES DE ALGODÃO"

AUTORA: Mestranda Myllena Teixeira Martins

Dissertação defendida e aprovada em 26 de fevereiro de 2019.

Presidente da Banca / Orientador: Doutor Renildo Luiz Mion.
Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso

Examinador Interno: Doutora Niedja Marizze Cezar Alves
Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso

Examinador Externo: Doutor Kelly J. Teles Nascimento
Instituição: Instituto Federal Goiano

Examinador Externo: Doutor Hilton Morbeck de Oliveira
Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso

Rondonópolis, 26 de fevereiro de 2019.

“Tudo é possível quando você está comprometido”.

“Concentre-se em crescer e em ser o melhor que pode ser, seguindo seus sonhos e inspirando os outros a fazerem o mesmo. Este é o seu propósito”.

“Não há nada a temer, pois você não pode fracassar – apenas aprender, crescer e tonar-se melhor do que jamais foi”.

“Procure pessoas que acreditem em você, o admirem e possam ajudá-lo a chegar aonde quer ir na vida”.

“Seja grato por tudo que tem, aceite tudo que não tem, e crie ativamente tudo que deseja”.

“Substitua seus julgamentos por empatia, melhore suas reclamações transformando-as em gratidão e troque seu medo por amor”.

Livro: O Milagre da Manhã

Autor: Hal Erod

Aos meus pais, Hélio Domingues Martins e Lúcia Meire Teixeira Martins, por serem minha fortaleza e pelo imenso amor para comigo.

Aos meus irmãos, Isadora Teixeira Martins, Matheus Vinícius Teixeira Martins e Luan Gustavo Pereira Sanches, pelo apreço, cuidado e grande apoio.

Ao meu noivo, Rodrigo Baleeiro dos Santos, pelo amor, incentivo e companheirismo.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ao nosso misericordioso Deus pelo dom da minha vida, por me fortalecer a todo instante e por todas as graças recebidas durante esse período.

À Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Campus de Rondonópolis, pela oportunidade e suporte para realização deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo, durante o período do curso.

Ao Instituto Matogrossense do Algodão por fornecerem as sementes necessárias para concretização deste trabalho.

Ao Instituto Federal Goiano, campus Rio Verde, em especial, a pós-doutoranda Kelly Telles e o prof. Jacson pela ajuda nas análises.

Ao meu querido orientador Prof. Dr. Renildo Luiz Mion, por toda orientação desde o ano de 2015, época da graduação, até o término do mestrado. Muito obrigada, por todo carinho, compreensão e conhecimento transmitido. O meu respeito e gratidão.

Ao prof. Hilton Morbeck e seu aluno de graduação Wesley Lennon que não mediram esforços para dar início ao projeto.

A todo corpo docente da pós-graduação em Engenharia Agrícola da UFMT, Campus Rondonópolis, por todo ensinamento.

Aos meu amados pais, Hélio Domingues Martins e Lúcia Meire Teixeira Martins, por todo apoio, dedicação, carinho e amor para comigo, muito obrigada por serem meus exemplos, sem eles nada disso seria possível. Aos meus preciosos irmãos, Isadora Teixeira Martins, Matheus Vinícius Teixeira Martins e Luan Gustavo Pereira Sanches, por todo amor, amizade e ajuda nesta etapa tão importante da minha vida. Eu amo demais vocês!

Ao meu noivo, Rodrigo Baleeiro do Santos, por toda paciência, compreensão, amor e por sempre me incentivar e acreditar em mim.

Aos meus avós, Manoel Cardoso Teixeira e Ana Conceição, por serem nossa base e por toda dedicação e amor depositados em nossa família.

Aos meus familiares, Ana Eduarda, Edivânia Teixeira, Élcio Martins, Lorena Teixeira, Luci Teixeira, Luciano Teixeira, Maria Moraes, Márcia Aragão, Marilda

Aragão, Otávio Henrique, Vitor Manoel. Obrigada pelas conversas, apoio e distração todos os domingos.

Ao meu grupo de oração “O céu é o meu Lugar” pela oração, por transmitirem paz e por manterem minha fé inabalável.

Aos meus amigos, Amanda Freitas, Francielly Abreu, Gabriele Cervigni, Jakeline Oliveira, Juliana Andrade, Kamila Tavares, Mayara Oliveira, Renata Gois, Rafaela Barcelos, Rodolfo Luís Tavares, Valneide Fernando. Obrigada pela amizade, apoio e parceria de sempre.

Aos amigos que ganhei durante a pós-graduação Camila Rueda, Denise Soares, Juliane Beltrão, Paula Lima, Priscilla Barros, Thiago Castañon e Wlly Mendes. Obrigada pela amizade, apoio e por sempre me fortalecerem nos momentos de dificuldades.

A todos os colegas da “salinha do mestrado” pela companhia, conversas e ajuda.

As “tias da limpeza” por deixarem nosso ambiente de estudo limpo e aconchegante.

Enfim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente para concretização deste trabalho.

Minha eterna Gratidão!

RESUMO

RESISTÊNCIA À FORÇA DE COMPRESSÃO E ANÁLISE DE RAIO X DAS SEMENTES DE ALGODÃO

O algodoeiro é uma das principais culturas cultivas no Brasil e no mundo, por isso busca-se continuamente por aumento na produtividade e melhorias na qualidade da fibra. Os parâmetros de qualidade da fibra são afetados pela presença de contaminantes, destacando-se os fragmentos de revestimento de sementes (SCF) que provocam grandes problemas na indústria têxtil durante o processo de fiação e tingimento do tecido. Os SCF são partes do revestimento das sementes que foram quebrados da superfície de sementes maduras ou imaturas durante o processamento mecânico. Existem poucos estudos que apontam as possíveis causas da origem desses contaminantes, podendo ser genética ou devido aos processos mecânicos. Diante disso, objetivou-se correlacionar a força de compressão com as análises de raio x de sementes de algodão. As variedades de algodão utilizadas foram: FM 940 GLT, IMA 7201 B2RF, IMA 6501 B2RF, TMG 47 B2RF, IMA 2140, IMA 2129, IMA 7501 WS, e FM 975 WS. Realizou-se o teste de compressão no laboratório de eletrotécnica da Universidade Federal de Rondonópolis, com o auxílio de uma máquina de ensaio universal. Para isso cada amostra permaneceu por 7 dias no interior de uma B.O.D com umidade relativa a 65% ± 2 e temperatura a 20°C ± 1. Durante o ensaio de compressão, as sementes foram postas na posição horizontal entre placas paralelas e cada semente foi analisada individualmente. Obteve-se os dados de força e deformação através do ponto de ruptura da curva formada no decorrer do ensaio. Em seguida, foram produzidas imagens radiográficas das sementes de algodão pelo equipamento de raio x LX-60 da Faxitron X-Ray Corporation no Laboratório de Análise de Sementes do Instituto Federal Goiano - Rio Verde. Posteriormente, as imagens foram analisadas nos softwares Tomato Analyzer e ImageJ para verificar o espaço livre entre tegumento e a área que comporta o eixo embrionário e cotilédone e mensurar a espessura do tegumento, respectivamente. O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, com oito tratamentos e 4 repetições de 25 sementes, totalizando 32 parcelas. Os resultados foram submetidos à análise da variância, sendo a comparação de médias feita pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, utilizando o programa SISVAR e por fim aplicou-se a correlação de Pearson entre as variáveis analisadas. Concluiu-se que houve correlação positiva entre a força de ruptura e a espessura do tegumento das sementes e entre densidade e área livre no interior das sementes. Assim, sementes com tegumento mais espesso são mais resistentes à fragmentação e a densidade está associada com a qualidade e volume das sementes e consequentemente com seu preenchimento interno que é determinado de acordo com o grau de desenvolvimento do eixo embrionário e cotilédone.

Palavras-chave: Fragmentos de revestimento de sementes, ponto de ruptura, raio x, software.

ABSTRACT

RESISTANCE TO THE COMPRESSION STRENGTH AND ANALYSIS OF THE INTERNAL MORPHOLOGY OF COTTON SEEDS

Cotton is one of the main growing crops in Brazil and in the world, so we continually seek to increase productivity and improve fiber quality. The parameters of fiber quality are affected by the presence of contaminants, especially the seed coat fragments (SCF) that cause great problems in the textile industry during the spinning and dyeing of the fabric. SCFs are parts of seed coatings that have been broken off from the surface of mature or immature seeds during mechanical processing. There are few studies that indicate the possible causes of the origin of these contaminants, being it can be genetic or due to the mechanical processes. The objective of this study was to correlate the compression force with the x-ray analyzes of cotton seeds. The cotton varieties used were: FM 940 GLT, IMA 7201 B2RF, IMA 6501 B2RF, TMG 47 B2RF, IMA 2140, IMA 2129, IMA 7501 WS, and FM 975 WS. The compression test was carried out in the electrotechnical laboratory of the Federal University of Rondonópolis, with the aid of a universal testing machine. For this, each sample remained for 7 days inside a BOD with relative humidity at 65% ± 2 and temperature at 20 ° C ± 1. During the compression test, the seeds were placed horizontally between parallel plates and each seed was analyzed individually. The force and strain data were obtained through the break point of the curve formed during the test. Then, radiographic images of the cotton seeds were produced by the X-ray equipment LX-60 of the Faxitron X-Ray Corporation in the Laboratory of Seed Analysis of the Federal Goiano-Rio Verde Institute. Afterwards, the images were analyzed in the Tomato Analyzer and ImageJ software to verify the free space between the integument and the area containing the embryonic and cotyledon axis and to measure the thickness of the integument, respectively. The experimental design was completely random, with eight treatments and four replicates of 25 seeds, totaling 32 plots. The results were submitted to analysis of variance, and the means comparison was done by the Scott-Knott test at 5% of probability using the SISVAR program and finally the Pearson correlation was applied between the analyzed variables. It was concluded that there was a positive correlation between the rupture force and the thickness of the seed coat and between the density and the free area inside the seeds. Thus, seeds with thicker tegument are more resistant to fragmentation and the density is associated with the quality and volume of the seeds and consequently with their internal filling that is determined according to the degree of development of the embryonic axis and cotyledon.

Keywords: Seed coat fragments, rupture point, x-ray, software.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Máquina Universal de Ensaios. 1- cabeçote móvel; 2- placas paralelas de compressão; 3 - microcomputador. Fonte: autor. 20
Figura 2 – Sementes de algodão com linter. Fonte: autor. 21
Figura 3 - Posicionamento da Semente de algodão para o teste de compressão. Fonte: autor. 24
Figura 4 - Curva força x deformação produzida durante o ensaio de compressão. ..25
Figura 5 - Força média no ponto de ruptura das variedades de algodão. 28
Figura 6 - Distribuição da força de compressão para cada variedade. 30
Figura 7 - Deformação das variedades de semente de algodão. 31
Figura 8 - Deslintamento de sementes de algodão. A: agitação das sementes com auxílio de um bastão de vidro; B: sementes deslitandas; C: Lavagem das sementes. 45
Figura 9 - Passo a passo da determinação das classes de densidade das sementes de algodão. 46
Figura 10 - Raio x, LX-60 da Faxitron X-Ray Corporation. Fonte: Kelly Telles. 47
Figura 11 - Amostras em folha transparência e devidamente identificadas. Fonte: Kelly Telles. 48
Figura 12 - Execução do teste Raio-x. Fonte: Kelly Telles. 48
Figura 13 - Visão geral das repetições de sementes de algodão analisadas. Fonte: Kelly Telles. 49
Figura 14 - Identificação da semente de algodão. 50
Figura 15 - Tela inicial do software Tomato Analyzer indicando a aba “abrir imagem”. 50
Figura 16 - Análise de imagem pelo software Tomato Analyzer. 51
Figura 17 - Ajuste da área do eixo embrionário e cotilédone, 1° passo “área do pericarpo” (Pericap Area). 51
Figura 18 - Ajuste da área do eixo embrionário e cotilédone, 2° passo “limite padrão do pericarpo” (Default Pericarp Boundary). 52
Figura 19 - Ajuste da área do eixo embrionário e cotilédone, 3° passo “ajustar o limite do pericarpo” (Adjust Pericarp Boundary). 52
Figura 20 - Escolha da imagem para análise no software ImageJ. 53
Figura 21 - Conversão da imagem para escala de cinza. 54

Figura 22 - Opção “reto” (Straight) para medir a espessura do tegumento. 54
Figura 23 - Análise dos dados. 54
Figura 24 - A: Semente preenchida. B: Semente com alto percentual de área livre. 57
Figura 25 - Análise do teste de médias referente ao percentual de área livre no interior das sementes de algodão das variedades. 58
Figura 26 - Distribuição da área livre no interior da semente (%) em oito variedades de algodão.....61
Figura 27 - Espessura média do tegumento das sementes das variedades de algodão. 63

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Teor de umidade inicial e final das sementes de algodão.....26
Tabela 2 - Análise de Variância para a força no ponto de ruptura e deformação das sementes durante o teste de compressão 27
Tabela 3 - Teor de umidade inicial das sementes de algodão. 56
Tabela 4 - Classes de densidade das sementes de algodão. 56
Tabela 5 - Análise de Variância para o espaço livre interno das sementes de algodão. 58
Tabela 6 - Análise de Variância para a espessura do tegumento das sementes de algodão 62
Tabela 7 - Coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis força de ruptura, deformação, densidade, espaço vazio no interior das sementes e espessura do tegumento. 64

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO **11**
REFERÊNCIAS **14**
CAPÍTULO I **15**
1 INTRODUÇÃO **18**
2 MATERIAL E MÉTODOS **20**
2.1 Caracterização do ensaio 20
2.2 Caracterização das sementes 21
2.3 Determinação do grau de umidade 22
2.4 Preparo das amostras 22
2.5 Teste de compressão 23
2.6 Delineamento Experimental 25
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO **25**
3.1 Força x deformação 26
3.1.1 Força de compressão **27**
3.1.2 Deformação das sementes **31**
4 CONCLUSÕES **33**
5 REFERÊNCIAS **34**
CAPÍTULO II **38**
1 INTRODUÇÃO **41**
2 MATERIAL E MÉTODOS **44**
2.1 Caracterização das variedades de algodão 44
2.2 Umidade das sementes de algodão 44
2.3 Densidade das sementes de algodão 45
2.3.1 Deslintamento químico 45
2.3.2 Classificação das sementes de algodão em classes de densidades 45
2.4 Raio X 47
2.5 Análise de imagem pelo software Tomato Analyzer 49
2.6 Análise de imagem pelo software ImageJ 53
2.7 Delineamento experimental 55
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO **55**
3.1 Classes de densidades das sementes de algodão 56

3.1 Área livre no interior da semente.....57
3.2 Espessura do tegumento das sementes 62
3.3 Coeficiente de correlação de Pearson 64
4 CONCLUSÕES.....66
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....67
6 REFERÊNCIAS.....68

INTRODUÇÃO

O algodão (*Gossypium hirsutum* L.) é uma das espécies vegetais mais antigas e mais cultivada do mundo, com mais de 50 espécies registradas, do qual, é aproveitado a fibra para confecção de fios e o caroço para produção de sementes, óleo vegetal e alimentação animal. O Brasil é um dos grandes produtores mundiais de algodão, destacando-se o Estado de Mato Grosso (MT), por representar mais de 50% da produção nacional. Na safra 2017/2018 foram cultivados no Brasil uma área de 1.174,7 mil ha, com produtividade de algodão em pluma de 1.708 kg ha^{-1}, enquanto no MT a área cultivada foi de 777,8 mil ha e produtividade de 1.640 kg ha^{-1} (CONAB, 2019).

Na produção de algodão busca-se por aumento na produtividade de plumas e também melhoria na qualidade da fibra, por agregar valor ao produto e interferir diretamente na comercialização do algodão. A qualidade da fibra é influenciada pelo manejo da cultura, controle de pragas e doenças, condições climáticas, colheita, beneficiamento, transporte e armazenamento (BEL e XU, 2012). Além disso, a qualidade da fibra está associada à aparência da pluma, avaliada de acordo com os padrões de classificação, baseado no comprimento, cor e quantidade de impurezas.

Das diversas impurezas que podem influenciar na qualidade da fibra do algodão, uma das mais relevantes são os neps e os fragmentos de sementes (SCF). Os neps são aglomerados de fibras produzidos, principalmente, por fibras imaturas durante o processamento mecânico e o SCF são fragmentos do revestimento de sementes, possuem cor preto ou marrom, podem ou não conter fibras e são produzidos em consequência de diversas fontes que abrangem desde fatores genéticos a processos mecânicos (MANGIALARDI et. al., 1993).

As prováveis fontes de formação do SCF são os Motes (sementes abortadas) – ocorre, principalmente, por causa de temperaturas elevadas e baixa umidade relativa durante o processo de formação das sementes impedindo o desenvolvimento do óvulo após a fertilização - e sementes pequenas e imaturas, pois estão envolvidas por tegumento muito frágil se rompendo com mais faclidade durante os processos mecânicos e são identificadas por apresentarem diâmetro pequeno.

Algumas variedades de algodão são propensas a formar SCF por serem mais frágeis em razão da espessura do revestimento e sua composição estrutural. As sementes de algodão são compostas pelas camadas: epidérmica, pigmento externo, camada incolor, paliçada, pigmento interno e epiderme interna, além de, lignina presente na camada paliçada, que confere rigidez ao tegumento. Logo, quanto mais lignificada a camada estiver maior será a resistência da casca das sementes à ruptura.

As condições ambientais durante o desenvolvimento da semente podem interferir na produção de SCF, já que a semente, assim como a planta, necessita de água e nutrientes para seu crescimento e desenvolvimento estrutural. Outra eventualidade, decorre de períodos chuvosos seguidos de secas que podem provocar inchaço e encolhimento das sementes acarretando em rachaduras no tegumento.

O descaroçamento, procedimento para separar a fibra da semente, possivelmente, provoca danos ao seu revestimento, devido a ação das serras que podem cortar a semente ou no momento da separação, pedaços frágeis do tegumento podem ser levados juntos com a fibra (BOYKIN, 2009). Além disso, sementes com umidade elevada durante o beneficiamento tornam-se mais macias e suscetíveis a danos.

A semente possui uma região mais frágil denominada “chalaza”, localizada na sua extremidade arredondada, que pode-se romper com mais facilidade durante os processos mecânicos, pois o tegumento forma dobras que percorrem toda semente e quando alcança a chalaza essas camadas são interceptadas e a região é caracterizada por uma estrutura mais esponjosa, não compacta e a camada paliçada não está presente indicando maior fragilidade (PEARSON,1955).

Existem métodos manuais e automatizados para medição do SCF, o primeiro é o método D 2496 (ASTM, 1985), em que, o SCF é contado manualmente, removido e pesado, porém é subjetivo e depende do avaliador. O segundo é o AFIS (Sistema avançado de informação de fibras), no qual, são contados como SCF somente os fragmentos de semente que possuem fibras e o restante são apontados como lixo. Outra opção é o Autorate que faz a contagem de SCF no tecido por análise de imagem.

Os SCF são difíceis de removerem completamente do algodão por serem pequenos e possuírem fibras. É digno de notar que quanto mais processos de

limpeza o algodão for submetido para retirar esses contaminantes, maior será a agressão na fibra. Essas impurezas podem provocar a quebra do fio durante a fiação, interferem no processo de tingimento e aparecem como manchas escuras no tecido tingido, acarretando prejuízos para as empresas, por isso é importante desenvolver meios para a prevenção ou remoção do SCF.

Diante disso, objetivou-se correlacionar a força obtida pelo teste de compressão com a análise de raio x das sementes de algodão, afim de, evidenciar as variedades mais frágeis e propensas a formar fragmentos de revestimento de sementes.

REFERÊNCIAS

ASTM. 1985. D2496: **Standard test methods for seed coat fragments and funiculi in cotton fiber samples**. W. Conshohocken, Pa.: American Society for Testing and Materials.

BEL, P. D.; XU, B. **Measurements of seed coat fragments in cotton fibers and fabrics**. Textile Research Journal. Downloaded from trj.sagepub.com at SOUTHERN REGIONAL RESEARCH CTR on January 17, 2012.

BOYKIN, J. C.; ARMIJO, C. B.; WHITELOCK, D. P.; BUSER, M. D.; HOLT, G. A.; VALCO, T. D.; FINDLEY, D. S.; BARNES, E. M.; WATSON, M. D. **Fractionation of foreign matter in ginned lint before and after lint cleaning.** 2009. Trans. ASABE 52(2): 419-426.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v. 6 Safra 2018/19 - Quarto levantamento, Brasília, p. 1-126 janeiro 2019.

MANGIALARDI, G.J.JR.; HALLOIN, J.M.; HEBERT, J.J. **Relationship of Cottonseed Parameters to Imperfections in Ginned Lint.** U.S. Department of Agriculture Technical Bulletin, N°1826. 1993.

PEARSON, N.L. **Seed coat fragments in cotton an element of yarn quality.** Technical Bulletin N° 1116. Department of agriculture. May, 1955.

CAPÍTULO I

RESISTÊNCIA DO REVESTIMENTO DE SEMENTES DE ALGODÃO SUBMETIDO À FORÇA DE COMPRESSÃO

RESUMO

RESISTÊNCIA DO REVESTIMENTO DE SEMENTES DE ALGODÃO SUBMETIDO À FORÇA DE COMPRESSÃO

As propriedades mecânicas determinam características importantes de produtos agrícolas que são comumentes utilizadas para o desenvolvimento de equipamentos e máquinas utilizadas no processo de colheita e pós-colheita. Essas propriedades podem ser determinadas pelo teste de compressão que caracterizam as sementes em relação a força, deformação e energia através da curva formada durante o ensaio. Além do mais, com a fragmentação de sementes torna-se necessário conhecer a resistência das variedades utilizadas. Assim sendo, objetivou-se determinar a força e deformação das sementes de algodão no ponto de ruptura. As variedades de algodão utilizadas foram: FM 940 GLT, IMA 7201 B2RF, IMA 6501 B2RF, TMG 47 B2RF, IMA 2140, IMA 2129, IMA 7501 WS, e FM 975 WS. Determinou-se o grau de umidade das sementes de algodão através do método de estufa. Posteriormente, as amostras foram randomizadas, sendo que, cada variedade foi dividida em 4 repetições de 25 sementes e colocadas no interior de uma câmara incubadora B.O.D. com umidade a 65 % ± 2 e temperatura a 20 °C ± 1, durante o período de sete dias. Seguidamente, realizou-se o teste de compressão no laboratório de eletrotécnica da Universidade Federal de Mato Grosso, campus Rondonópolis, com o auxílio de uma máquina de ensaio universal (TIME-Shijin Group, modelo WDW-100E). Cada semente foi analisada separadamente e colocada na posição horizontal com velocidade de deslocamento do cabeçote a 0,0254 m/s. No decorrer do teste o software instalado no microcomputador conectado à máquina de ensaio produziu a curva de força x deformação. Assim, esses gráficos juntamente com os valores disponíveis em um banco de dados foram salvos para a análise dos dados. Utilizou-se o delineamento inteiramente ao acaso, com oito tratamentos e 4 repetições de 25 sementes, totalizando 32 parcelas. Os resultados foram submetidos à análise da variância, sendo a comparação de médias feita pelo teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade, utilizando o programa SISVAR. A variedade IMA 7201 B2RF e FM 975 WS apresentaram maiores médias de força de ruptura com 82,07 N e 77,21 N, respectivamente, e as menores médias foram apontadas pelas variedades FM 940 GLT com 46,25 N e TMG B2RF com 47 N. Assim, sementes mais resistentes à ruptura tendem a produzir menos fragmentos.

Palavras-chave: Propriedades mecânicas, máquina de ensaio universal, força x deformação, fragmentos.

ABSTRACT

RESISTANCE OF COTTON SEED COATING SUBMITTED TO COMPRESSION FORCE

The mechanical properties determine important characteristics of agricultural products that are commonly used for the development of equipment and machines used in the harvesting and post-harvesting process. These properties can be determined by the compression test that characterize the seeds in relation to force, deformation and energy through the curve formed during the test. Moreover, with the fragmentation of seeds it becomes necessary to know the resistance of the varieties used. Therefore, the objective was to determine the strength and deformation of cotton seeds at the point of rupture. The cotton varieties used were: FM 940 GLT, IMA 7201 B2RF, IMA 6501 B2RF, TMG 47 B2RF, IMA 2140, IMA 2129, IMA 7501 WS, and FM 975 WS. The degree of moisture of the cotton seeds was determined by the greenhouse method. Subsequently, the samples were randomized, and each variety was divided into 4 replicates of 25 seeds and placed inside a B.O.D. incubator chamber. with humidity at 65% ± 2 and temperature at 20 ° C ± 1, during the seven day period. Then, the compression test was carried out in the electrical laboratory of the Federal University of Mato Grosso, Rondonópolis campus, with the aid of a universal test machine (TIME-Shijin Group, model WDW 100E). Each seed was analyzed separately and placed in the horizontal position with head displacement velocity at 0.0254 m / s. During the test the software installed in the microcomputer connected to the test machine produced the force x strain curve. Thus, these graphs along with the values available in a database were saved for the analysis of the data. A completely randomized design was used, with eight treatments and four replicates of 25 seeds, totaling 32 plots. The results were submitted to analysis of variance, and the means comparison was done by the Scott-Knott test at 5% probability using the SISVAR program. The IMA 7201 B2RF and FM 975 WS showed higher mean burst strengths with 82.07 N and 77.21 N, respectively, and the lowest mean values were indicated by FM 940 GLT with 46.25 N and TMG B2RF with 47 N. Thus, seeds more resistant to rupture tend to produce fewer fragments.

Keywords: Mechanical properties, B.O.D., universal test machine, strength x deformation.

1 INTRODUÇÃO

A cultura do algodão exige cuidados durante seu ciclo de produção para que a produtividade e qualidade do produto não sejam afetados. Logo, além da grande preocupação direcionada a qualidade da fibra, também é importante atentar-se a semente de algodão, devido aos impactos ocorridos na colheita e beneficiamento que levam a quebra do seu revestimento produzindo fragmentos que são levados juntos com a fibra, após o descaroçamento, interferindo no processo de fiação e tingimento do tecido (BOYKIN, 2008; KRIFA e GOURLOT, 2001). De acordo, com Boykin et. al. (2009) o SCF representa 34% da quantidade de impurezas presente na fibra após o limpador de plumas.

Diante desta problemática é importante ter conhecimento das propriedades mecânicas das sementes para analisar a resistência do seu revestimento. Além disso, as propriedades mecânicas são importantes para o projeto e desenvolvimento de equipamentos e máquinas utilizados no processamento e tratamento de pós-colheita do algodão, como descaroçadores, deslintamento e máquinas de esmagamento (RAMESH et. al., 2015).

As propriedades mecânicas podem ser determinadas através do teste de compressão que dá origem a curva de força x deformação (PONCE-GARCÍA et. al., 2016). A patir deste ensaio, determina-se algumas características das sementes, como tensão, módulo de elasticidade, força, deformação, inclinação (razão entre força e deformação) e energia (área sob a curva). A tensão é força por unidade de área e a deformação esta relacionada a altura inicial e final da amostra (DOBRZAŃSKI e STĘPNIEWSKI, 2013).

O teste de compressão é um método objetivo para avaliar as propriedades mecânicas através da curva (ASAE, 2000). Entende-se a curva de força x deformação da seguinte forma: o início da inclinação da curva é denominado deformação elástica; em seguida, ocorre o escoamento designado como deformação plástica, marcado por grande deformação com pouco aumento de força, neste ponto a deformação é permanente; e por fim, o ponto máximo da curva apresenta a força necessária para ocasionar a ruptura do tegumento das sementes (DOBRZAŃSKI e STĘPNIEWSK, 2013).

Para o ensaio de compressão leva-se em consideração o tipo de equipamento, a preparação e forma das amostras e a velocidade usada para o deslocamento do cabeçote, geralmente, adota-se velocidade constante (ASAE, 2003). Khodabakhshian e Emadi (2011) estudaram três métodos para avaliar o módulo de elasticidade das sementes e a força de compressão e concluíram que o método entre placas paralelas era o mais indicado.

Normalmente, as sementes são colocadas na posição mais estável, "deitada", pois nesta condição a semente apresenta menor resistência a quebra e menor variação (AFKARI e MINAEI, 2004). Özgüven e Vursavus (2005) determinaram a resistência do tegumento do pinhão, utilizando o teste de compressão em duas posições (lateral e vertical) e concluíram que o eixo lateral (“deitada”) apresentou menor resistência à quebra. Gupta et. al. (2000) com intuito de determinar a força, deformação e energia absorvida no ponto de ruptura em sementes de girassol para duas posições (vertical e horizontal) sob carga de compressão, constataram que menor força foi aplicada quando as sementes estavam na posição horizontal.

As propriedades mecânicas obtidas durante o ensaio de compressão podem ser influenciadas pela umidade. Sousa et. al. (2018), analisando sementes de *Raphanus sativus*, observaram que a força de ruptura aumentava com a diminuição da umidade. Outro estudo realizado por Jafari et. al. (2011) concluíram que a força de ruptura diminuiu e a deformação aumentou com aumento da umidade.

Alguns produtos vegetais possuem propriedades viscoelástica, isto é, são de natureza viscosa (fluidos) e elástica (parede celular), assim, ocorre deformação elástica e plástica (KAUR et. al., 2002; NISHINARI, 2004). A variação dessas propriedades e a concentração de água no interior das células interferem na rigidez do tegumento, já que, quando uma força externa é aplicada o conteúdo celular transborda, conferindo menor resistência do revestimento à ruptura (DELALIBERA et. al., 2008).

A presença de fragmentos de sementes é umas das principais preocupações da indústria têxtil e são formados por alguns fatores, destacando-se a própria genética da variedade ou por danos mecânicos. Assim, objetivou-se determinar as propriedades mecânicas das sementes de algodão através do teste de compressão para verificar a resistência do tegumento à ruptura de acordo com o gráfico de força x deformação e indicar as variedades mais resistentes.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização do ensaio

O ensaio experimental de compressão foi realizado no laboratório de eletrotécnica da Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT, Campus Rondonópolis, com a utilização de uma Máquina de Ensaio Universal (TIME-Shijin Group, modelo WDW-100E, com capacidade máxima de 100 kN). A máquina é composta por um cabeçote móvel que se desloca a uma determinada velocidade, as placas paralelas, sendo uma fixa e outra móvel, e um microcomputador para analisar o comportamento das sementes durante o teste (Figura 1).

Figura 1- Máquina Universal de Ensaios. 1- cabeçote móvel; 2- placas paralelas de compressão; 3 - microcomputador. Fonte: autor.

O cabeçote móvel se desloca na vertical para exercer a aplicação de força de compressão ou tração e a velocidade de deslocamento é adaptada de acordo com o tipo de material utilizado e finalidade do teste. Além disso, o ensaio permiti a

geração de dados e gráficos através de um software instalado no microcomputador que está conectado à máquina.

2.2 Caracterização das sementes

As sementes de algodão utilizadas no ensaio de compressão foram cedidas pelo IMAmt (Instituto Mato-grossense do Algodão) e pertenciam a oito diferentes variedades: FM 940 GLT, IMA 7201 B2RF, IMA 6501 B2RF, TMG 47 B2RF, IMA 2140, IMA 2129, IMA 7501 WS, e FM 975 WS. As sementes são comerciais e estavam envolvidas com linter - camada de fibras aderidas a superfície das sementes (Figura 2).

Figura 2 – Sementes de algodão com linter. Fonte: autor.

A colheita mecânica das variedades de algodão ocorreu no mês de agosto do ano de 2017, na área experimental do IMAmt, localizada no município de Primavera do Leste – MT, cujo a região é caracterizada por clima Tropical quente e subúmido Aw, precipitação média anual de 1.784 mm e temperatura média anual de 22 °C, com latitude 15º33'32" sul e longitude 54º17'46" oeste, estando a uma altitude de 636 m. O descaroçamento das amostras foi realizado em um descaroçador experimental com 10 serras. Posteriormente, os caroços de algodão foram armazenados até o início das análises.

Por fim, para organizar a ordem do teste de compressão, realizou-se o sorteio randomizado no programa excel® para que a escolha das amostras ocorresse de forma aleatória. Assim, utilizou-se 200 sementes de cada variedade de algodão, com 4 repetições de 50 sementes, totalizando 1600 sementes para este teste.

2.3 Determinação do grau de umidade

Realizou-se o teste de umidade inicial e final das sementes de algodão, ou seja, antes e depois de serem armazenadas na estufa germinadora incubadora - B.O.D. através da secagem em estufa sob temperatura de 105 °C ± 2 °C, durante 24 horas. Utilizou-se 3 repetições de cada variedade e os dados foram expressos em percentagem na base úmida, de acordo com as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009). Os dados foram obtidos de acordo com a fórmula:

$$\% \text{ Umidade} = \frac{(P - p)}{(P - t)} \times 100$$

Onde:

P = peso inicial (peso do recipiente + semente úmida);

p = peso final (peso do recipiente + semente seca);

t = tara (peso do recipiente).

2.4 Preparo das amostras

As amostras foram preparadas no laboratório de Botânica da Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Rondonópolis, no início do mês de fevereiro de 2018 e se estendeu até maio de 2018. Cada amostra era composta por 50 sementes de algodão que representava uma repetição, sendo colocadas em placas de Petri, identificadas e conduzidas para o interior de uma estufa germinadora incubadora - B.O.D. (Marca: Caltech; Modelo: EI-08F1-AFH).

Programou-se a B.O.D. através do painel de controle que se localiza na parte frontal superior para que a umidade atingisse 65% ± 2 e temperatura a 20°C ± 1, de

acordo, com o padrão estabelecido pela ASTM D 1776 (2016). Cada dia era inserido na B.O.D. uma amostra pela manhã e outra no período da tarde para o controle do teste de compressão, pois era possível comprimir apenas duas amostras por dia.

As amostras permaneceram dentro da estufa durante 7 dias, com o objetivo de estabilizar a temperatura e umidade das sementes, baseado na metodologia proposta por Bargeron e Gamer (1989 e 1991), em que verificaram a necessidade de 4 a 5 dias para atingir o equilíbrio de umidade das sementes em ambiente controlado. Porém, nesta análise as amostras ficaram por um período maior, pois as sementes estavam protegidas por uma camada de fibra (linter) que possivelmente dificultava a absorção de água.

2.5 Teste de compressão

Para o teste de compressão é necessário fornecer ao software (Winwdw) que está conectado a máquina de ensaio as dimensões e forma do corpo de prova - quadrada, retangular ou circular. Em razão disso, mediu-se com o auxílio de um paquímetro o diâmetro e comprimento de cada variedade das sementes de algodão.

Selecionou-se o tipo de teste, no caso, força de compressão e a velocidade empregada para o deslocamento do cabeçote móvel foi de 0,0254 m/s. Posteriormente, as sementes foram postas entre duas placas paralelas (uma fixa e outra móvel), uma por vez, na posição horizontal por ser mais estável, conforme a figura 3. Segundo, Afkari e Minaei (2004) a posição horizontal possui menor resistência, já que apresenta o menor eixo e apresenta maior estabilidade.

Figura 3 - Posicionamento da Semente de algodão para o teste de compressão. Fonte: autor.

As sementes foram analisadas através dos gráficos de força x deformação produzidos durante o ensaio de compressão em que o ponto máximo da curva significa o ponto de ruptura, que representa o rompimento do tegumento das sementes. Logo, que atingia-se esse ponto o teste era concluído por um comando manual do programa e, por fim, os dados do banco de dados eram salvos em uma pasta juntamente com as imagens dos gráficos.

A figura 4, representa o gráfico de força x deformação, na qual, o eixo y aponta os dados de Força (KN) e o eixo x de deformação (mm). Em seguida, transformou-se a unidade de medida de força (KN) para N, afim de padronizar os dados, de acordo, com o Sistema Interacional de Unidades (SI). Trabalhou-se com os dados de força e deformação apontados no “ponto de ruptura”. Segundo, Sirisomboon et al. (2007) a força de ruptura indica a força mínima necessária para romper o revestimento da semente.

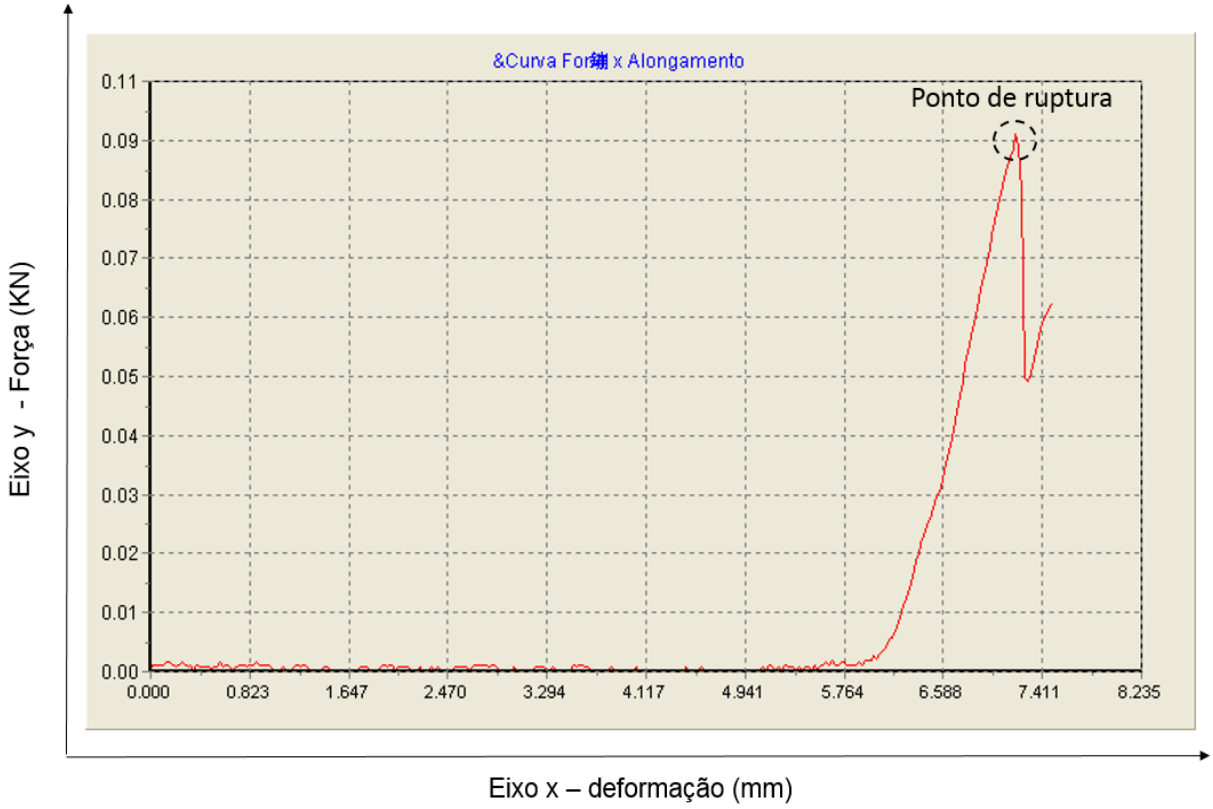


Figura 4 - Curva força x deformação produzida durante o ensaio de compressão.

2.6 Delineamento Experimental

O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, com oito tratamentos (FM 940 GLT, IMA 7201 B2RF, IMA 6501 B2RF, TMG 47 B2RF, IMA 2140, IMA 2129, IMA 7501 WS, e FM 975 WS) e quatro repetições de 25 sementes, totalizando 32 parcelas. Os dados de força e deformação foram submetidos a análise de variância (teste F), sendo a comparação das médias feitas pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade, utilizando o programa SISVAR (FERREIRA, 2000).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1, observa-se que o teor de umidade inicial das sementes de algodão permaneceu entre 8,23 a 9,15 %, verificado para as variedades IMA 7501

WS e TMG 47 B2RF, respectivamente, e o teor de umidade final variou entre 8,20 % para IMA 7201 B2RF e 8,70 % para TMG 47 B2RF apresentando maior uniformidade entre as variedades.

Tabela 1 - Teor de umidade inicial e final das sementes de algodão

Variedades	**Umidade inicial (%)**	**Umidade final (%)**
IMA 7501 WS	8,23	8,38
IMA 7201B2RF	8,33	8,20
FM 940 GLT	8,36	8,24
IMA 2129	8,42	8,56
IMA 2140	8,47	8,65
FM 975 WS	8,48	8,46
IMA 6501 B2RF	8,56	8,67
TMG 47 B2RF	9,15	8,70

Estes resultados estão em conformidade com os dados obtidos por Mendonça et. al. (2008). Para mais, Marcos Filho (2005) ressalta que a variação máxima do grau de umidade entre os tratamentos deve ser de 2% para manter as amostras padronizadas e não influenciar nos resultados.

3.1 Força x deformação

O resumo da análise de variância encontra-se na Tabela 2. Os resultados evidenciaram que os dados de força no ponto de ruptura obtidos durante o teste de compressão apresentaram diferença significativa em nível de 5% de probabilidade. Já para a deformação das sementes não houve diferença. Resultados semelhantes foram descritos por Altuntas e Özkan (2008), no qual, constataram diferença significativa entre as médias de força de ruptura para cultivares de nogueira.

Tabela 2 - Análise de Variância para a força no ponto de ruptura e deformação das sementes durante o teste de compressão

FV	GL	QM	
		Força	**Deformação**
Tratamento	7	692,57*	4.56^{ns}
Erro	24	35,09	2.89
Total	31		
CV (%)		9,18	20,70

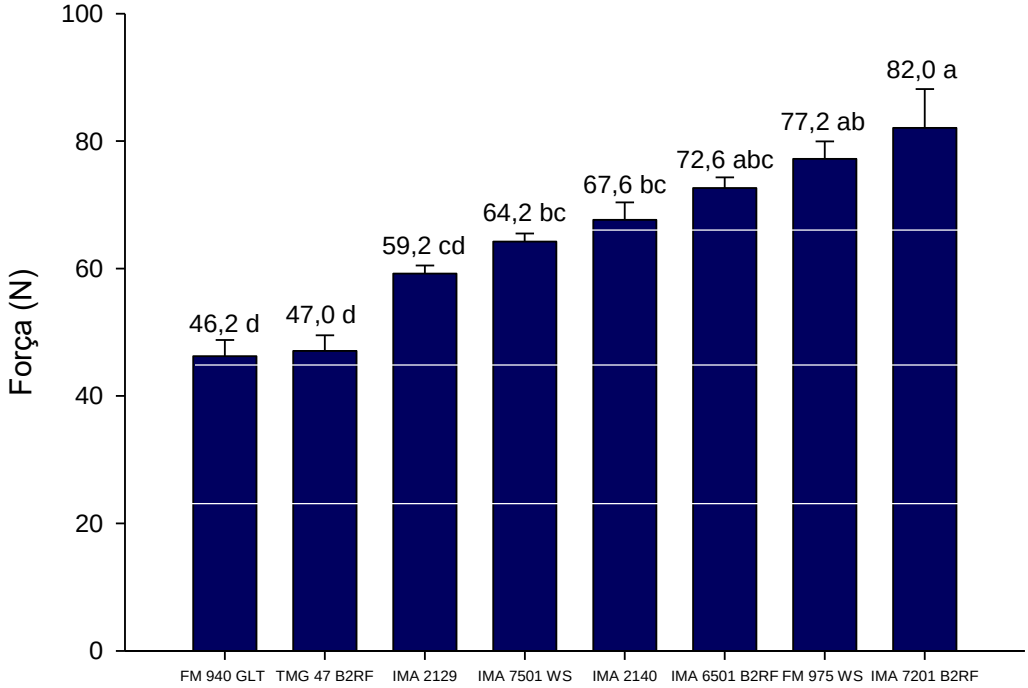
* significativo, a nível de 5 % pelo teste F.

^{ns} não significativo, a nível de 5 % pelo teste F.

Os dados resultantes do teste de compressão são afetados pelas características da variedade, umidade das sementes, posição das sementes entre as placas, de acordo, com as direções x (comprimento), y (largura) e z (espessura) e velocidade de deslocamento do cabeçote (HASHEMINIA, 2007). Assim, a medida que a carga é aplicada sobre as sementes ocorre a deformação da amostra até a ruptura do tegumento (CORTAZAR-FIGUEROA et. al., 2008).

3.1.1 Força de compressão

A análise do teste de média referente aos dados de força no ponto de ruptura para as variedades de algodão está representada na figura 5. De acordo com a força de compressão obtida notou-se que as variedades IMA 7201 B2RF e FM 975 WS apresentaram as maiores médias 82,07N e 77,21N, respectivamente. Logo, são constituídas por tegumento mais resistentes capaz de suportar maiores impactos até a ruptura. Já as menores médias foram observadas para as variedades FM 940 GLT com 46,25N e TMG 47 B2RF com 47,05N e, consequentemente, possuem tegumento mais frágil sendo mais propensas a formação de fragmentos.



Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott ao nível 5% de probabilidade.
Figura 5 - Força média no ponto de ruptura das variedades de algodão.

Os dados de força de compressão estão de acordo com Bargeron e Gamer (1991), em que, encontraram diferença significativa entre as variedades de algodão e a menor média de força de compressão necessária para romper o tegumento foi de 46,1N e a maior de 79,4N.

Delalibera et. al. (2008) também relataram diferença para a força de ruptura entre 11 híbridos de grãos de milho, sendo que, para um tratamento com umidade de 16% o maior valor de força foi apontado por um híbrido em que os grãos possuíam menor área de contato com o equipamento de compressão.

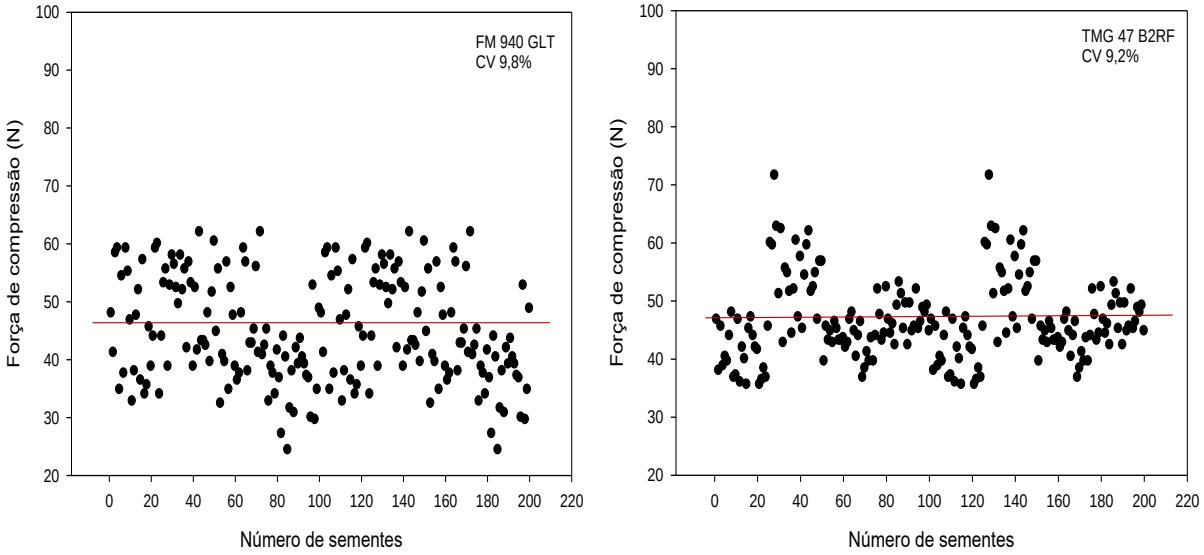
Essas diferenças, provavelmente, deve-se as variações na composição dos tecidos e em suas estruturas anisotrópicas (VINCENT, 1990), sendo que, a composição pode mudar devido a variabilidade sazonais e condições ambientais durante o período de desenvolvimento da semente e colheita (ANTHONY et. al.,1988; DAVIDONIS et. al., 2000; DOBRZAŃSKI e STĘPNIEWSKI, 2013). Segundo, Horabik et. al. (2017), a textura do tegumento e estrutura interna podem influenciar nos resultados de força e deformação.

O tegumento é composto, principalmente, de celulose e lignina, essa última compõem a camada paliçada e confere resistência ao revestimento. Além do mais, o

tegumento é responsável por proteger a semente contra os danos externos, desidratação e aumenta a resistência das sementes à compressão, absorvendo a carga aplicada até o início da deformação (HASSELDINE et. al., 2017).

A resistência do tegumento da semente é um fator importante que contribue com o número de SCFs (BOWMAN, 1996). Segundo, Mangialardi e Meredith (1990) os SCFs presentes na fibra de algodão pode variar em até 50% de acordo com a variedade. Por isso é importante conhecer as características do produto que irá ser implantado na lavoura.

Para mais, verificou-se a distribuição da força de compressão no ponto de ruptura com intuito de averiguar a variabiliade existente para cada variedade, sendo que quanto mais distante os pontos estiverem da média (linha vermelha) maior será a variação (Figura 6). Desta forma, constatou-se que houve pouca variabilidade, na qual a maior variação ocorreu para a variedade IMA 7201 B2RF com coeficiente de variação (CV%) de 13,1% e o menor de CV foi de 3,8% para a variedade IMA 7501 WS exibindo maior uniformidade.



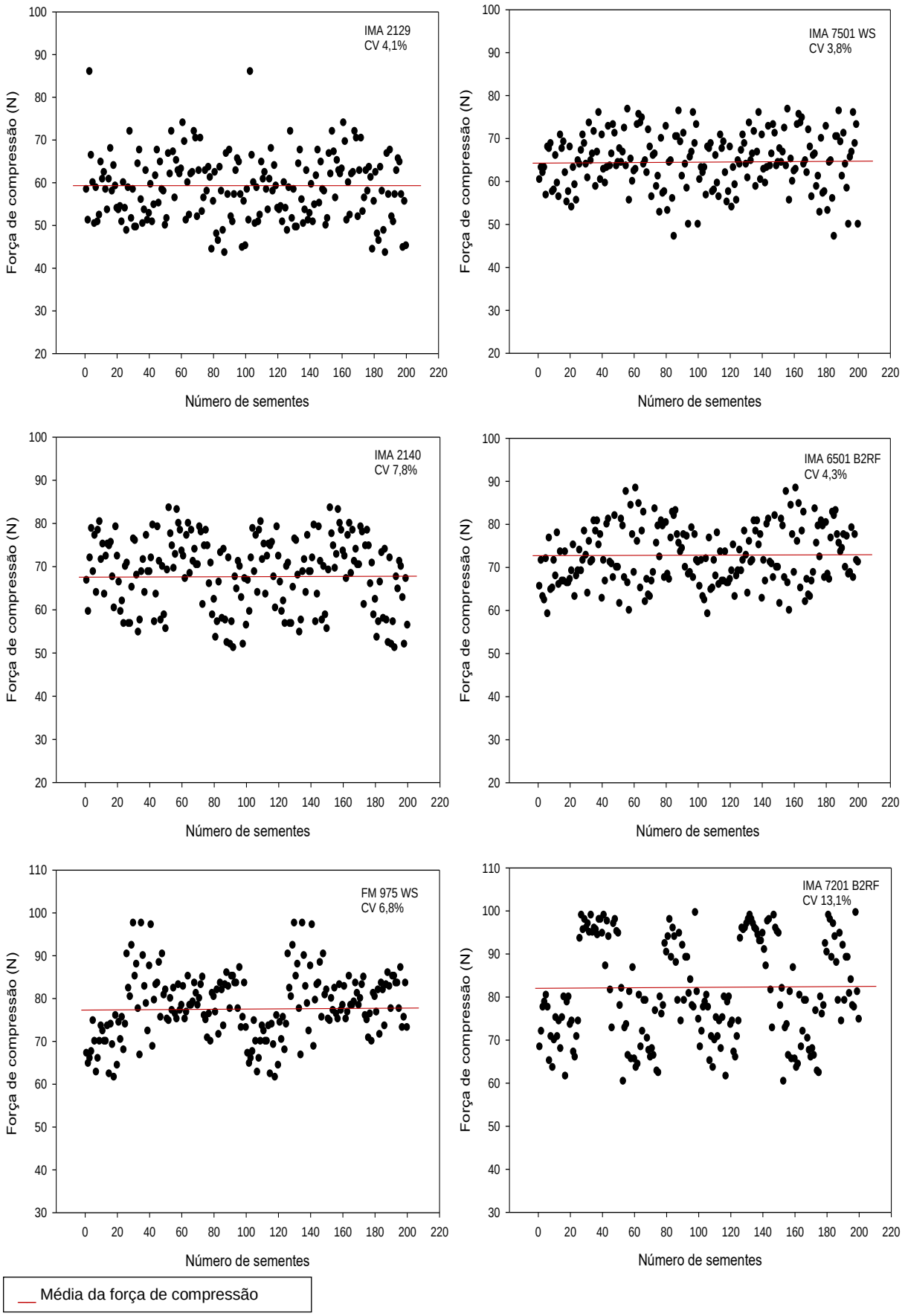


Figura 6 - Distribuição da força de compressão para cada variedade.

3.1.2 Deformação das sementes

Não houve diferença para os dados de deformação entre as variedades de semente de algodão estudadas (Figura 7), na qual, as variedades IMA 7501 e WS FM 940 GLT obtiveram as maiores médias de deformação em valores absolutos 9,20mm e 9,19mm, respectivamente. Esses dados estão de acordo com Voicu et. al. (2013) que estudaram o comportamento mecânico de três variedades de sementes de trigo e encontraram valores de deformação no ponto de ruptura relativamente próximos.

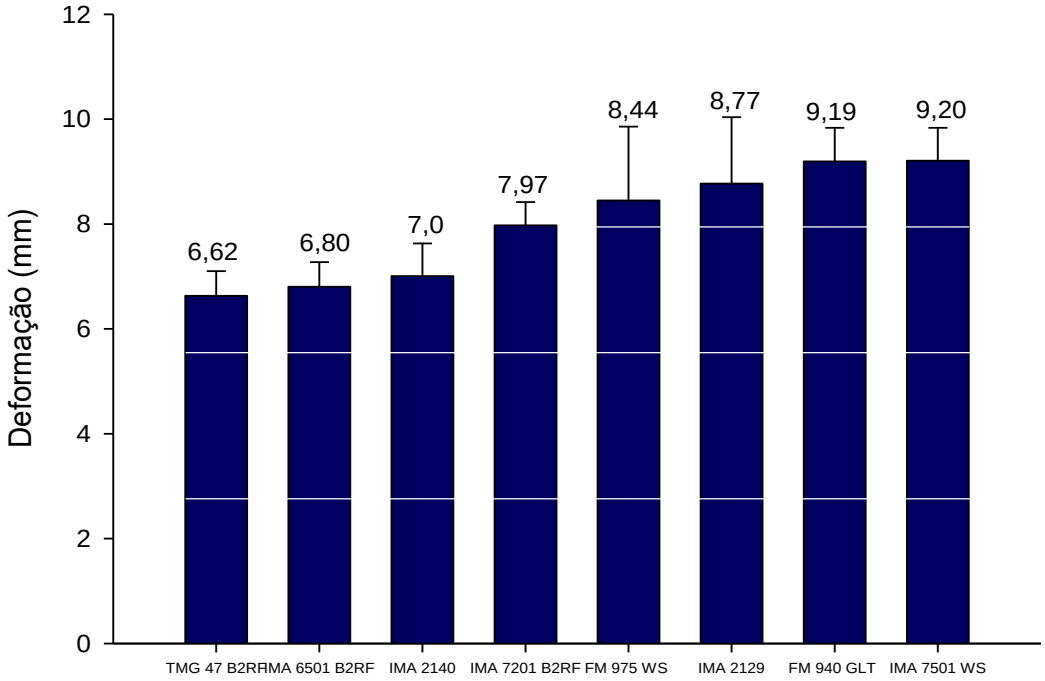


Figura 7 - Deformação das variedades de semente de algodão.

Kabutey et. al. (2015) mostraram que a variação na deformação não foi significativa ao nível de 5% de probabilidade para sementes de pinhão manso mesmo com alteração na velocidade entre 1,667 x 10^5 e 8,33 x 10^4 e umidade variando de 8,61% a 1,14%.

A deformação obtida no teste de compressão também esta relacionada com a altura inicial da amostra que será comprimida pelas placas paralelas da máquina de ensaio até o momento de ruptura (DOBRZAŃSKI e STĘPNIEWSKI, 2013). Assim, é

importante conhecer este parâmetro, pois quando ocorre deformação na semente de algodão fica susceptível à danos podendo ocasionar ruptura no tegumento durante os processos de produção.

4 CONCLUSÕES

O teste de compressão é viável para determinar as propriedades mecânicas das sementes de algodão. Sendo que, as variedades IMA 7201 B2RF e FM 975 WS são maior resistência à ruptura em relação as demais variedades. Logo, irão produzir menos fragmentos de sementes durante os processos de produção do algodão, no qual, essa característica é essencial para os processos na indústria têxtil.

5 REFERÊNCIAS

AFKARI, S.; MINAEI, S. **Behavior of wheat kernels under quasi-static loading and its relation to grain hardness**. Journal of Agricultural Science Technology. 2004. Vol. 6: 11-19.

ALTUNTAS, E.; ÖZKAN, Y. **Physical and Mechanical Properties of Some Walnut (Juglans regia L.) Cultivars**. International Journal of Food Engineering. Volume 4, Issue 4, 2008, Article 10. 1556-3758.

ANTHONY, W.S.; MERIDITH, W.R.; WILLIFORD, J.R.; MANGIALARDI, G.J. **Seedcoat fragments in ginned lint: the effects of varieties, harvesting, and ginning practices**. Textile Res. J. 58 (2). 1988.

ASAE Standards. **Compression Test of Food Materials of Convex Shape**. American Society of Agricultural and Biological Engineers, S368.4. 2000.

ASAE Standard. **Compression test of materials of convex shape**. American Society of Agricultural Engineers. Transactions of the ASAE. 2003.

ASTM – American Society for Testing Materials. ASTM D1776, Standard Practice for Conditioning and Testing Textiles, West Conshohocken, PA, 2016. Disponível em: <database.texnet.com.cn/db-stan/view--411.html>. Acesso em: 02/10/2018.

BARGERON, J.D. AND T.H. GAMER. **Predicting seed-coat-fragment contamination in cotton.** Transactions of the ASAE. Vol 32(l):54-57. 1989.

BARGERON, J. D.; GAMER, T.H. **Cottonseed fragment contamination and fabric imperfections**. Transactions of the ASAE. Vol 34(4): July-August 1991.

BOWMAN, D. **Testing cotton seed coat quality**. In: Dugger, P., Richter, D.A. (Eds.), Proceedings of the Beltwide Cotton Conference. National Cotton Council, Memphis. 1996.

BOYKIN, J. C. **Engineering and ginning. Seed Coat Fragments, Motes, and Neps: Cultivar Differences.** The Journal of Cotton Science 12:109–125 (2008).

BOYKIN, J. C.; ARMIJO,C. B.; WHITELOCK, D. P.; BUSER,M. D.; HOLT, G. A.; VALCO, T. D.; FINDLEY, D. S.; BARNES, E. M.; WATSON, M. D. **Fractionation of foreign matter in ginned lint before and after lint cleaning**. Transactions of the ASABE Vol. 52(2): 419-426. 2009.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p.

CORTAZAR-FIGUEROA, L.M.; MELÉNDEZ-PÉREZ, R.; OLIVER-HERNÁNDEZ, D.M. **Energy consumption and particle size distribution on cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*) and black pepper (*Piper niger L.*) milling**. Rev. Mex. Ing. Quím, México, v. 7, n. 2, p. 123-130, agosto, 2008.

DAVIDONIS, G. H.; JOHNSON, A.; LANDIVAR, J. A. **Cotton Mote Frequency Under Rainfed and Irrigated Conditions**. The Journal of Cotton Science 4:1-9 (2000).

DELALIBERA, H. C.; WEIRICH NETO, P.H.; COLET, M. J.; GARBUIO, P. W.; SVERZUT, C. B. **Resistência de grãos de milho à ruptura por compressão**. Ciência Rural, Santa Maria, v.38, n.9, p.2493-2497, dez, 2008.

DOBRZAŃSKI, B.; STĘPNIEWSKI, A. **Physical Properties of Seeds in Technological Processes.** Chapter 11. Advances in Agrophysical Research. Physical Properties of Seeds in Technological Processes. 2013.

FERREIRA, D. F**. Análises estatísticas por meio do SISVAR para Windows versão 4.0**. In: Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria, São Carlos, 2000.

GUPTA, R.K.; DAS, S. K. **Fracture resistance of sunflower seed and kernel to compressive loading**. Journal of Food Engineering 46 (2000) 1-8.

HASHEMINIA, S. M. **The study of compressive loading on mechanical properties of soyabean kernel**. Proceeding of 3rd International conference TAE 2007. Czech University of Life Sciences Prague. pp. 131-134.

HASSELDINEA, B. P. J.; GAOA, C.; COLLINSA, J. M.; JUNGB, H.D.; JANGC, T.S.; SONGD, J.; LI, Y. **Mechanical response of common millet (Panicum miliaceum) seeds under quasi-static compression: Experiments and modeling**. Journal of the mechanical behavior of biomedical materials 73 (2017) 102–113.

HORABIK, J.; BECZEK, M.; MAZUR, R.; PARAFINIUK, P.; RYZAK, M.; MOLENDA, M. **Determination of the restitution coefficient of seeds and coefficients of visco-elastic Hertz contact models for DEM simulations**. Biosystems engineering 161 (2017) 106 e 119.

JAFARI, S.; KHAZAEI, J.; ARABHOSSEINI, A.; MASSAH, J.; KHOSHTAGHAZA, M. H. **Study on mechanical properties of sunflower seeds.** Electronic journal of polish agricultural universities. Food science and technology.Volume 14, 2011.

KABUTEY, A.; HERAK, D.; CHOTEBORSKY, R.; SIGALINGGING, R.; MIZERA, C. **Effect of compression speed on energy requirement and oil yield of Jatropha curcas L. bulk seeds under linear compression**. Biosystems engineering 136 (2015) 8-13.

KAUR, L., SINGH, N., SINGH SODHI, N., & SINGH GUJRAL, H. **Some properties of potatoes and their starches I. Cooking, textural and rheological properties of potatoes**. Food Chemistry, 79(2), 2002, 177-181.

KHODABAKHSHIAN, R.; EMADI, B. **Determination of the Modulus of Elasticity in Agricultural Seeds on the Basis of Elasticity Theory.** Middle-East Journal of Scientific Research 7 (3): 367-373, 2011.

KRIFA, M; GOURLOT, J. P. **Effect of Seed Coat Fragments on Cotton Yarn Strength: Dependence on Fiber Quality.** Textil Research Journal 71(11), 981-986 (2001).

MANGIALARDI, JR.G.J.; MEREDITH, W.R. **Relationship of fineness, maturity, and strength to neps and seed-coat fragments in ginned lint**. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, Trans. ASAE 33 (4). 1990.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Volume 12 de Biblioteca de Ciências Agrárias Luiz de Queiroz. FEALQ, 495p, 2005.

MENDONÇA, E. A. F. DE; AZEVEDO, S. C. DE; GUIMARÃES, S. C.; ALBUQUERQUE, M. C. DE F. **Testes de vigor em sementes de algodoeiro herbáceo**. Revista Brasileira de Sementes, vol. 30, nº 3, p.001-009, 2008.

NISHINARI, K. **Rheology, food texture and mastication**. Journal of Texture Studies, 35(2), 2004, 113-124.

ÖZGÜVEN, F.; VURSAVUS, K. **Some physical, mechanical and aerodynamic properties of pine (Pinus pinea) nuts**. Journal of Food Engineering 68 (2005) 191–196.

PONCE-GARCÍA, N.; RAMÍREZ-WONG, B.; ESCALANTE-ABURTO, A.; TORRES-CHÁVEZ, P. I.; FIGUEROA-CÁRDENAS, J. de D. **Mechanical Properties in Wheat (*Triticum aestivum*) Kernels Evaluated by Compression Tests: A Review.** Viscoelastic and Viscoplastic Materials, Cap. 2, 2016.

RAMESH, B.; REDDY, B. S.; VEERANGOUD, M.; ANANTACHAR, M.; SHARANAGOUDA, H.; SHANWAD, U. K. **Properties of Cotton Seed in Relation to Design of a Pneumatic Seed Metering Device**. Indian J. Dryland Agric. Res. & Dev. 2015 30(1): 69-76.

SIRISOMBOON, P.; KITCHAIYA, P.; PHOLPHO, T.; MAHUTTANYAVANITCH, W. **Physical and mechanical properties of *Jatropha curcas* L. Fruits, nuts and kernels**. Biosystems Engineering 97 (2), 201–207. 2007.

SOUSA, K. A. DE; RESENDE, O.; ULLMANN, R.; SMANIOTTO, T. A. DE S. **Mechanical properties of *Raphanus sativus* L. seeds.** Revista Ciência Agronômica, v. 49, n. 3, p. 437-442, jul-set, 2018. Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.

VINCENT, J.F.V. **Fracture properties of plants**. Advances in Botanical Research 17, 235–287. 1990

VOICU, G.; STEFAN, E.-M. T.; UNGUREANU, N.; CONSTANTIN, G.-A. **Some mechanical characteristics of wheat seeds obtained by uniaxial compression tests.** U.P.B. Sci. Bull., Series D, Vol. 75, Iss. 4, 2013.

CAPÍTULO II

ANÁLISE DE IMAGENS RADIOGRAFADAS ATRAVÉS DOS SOFTWARES TOMATO ANALYZER E IMAGEJ

RESUMO

ANÁLISE DE IMAGENS RADIOGRAFADAS ATRAVÉS DOS SOFTWARES TOMATO ANALYZER E IMAGEJ

A técnica de raio x vem ganhado espaço devido a rapidez, praticidade e objetividade. O equipamento de raio x é responsável por produzir imagens que, posteriormente, são processadas em software para a avaliação das características relacionadas a qualidade das sementes. A qualidade das imagens radiografadas depende do tamanho, forma, densidade e umidade das sementes, pois esses fatores interferem na absorção da radiação, assim, a intensidade e tempo de radiação aplicados durante o teste de raio x varia de acordo com a cultura. Os softwares Tomato Analyzer e ImageJ foram desenvolvidos para analisar frutos de tomates e área foliar, respectivamente. Ambos foram modificados e utilizados em vários estudos direcionados a qualidade da semente. Neste caso, objetivou-se quantificar o espaço entre tegumento e a área que comporta o eixo embrionário e cotilédone pelo software Tomato Analyzer e mensurar a espessura do tegumento de sementes de algodão através do ImageJ. Utilizou-se oito variedades de algodão: FM 940 GLT, IMA 7201 B2RF, IMA 6501 B2RF, TMG 47 B2RF, IMA 2140, IMA 2129, IMA 7501 WS, e FM 975 WS. As imagens radiografadas foram obtidas no laboratório de Análise de Sementes do Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, por intermédio do aparelho de raio x LX-60 da Faxitron X-Ray Corporation. As sementes foram fixadas em papel transparência com o auxílio de uma fita dupla face e expostas a intensidade de radiação 21 KV por 8 segundos. Para cada variedade foram utilizadas 100 sementes, com 4 repetições de 25 sementes. Em seguida, foram processadas no software Tomato Analyzer para verificar a área livre interna, sendo que, cada semente foi analisada individualmente. Esse programa gera dados da área do pericarpo que corresponde ao espaço livre interno, porém necessita de ajustes manuais para que o valor seja preciso. No software ImageJ as imagens foram processadas para medir o tamanho do tegumento de cada variedade pela opção “reto” avaliando uma semente por vez. O delineamento foi inteiramente cazualizado com 8 tratamentos (variedades) e 4 repetições de 25 sementes. Os resultados foram submetidos ao teste F para verificar a significância e a comparação de médias pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade e a correlação entre as variáveis foi gerada no programa excel®. A variável TMG 47 B2RF apontou maior área livre no interior da semente com percentual de 38,2% e a FM 975 WS, IMA 7201 B2RF e IMA 6501 apresentaram tegumentos mais espessos com 0,99, 0,98 e 0,97mm, respectivamente. A correlação das variáveis força de ruptura e espessura do tegumento apresentaram correlação positiva de 0,56 e as variáveis densidade e área livre interna exibiram correlação negativa com -0,61. Conclui-se que os softwares Tomato Analyzer e ImageJ podem ser utilizados como ferramenta na análise de imagens de sementes de algodão pelo teste de raio x, sendo que, sementes com tegumento mais espesso são menos propensas a fragmentos e o preenchimento interno das sementes está associado com a densidade, que representa seu desenvolvimento.

Palavras-chave: Raio x, morfologia, processamento, espaço interno, tegumento.

ABSTRACT

ANALYSIS OF RADIOGRAPHED IMAGES THROUGH TOMATO ANALYZER AND IMAGEJ SOFTWARE

The x-ray technique has gained space due to speed, practicality and objectivity. The x-ray equipment is responsible for producing images that are subsequently processed in software for the evaluation of characteristics related to seed quality. The quality of the radiographed images depends on the size, shape, density and humidity of the seeds, as these factors interfere in the absorption of the radiation, so the intensity and time of radiation applied during the x-ray test varies according to the culture. The Tomato Analyzer and ImageJ software were developed to analyze tomato fruit and leaf area, respectively. Both were modified and used in several studies aimed at seed quality. In this case, the objective was to quantify the space between the integument and the area containing the embryonic and cotyledon axis by the Tomato Analyzer software and to measure the thickness of the cottonseed integument through ImageJ. Eight cotton varieties were used: FM 940 GLT, IMA 7201 B2RF, IMA 6501 B2RF, TMG 47 B2RF, IMA 2140, IMA 2129, IMA 7501 WS, and FM 975 WS. The X-ray images were obtained from the Federal Goiano Institute's Rio Verde Campus Seed Analysis Laboratory, using the X-Ray X-Ray Corporation's LX-60 x-ray machine. The seeds were fixed in transparency paper with the aid of a double-sided tape and exposed to the radiation intensity 21 KV for 8 seconds. For each variety 100 seeds were used, with 4 replicates of 25 seeds. Then, they were processed in the Tomato Analyzer software to verify the internal free area, and each seed was analyzed individually. This program generates data from the perimeter area that corresponds to the internal free space, but needs manual adjustments to make the value accurate. In the ImageJ software the images were processed to measure the integument size of each variety by the "straight" option evaluating one seed at a time. The design was fully digested with 8 treatments (varieties) and 4 replicates of 25 seeds. The results were submitted to the F test to verify the significance and the comparison of averages by the Scott-Knott test at 5% probability and the correlation between the variables was generated in the excel® program. The variable TMG 47 B2RF showed a larger free area inside the seed with a percentage of 38.2% and FM 975 WS, IMA 7201 B2RF and IMA 6501 presented thicker teguments with 0.99, 0.98 and 0.97 mm respectively. The correlation of the variables strength of rupture and thickness of the integument had a positive correlation of 0.56 and the variables density and free internal area showed negative correlation with -0.61. It is concluded that the software Tomato Analyzer and ImageJ can be used as a tool in the analysis of images of cotton seeds by the x-ray test, and seeds with thicker tegument are less prone to fragments and the internal filling of the seeds is associated with density, which represents its development.

Keywords: X-ray, morphology, processing, internal space, tegument.

1 INTRODUÇÃO

A análise de imagens obtidas pelo teste de raio x tem sido muito empregada para avaliar a qualidade das sementes. Essa técnica, além de ser rápida é muito eficiente e não causa danos a semente, por causa da baixa intensidade de radiação aplicada durante o teste, assim as mesmas amostras são utilizadas em outras análises (ISTA, 2009). Após, o teste de raio x é realizado as medições de tamanho e forma das sementes através das imagens obtidas (DELL 'AQUILA, 2007).

Ramesh et. al. (2015) avaliaram as dimensões de diferentes variedades de sementes de algodão através de análise de imagens e pelo método experimental (aparelho de medição manual) e encontraram forte correlação entre as duas técnicas utilizadas para determinar o comprimento e a largura das sementes, conferindo a eficiência da nova tecnologia.

No teste de raio x, é emitido radiação de ondas curtas, sendo, capaz de penetrar nas sementes de acordo com seu tamanho, espessura, densidade e composição, o qual, determina a intensidade e tempo de radiação aplicados para dar origem a uma imagem no filme radiográfico (DOBRZAŃSKI et. al., 2003; ISTA, 2004). As imagens radiográficas são compostas de cores claras e escuras, a primeira cor ocorre devido à dificuldade da semente em absorver os raios, já as cores escuras acontecem quando os raios penetram nas sementes com mais facilidade (SIMAK, 1991).

As imagens resultantes do raio x têm sido muito utilizadas para avaliar a morofologia interna das sementes como o embrião, tegumento, endosperma, cotilédones, danos mecânicos e entre outras características (PUPIM et. al., 2008). Oliveira et. al. (2003) avaliaram os danos internos em sementes de canafístula através do teste de raio x e concluíram que essa técnica era eficaz. Javorski et. al. (2018) também utilizou o teste de raio x para detectar danos mecânicos, deterioração dos tecidos e malformação em semente de milheto. Jorge e Ray (2005) aplicaram a tecnica de raio x para dectar sementes cheias e vazias de guaiúle. Sood et. al. (2016) detectou rachaduras internas em sementes de feijão por meio de imagens radiografadas. Em outro estudo, Zhao et, al. (2016) analisaram a morfologia interna de sementes de tomate através das imagens obtidas pela técnica de raio x.

Existem alguns softwares que vem ganhando espaço e confiança para processar imagens radiografadas e analisar a qualidade das sementes, no entanto, a escolha do programa dependerá do objetivo da pesquisa. Destaca-se os softwares Tomato Analyzer e o ImageJ, pois, além de estarem disponíveis para download gratuito, são fáceis de manuseá-los e já foram empregados em vários estudos relacionados a análise de sementes. No entanto, o software TA não possui todas as ferramentas necessárias para esse estudo, por isso utilizou-se também o ImageJ.

O software Tomato Analyzer (TA) desenvolveu-se por pesquisadores da “The Ohio State University”, no Estados Unidos, a princípio foi elaborado para avaliar frutos de tomate, depois adaptou-se para analisar sementes e outros objetos vegetais (BREWER et al., 2007). O programa avalia 37 propriedades e necessita trabalhar com imagens de boa resolução, determinando automaticamente os contornos dos objetos avaliados. Os dados e as imagens são salvos com todos os valores de cada atributo ou escolhe-se arquivar apenas a média geral, incluindo o desvio padrão, para cada objeto analisado (RODRÍGUEZ et. al., 2010).

Diversos pesquisadores obtiveram sucesso com o uso do software Tomato Analyzer, como Marcos Filho et al., (2010) e Wendt et al., (2014) que utilizaram o software para análise de imagens radiografadas. Fernandes et. al. (2016) avaliaram a qualidade das sementes de frutos de fisális e determinaram o percentual entre a área do embrião e a cavidade interna das sementes através do software TA. Conforme descrito por Liu et. al. (1993), a área livre no interior de uma semente corresponde ao espaço existente entre o embrião e o tegumento.

Já o software ImageJ foi desenvolvido por Wayne Rasband no National Institute of Mental Health, Estados Unidos. Inicialmente, utilizava-o para avaliar a área foliar, em seguida, foi alterado para analisar sementes. O ImageJ tem a capacidade de processar as imagens e analisar características de diversos objetos, e , por fim, os dados são salvos em um arquivo do excel®. Noronha et. al. (2018) utilizaram o software ImageJ para analisar a morfologia interna de sementes de moringa. Silva et. al. (2013) também usaram o software ImageJ para avaliar sementes de Acca sellowiana O. Berg.

Além da grande importância relacionada as análises de raio x, a densidade das sementes de algodão é um possível indicador de formação de fragmentos de sementes (BARGERON e GAMER, 1991; MANGIALARDI et. al., 1993). Esse

provável está relacionado com a maturidade das sementes, ressaltando-se que sementes imaturas são fontes de fragmentos (KRIEG e CAROLL, 1978).

Diante do exposto, Objetivou-se obter imagens através do teste de raio x e analisá-las nos softwares Tomato Analyzer e ImageJ para determinar a área livre no interior das sementes e mensurar a espessura do tegumento em diversas variedades de algodão, respectivamente. Além do mais, as variedades de algodão foram classificadas em classes de densidades e por fim os dados foram correlacionados para verificar a associação entre as variáveis - força e deformação de ruptura, densidade, espaço vazio no interior das sementes e espessura do tegumento.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização das variedades de algodão

Foram utilizadas oito variedades de algodão, disponibilizadas pelo IMAmt (Instituto Mato-grossense do Algodão): FM 940 GLT, IMA 7201 B2RF, IMA 6501 B2RF, TMG 47 B2RF, IMA 2140, IMA 2129, IMA 7501 WS, e FM 975 WS.

A área experimental pertence ao IMAmt localizado no município de Primavera do Leste – MT, sendo a região caracterizada por clima Tropical quente e subúmido Aw, com precipitação média anual de 1.784mm e temperatura média anual de 22°C. A colheita do algodão foi realizada em agosto de 2017 e as sementes foram descaroçadas por um descaroçador experimental com 10 serras.

2.2 Umidade das sementes de algodão

O teste de umidade foi realizado no laboratório de química da Universidade Federal de Mato Grosso, campus Rondonópolis. As sementes tiveram sua umidade determinada pelo método de estufa a 105 ºC por 24 horas de acordo com as Regras para Análise de Sementes, em triplicata, segundo a expressão analítica (BRASIL, 2009):

$$\% \text{ Umidade} = \frac{(P - p)}{(P - t)} \times 100$$

Onde:

P = peso inicial (peso do recipiente + semente úmida);

p = peso final (peso do recipiente + semente seca);

t = tara (peso do recipiente).

2.3 Densidade das sementes de algodão

2.3.1 Deslintamento químico

Para determinação da densidade das sementes de algodão foi necessário realizar o deslintamento químico das sementes, com oito tratamentos e quatro repetições de 25 sementes. Cada amostra foi colocada em um becker de 50 ml representando uma repetição, em seguida, foram inseridas dentro de uma capela para a adição do ácido sulfúrico e com o auxílio de um bastão de vidro as sementes foram agitadas por volta de 3 minutos até que todo o linter fosse dissolvido. Posteriormente, as sementes foram lavadas com água corrente e postas para secar em temperatura ambiente (Figura 8) (COSTA e SANTOS NETO, 1940).

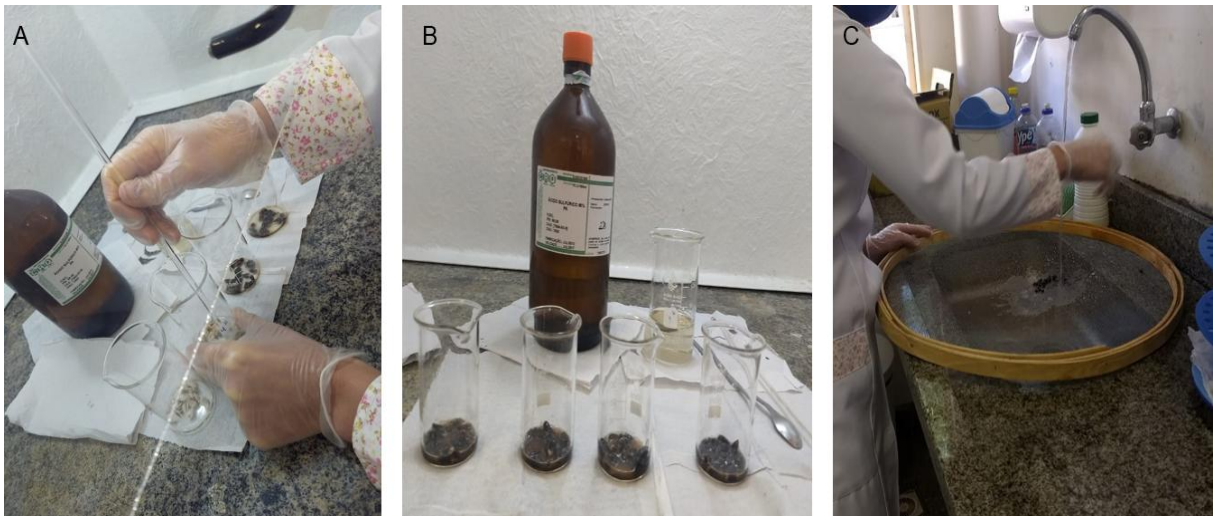


Figura 8 - Deslintamento de sementes de algodão. A: agitação das sementes com auxílio de um bastão de vidro; B: sementes deslitandas; C: Lavagem das sementes.

2.3.2 Classificação das sementes de algodão em classes de densidades

As sementes foram separadas em quatro classes de densidade através de três soluções. A primeira solução era composta apenas por água destilada (1,0 g/cm^3), a segunda e a terceira solução foram preparadas com sacarose e água

destilada na proporção de 50 g de açúcar refinado para 500 ml de água (0,90 g/cm^3) e 75 g de açúcar refinado para 500 ml de água (1,05 g/cm^3), respectivamente.

Cada repetição foi inserida na solução com água e as sementes que flutuaram foram transferidas para a solução de densidade 0,90 g/cm^3 e as que emergiram foram colocadas na terceira solução com densidade 1,05 g/cm^3. Logo, as sementes que flutuaram na segunda solução representaram a primeira classe com densidade menor que 0,90 g/cm^3 e as que mergulharam constituem a segunda classe com densidade entre 0,9 a 1,0 g/cm^3. Em sequência, as que flutuaram na terceira solução se enquadram na terceira classe entre 1,0 a 1,05 g/cm^3 e as que afundaram compõem a quarta classe com densidade maior que 1,05 g/cm^3 (Figura 9) (PIZZINATTO et. al., 1991).

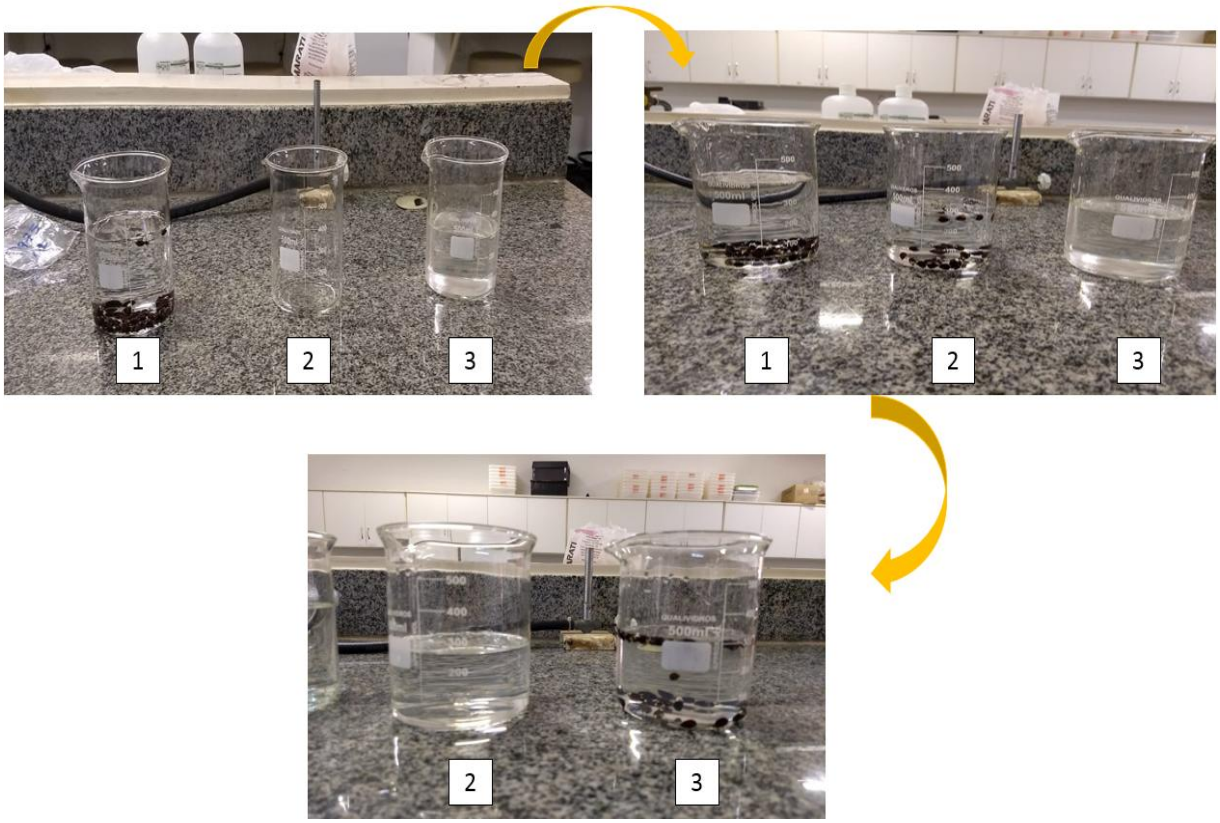


Figura 9 - Passo a passo da determinação das classes de densidade das sementes de algodão.

2.4 Raio X

A obtenção das imagens por raio x foi realizada no Laboratório de Análise de Sementes do Instituto Federal Goiano – IF Goiano – Campus Rio Verde, com o auxílio de um aparelho de raio x LX-60 da Faxitron X-Ray Corporation (Figura 10).

Figura 10 - Raio x, LX-60 da Faxitron X-Ray Corporation. Fonte: Kelly Telles.

As sementes de algodão foram disponibilizadas pelo Instituo Mato-grossense do Algodão (IMAmt) e pertenciam a oito variedades: FM 940 GLT, IMA 7201 B2RF, IMA 6501 B2RF, TMG 47 B2RF, IMA 2140, IMA 2129, IMA 7501 WS, e FM 975 WS, as quais estavam envolvidas com linter. Por isso, passaram por uma pré-limpeza manual e posteriormente foram colocadas em papel transparência com fita dupla face e numeradas sequencialmente (Figura 11).

Figura 11 - Amostras em folha transparência e devidamente identificadas. Fonte: Kelly Telles.

As amostras foram expostas a intensidade de radiação 21 KV por 8 segundos (Figura 12). Essa intensidade e tempo foram escolhidos através de testes utilizando diferentes intensidades e tempo até a obtenção de imagens com boa qualidade e que correspondesse à realidade para todos os tratamentos.

Figura 12 - Execução do teste Raio-x. Fonte: Kelly Telles.

Para a padronização da leitura do teste foram utilizadas 100 sementes de cada tratamento, isto é, de cada variedade, com 4 repetições de 25 sementes (Figura 13).

Figura 13 - Visão geral das repetições de sementes de algodão analisadas. Fonte: Kelly Telles.

As imagens foram processadas na Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Rondonópolis, para identificação da área livre no interior da semente pelo software Tomato Analyzer e a mensuração da espessura do tegumento através do ImageJ.

2.5 Análise de imagem pelo software Tomato Analyzer

As imagens obtidas do teste de raio x foram análisadas pelo software Tomato Analyzer para determinar o espaço livre entre o tegumento da semente e a amêndoa – área que corresponde o eixo embrionário e cotilédones (Figura 14).

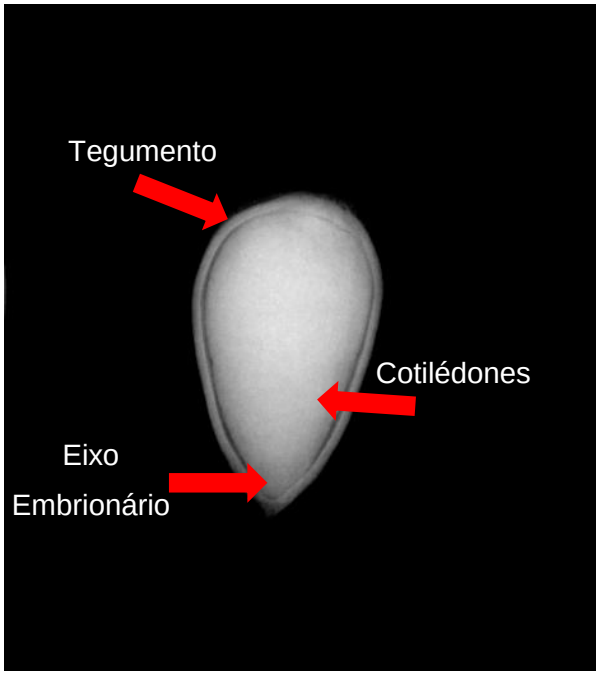


Figura 14 - Identificação da semente de algodão. Fonte: autor.

A seguir, será apresentado o passo a passo desta análise realizada no TA, de acordo, com o manual descrito por Rodríguez, et. al. (2010). O primeiro passo foi a instalação do software, neste caso utilizou-se o Tomato Analyzer 3.0. Logo após, iniciou-se o programa e selecionou a opção “abrir imagem” (Figura 15). Cada imagem representa uma repetição com 25 sementes, sendo que cada semente foi analisada individualmente.

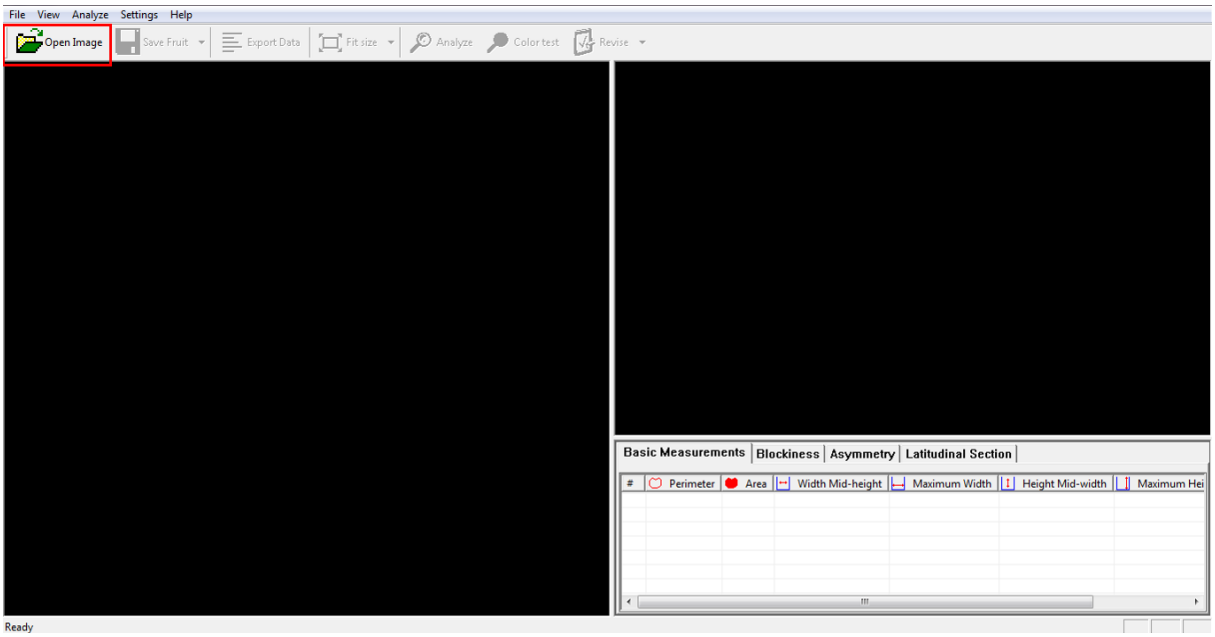


Figura 15 - Tela inicial do software Tomato Analyzer indicando a aba “abrir imagem”.

Selecionou-se a opção “analisar” e as sementes foram contornadas por uma borda amarela determinando o limite do objeto em estudo (Figura 16).

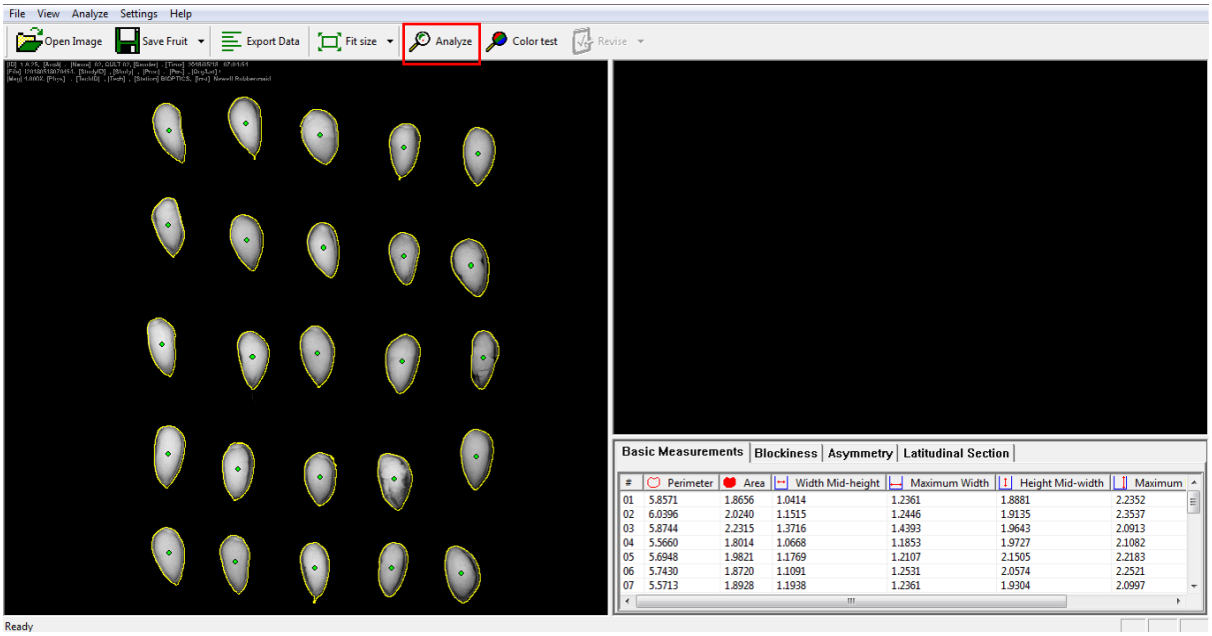


Figura 16 - Análise de imagem pelo software Tomato Analyzer.

Na aba “seção latitudinal” escolheu-se a opção “área do pericarpo” e o próprio programa delimitou a área da amêndoa que compreende o eixo embrionário e cotilédone - cor azul claro, porém esse contorno é aproximado e necessitou de ajuste manual em cada semente (Figura 17).

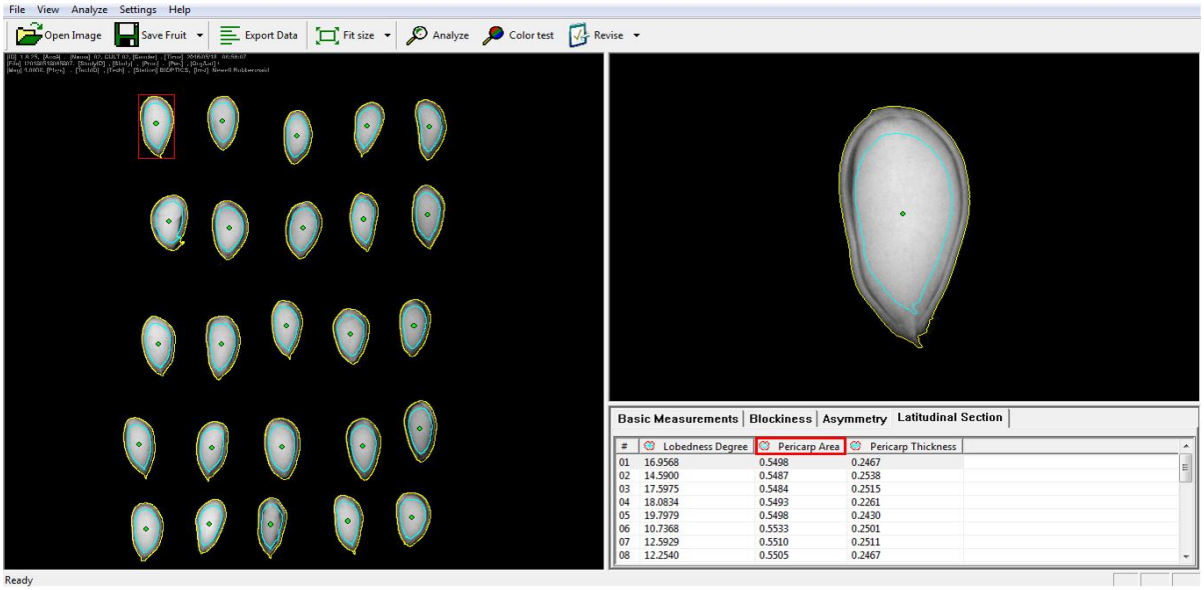


Figura 17 - Ajuste da área do eixo embrionário e cotilédone, 1° passo “área do pericarpo” (Pericap Area).

Para a área da amêndoa ser mais precisa, no menu “revisar” em “limite padrão do pericarpo”, possibilitando aumentar esse contorno para facilitar os ajustes (Figura 18).

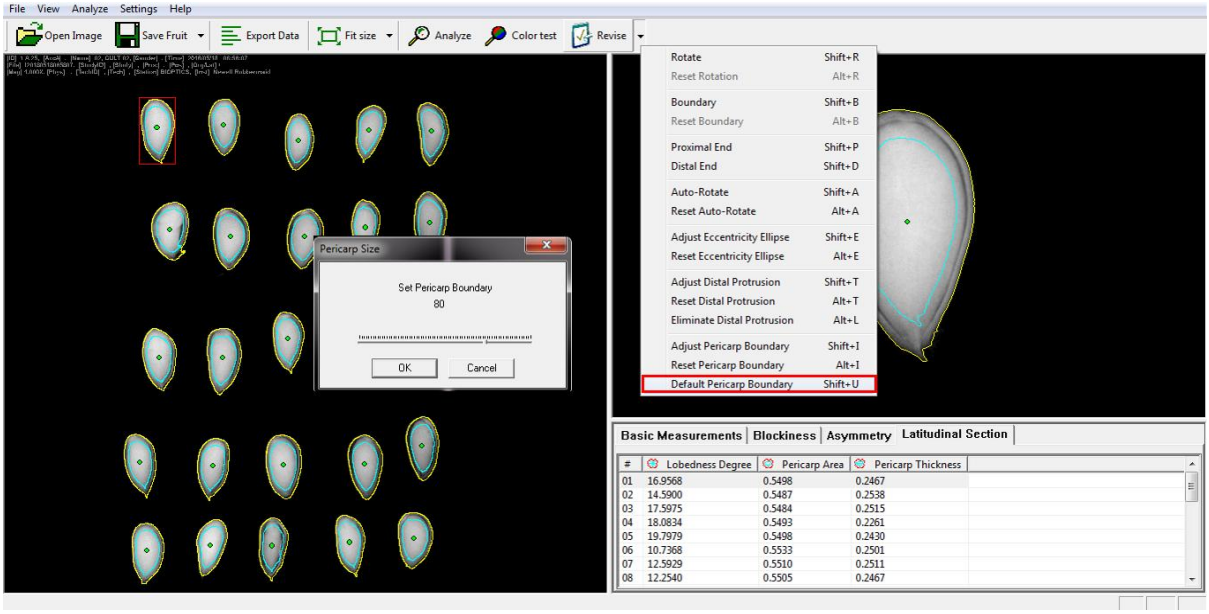


Figura 18 - Ajuste da área do eixo embrionário e cotilédone, 2° passo “limite padrão do pericarpo” (Default Pericarp Boundary).

Por fim, novamente na aba “revisar” selecionou-se “ajustar o limite do pericarpo” e realizou as adaptações finais (Figura 19).

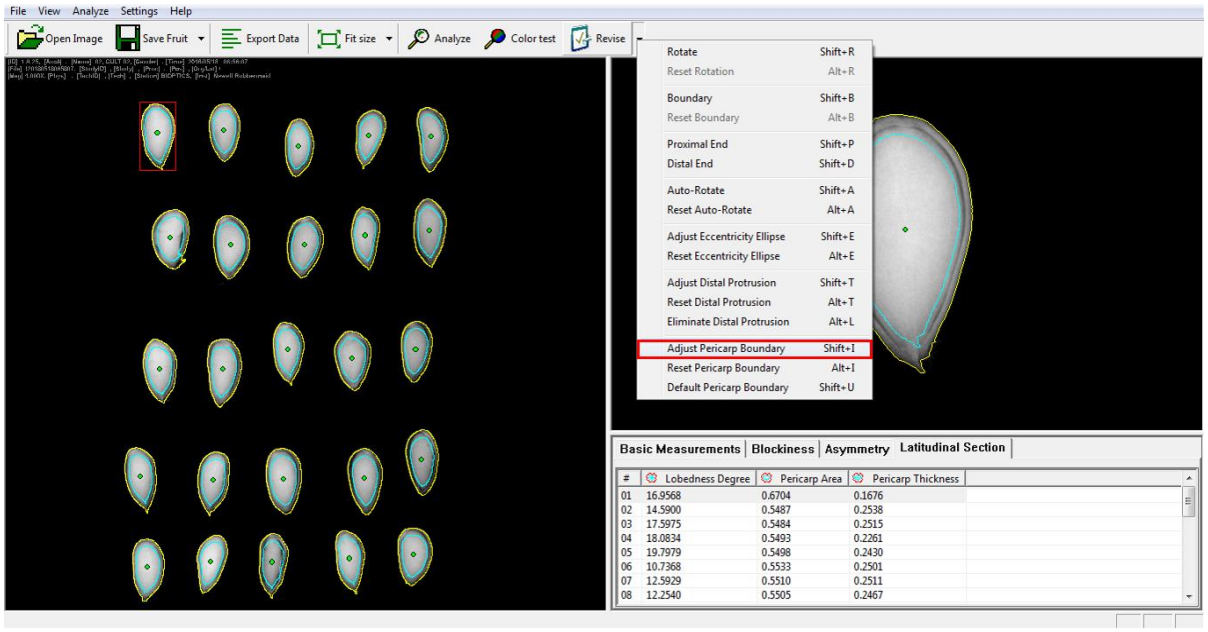


Figura 19 - Ajuste da área do eixo embrionário e cotilédone, 3° passo “ajustar o limite do pericarpo” (Adjust Pericarp Boundary).

Após fazer a correção do contorno da área da amêndoa, as imagens foram salvas na pasta desejada e o próprio programa elaborou uma planilha no excel® com todos os dados desejados expresso em números decimais (MARCOS FILHO et. al., 2010).

2.6 Análise de imagem pelo software ImageJ

As mesmas imagens radiografadas foram utilizadas para verificar a espessura do tegumento da semente através do software ImageJ, baseado em um estudo realizado por Souza Neto (2009) para avaliar a área foliar.

Segue as etapas da análise: após a instalação e abertura do programa, abriu-se a imagem que desejava analisar – formato da imagem: Tagged Image File Format (TIFF) (Figura 20).

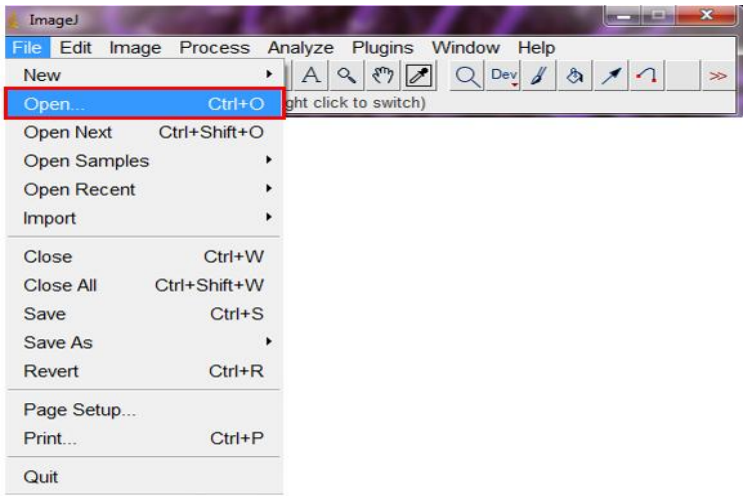


Figura 20 - Escolha da imagem para análise no software ImageJ.

Posteriormente, converteu-se a imagem para o tipo escala de cinza 8 *bits* como está representado na figura 21.

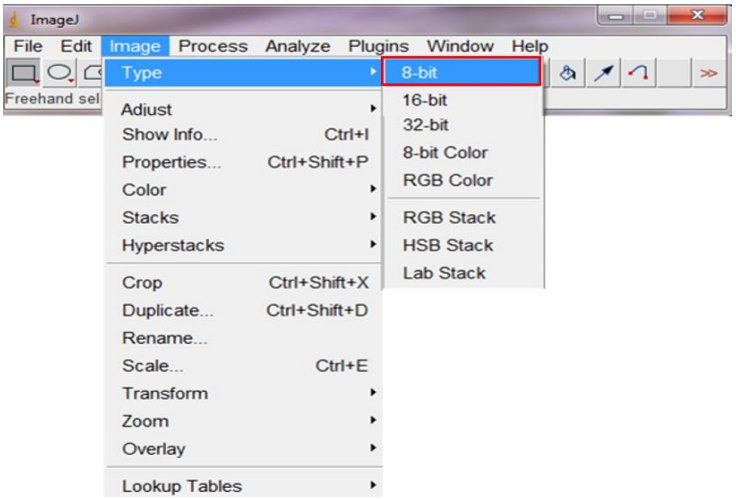


Figura 21 - Conversão da imagem para escala de cinza.

Foi necessário ampliar a imagem para facilitar a medição, já que cada semente é analisada separadamente. Selecionou-se a opção “reto” para medir a espessura do tegumento da semente (Figura 22).

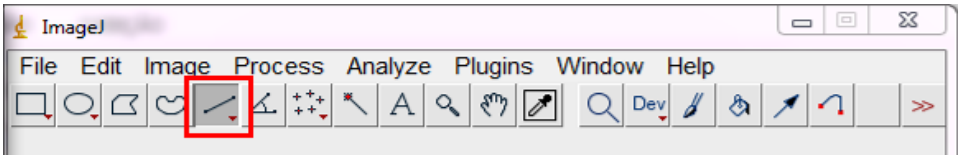


Figura 22 - Opção “reto” (Straight) para medir a espessura do tegumento.

.

Posteriormente, optou-se pela opção “mensurar” e os dados são gerados em uma nova janela (Figura 23). Por fim, os dados foram salvos e enviados para uma planilha no excel®.

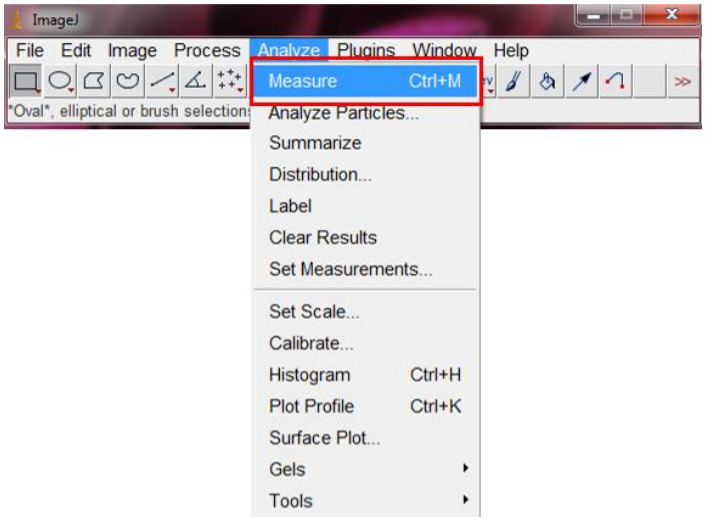


Figura 23 - Análise dos dados.

2.7 Delineamento experimental

Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado, utilizando 8 variedades de sementes de algodão com linter, com 4 repetições de 25 sementes, totalizando 32 parcelas. Todos os resultados foram submetidos à análise da variância (teste F), sendo a comparação de médias feita pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. E posteriormente, foi realizado a correlação de Pearson no programa Excel® entre as variáveis analisadas (força, deformação, densidade, espaço vazio no interior da semente e espessura do tegumento).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo da morfologia das sementes envolve três estruturas principais: o revestimento, endosperma e o embrião. Além das características de cada cultura, alguns fatores podem interferir no formato e tamanho dessas estruturas, como a presença de fissuras no revestimento da semente que facilitam a entrada de agentes externos; a elevação da temperatura que diminui a umidade das sementes reduzindo o tamanho do embrião e, consequentemente, aumentando a cavidade interna (AHMED et. al., 2018; JYOTI e MALIK, 2013).

A umidade das sementes de algodão variou entre 8,23 a 9,15 %, sendo representadas pelas variedades IMA 7501 WS e TMG 47, respectivamente (Tabela 3). Segundo, Simak (1991), a umidade das sementes interfere nas imagens radiografadas, já que sementes com menor umidade melhora a densidade ótica, possibilitando a identificação das estruturas internas das sementes. Neste estudo, houve pouca variação de umidade entre as variedades analisadas.

Tabela 3 - Teor de umidade inicial das sementes de algodão.

Variedades	Umidade (%)
IMA 7501 WS	8,23
IMA 7201B2RF	8,33
FM 940 GLT	8,36
IMA 2129	8,42
IMA 2140	8,47
FM 975 WS	8,48
IMA 6501 B2RF	8,56
TMG 47 B2RF	9,15

3.1 Classes de densidades das sementes de algodão

As variedades de algodão, que correspondem aos tratamentos, foram classificadas em quatro classes de densidade, de acordo com as soluções (Tabela 4).

Tabela 4 - Classes de densidade das sementes de algodão.

Variedades	Classes	Densidade (g/cm^3)
TMG 47 B2RF	1	< 0,9
FM 940 GLT	1	< 0,9
IMA 6501 B2RF	1	< 0,9
IMA 7201 B2RF	3	1,0 – 1,05
IMA 2140	3	1,0 – 1,05
IMA 2129	4	> 1,05
IMA 7501 WS	4	> 1,05
FM 975 WS	4	> 1,05

As variedades TMG 47 B2RF, FM940 GLT e IMA 6501 B2RF apresentaram baixa densidade (< 0,9 g/cm^3) e as variedades IMA 2129, IMA 7501 WS e FM 975 WS exibiram sementes mais densas, logo, mais de 70 % das variedades indicaram densidade acima de 1,0 g/cm^3. Bargeron e Gamer (1991) estudaram 20 tipos de variedades de algodão e relataram que em média 45 % das sementes flutuaram representando densidade média próxima de 1,0 g/cm^3. Mangialardi et. al. (1993) testaram 6 variedades de algodão, na qual mais de 50 % das sementes

apresentaram baixa densidade. Estes estudos apontaram a possível influência da densidade das sementes com a formação de fragmentos do tegumento, na qual sementes menos densas tendem a formar SCF.

3.1 Área livre no interior da semente

O tempo e a intensidade de radiação testadas possibilitaram a visualização das estruturas das sementes. As imagens radiografadas permitiram a identificação do estado interno atual das sementes. E após serem analisadas no software Tomato Analyzer, identificou-se a área livre no seu interior. A figura 24A apresenta uma variedade de algodão com bom desenvolvimento eixo embrionário e cotilédone, onde ocupa praticamente todo espaço interno da semente. Já a Figura 24B, exibe malformação e, consequentemente, maior o percentual de área livre.

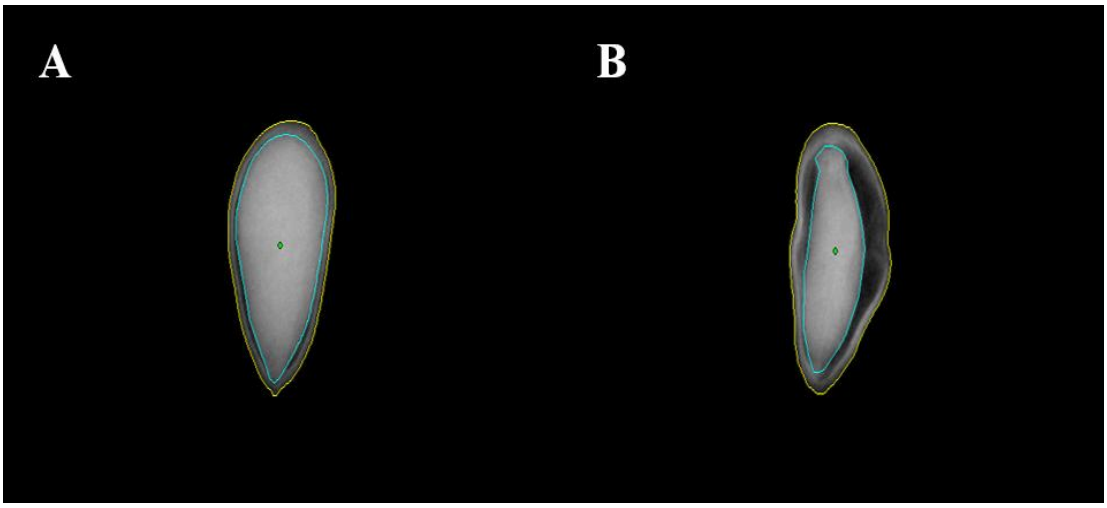


Figura 24 - A: Semente preenchida. B: Semente com alto percentual de área livre.

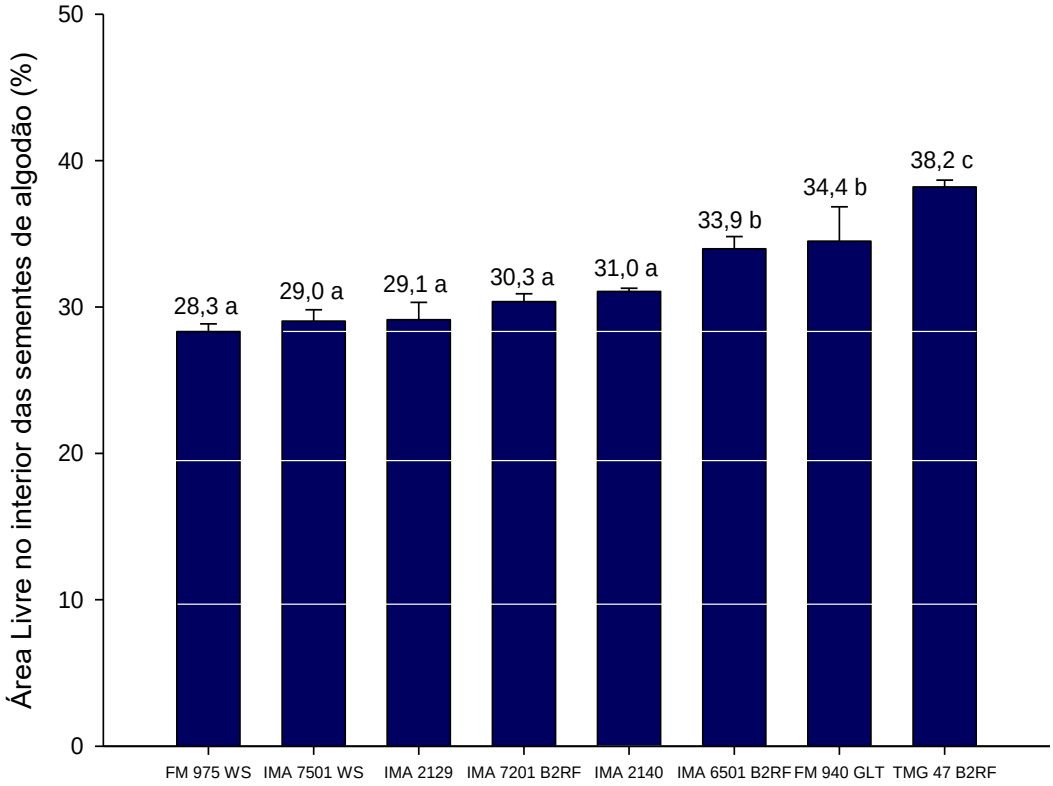
O quadro da ANOVA está representado na Tabela 5. Observou-se que houve diferença significativa a 5 % de probabilidade pelo teste F para o espaço livre interno das sementes de algodão.

Tabela 5 - Análise de Variância para o espaço livre interno das sementes de algodão.

FV	GL	QM
		Espaço Livre
Tratamento	7	47,076*
Erro	24	4,556
Total	31	
CV (%)		6,71

* significativo, a nível de 5 % pelo teste F.

A figura 25 apresenta o teste de média das variedades de algodão em relação a área livre presente no interior das sementes.



Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott ao nível 5 % de probabilidade.

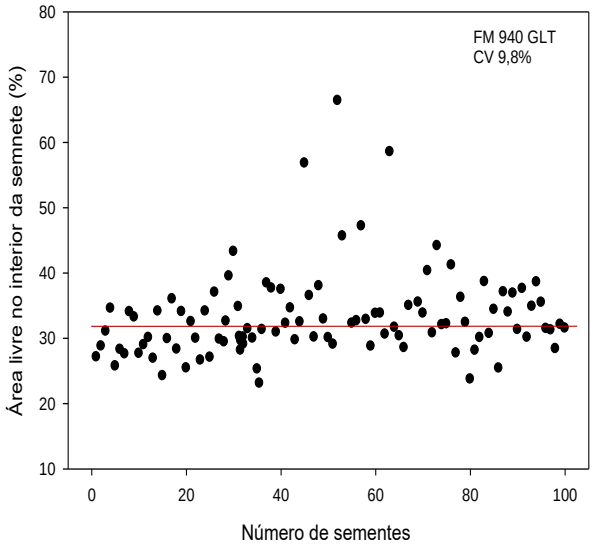
Figura 25 - Análise do teste de médias referente ao percentual de área livre no interior das sementes de algodão das variedades.

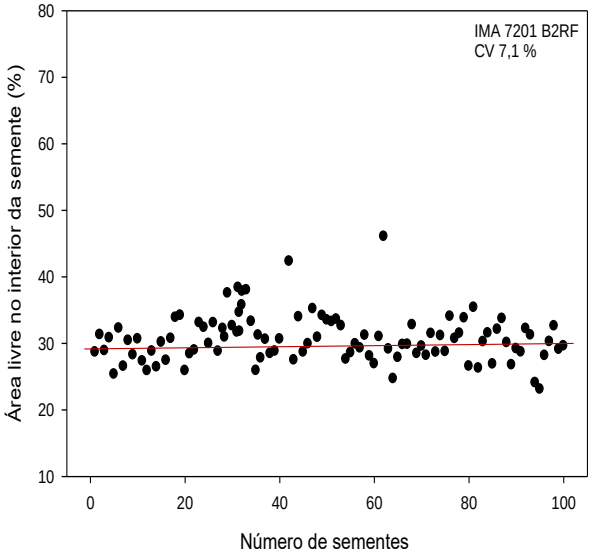
Houve diferença significativa entre as variedades de algodão analisadas, sendo que a variedade TMG 47 B2RF apresentou maior percentual de área livre no interior das sementes, com 38,2 %. E a variedade FM 975 WS apontou maior preenchimento no interior da semente com média de 28,32 %.

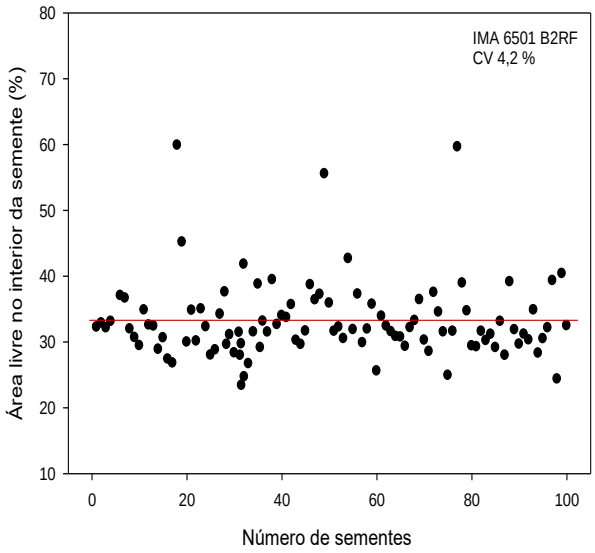
Os dados de área livre concordam com Marcos Filho et. al. (2010) que testaram a eficiência do software Tomato Analyzer para verificar o desenvolvimento do embrião em sementes de algodão e também encontraram diferença nos valores de percentual de área livre no interior da semente que variou entre 14 % a 59 %. Gomes Junior (2010) também utilizou o software Tomato Analyzer para determinar o grau de desenvolvimento do embrião em sementes de mamona e obtiveram valores de 71% a 87 % da área do embrião.

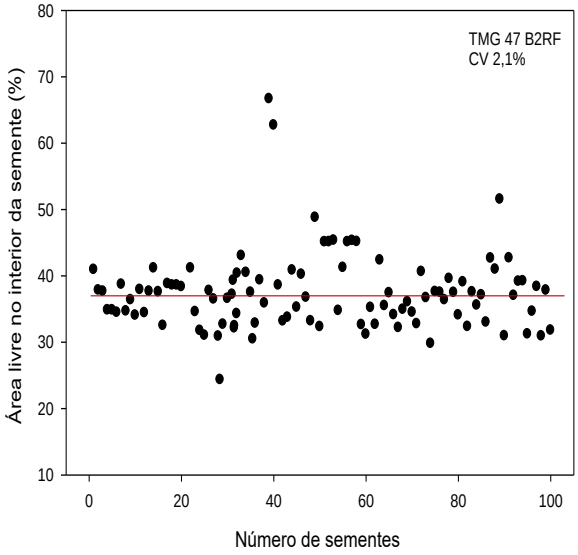
A área livre interna, compreendida entre o tegumento e a amêndoa (eixo embrionário + cotilédone), é composta por partes menos densas que não contêm protoplasma celular e, assim não conseguem absorver os raios emitidos durante a análise, possibilitando melhor a identificação das estruturas da semente (DELL 'AQUILA, 2007). Além do mais, o tamanho do espaço livre dependerá do desenvolvimento do embrião e quantidade de reservas, crucial durante a fase de formação e maturação da semente e da variabilidade climática da região e a genética da planta (AMARAL et. al., 2011; RABBANI et. al., 2013; PULLMAN e BUCHANAN, 2003).

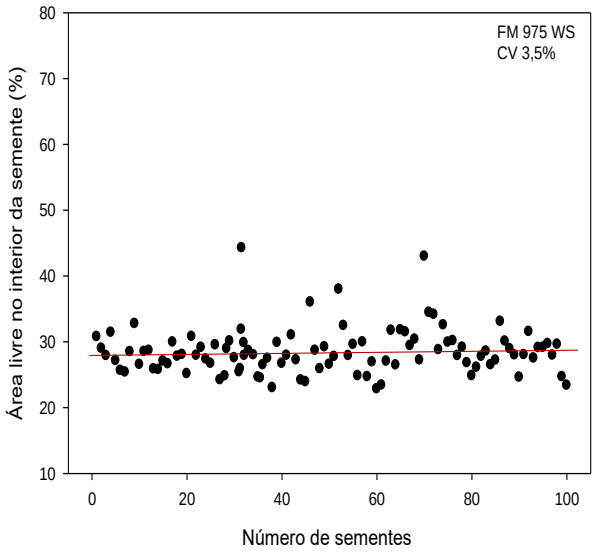
Realizou-se também a distribuição dos valores de área livre no interior das sementes para cada variedade de algodão (Figura 26) e constatou-se que as variedades FM 940 GLT, IMA 6501 B2RF, TMG 47 B2RF apresentaram valores acima de 30 % de área livre no interior da semente e as demais variedades demonstraram valores abaixo de 30 %. Sementes que apresentam maior espaço vazio interno podem indicar maior tendência de formação de SCF, já que a semente terá apenas o revestimento como proteção contra os impactos mecânico.

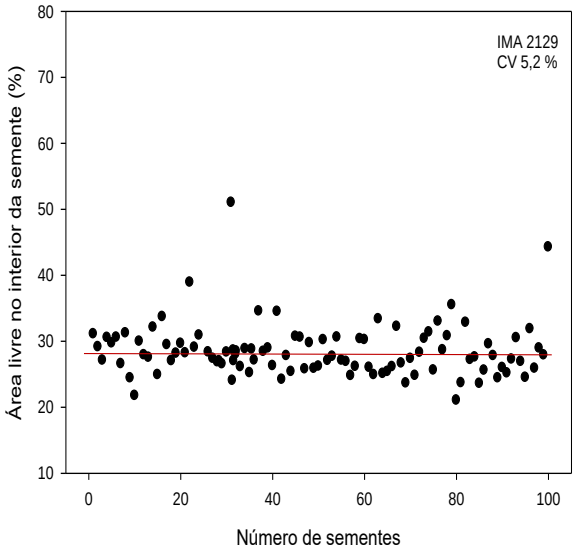

FM 940 GLT
CV 9,8%
Área livre no interior da semnete (%)
Número de sementes


IMA 7201 B2RF
CV 7,1 %
Área livre no interior da semente (%)
Número de sementes


IMA 6501 B2RF
CV 4,2 %
Área livre no interior da semente (%)
Número de sementes


TMG 47 B2RF
CV 2,1%
Área livre no interior da semente (%)
Número de sementes


FM 975 WS
CV 3,5%
Área livre no interior da semente (%)
Número de sementes


IMA 2129
CV 5,2 %
Área livre no interior da semente (%)
Número de sementes

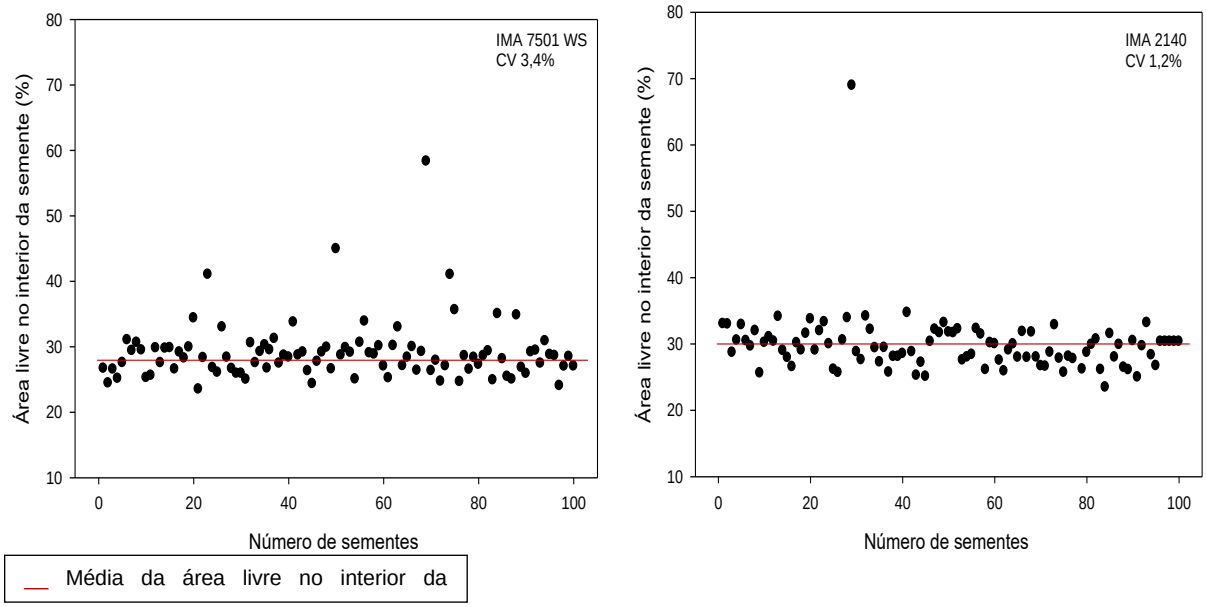


Figura 26 - Distribuição da área livre no interior da semente (%) em oito variedades de algodão.

Estes resultados são semelhantes com estudo realizado por Noronha et. al. (2018) em que analisaram a morfologia interna de sementes de moringa por meio de imagens de raio x e relataram que a distribuição de área livre no interior das sementes para os lotes 1, 2 e 4 tiveram valores abaixo de 20 % e para o lote 3 obteve valores acima dos 20 %. Silva et. al. (2013) observaram que a maioria das sementes Acca sellowiana O. Berg dos lotes 1 e 2 tiveram valores de área livre inferiores a 10 % e o lote 3 apresentaram valores acima de 10 %.

A figura 26 apresenta a linha média da área livre no interior da semente, em que representa a variabilidade existente dentro de cada variedade, isto é, quanto mais próximo os pontos estiverem da linha de média menor a variação dos dados e quanto mais distante estiver da linha maior a alternância. Logo, notou-se baixa variabilidade, na qual a variedade IMA 2140 apresentou maior consistência e uniformidade dos dados relacionados a área livre no interior das sementes com coeficiente de variação (CV %) de 1,3 % e a variedade FM 940 GLT exibiu maior instabilidade dos pontos com CV de 9,8 %.

3.2 Espessura do tegumento das sementes

O tegumento, camada externa, é umas das estruturas fundamentais de uma semente, pois, além de ser responsável pela proteção, regulação e trocas gasosas, possui elevado teor de lignina que confere maior resistência e rigidez ao seu revestimento. A concentração de lignina no tegumento pode variar de acordo com a variedade e condições ambientais (BARAMPAMA e SIMARD, 1993).

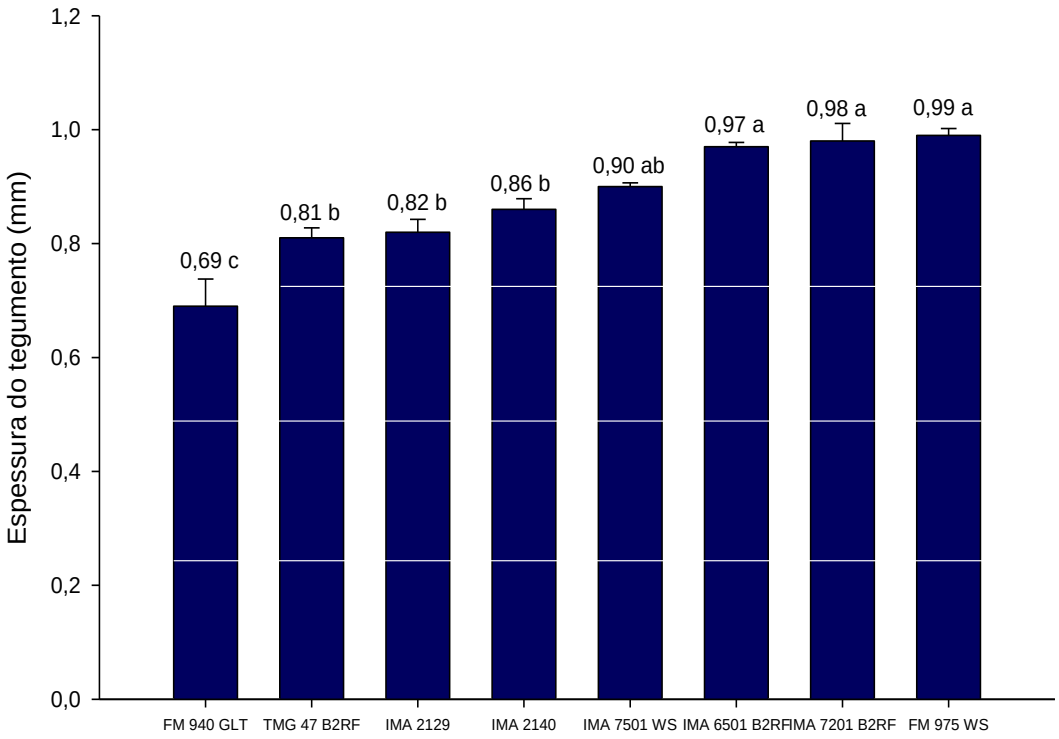
A seguir, na tabela 6, está apresentado o resumo da análise de variância em relação a espessura do tegumento das sementes de algodão. Constatou-se diferença significativa a 5% para esta variável, de acordo, com o teste F.

Tabela 6 - Análise de Variância para a espessura do tegumento das sementes de algodão

FV	**GL**	**QM**
		Espessura do tegumento
Tratamento	7	0,044*
Erro	24	0,002
Total	31	
CV (%)		5,44

* significativo, a nível de 5 % pelo teste F.

As variedades de algodão FM 975 WS, IMA 7201 B2RF e IMA 6501 apresentaram maiores espessuras dos tegumentos com médias de 0,99, 0,98 e 0,97 mm, respectivamente (Figura 27). Já a variedade FM 940 GLT demonstrou ser composta por tegumento mais fino diferenciando-se de todas as variedades mensuradas, logo, essa possui revestimento frágil sendo mais susceptível a fragmentação de sementes quando submetida aos processos de produção.



Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Scott-Knott ao nível 5% de probabilidade.

Figura 27 - Espessura média do tegumento das sementes das variedades de algodão.

Olivo et. al. (2011) mensuraram a espessura do tegumento em diferentes cultivares de feijão e relacionaram com alguns atributos físicos das sementes, onde obtiveram diferença das médias de espessura do tegumento e concluíram que a espessura do revestimento está ligada as características relacionadas ao peso e tamanho das sementes.

Perea-Flores et. al. (2011) avaliaram as propriedades químicas e físicas da semente de mamona (*R. Communis)* através de técnicas de microscopia e obtiveram pouca variação na espessura do revestimento das sementes com média de 0,2819 mm. Outro estudo, realizado por Cárcel et. al. (2012) com tegumento de pinhão exibiram dados da espessura média variando de 1,21 a 1,25 mm.

3.3 Coeficiente de correlação de Pearson

Aplicou-se o coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis analisadas (força de ruptura, deformação, densidade, área livre no interior da semente e espessura do tegumento) no programa excel®. Notou-se correlação significativa entre os valores de força de ruptura e de espessura do tegumento da semente com 0,56 e para a densidade e espaço vazio com correlação negativa de -0,61, já as demais variáveis não exibiram correlação significativa (Tabela 7).

Tabela 7 - Coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis força de ruptura, deformação, densidade, espaço vazio no interior das sementes e espessura do tegumento.

	Força	Deformação	Densidade	Espaço Vazio
Deformação	0,15^{ns}	1		
Densidade	0,37^{ns}	0,23^{ns}	1	
Espaço Vazio	0,30^{ns}	-0,22^{ns}	-0,61*	1
Espessura	0,56*	0,13^{ns}	0,35^{ns}	-0,12^{ns}

* significativo, a nível de 5 % pelo teste t.
^{ns} não significativo, a nível de 5 % pelo teste t.

Assim, neste estudo observamos que a força de ruptura está relacionada com a espessura do tegumento. Logo, pode-se indicar que sementes com tegumentos mais espessos apresentam maior resistência quando submetida a uma determinada força, isto é, aos processos mecânicos. Isso porque, a presença de lignina na camada paliçada caracteriza rigidez e resistência ao revestimento.

Os resultados deste estudo concordam com Koyuncu et. al. (2004) que estudaram as propriedades mecânicas de algumas variedades de nozes e o efeito da espessura da casca sob a força de compressão, no qual, concluíram que a força necessária para ruptura aumentou linearmente com a espessura da casca.

Walton e Wallace (2005) relataram que a quebra do embrião de macadâmia está totalmente relacionada com a cultivar, no que diz respeito ao desenvolvimento e estrutura da camada de cutícula. Xavier (1992) abordaram que as características do revestimento da semente como o tamanho, forma, espessura e a textura são importantes nos procedimentos que envolvem a quebra da casca.

A relação entre densidade e espaço vazio é justificada pelo baixo desenvolvimento embrionário e ausência de tecidos de reservas nutritivas

representando áreas escuras obtidas pelo raio-x, ou seja, quanto mais imatura a semente, menor a densidade, maior a área livre observada no seu interior e maiores serão as chances de formar fragmentos (BARTEE e KRIEG,1974; MANZOOR et. al., 2007).

4 CONCLUSÕES

Os softwares Tomato Analyzer e ImageJ foram eficazes na determinação do espaço vazio no interior das sementes e para mensurar a espessura do tegumento, respectivamente.

Sementes com tegumentos mais espessos possuem mais resistência à ruptura durante os processos mecânicos produzindo menos fragmentos.

Sementes com alta maturidade indicam maior densidade e menor área livre no seu interior e, consequentemente, menores chances de formação de fragmentos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É essencial estudar as características das sementes e verificar os fatores que interferem o seu desenvolvimento. Em programas de melhoramento deve-se evitar produzir sementes com revestimentos frágeis que são suscetíveis a danos durante o ciclo de produção do algodão, principalmente, no processo de beneficiamento dando origem aos SCF. Já que esses fragmentos causam ruptura do fio e dificuldade de tingimento nos processos da indústria têxtil.

6 REFERÊNCIAS

AHMED, M. R.; YASMIN, J.; COLLINS, W.; CHO, B. K. **X-ray CT image analysis for morphology of muskmelon seed in relation to germination**. Biosystems engineering 175 (2018) 183 e193.

AMARAL, J. B. DO; MARTINS, L.; FORTI, V. A.; CÍCERO, S. M.; MARCOS FILHO, J. **Teste de raios x para avaliação do potencial fisiológico de sementes de ipê-roxo**. Revista Brasileira de Sementes, vol. 33, nº 4 p. 601 - 607, 2011.

BARAMPAMA, Z; SIMARD, R.E. Nutrient composition, protein quality and antinutritional factors of some varieties of dry beans (*Phaseolus vulgaris*) grown in Burundi. **Food Chemistry**, Barking, v.47, n.2, p.159-167, 1993.

BARGERON, J. D.; GAMER, T.H. **Cottonseed fragment contamination and fabric imperfections**. Transactions of the ASAE. Vol 34(4): July-August 1991.

BARTEE, S. N.; KRIEG, D. R. **Cottonseed Density: Associated Physical and Chemical Properties of 10 Cultivars**. Agronomy Journal Abstract. Vol. 66 No. 3, p. 433-435. 1974.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília : Mapa/ACS, 2009. 399 p.

BREWER, M.T.; MOYSEENKO, J.B.; MUNFORTE, A.J.; VAN DER KNAAP, E. **Morphological variation in tomato: a comprehensive study of quantitative trait loci controlling fruit shape and development**. Journal of Experimental Botany, v.58, n.6, 2007.

CÁRCEL, L. M.; BOM, J.; ACUÑA, L.; NEVARES, I.; DEL ÁLAMO, M.; CRESPO, R. **Moisture dependence on mechanical properties of pine nuts from Pinus pinea L**. Journal of Food Engineering 110 (2012) 294–297.

COSTA, A.S.; SANTOS NETO, J.A. **O deslintamento das sementes de algodão pelo ácido sulfúrico em comparação com outros tratamentos**. Revista de Agricultura**,** Piracicaba, **15**(3/4):120-132, 1940.

DELL 'AQUILA, A. **Pepper seed germination assessed by combined X-radiography and computer-aided imaging analysis**. Biologia Plantarum 51 (4): 777-781, 2007.

DOBRZAŃSKI, JR. B., MAZUREK W., RYBCZYŃSKI R., GEODECKI M., BARANOWSKI P., WALCZAK R. (2003). **A new method of the seed viability estimation**. New Methods, Means and Technologies for Application of Agricultural Products. Agricultural Engineering LUA, 1(06), 105-110.

FERNANDES, J. S.; SILVA, D. F. DA; SANTOS, H. O. DOS; VON PINHO, É. V. DE R. **Teste de raios x na avaliação da qualidade de sementes de frutos de fisális em diferentes estágios de desenvolvimento**. Revista de Ciências Agroveterinárias, Lages, v.15, n.2, p.165-168, 2016.

GOMES JUNIOR, F.G. **Aplicação da análise de imagens para avaliação da morfologia interna de sementes.** Informativo ABRATES. vol. 20, nº.3, 2010.

INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION (ISTA). Rules for seed testing. Zurich: International Seed Testing Association, 2004.

INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION. **International rules for seed testing**. Zurique: ISTA, 2009.

JAVORSKI, M.; CASTAN, D. O. C.; SILVA, S. S. DA; GOMES-JUNIOR, F. G.; CICERO, S. M. **Image analysis to evaluate the physiological potential and morphology of pearl millet seeds.** Journal of Seed Science, v.40, n.2, p.127-134, 2018.

JORGE, M. H. A.; RAY, D. T. **Germination characterization of guayule seed by morphology, mass and, X-ray analysis**. Industrial Crops and Products 22 (2005) 59–63.

JYOTI; MALIK, C. P. **Seed deterioration: A review**. International Journal of Life Sciences Biotechnology and Pharma Research, 2 (3) (2013), pp. 374-385.

KOYUNCU, M. A.; EKINCI, K.; SAVRAN, E. **Cracking Characteristics of Walnut**. Biosystems Engineering (2004) 87 (3), 305–311.

KRIEG, D. R; CARROLL, J. D. **Cotton Seedling Metabolism as Influenced by Germination Temperature, Cultivar, and Seed Physical Properties**. Agronomy Journal Abstract. Vol. 70 No. 1, p. 21-25. 1978

LIU, Y.; VAN DER BURG, W. J.; AARTSE, J. W.; VAN ZWOL, R. A.; ALINK, H.; BINO, R. J. **X-ray studies on changes in embryo and endosperm morphology during priming and imbibition of tomato seeds**. Seed Science Research / Volume 3 / Issue 03 / September 1993, pp 171 – 178.

MANGIALARDI, G.J.JR.; HALLOIN, J.M.; HEBERT, J.J. **Relationship of Cottonseed Parameters to Imperfections in Ginned Lint.** U.S. Department of Agriculture Technical Bulletin, N°1826. 1993.

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, vol. 32, nº 2 p. 146-153, 2010.

MANZOOR, Z.; ALI, S. S; AKHTAR, M. S.; AWAN, T. H.; SAFDAR, M. E. **Influence of seed density classification on emergence and seedling traits in rice (Oryza sativa L.).** J. Anim. Pl. Sci. 17(1-2): 2007.

NORONHA, B. G. de; MEDEIROS, A. D. de; PEREIRA, M. D. **Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de *Moringa oleifera* Lam.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 393-402, jan.- mar., 2018.

OLIVEIRA, L. M. de; CARVALHO, M. L. M. de; DAVIDE, A. C. **Utilização do teste de raios-x na avaliação da qualidade de sementes de canafístula (*Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert**. Revista Brasileira de Sementes, vol. 25, nº 1, p.116-120, 2003.

OLIVO, F; TUNES, L. M DE; OLIVO, M.; BERTAN, I.; PESKE, S. **Espessura do tegumento e qualidade física e fisiológica de sementes de feijão**. Revista Verde (Mossoró – RN – Brasil) v.6, n.1, p. 89 – 88, janeiro/março de 2011.

PEREA-FLORES, M. J.; CHANONA-PÉREZ, J. J.; GARIBAY-FEBLES, V.; CALDERÓN-DOMINGUEZ, G.; TERRÉS-ROJAS, E.; MENDOZA-PÉREZ, J. A.; HERRERA-BUCIO, R. **Microscopy techniques and image analysis for evaluation of some chemical and physical properties and morphological features for seeds of the castor oil plant (*Ricinus communis*)**. Industrial Crops and Products 34 (2011) 1057–1065.

PIZZINATTO, M. A.; MENTEN,J. O. M.; SOAVE, J.; CIA, E.; MAEDA, J. A. **Relação entre densidade e qualidade de sementes de algodoeiro**. Bragantia, Campinas, 50(2): 269-289, 1991.

PULLMAN, G. S.; BUCHANAN, M**. Loblolly pine (Pinus taeda L.): stage-specific elemental analyses of zygotic embryo and female gametophyte tissue**. Plant Science 164 (2003) 943-954.

PUPIM, T.L.; NOVEMBRE, A.D.L.C.; CARVALHO, M.L.M.; CICERO, S.M. **Adequação do teste de raios X para avaliação da qualidade de sementes de embaúba (*Cecropia pachystachya*)**. Revista Brasileira de Sementes, v.30, p.28-32, 2008.

RABBANI, A. R. C.; SILVA-MANN, R.; FERREIRA, R. A.; VASCONCELOS, M. C. **Pré-embebição em sementes de moringa**. Scientia Plena, v.9, n. 5, 2013.

RAMESH, B.; REDDY, B. S.; VEERANGOUD, M.; ANANTACHAR, M.; SHARANAGOUDA, H.; SHANWAD, U. K. **Properties of Cotton Seed in Relation to Design of a Pneumatic** Seed Metering Device. Indian J. Dryland Agric. Res. & Dev. 2015 30(1): 69-76.

RODRÍGUEZ, G. R., MOYSEENKO, J. B., ROBBINS, M. D., HUARACHI MOREJÓN, N., FRANCIS, D. M., VAN DER KNAAP, E. **Tomato Analyzer: A Useful Software Application to Collect Accurate and Detailed Morphological and Colorimetric Data from Two-dimensional Objects**. J. Vis. Exp. (37), e 1856, doi:10.3791/1856 (2010).

RODRÍGUEZ, G.; STRECKER, J.; BREWER, M.; GONZALO,M. J.; ANDERSON, C.; LANG,L.; SULLIVAN, D.; WAGNER, E.; STRECKER, B.; DRUSHAL, R.; DUJMOVIC, N.; FUJIMURO, K.; JACK, A.; NJANJI, I.; THOMAS, J.; GRAY, S.; VAN DER KNAAP, E. Tomato Analyzer User Manual Version 3, November, 2010. Disponível em:< https://vanderknaaplab.uga.edu/files/Tomato_Analyzer_3.0_Manual.pdf>. Acesso em: abril/2018.

SILVA, V. N.; SARMENTO, M. B.; SILVEIRA, A. C.; SILVA, C. S.; CICERO, S, M. **Avaliação da morfologia interna de sementes *de Acca sellowiana* O. Berg por meio de análise de imagens**. Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP, v. 35, n. 4, p. 1158-1169, Dezembro 2013.

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.

SOOD, S.; MAHAJAN, S.; DOEGAR, A.; DAS, A. **Internal crack detection in kidney bean seeds using X-ray imaging technique**. Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), Sept. 21-24, 2016, Jaipur, India.

SOUZA NETO, A. G. S. **Avaliação da área foliar de cinco espécies florestais ocorrentes no semiárido paraibano**. 37f. Monografia (Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Campina Grande, Patos, 2009.

XAVIER, J. A. **Study of macadamia nut breakage**. Unpublished M.Sc. Thesis, Botucatu, SP, UNESP. 1992.

WALTON, D. A.; WALLACE, H. M. **Ultrastructure of *Macadamia* (Proteaceae) Embryos: Implications for their Breakage Properties**. Annals of Botany, Volume 96, Issue 6, 1 November 2005, Pages 981–988.

WENDT, L., GOMES JUNIOR, F. G., ZORATO, M. D. F., MOREIRA, G. C. **Evaluation of the physiological potential of soybean seeds by image analysis**. Pesquisa Agropecuária Tropical, v.44, n.3, p.280-286, 2014

ZHAO, X.; GAO, Y.; WANG, X.; LI, C.; WANG, S.; FENG, Q. **Research on tomato seed vigor based on X-ray digital image**. Proc. SPIE 10020, Optoelectronic Imaging and Multimedia Technology IV, 100200J (31 October 2016).