

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CAMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

GABRIELA FERNANDES XAVIER

**VIABILIDADE DE USO DE RAIOS X NO BENEFICIAMENTO DE
SEMENTES DE SOJA**

CHAPADÃO DO SUL – MS

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CAMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

GABRIELA FERNANDES XAVIER

**VIABILIDADE DE USO DE RAIOS X NO BENEFICIAMENTO DE
SEMENTES DE SOJA**

Orientadora: Profa. Dra. Charline Zaratini Alves

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal.

CHAPADÃO DO SUL – MS

2022



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

DISCENTE: Gabriela Fernandes Xavier

ORIENTADORA: Dra. Charline Zaratín Alves

TÍTULO: Viabilidade do uso de raios X no beneficiamento de sementes de soja

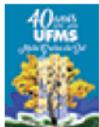
AVALIADORES:

Profa. Dra. Charline Zaratín Alves

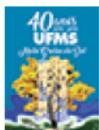
Prof. Dr. Alek Sandro Dutra

Prof. Dr. Márcio Dias Pereira

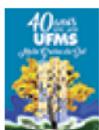
Chapadão do Sul, 21 de fevereiro de 2022.



Documento assinado eletronicamente por **Charline Zaratín Alves, Professora do Magistério Superior**, em 21/02/2022, às 10:58, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alek Sandro Dutra, Usuário Externo**, em 21/02/2022, às 11:01, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Márcio Dias Pereira, Usuário Externo**, em 21/02/2022, às 11:01, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

DEDICATÓRIA

À minha mãe e ao meu esposo Diego, por estarem ao meu lado nos momentos difíceis, sempre me incentivando e não me deixando desistir; e à minha amiga e professora da graduação Ariana Vieira, por ter acreditado em mim e incentivado a continuar estudando e pesquisando.

AGRADECIMENTOS

À Deus por mostrar os caminhos a serem seguidos, permitir que em meio as turbulências, tivesse forças para chegar até o final, e nos momentos de fraqueza, tristeza e desespero ser a minha fortaleza, não deixando nada faltar e nem desanimar com as dificuldades.

À minha mãe Clarice, que mesmo longe deu forças para que eu chegasse ao final da pós-graduação.

Ao meu esposo Diego Silveira Garson por todo apoio e incentivo para que pudesse realizar meus sonhos, por ter me dado a mão e ficado ao meu lado nos momentos difíceis, fazendo com que eu chegasse até aqui sempre dizendo o quanto me acha inteligente e esforçada. E a minha cachorrinha Biriba, meu amor de quatro patas, que insistia em querer brincar e passear quando eu estava desesperada ou chorando.

À minha amiga Eduarda de Oliveira por poder compartilhar, mesmo que longe, os perrengues e felicidades que passei durante a pós-graduação, e sempre tinha uma de incentivo como “é isso aí” ou “o mestrado é assim mesmo”.

Aos professores da graduação Bianca Sarzi e Paulo Souza por terem me apresentado a pesquisa por meio da iniciação científica.

À minha amiga e professora da graduação Ariana Vieira Silva que me acolheu em seu grupo de estudos, acreditando em meu potencial, sempre disposta a dar uma palavra amiga ou um conselho, sendo a maior incentivadora para que eu continuasse estudando.

Aos meus amigos e colegas que me deram apoio e incentivo e por me lembrar que precisamos descansar e relaxar em alguns momentos para não pirar e depois recomeçar a luta.

A minha orientadora, professora Charline Zaratin Alves por ter aceitado me orientar, pela paciência de responder minhas mensagens ou ligações finais de semana ou fora de hora, me acalmando e tirando minhas dúvidas e também por ter me ensinado que algumas vezes precisamos caminhar sozinho.

À Ana Carina Cândido, técnica do laboratório de tecnologia de sementes, pela ajuda na realização de algumas avaliações e também a minha colega de laboratório Graziely Alves pelas boas conversas e ajuda.

À Uniggel Sementes por permitir minha entrada na unidade de beneficiamento e por fornecer o material para essa pesquisa.

Aos colegas Laboratório de Sementes do IF Goiano, que proporcionaram a execução de parte dessa pesquisa, em especial ao professor Dr. Jackson Zuchi e ao Arthur Almeida.

Ao Carlos Henrique Queiroz Rego que me ensinou a trabalhar o software ImageJ, compartilhou de seus conhecimentos e muitas vezes disponibilizou tempo para conversarmos e me deixar mais calma mostrando que análise de imagem não é/era um bicho de sete cabeças.

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, pelo acolhimento através do programa de pós-graduação em Agronomia, campus Chapadão do Sul, proporcionando crescimento pessoal e profissional.

À Fundação de Apoio à Pesquisa e Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (FUNDECT) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa durante a realização do Mestrado.

Aos professores que tive o prazer em conhecer, por compartilhar seus conhecimentos da maneira sutil.

Ao professor Dr. Paulo Teodoro, pois mesmo quando ocupado, encontrava uma forma de ajudar.

Aos professores membros da banca examinadora por disponibilizarem seu tempo, para contribuir para melhoria deste trabalho.

Não sou muito boa em me expressar, mas deixo aqui meu sincero e singelo agradecimento a todos que de alguma forma me ajudaram a chegar até esse momento

Meu muito obrigada a todos você!!

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Identificação das partes da semente de soja coletadas na saída do secador pelo teste de raios X: eixo embrionário (ee), cotilédones (co) e tegumento (tg). (a) - cultivar Aporé; (b) – cultivar DM73i75; (c) cultivar Olimpo; (d) – cultivar Bônus 17
- Figura 2.** Biplot obtido pelo agrupamento das variáveis relacionadas às características da semente coletadas na saída do secador. PC1- Componente Principal 1; PC2 – Componente Principal 2; Área; Perim.- Perímetro; Mode – cinza mediano; AR – Aspect ratio; round – redondeza; Solidez; Comprimento; Largura; IntDent – densidade integrada; Germ. – germinação; Vigor e Viabilidade 19
- Figura 3.** Matriz de correlação obtida a partir dos dados de imagens de raios x de sementes e a porcentagem de germinação de sementes coletadas na saída do secador. PC1- Componente Principal 1; PC2 – Componente Principal 2; Área; Perim.- Perímetro; Mode – cinza mediano; AR – Aspect ratio; round – redondeza; Solidez; Comprimento; Largura; IntDent – densidade integrada; Germ. – germinação; Vigor e Viabilidade. 20
- Figura 4.** Identificação das partes da semente de soja coletadas após ensaio pelo teste de raios X: eixo embrionário (ee), cotilédones (co) e tegumento (tg). (a) - cultivar Aporé; (b) – cultivar DM73i75; (c) cultivar Olimpo; (d) – cultivar Bônus 22
- Figura 5.** Biplot obtido pelo agrupamento das variáveis relacionadas às características da semente coletadas após ensaio. PC1- Componente Principal 1; PC2 – Componente Principal 2; Área; Perim.- Perímetro; Mode – cinza mediano; AR – Aspect ratio; round – redondeza; Solidez; Comprimento; Largura; IntDent – densidade integrada; Germ. – germinação; Vigor e Viabilidade 25
- Figura 6.** Matriz de correlação obtida a partir dos dados de imagens de raios x de sementes e a porcentagem de germinação de sementes coletadas após ensaio. PC1- Componente Principal 1; PC2 – Componente Principal 2; Área; Perim.- Perímetro; Mode – cinza mediano; AR – Aspect ratio; round – redondeza; Solidez; Comprimento; Largura; IntDent – densidade integrada; Germ. – germinação; Vigor e Viabilidade. 26

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Valores médios do teor de água, germinação e tetrazólio (viabilidade e vigor) de cultivares de soja após a saída do secador..... 16
- Tabela 2.** Valores médios obtidos através da análise de imagens de raios X de sementes de soja, após a saída do secador..... 17
- Tabela 3.** Valores médios obtidos através da análise de imagens de raios X de sementes de soja, após a saída do secador..... 18
- Tabela 4.** Valores médios de teor de água, germinação e tetrazólio (viabilidade e vigor) de cultivares de soja após ensaque..... 21
- Tabela 5.** Valores médios obtidos através da análise de imagens de raios X de sementes de soja, após ensaque..... 22
- Tabela 6.** Valores médios obtidos através da análise de imagens de raios X de sementes de soja, após ensaque..... 23

RESUMO

A análise de imagens é uma técnica que demonstra potencial para ser utilizada em associação aos testes usuais para avaliação de sementes, proporcionando aprimoramento de metodologias e obtendo resultados confiáveis. A obtenção de imagens por raios X tem se demonstrado promissor para avaliação de características físicas relacionadas ao potencial fisiológico por ser um procedimento rápido e não destrutivo, sendo possível a posterior utilização das sementes radiografadas. As imagens de raios X podem ser associadas a um software e as informações produzidas permitem analisar características como tamanho e forma da semente, sendo essas mesmas características utilizadas para selecionar lotes de sementes de soja no processo de beneficiamento. Dessa maneira, a presente pesquisa teve o objetivo de avaliar a eficiência do uso de raios X na determinação da qualidade de sementes de soja no beneficiamento, a fim de relacioná-lo com a qualidade fisiológica das sementes de soja. As amostras de sementes foram coletadas na unidade de beneficiamento da Unigel Sementes, em Chapadão do Céu -GO, em dois pontos estratégicos, no início do beneficiamento, quando as sementes saíam do secador e ao final do processo, após serem ensacadas. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, com quatro tratamentos formados pelas cultivares HO Aporé IPRO, DM 73I75 RSF IPRO, Brasmax Olimpo IPRO e Brasmax Bônus IPRO e quatro repetições. Para determinação da qualidade das sementes de cada ponto amostrado, foi realizada a determinação do teor de água e ao teste de tetrazólio. Para obtenção das imagens, as sementes de soja foram dispostas em placa de acrílico contendo 50 unidades em quatro repetições por tratamento e submetidas aos raios X. Posteriormente, as mesmas sementes radiografadas foram submetidas ao teste de germinação, mantendo suas posições. As imagens radiografadas foram processadas no software ImageJ®, obtendo as medidas de área, perímetro, largura, comprimento, cinza mediano, densidade integrada, *aspect ratio* e solidez. Os dados foram submetidos ao teste de Tukey ($p < 0,05$) e ainda aplicada a análise de componentes principais (PCA). Os resultados obtidos mostraram que a análise de imagens radiografadas das sementes nos dois pontos de coleta, não possibilitou separar as cultivares com relação à qualidade fisiológica. Assim, devido à alta qualidade das sementes de soja recebidas na unidade de beneficiamento, não possível verificar a eficiência da análise de imagens de raios X nas etapas de beneficiamento, devido a pouca correlação com a qualidade fisiológica.

Palavra-chave: Análise de imagens. ImageJ. Qualidade fisiológica.

ABSTRACT

Image analysis is a technique that shows potential to be used in association with the usual tests for seed evaluation, providing improvement of methodologies and obtaining reliable results. The acquisition of images by X-rays has shown to be promising for the evaluation of physical characteristics related to the physiological potential because it is a fast and non-destructive procedure, making possible the subsequent use of radiographed seeds. The X-ray images can be associated with software and the information produced allows the analysis of characteristics such as size and shape of the seed, and these same characteristics are used to select lots of soybean seeds in the beneficiation process. Thus, the present research aimed to evaluate the efficiency of the use of X-rays in determining the quality of soybean seeds in processing, in order to relate it to the physiological quality of soybean seeds. Seed samples were collected at the Unigel Sementes processing unit, in Chapadão do Céu -GO, at two strategic points, at the beginning of the processing, when the seeds were leaving the dryer, and at the end of the process, after being bagged. The design used was completely randomized, with four treatments formed by the cultivars HO Aporé IPRO, DM 73I75 RSF IPRO, Brasmax Olimpo IPRO and Brasmax Bônus IPRO and four replications. To determine the quality of the seeds at each sampled point, the determination of water content and the tetrazolium test were performed. To obtain the images, the soybean seeds were placed on an acrylic plate containing 50 units in four replications per treatment and submitted to X-rays. Subsequently, the same radiographed seeds were submitted to the germination test, maintaining their positions. The radiographed images were processed in ImageJ® software, obtaining measurements of area, perimeter, width, length, median gray, integrated density, aspect ratio and solidity. Data were submitted to Tukey's test ($p < 0.05$) and principal component analysis (PCA) was applied. The results obtained showed that the analysis of radiographed images of the seeds at the two collection points did not make it possible to separate the cultivars in terms of physiological quality. Thus, due to the high quality of the soybean seeds received at the processing unit, it is not possible to verify the efficiency of the analysis of X-ray images in the processing stages, due to the low correlation with the physiological quality.

Keyword: Image analysis. ImageJ. Physiological quality.

SUMÁRIO

RESUMO	12
ABSTRACT	12
INTRODUÇÃO	13
MATERIAL E MÉTODOS	14
RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
Saída do secador	16
Ensaque	21
CONCLUSÃO	27
REFERÊNCIAS	27

Viabilidade de uso de raios X no beneficiamento de sementes de soja

RESUMO: O objetivo do trabalho foi avaliar a eficiência do uso de raios X na determinação da qualidade de sementes de soja no beneficiamento, a fim de relacioná-lo com a qualidade fisiológica das sementes de soja. As sementes foram coletadas no início do processo de beneficiamento, quando saíam do secador e no final do processo, após ensacadas. Os tratamentos foram compostos por quatro cultivares sendo HO Aporé IPRO, DM 73I75 RSF IPRO, Brasmax Olimpo IPRO e Brasmax Bônus IPRO e quatro repetições. Para determinação da qualidade das sementes de cada ponto de coleta, as amostras foram submetidas a determinação do teor de água e ao teste de tetrazólio. Para realização das imagens, as sementes de soja foram dispostas em placa de acrílico contendo 50 unidades em quatro repetições por tratamento e submetidas aos raios X. Posteriormente, as mesmas sementes radiografadas foram submetidas ao teste de germinação, mantendo suas posições. As imagens foram processadas no software ImageJ®, obtendo as medidas de área, perímetro, largura, comprimento, cinza mediano, densidade integrada, *aspect* ratio e solidez. Os dados foram submetidos ao teste de Tukey ($p < 0,05$) e ainda aplicada a análise de componentes principais (PCA). Os resultados obtidos nessa pesquisa indicam que a análise de imagens radiografadas das sementes nos dois pontos de coleta, não possibilitou separar as cultivares com relação à qualidade fisiológica. Assim, devido à alta qualidade das sementes de soja recebidas na unidade de beneficiamento, não possível verificar a eficiência da análise de imagens de raios X nas etapas de beneficiamento, devido a pouca correlação com a qualidade fisiológica.

Palavras-chave: Análise de imagens. *Glycine max.* (L.). ImageJ. Qualidade fisiológica

ABSTRACT: The objective of this work was to evaluate the efficiency of the use of soybean seeds X in determining the quality of non-processed soybean seeds, in order to relate to the quality of the use of soybean seeds. The seeds were collected at the beginning of the beneficiation process, when we left the dryer and at the end of the process, after being bagged. The treatments were composed of four cultivars being HO Aporé IPRO, DM 73I75 RSF IPRO, Brasmax Olimpo IPRO and Brasmax Bônus IPRO and four. To determine the quality of the seeds at each collection point, the samples were presented for the determination of the water theory and the tetrazolium test. To perform the images, the same soybean seeds were prepared for acrylic plates, containing 5 copy processing units in four later versions, the same radioactive seeds were prepared to be tested, while maintaining their alternatives. The images were processed in ImageJ® software, considering measurements of area, perimeter,

perimeter, median, integrated density, aspect ratio and solidity. Data were selected for Tukey's test components ($p < 0.05$) and further applied to principal component analysis (PCA). The results obtained in this research indicate that the analysis of two collection points of radiographed images is not possible as cultivars with respect to the quality of separate images. Thus, due to the high quality of the seeds of products purchased at the unit, it is not possible to verify the efficiency of the analysis of X-ray images in the processing stages, due to the low amount of physiological quality.

Keywords: Image analysis. *Glycine max.* (L.). ImageJ. Physiological quality.

INTRODUÇÃO

A análise de imagens é uma tecnologia que tem demonstrado potencial para ser utilizada em associação aos testes usuais para avaliação da qualidade de sementes, proporcionando o aprimoramento de metodologias, e obtenção de resultados confiáveis (SILVA et al., 2014; SILVA et al., 2020). Entre os recursos disponíveis para obtenção de imagens está o uso de raios X, o qual é recomendado pela International Seed Testing Association – ISTA (2004) e pelas Regras de Análise de Sementes (BRASIL, 2009) e tem sido demonstrado como promissor para avaliar características físicas relacionadas ao potencial fisiológico (PINHEIRO et al., 2020) por ser um procedimento rápido e não destrutivo (ARRUDA et al., 2016).

Embora os raios X sejam potencialmente nocivos às sementes, as baixas doses de radiação que são absorvidas durante o teste, não causam mutações genéticas e também não afetam o poder germinativo (ARRUDA Et al., 2016; FORTI et al., 2008). Dessa forma, as sementes radiografadas podem ser utilizadas para teste de germinação ou voltarem para seus lotes de origem.

Vários estudos tem utilizado imagens radiografadas para a analisar morfologia interna das sementes, parâmetros associados a qualidade fisiológico ou até mesmo a relação entre as características físicas a germinação e vigor (ABUD et al., 2018; MEDEIROS et al., 2020) em várias espécies como soja (WENDT et al., 2014, PINTO et al, 2007), feijão (FORTI et al, 2008; MONDO et al., 2009), brócolis (ADUB et al., 2018),), quiabo (SANTOS et al., 2020), braquiária (MEDEIROS et al., 2020) e crambe (RIBEIRO et al., 2021).

Assim, quando as imagens radiografadas são associadas a um software, são produzidas informações que permitem analisar características de tamanho e forma da semente como a área, perímetro, comprimento, largura e solidez. É a partir dessas características que as

sementes de soja são selecionadas mecanicamente nas diversas etapas do beneficiamento, formando lotes com características físicas semelhantes.

O processo de beneficiamento é uma etapa importante na produção de sementes de alta qualidade, compreendendo o conjunto de operações às quais a semente é submetida desde a recepção da unidade de beneficiamento até sua embalagem e distribuição (PESKE; BAUDET, 2006). O intuito do beneficiamento é aprimorar as características do lote de sementes, promovendo a uniformização e melhorias na qualidade física e fisiológica (TROGELLO et al., 2013; MELO et al., 2016).

As sementes que chegam do campo à unidade de beneficiamento de sementes (UBS), podem estar acompanhadas de materiais indesejáveis como restos vegetais, sementes danificadas, má formadas, torrões de solo, sementes de outras espécies e infectadas por patógenos, o que afeta diretamente qualidade física dos lotes e indiretamente a qualidade sanitária e o potencial fisiológico (MOREANO et al., 2013; PEREIRA et al., 2012). Ao passar pelas diferentes máquinas e etapas do beneficiamento, ocorre a separação dos materiais indesejados da massa de sementes devido a diferenças de características físicas como a densidade, tamanho, forma, massa específica (SILVA et al., 2011; MOREANO et al., 2013).

Diante do exposto, o objetivo da pesquisa foi avaliar a eficiência do uso de raios X na determinação da qualidade de sementes de soja no beneficiamento, a fim de relacioná-lo com a qualidade fisiológica das sementes.

MATERIAL E MÉTODOS

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e quatro repetições. As amostras de sementes de soja foram coletadas na Unidade de Beneficiamento de Sementes (UBS) da Uniggel Sementes, localizada no município de Chapadão do Céu, GO, no início da etapa de beneficiamento, quando as sementes saíam do secador e ao final, após serem ensacadas. Para compor os tratamentos foram utilizadas quatro cultivares, sendo HO Aporé IPRO, DM 73I75 RSF IPRO, Brasmax Olimpo IPRO e Brasmax Bônus IPRO.

Posteriormente à coleta, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Tecnologia de Sementes da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus Chapadão do Sul, com a finalidade de avaliar a qualidade das sementes de cada um dos pontos amostrados.

Para a determinação do teor de água das sementes de soja, utilizou-se o método da estufa a 105°C (± 3 °C), durante 24 horas, com duas repetições contendo aproximadamente

10,0 g para cada tratamento conforme recomendações de Brasil (2009), e os resultados foram expressos em porcentagem (base seca).

Para o teste de tetrazólio foram utilizadas 100 sementes por tratamento de cada ponto amostrado, sendo duas repetições de 50 sementes, as quais foram pré-embebidas em papel germitest com água destilada e mantidas em germinador a 25 °C por 16 horas. Após esse período, as sementes foram colocadas em recipientes de plástico e completamente submersas em solução de 2,3,5 cloreto de trifeniltetrazólio e permanecendo por três horas, a 40 °C, em estufa no escuro. Em seguida, as sementes foram lavadas em água corrente e avaliadas individualmente, de acordo com França Neto et al. (1998).

Para realização do teste de raios X, 200 sementes de cada tratamento (cultivar) foram dispostas em quatro placas de acrílico transparente sobre fita adesiva dupla face, para fixação das sementes na mesma posição e encaminhadas até o Laboratório de Sementes do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. Para obtenção das imagens foi utilizado um equipamento de raios X “Faxitron HP”, modelo 43855A, no qual as sementes foram submetidas à radiação por 10 segundos, a intensidade de 31 kV e a uma distância de 55,4 cm da fonte de radiação. As imagens geradas foram armazenadas em computador e posteriormente analisadas.

Após a obtenção das imagens, as mesmas sementes foram submetidas ao teste de germinação na mesma ordem em que estavam na placa de acrílico, sendo conduzida em papel germitest umedecido com uma quantidade de água equivalente a 2,5 vezes a massa do papel não hidratado, com quatro repetições de 50 sementes. Posteriormente os rolos foram armazenados no germinador a 25 °C conforme descrito por Brasil (2009) e as plântulas avaliadas cinco dias após a instalação do teste.

As imagens geradas pelo teste de raios X foram analisadas no software ImageJ® (*Image Processing and Analysis in Java*) para obtenção das seguintes variáveis:

- área (cm²);
- perímetro (cm);
- mode – modal gray value (valor de cinza mediano);
- largura (cm);
- comprimento (cm);
- IntDen – integrate density (densidade integrada – é a densidade com base no nível de cinza, ou seja, a soma dos valores dos pixels da imagem ou seleção, expresso em cinza cm² pixel⁻¹);

- AR (*Aspect ratio*- obtido através da equação $AR = \frac{\text{eixo maior}}{\text{eixo menor}}$);
- Solidez - obtido através da equação: $Solidity = \frac{\text{área do objeto}}{\text{área do fechamento convexo}}$, nesta equação, valor iguais a 1,0 indicam que o objeto é sólido; e menos de 1,0 o objeto apresenta bordas ou orifícios irregulares).

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância, teste de normalidade Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) e teste de homogeneidade de Bartlett ($p < 0,05$), e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Ainda foi aplicada análise multivariada de componentes principais e gerada uma matriz de correlação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Saída do secador

As amostras das quatro cultivares de soja coletadas na saída do secador apresentaram teor de água variando entre 9,31% e 11,97%, conforme observado na Tabela 1. De acordo com Simak (1991), o teor de água das sementes influencia a densidade óptica da radiografia, sendo que quanto menor umidade das sementes, maior será a densidade óptica, possibilitando visualização das estruturas internas das sementes na imagem radiografada.

Estudos realizados com análise de imagem de raios X em sementes de soja (PINTO et al, 2007, WENDT et al., 2014), feijão (FORTI et al, 2008; MONDO et al., 2009), *Crotalaria juncea* (ARRUDA et al., 2016), *Leucaena leucocephala* (MEDEIROS et al. 2018), milho (JAVORSKI et al., 2018), *Brachiaria ruziziensis* (MEDEIROS et al., 2020) e *Senna multijuga* (MARCHI; GOMES JUNIOR, 2017), foi possível obter imagens com boa visualização com teor de água variando entre 8 e 12%.

Tabela 1. Valores médios do teor de água, germinação e tetrazólio (viabilidade e vigor) de cultivares de soja após a saída do secador.

Cultivar	U (%)	Germ. (%)	TZ Viab. (%)	TZ Vigor (%)
Aporé	9,31	85,0	99	94
DM73i75	9,34	91,0	99	94
Olimpo	11,97	85,0	98	96
Bônus	9,53	88,0	98	97
F	-	0,72 ^{ns}	0,66 ^{ns}	1,28 ^{ns}
C.V. (%)	-	7,44	1,44	2,78

*: significativo e ^{ns}: não significativo pelo teste F ($p < 0,05$). C.V.: coeficiente de variação.

Por meio da caracterização fisiológica após a coleta das sementes (Tabela 1), foi verificado que todas as cultivares de soja estudadas apresentaram alto vigor e viabilidade por meio do teste de tetrazólio. A porcentagem de germinação das sementes não difere estatisticamente para todas as cultivares, variando entre 85% e 91%. Estes valores estão dentro dos padrões exigidos para comercialização de sementes de soja que é de 80% (BRASIL, 2013). Sendo assim, as cultivares utilizadas no presente trabalho possuíam alta qualidade logo no início do processo de beneficiamento.

Através das imagens de raios X obtidas, foi possível observar as estruturas internas da semente pela identificação do cotilédone e do eixo embrionário (Figura 1). É importante ressaltar que cada espécie possui características de densidade e composição química diferentes, fatores estes que podem afetar, de modo significativo, a visualização das partes das sementes submetidas a radiografia (ARRUDA et al., 2016).

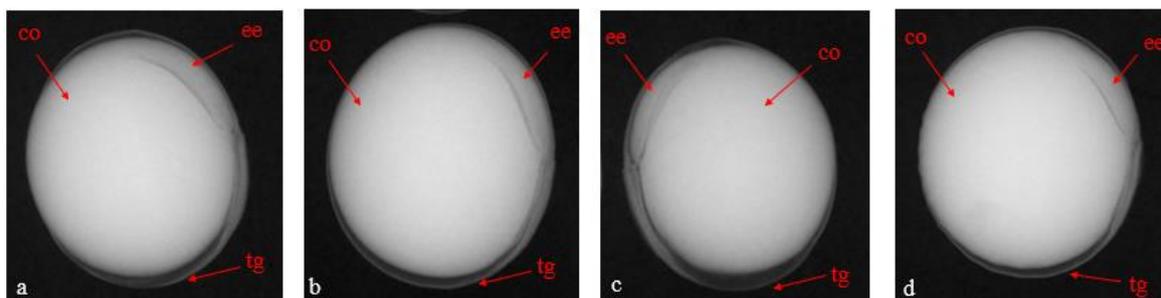


Figura 1. Identificação das partes da semente de soja coletadas na saída do secador pelo teste de raios X: eixo embrionário (ee), cotilédones (co) e tegumento (tg). (a) - cultivar Aporé; (b) – cultivar DM73i75; (c) cultivar Olimpo; (d) – cultivar Bônus.

Com relação aos parâmetros obtidos através da análise das imagens radiografadas no software ImageJ, observou-se na Tabela 2 que apenas o perímetro não foi significativo pelo teste F.

Tabela 2. Valores médios obtidos através da análise de imagens de raios X de sementes de soja, após a saída do secador.

Cultivar	Área cm ²	Perímetro cm	Largura cm	Comprimento cm
Aporé	0,382 b	2,32	0,665 c	0,735 b
DM73i75	0,457 a	2,55	0,718 a	0,814 a
Olimpo	0,398 b	2,39	0,685 b	0,741 b
Bônus	0,396 b	2,37	0,673 bc	0,751 b

F	36,29 *	59,05 ^{ns}	28,49 *	33,38 *
CV	2,71	1,09	1,27	1,66

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. *: significativo e ^{ns}: não significativo pelo teste F (p<0,05). C.V.: coeficiente de variação.

Com relação a área das sementes, foi observado que a cultivar DM73i75 apresentou área maior do que as demais cultivares, isso porque as sementes apresentam maior tamanho, sendo evidenciado pelas variáveis largura e comprimento (Tabela 2). Essa cultivar destaca-se apresentando maiores médias e diferindo-se das outras cultivares. Estudando sementes de brócolis, Abud et al. (2018) identificaram que a área pode refletir o vigor das sementes, uma vez que sementes com áreas maiores coincidem com maiores reservas disponíveis para germinação.

As variáveis cinza mediano (mode), solidez e densidade integrada (IntDen) não obtiveram resultados significativos pelo teste F (Tabela 3). Assim, para esses parâmetros as quatro cultivares são similares estatisticamente.

Tabela 3. Valores médios obtidos através da análise de imagens de raios X de sementes de soja, após a saída do secador.

Tratamento	Mode	AR	Solidez cinza pixel ⁻¹	IntDen cinza cm ² pixel ⁻¹
Aporé	219,99	1,123 b	0,9887	68,46
DM73i75	223,31	1,148 a	0,9889	82,24
Olimpo	216,98	1,096 c	0,9893	69,91
Bônus	223,35	1,136 b	0,9882	72,39
F	3,27 ^{ns}	24,18 *	1,80 ^{ns}	16,59 ^{ns}
CV	1,53	0,81	0,06	4,16

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. *: significativo e ^{ns}: não significativo pelo teste F (p<0,05). C.V.: coeficiente de variação.

Observou-se que para a característica *aspect ratio* (AR) (Tabela 3), a cultivar DM73i75 apresentou maior média em relação as demais cultivares. Por meio do *aspect ratio* é possível inferir o formato da semente, pois quando a relação entre o maior e menor eixo que circunscreve a semente for próximo ao valor de 1,0 mais esférica é a semente (SANTOS et al., 2020). Apesar de haver diferença estatística entre as cultivares, todas elas tendem a ser esféricas.

Realizou-se análise multivariada de componentes principais (PCA) utilizando os dados obtidos para as quatro cultivares (Figura 2). Foi observado que os dois primeiros componentes (PC1 e PC2) foram responsáveis por 65,7% da variabilidade dos dados.

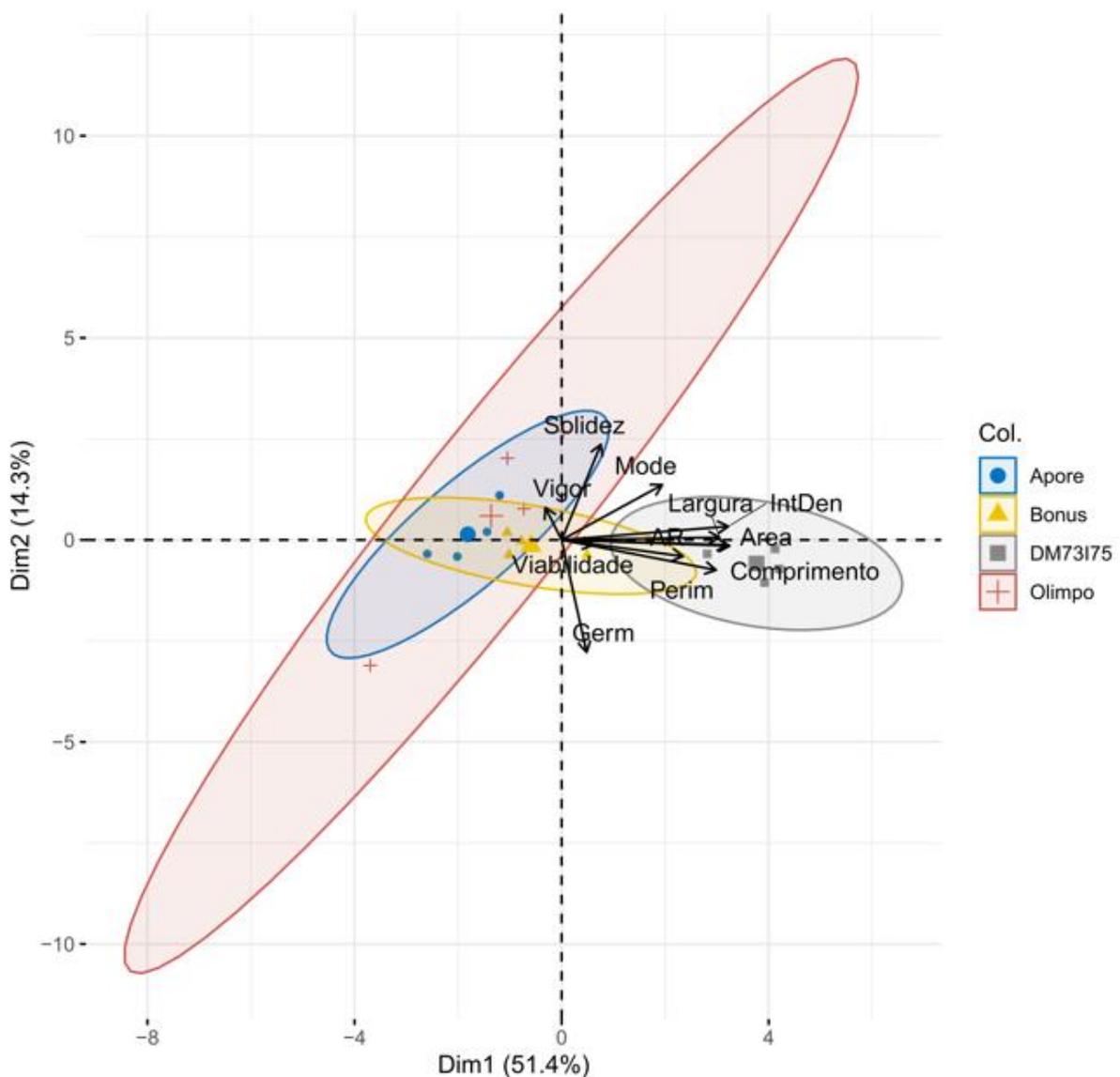


Figura 2. Biplot obtido pelo agrupamento das variáveis relacionadas às características da semente coletadas na saída do secador. PC1- Componente Principal 1; PC2 – Componente Principal 2; Área; Perim.- Perímetro; Mode – cinza mediano; AR – Aspect ratio; round – redondeza; Solidez; Comprimento; Largura; IntDen – densidade integrada; Germ. – germinação; Vigor e Viabilidade.

Os vetores mostrados na Figura 2 representam as variáveis obtidas na avaliação inicial da qualidade fisiológica das sementes e as variáveis obtidas na análise de imagens de raios X por meio do ImageJ. Foi observado que a germinação, vigor e viabilidade encontram-se próximas, o vetor que representa a germinação também se aproximou do perímetro e está oposto a solidez. Já o vigor tem proximidade com a solidez e a viabilidade encontra-se

próximas das variáveis que inferem tamanho da semente: perímetro, área, comprimento e largura, e também está próximo a densidade integrada.

Na matriz de correlação (Figura 3) foi possível verificar que a germinação possui correlação negativa com cinza mediano (mode) e solidez, e correlação positiva com o perímetro. O vigor apresentou correlação negativa, mesmo que fraca, com as variáveis que inferem no tamanho: área, perímetro, largura, comprimento e com *aspect ratio* (AR), sendo que apenas com cinza mediano a correlação foi positiva. A viabilidade por sua vez apresentou correlação positiva fraca com todas as variáveis.

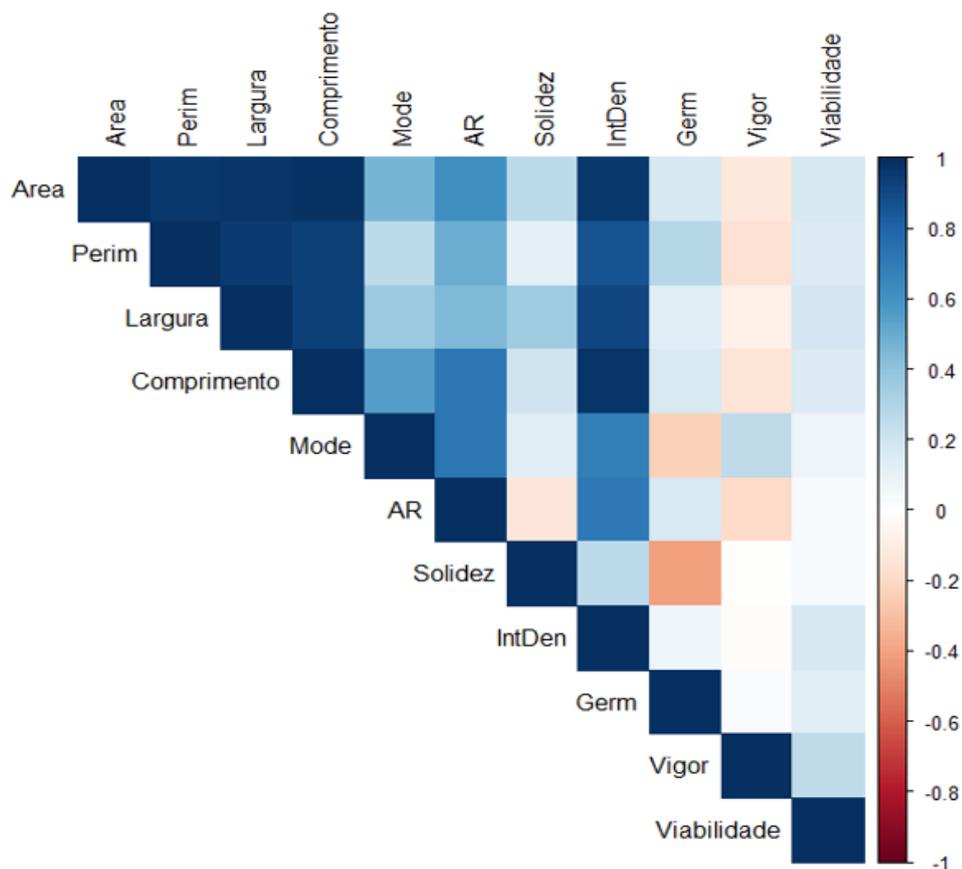


Figura 3. Matriz de correlação obtida a partir dos dados de imagens de raios x de sementes e a porcentagem de germinação de sementes coletadas na saída do secador. PC1- Componente Principal 1; PC2 – Componente Principal 2; Área; Perim.- Perímetro; Mode – cinza mediano; AR – Aspect ratio; round – redondeza; Solidez; Comprimento; Largura; IntDent – densidade integrada; Germ. – germinação; Vigor e Viabilidade.

Dessa forma, podemos observar que a análise de imagens radiografadas das sementes na saída do secador não possibilitou separar as cultivares com relação à qualidade fisiológica. É importante ressaltar que as sementes que saem do secador ainda passarão por todo o processo de seleção por tamanho, densidade e forma, sendo descartadas as sementes fora do padrão como as mal formadas, para que sejam formados lotes padronizados e uniformizados (MOREANO et al., 2013).

Ensaque

As amostras coletadas após o ensaque apresentaram teor de água entre 9,33% e 9,99% (Tabela 4). O teor de água é um importante fator no estudo de raios X, por influenciar na qualidade da imagem (SILVA et al, 2014), sendo que quanto menor o teor de água na semente, maior a densidade óptica, possibilitando assim a melhor visualização das estruturas internas das sementes na imagem radiografada (SIMAK, 1991).

Tabela 4. Valores médios de teor de água, germinação e tetrazólio (viabilidade e vigor) de cultivares de soja após ensaque.

Cultivar	U (%)	Germ. (%)	TZ Viab. (%)	TZ Vigor (%)
Aporé	9,33	89	98	96
DM73i75	9,85	88	99	94
Olimpo	9,99	93	100	100
Bônus	9,30	86	99	95
F		2,35 ^{ns}	1,33 ^{ns}	6,38 ^{ns}
C.V. (%)		4,67	1,43	2,16

*: significativo e ^{ns}: não significativo pelo teste F ($p < 0,05$). C.V.: coeficiente de variação.

A partir da caracterização fisiológica das sementes após o ensaque (Tabela 4) foi verificado que todas as cultivares de soja apresentaram alto vigor e viabilidade pelo teste de tetrazólio. A porcentagem de germinação (Tabela 4) variou entre 86% e 93%, apresentando-se dentro dos padrões exigidos para comercialização de sementes de soja (BRASIL, 2013).

O ensaque é o processo final do beneficiamento, que busca aprimorar as características de um lote de sementes, fazendo com que ao final do processo seja alcançada a uniformização e melhoria das qualidades físicas e fisiológicas das sementes (TROGELLO et al., 2013; MELO et al., 2016).

A partir das imagens de raios X das sementes coletadas após o ensaque, foi possível novamente observar as estruturas internas da semente por meio da identificação do cotilédone e do eixo embrionário (Figura 4).

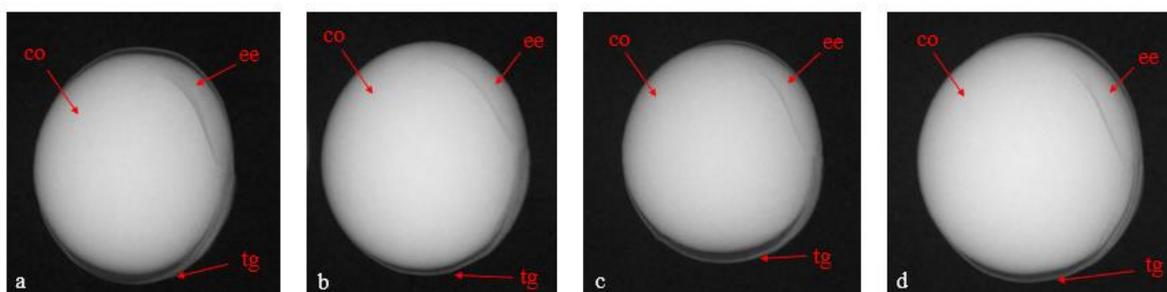


Figura 4. Identificação das partes da semente de soja coletadas após ensaque pelo teste de raios X: eixo embrionário (ee), cotilédones (co) e tegumento (tg). (a) - cultivar Aporé; (b) – cultivar DM73i75; (c) cultivar Olimpo; (d) – cultivar Bônus.

Com relação aos parâmetros obtidos através da análise de imagens radiografadas no software ImageJ, foi observado na Tabela 5 que as cultivares DM73i75 e Bônus apresentaram maiores área, perímetro, largura e comprimento da semente, ou seja, possuem um maior tamanho em relação as demais cultivares. De acordo com Moreano et al. (2013), vários são os estudos que buscaram identificar a influência do tamanho da semente na qualidade fisiológica e também na produtividade da soja, porém os resultados encontrados são contraditórios, com autores chegando em conclusões divergentes.

Tabela 5. Valores médios obtidos através da análise de imagens de raios X de sementes de soja, após ensaque.

Cultivar	Área cm ²	Perímetro cm	Largura cm	Comprimento cm
Aporé	0,368 c	2,28 c	0,656 b	0,717 c
DM73i75	0,423 a	2,45 a	0,691 a	0,781 a
Olimpo	0,391 b	2,34 b	0,679 a	0,735 b
Bônus	0,410 a	2,41 a	0,681 a	0,767 a
F	35,40 *	32,29 *	15,11 *	49,99 *
CV	2,00	1,08	1,12	1,10

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. *: significativo e ^{ns}: não significativo pelo teste F ($p < 0,05$). C.V.: coeficiente de variação.

A solidez (Tabela 6) é uma variável que pode ser usada como medida de integridade de tecidos, sendo que valores próximos a 1,0 correspondem a uma estrutura sólida e valores mais baixos apontam que há limites irregulares, portanto, semente com maior solidez pode ser indicativo de serem bem formadas e sem danos (RIBEIRO et al., 2021).

Tabela 6. Valores médios obtidos através da análise de imagens de raios X de sementes de soja, após ensaque.

Tratamento	Solidez cinza pixel ⁻¹	Mode	IntDen cinza cm ² pixel ⁻¹	AR
Aporé	0,9885 b	220,16 b	66,13 b	1,114 b
DM73i75	0,9895 a	220,68 b	75,43 a	1,145 a
Olimpo	0,9897 a	216,82 c	69,25 b	1,099 c
Bônus	0,9888 ab	225,11 a	75,71 a	1,141 a
F	5,40 *	21,08 *	39,14 *	68,15 *
CV	0,05	0,67	2,11	0,48

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. *: significativo e ^{ns}: não significativo pelo teste F (p<0,05). C.V.: coeficiente de variação.

Com relação ao cinza mediano (Mode) foi observado que a cultivar Bônus apresentou valores superiores às demais; as cultivares DM73i75 e Aporé foram semelhantes entre si e a cultivar Olimpo foi inferior. Para o parâmetro de densidade integrada (IntDen), as cultivares DM73i75 e Bônus apresentaram médias superiores as demais cultivares, sendo semelhantes entre si; as cultivares Olimpo e Aporé também não diferiram entre si.

As variáveis calculadas através dos valores de cinza de cada pixel da imagem, como a densidade integrada e relativa e cinza mediano, relacionam-se com a resistência que os tecidos internos da semente apresentam à passagem dos raios X, pois os fótons de um feixe de raios X podem ser transmitidos, espalhados ou absorvidos quando em contato com o objeto. Dessa maneira, maiores densidades de cinza indicam que há tecidos mais densos, ou seja, há maior impedimento à passagem dos raios X, conferindo maior nível de radiopacidade (claro), na imagem de radiografia (MEDEIROS et al., 2020; SILVA et al., 2020; KOTWALIWALE et al., 2014).

De acordo com Medeiros et al. (2018), imagens que apresentam manchas que indiquem deterioração de tecidos, danos mecânicos, menor enchimento embrionário ou má formação da semente contribuem para um maior nível de radiolucidez (escuro), reduzindo valor de cinza nas imagens.

Partindo de tal conhecimento e de que valores de cinza mediano próximo a 255 (pixels brancos) gera uma imagem mais clara e quanto mais próximo de 0 (preto) gera imagem mais escura, entende-se que a cultivar Aporé apresentou menor nível de radiopacidade, sendo indicativo de possuir tecidos menos densos quando comparado a cultivar Bônus, que apresentou uma imagem com maior quantidade de pixels claros, o que pode se relacionar com a qualidade inicial das sementes (Tabela 4).

O *aspect ratio* (Tabela 6) é a relação entre os eixos maior e menor da elipse que circunscreve a semente. Quando o resultado da razão dos eixos for próximo ao valor de 1,0, indica que sementes mais esféricas (SANTOS et al., 2020). Estudando sementes de soja, Wendt et al. (2014) identificaram que sementes alongadas apresentam valores crescente para essa variável, ou seja, para que as sementes de soja estejam dentro do padrão de comercialização (esféricas), a variável que relaciona os eixos maior e menor devem apresentar um valor decrescente tendendo a 1,0.

Portanto, foi identificado que entre as cultivares estudadas, a Olimpo obteve resultados mais próximos ao valor de 1,0 do que as demais, inferindo ser mais arredondada. As sementes que chegaram no ensaio passaram por diferentes máquinas que fizeram a seleção das sementes boas daquelas que apresentavam alguma avaria, formando então lotes com sementes uniformizadas e padronizadas.

A análise multivariada de componentes principais (PCA) após o ensaio foi realizada utilizando os dados obtidos para as quatro cultivares e as características avaliadas (Figura 5). Foi identificado que os dois primeiros componentes (PC1 e PC2) foram responsáveis por 78,3% da variabilidade dos dados total.

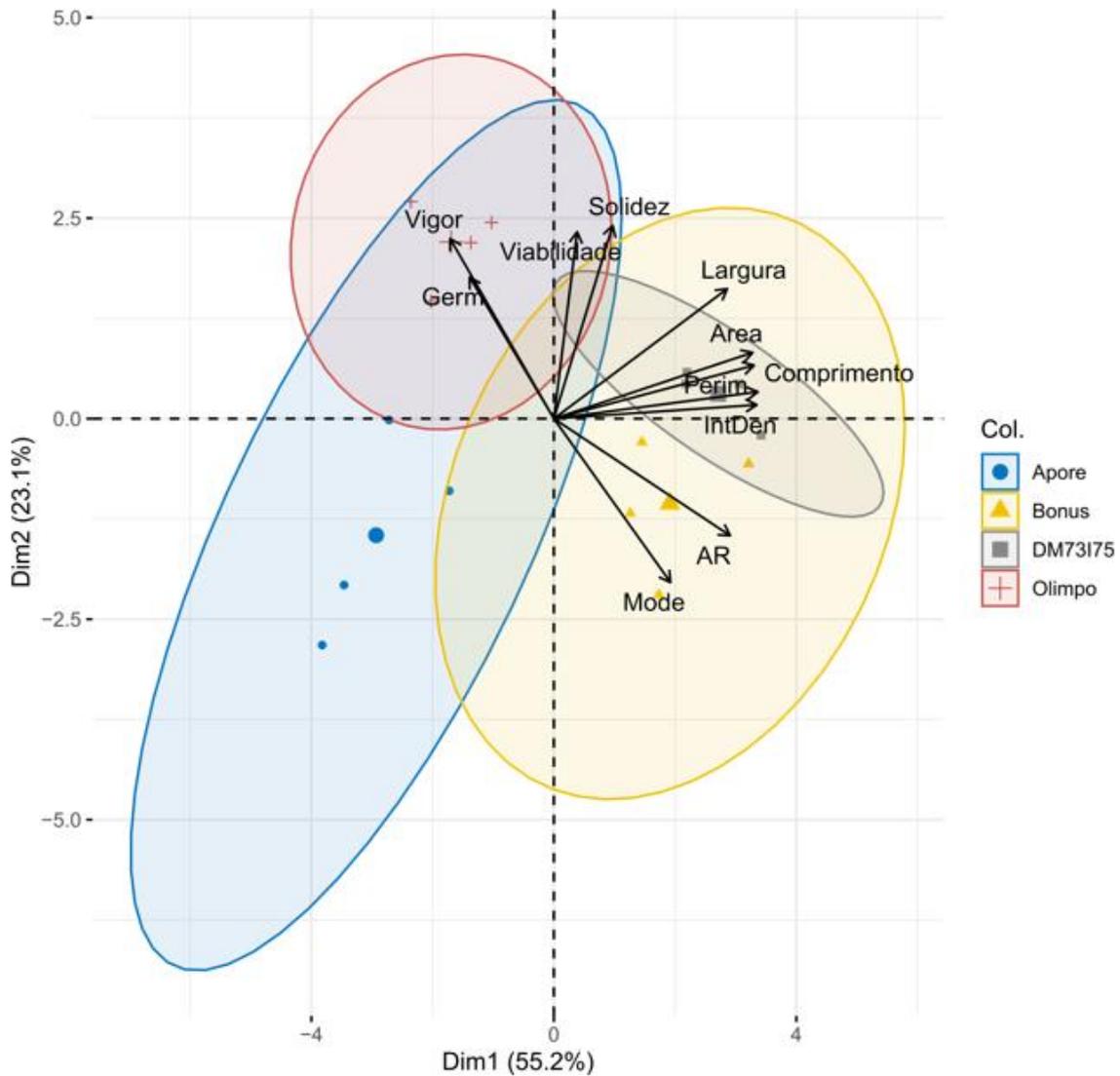


Figura 5. Biplot obtido pelo agrupamento das variáveis relacionadas às características da semente coletadas após ensaio. PC1- Componente Principal 1; PC2 – Componente Principal 2; Área; Perim.- Perímetro; Mode – cinza mediano; AR – Aspect ratio; round – redondeza; Solidez; Comprimento; Largura; IntDent – densidade integrada; Germ. – germinação; Vigor e Viabilidade.

Os vetores mostrados na imagem (Figura 5) representam a qualidade fisiológica, por meio da germinação, vigor e viabilidade e as variáveis obtidas na análise das imagens de raios X por meio do ImageJ. Nota-se que o vetor que representa germinação, vigor e viabilidade aproximaram-se do vetor solidez, indicando uma possível correlação. Foi observado ainda, que a germinação e o vigor estão bem próximos, e ambos se opõem aos vetores representados pelo cinza mediano (mode) e *aspect ratio* (AR).

Por meio da matriz de correlação (Figura 6) foi observado que a germinação e vigor apresentaram correlação positiva fraca com a solidez; e com as demais variáveis, as correlações foram negativas, exceto na correlação entre germinação e largura, o qual não houve correlação. Foi identificada correlação negativa entre o *aspect ratio* e as características fisiológicas vigor e germinação.

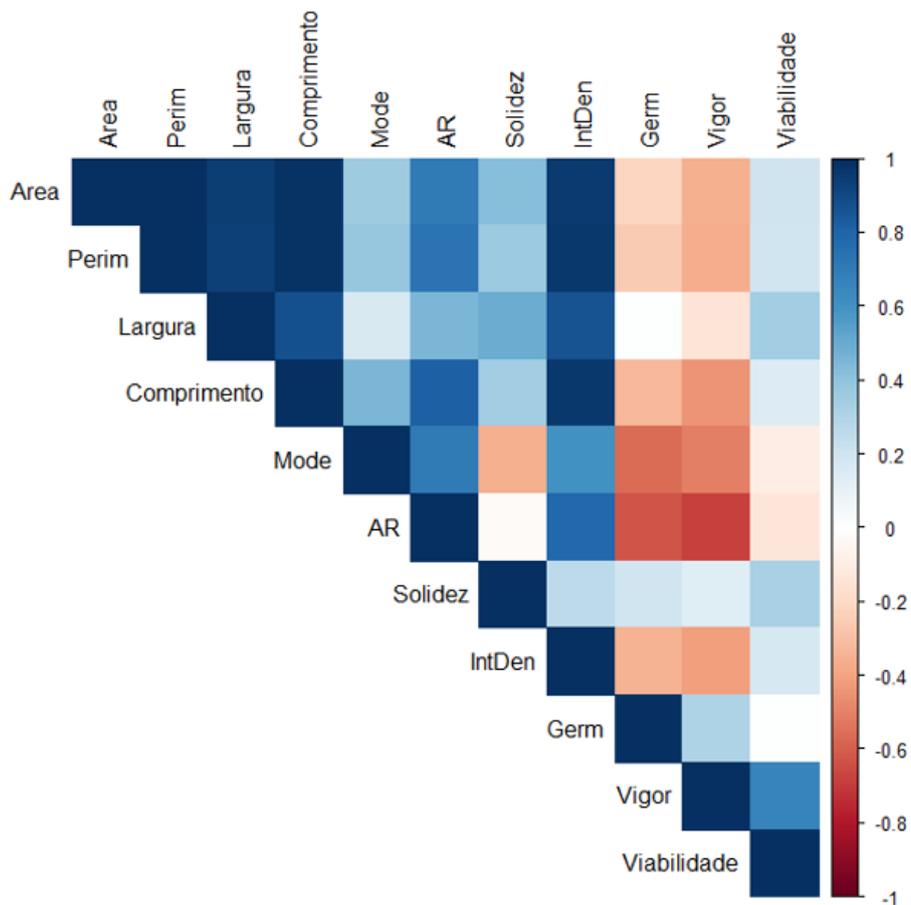


Figura 6. Matriz de correlação obtida a partir dos dados de imagens de raios x de sementes e a porcentagem de germinação de sementes coletadas após ensaio. PC1- Componente Principal 1; PC2 – Componente Principal 2; Área; Perim.- Perímetro; Mode – cinza mediano; AR – Aspect ratio; round – redondeza; Solidez; Comprimento; Largura; IntDen – densidade integrada; Germ. – germinação; Vigor e Viabilidade.

Em sementes de soja, Wendt et al. (2014) observaram que valores crescentes da relação entre o maior e menor eixo, mostravam ser mais alongadas, e lotes que tiveram valores altos para essa variável apresentaram baixa germinação, com menor potencial fisiológico e sementes deformadas. No presente trabalho não foi possível identificar tal relação, uma vez que a não houve diferença na germinação e vigor.

O processo de beneficiamento de sementes de soja tem intuito de selecionar as sementes de modo que, ao final do processo, os lotes sejam uniformes e padronizados. A partir dos dados apresentados verificou-se que as sementes recebidas na UBS já apresentavam qualidade fisiológica satisfatória desde o início. Portanto, o uso de raios X, neste trabalho, não se mostrou necessário, devido a pouca correlação entre os parâmetros de imagens com as avaliações rotineiras no laboratório de sementes.

CONCLUSÃO

Devido à alta qualidade das sementes de soja recebidas na unidade de beneficiamento, não foi possível verificar a eficiência da análise de imagens de raios X nas etapas de beneficiamento.

REFERÊNCIAS

ABUD, H.F. et al. Radiographic images and relationship of the internal morphology and physiological of broccoli seed. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v. 40, n.1, p. 1-9, 2018.

ARRUDA, N. et al. Radiographic analysis to assess the seed structure of *Crotalaria juncea* L. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 38, n. 2, p. 161-168, 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa** nº 45 de 13 de setembro de 2013. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 20 de setembro de 2013. Seção I, 39p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regra para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 395p.

FORTI, V.A. et al. Análise de imagens na avaliação de danos mecânicos e causados por percevejo em semente de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 30, n. 1, p. 121-130. 2008.

FRANÇA-NETO, J.B. et al. **O teste de tetrazólio em sementes de soja**. Londrina, PR: EMBRAPA, 1998. 72p.

ISTA. **International rules for seed testing association**, Zurich, 174p. 2004.

JAVORSKI, M. et al. Image analysis to evaluate the physiological potential and morphology of pearl millet seeds. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 40, n.2, p. 127-134, 2018.

JUVINO, A.N. et al. Vigor da cultivar BMX Potência RR de soja durante o beneficiamento e períodos de armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n. 8, p. 844-850, 2014.

KOBORI, N.N. et al. Teste de raios-X na avaliação da qualidade de sementes de mamona. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina v. 34, n.1, p.125-133, 2012.

KOTWALIWALE, N. et al. X-ray imaging methods for internal quality evaluation of agricultural produce. **Journal of Food Science and Technology**, v.51, n.1, p.1-15, 2014.

MARCHII, J.L.; GOMES JUNIOR, F.G. Use of image analysis techniques to determine the embryo size of *Senna multijuga* (Rich.) seeds and its relation to germination and vigor. **Journal of Seed Science**, Londrina, v.39, n.1, p.13-19, 2017.

MEDEIROS, A.D. et al. Parameters based on X-ray images to assess the physical and physiological quality of *Leucaena leucocephala* seeds. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.42, n.6, p. 643-652, 2018.

MEDEIROS, A.D. et al. High-throughput phenotyping of brachiaria grass seeds using free access tool for analyzing X-ray images. **Annas of the Brazilian Academy of Sciences**, v.92, 2020.

MELO, L.F. et al. Beneficiamento na qualidade física e fisiológica de sementes de capim-mombaça. **Revista Ciência Agronômica**, v.47, n.4, p.667-674, 2016.

MONDO, V.H.V. et al. Avaliação de danos mecânicos em sementes de feijão por meio da análise de imagens. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n.2, p. 27-35, 2009.

MOREANO, T.B. et al. Evolução da qualidade física de sementes de soja durante o beneficiamento. *Informativo ABRATES*, v. 23, n. 3, p. 25-31, 2013.

MOREANO, T.B et al. Physical and physiological qualities of soybeans seed as affected by processing and handling. **Journal of Seed Science**, v.35, n.4, p.466-477, 2013.

PEREIRA, C.E. et al. Qualidade física e fisiológica de sementes de arroz ao longo da linha de beneficiamento. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, p. 2995-3002, 2012.

PESKE, S.T.; BAUDET, L. Beneficiamento de Sementes. In: PESKE, S.T. et al. **Sementes: Fundamentos Científicos e Tecnológicos**. 2. ed. Pelotas, RS: Editora Universitária – UFPEL, Cap. 6, p. 373-326, 2006.

PINHEIRO, D.T. et al. Assessment of the physical and physiological quality of *Piptadenia gonoanth* seed (Mart.) J. F. MARCBR. using image analysis. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 40, 2020.

PINTO, T.L. et al. Avaliação de danos por umidade, em sementes de soja, utilizando a técnica da análise de imagens. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.29, n.3, p.31-38, 2007.

RIBEIRO, A.S. et al. Use of radiographic images for rapid and non-destructive assessment of crambe seed quality. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 43, e202143001, 2021.

SANTOS, R.F. Morphological and physiological changes during maturation of okra seeds evaluated through image analysis. **Scientia Agricola**, v.77, n.3, e20180297, 2020.

SILVA, R.P. et al. Qualidade fisiológica de sementes de soja (*Glycine max.* L.) durante o beneficiamento. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 4, p.1219-1230, 2011.

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

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

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.

TROGELLO, E. et al. Acompanhamento de uma unidade beneficiadora de sementes de milho – Estudo de caso. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n.2, p.193-201, 2013.

WENDT, L. et al. Avaliação do potencial fisiológico de sementes de soja por meio de imagens. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.44, n. 3, p.280-286, 2014.