



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

LUCAS ALBUQUERQUE DE LIMA

RAIOS X NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS SEMENTES DE TRIGO (*Triticum aestivum*)

FORTALEZA

2023

LUCAS ALBUQUERQUE DE LIMA

RAIOS X NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS SEMENTES DE TRIGO (*Triticum
aestivum*)

Monografia submetida ao curso de Graduação em Agronomia, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Agrônomo. Área de concentração: Tecnologia de Sementes.

Orientadora: Profa. Dra. Viviane Castro dos Santos

Coorientadora: Profa. Dra. Haynna Fernandes Abud

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- L698r Lima, Lucas Albuquerque de.
Raios X na avaliação da qualidade das sementes de trigo (*Triticum aestivum*) / Lucas Albuquerque de Lima. – 2023.
34 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2023.
Orientação: Profa. Dra. Viviane Castro dos Santos.
Coorientação: Profa. Dra. Haynna Fernandes Abud.
1. Germinação. 2. Análise computadorizada. 3. Desempenho de plântulas. 4. Trigo - Semente. 5. Sementes - Qualidade. I. Título.

CDD 630

LUCAS ALBUQUERQUE DE LIMA

RAIOS X NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS SEMENTES DE TRIGO (*Triticum aestivum*)

Monografia submetida ao curso de Graduação em Agronomia, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Agrônoma. Área de concentração: Tecnologia de Sementes.

Aprovada em: 05/12/2023.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Viviane Castro dos Santos (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Haynna Fernandes Abud (Coorientadora)
Image Pesquisas Sementes e Plantas

Prof. Dr. Alan Bernard Oliveira de Sousa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Me. Alessandro Marques Maia
Instituto Federal do Ceará (IFCE)

A Deus.

Aos meus pais, Carla e Luiz.

Aos meus familiares, Simone e Carlos Eduardo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, senhor da minha vida que proporcionou tudo até aqui, não apenas nestes anos como universitária, mas que em todos os momentos, ele é o maior mestre que alguém pode ter.

Aos meus pais, minha irmã, meu tio Eduardo e minha prima Simone, pelo incentivo e apoio em todos os momentos.

Aos meus amigos, pelo apoio e encorajamento, pois quem tem um amigo fiel tem uma poderosa proteção, pois quem acha um, descobri um tesouro (Eclo 6, 14).

A professora Viviane, por acolher o meu convite e pelas conversas que me motivaram a fazer este trabalho.

A D.ra Haynna, pelo apoio, paciência, incentivo, conselhos, orientação, correções, direcionamento, paciência e amizade, sem você esse trabalho não seria possível.

Aos professores participantes da banca examinadora Alan Bernard e Mayara Uchôa pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Ao GOU Guerreiros, um verdadeiro oásis no meio do campus do Pici, um farol de esperança verdadeira fonte do amor de Deus.

Aos meus colegas de curso, por todos os momentos vividos durante o curso e pelo companheirismo.

A empresa Image Pesquisas Sementes e Plantas, pelo fornecimento dos dados que foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

A Universidade Federal do Ceará, instituição que proporcionou minha formação profissional, e por todo conhecimento que adquiri ao longo dos anos do curso.

“Ó Jesus, sede sempre Jesus, e eu ficarei sempre contente perante tudo o que me possa acontecer.” (São João Eudes).

RESUMO

O trigo (*Triticum aestivum*) pertence à família das gramíneas (Poaceae) e juntamente com o milho e o arroz são os grãos mais cultivados no mundo. Com o crescimento de sua produção, torna-se cada vez mais necessário a utilização de sementes que apresente alta qualidade, empregando técnicas que permitam avaliar a qualidade fisiológica das sementes, garantindo agilidade e eficiência nas análises desenvolvidas. Dentre as técnicas, as que utilizam análise de imagens computadorizadas como raios X e RGB, permitem relacionar a morfologia interna e integridade estrutural, podendo assim determinar o potencial fisiológico de lotes de sementes. Diante disto, objetivou-se avaliar características morfológicas de duas cultivares de sementes de *Triticum aestivum* relacionando com o desempenho das plântulas por meio de técnicas de análise de imagens. Para cada cultivar foi realizada quatro repetições de 50 sementes, onde as sementes foram previamente identificadas para realizar o teste de raios X, em seguida as imagens foram analisadas no software ImageJ® (Image Processing and Analysis in Java) sendo obtido a densidade de tecidos. Posteriormente as sementes foram separadas em classes de acordo com a sua densidade de tecidos. Logo depois, as sementes foram submetidas ao teste de germinação e posteriormente ao teste de análise de imagens de plântulas aos 4 dias após a semeadura. Também se utilizou o software ImageJ® para processar as imagens das plântulas onde foram coletados os comprimentos de sistema radicular (cm), comprimento de parte aérea (cm) comprimento total das plântulas (cm). Pode-se relacionar a densidade das imagens de raio X das sementes de trigo ao seu vigor, sendo possível associar características morfológicas das sementes desempenho das plântulas através de técnicas de análise de imagens.

Palavras-chave: Germinação; Análise computadorizada; Desempenho de plântulas.

ABSTRACT

Wheat (*Triticum aestivum*) belongs to the grass family (Poaceae) and together with corn and rice are the most cultivated grains in the world. With the growth of its production, it becomes increasingly necessary to use seeds that present high quality, using techniques that allow the evaluation of the physiological quality of the seeds, ensuring agility and efficiency in the analyses developed. Among the techniques, those that use analysis of computerized images such as X-rays and RGB allow the relationship between internal morphology and structural integrity, thus being able to determine the physiological potential of seed lots. In view of this, the objective of this study was to evaluate the morphological characteristics of two seed cultivars of *Triticum aestivum* relating to seedling performance by means of image analysis techniques. For each cultivar, four replications of 50 seeds were performed, where the seeds were previously identified to perform the X-ray test, then the images were analyzed in the ImageJ® (Image Processing and Analysis in Java) software, and the tissue density was obtained. Subsequently, the seeds were separated into classes according to their tissue density. Soon after, the seeds were submitted to the emergence test and later to the seedling image analysis test at 4 days after sowing. The ImageJ® software was also used to process the images of the seedlings, where the root system length (cm), shoot length (cm) and total seedling length (cm) were collected. It is possible to relate the density of the X-ray images of wheat seeds to their vigor, and it is possible to associate morphological characteristics of the seeds and seedling performance through image analysis techniques.

Keywords: *Germination. Computerized analysis. Seedling performance.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Semente de trigo e suas estruturas	17
Figura 2 – Sementes de <i>Triticum aestivum</i> fixadas em uma folha de plástico transparente com auxílio de uma fita adesiva	21
Figura 3 – Imagem radiográfica de sementes de <i>Triticum aestivum</i>	22
Figura 4 – Sistema de captura de imagens de plântulas	24
Figura 5 – Imagem computadorizada de uma plântula de trigo após o quarto dia de sua semeadura. A - a linha amarela marca o comprimento da parte aérea da plântula; B - a linha amarela marca o comprimento do sistema radicular da plântula; e C – os comprimentos de parte aérea e sistema radicular marcados	24
Figura 6 – Imagens radiográficas de sementes de trigo de cada uma das cultivares e para cada uma das três classes de densidade e no lado direito, o respectivo resultado do teste de germinação em imagens de RGB	28
Figura 7 – Comprimento médio de plântulas de duas cultivares de trigo com quatro repetições, considerando o número total de sementes avaliadas em comparação com as três classes de densidade	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes da densidade dos tecidos para as duas cultivares <i>Triticum aestivum</i>	23
Tabela 2 – Relação entre as classes de densidade das imagens raios X e a germinação das quatro repetições das duas cultivares de trigo	26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CENA-USP	Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
PADETEC	Parque de Desenvolvimento Tecnológico
RGB	Red, Green, and Blue
USDA	United States Department of Agriculture

LISTA DE SÍMBOLOS

cm	centímetros
%	Porcentagem
µm	Micrometros
Gb	Gigabyte
GHz	Gigahertz
®	Marca Registrada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Aspectos gerais da espécie	16
2.1.1	<i>Importância econômica</i>	16
2.1.2	<i>Morfológica das sementes de trigo</i>	17
2.1.3	<i>A cultivar de trigo BRS 264</i>	18
2.1.4	<i>A cultivar de trigo BRS 404</i>	18
2.2	Qualidade de sementes	18
2.3	Avaliação do vigor de sementes	19
2.3.1	<i>Análise de imagens de Raio X</i>	20
2.3.2	<i>Análise de imagens em RGB</i>	20
3	MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1	Obtenção das imagens de raios X das sementes	21
3.1.1	<i>Análise de imagens de raios X de sementes</i>	22
3.2	Teste de germinação	23
3.3	Análise computadorizada de imagens de plântulas	23
3.4	Análise estatística	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
5	CONCLUSÃO	31
	REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

Triticum aestivum L. é uma espécie de trigo que pertence à família das gramíneas (Poaceae), sendo juntamente com o *Triticum monococcum* e *Triticum durum* as principais espécies de trigo cultivadas (CONAB, 2017). O trigo junto com o milho e o arroz apresenta grande importância para a economia mundial (TAKEITI, 2015), e por conta do seu aprimoramento genético apresenta uma adaptação edafoclimática para diferentes regiões do mundo com situações climáticas diversas, levando esse cereal a ser uma das espécies mais cultivadas no mundo (CONAB, 2017).

A semente do trigo, segundo o glossário do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2009) é denominada como cariopse com formato longo elíptico-obovado, com uma coloração que varia do amarelado ao castanho-amarelado, apresentado tamanhos variados dependendo da cultivar. Os dois lados da semente são mais ou menos convexos, apresentando em seu lado ventral um sulco longitudinal de raso a profundo, no seu lado dorsal a área do embrião, localizado na extremidade mais estreita e um tufo de pêlos em seu ápice.

Sendo o segundo cereal mais produzido no mundo, o trigo apresentou ao longo da safra de 2022-2023 uma produção mundial de 789,5 milhões de toneladas sendo colhido em uma área de 220,6 milhões de hectares (USDA, 2023). Nesse mesmo período, o Brasil produziu 10,6 milhões de toneladas de grãos, chegando próximo do valor de consumo total anual, com o valor aproximado de 11,9 milhões de toneladas (USDA, 2023).

Nos últimos anos a produção do trigo no Brasil vem crescendo devido a introdução de novas cultivares que apresentam um grande potencial de rendimento, além de ser utilizado novas áreas de cultivo, que antes eram ocupadas pela pecuária, mas para que essas lavouras sejam mantidas é necessário que as sementes utilizadas apresentem alta qualidade além de apresentar grandes quantidades (CONAB, 2017).

A qualidade das sementes está diretamente ligada a seus componentes fisiológicos, genéticos, sanitários e físicos, cujo a interação desses componentes influenciam na qualidade final da semente e no desenvolvimento da cultura (IMOLESI *et al.*, 2001). Dessa forma, a análise da qualidade de sementes apresenta diferentes técnicas para a avaliação do seu vigor, utilizando testes que avaliam o desempenho de plântulas, a frio, envelhecimento acelerado, condutividade elétrica, tetrazólio e por meio de recursos de análises de imagens.

Sendo assim, é de grande importância a utilização de métodos que permitam avaliar a qualidade fisiológica das sementes, garantindo agilidade e eficiência nas análises desenvolvidas. As técnicas de análise de imagens vêm se destacando como ferramentas altamente precisas na avaliação da qualidade de sementes, sendo as técnicas mais utilizadas as de raio X e a análise computadorizada de plântulas (FRANÇA-NETO, 2009). A análise de imagens permite compreender diferentes aspectos do desenvolvimento das sementes, tornando possível relacionar a morfologia interna e integridade estrutural, podendo assim determinar o potencial fisiológico de lotes de sementes (MARCOS FILHO, 2010).

Objetivou-se, com este trabalho, investigar a eficiência da técnica de análise de imagens de raios X na avaliação da morfologia interna e da qualidade física de sementes de trigo (*Triticum aestivum*).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Ao longo deste tópico será detalhado aspectos gerais da cultura do trigo e das técnicas de análise de imagens.

2.1 Aspectos gerais da espécie

O trigo é uma cultura de grande importância, logo é necessário entender seus diferentes aspectos econômicos e morfológicos.

2.1.1 Importância econômica.

O trigo apresenta grande importância para economia mundial por ser uma das principais culturas cultivadas no mundo. Entre 2010 e 2022, o Brasil cultivou uma área média aproximada de 2,3 milhões de hectares de trigo por safra, apresentando uma produção média, no mesmo período, de aproximadamente 6,1 milhões de toneladas (CONAB, 2023).

No Brasil a concentração do cultivo do trigo encontra-se na região Sul, representando aproximadamente 90,43% da área de produção brasileira em 2022 (CONAB, 2023). Além da região Sul, o Cerrado vem ganhando notoriedade e apresenta grande importância estratégica, sobretudo no cultivo irrigado. Nos estados de Minas Gerais, Goiás, Distrito Federal, Mato Grosso do Sul e Bahia, sendo a grande maioria pertencentes a região Central do país, apresentam sistemas de cultivo em sequeiro, sendo aplicado na segunda quinzena de janeiro, e safrinha na quinzena de abril (CONAB, 2017).

A autossuficiência e o crescimento da produção de trigo no Cerrado brasileiro dependem do cultivo de variedades com adaptação a região, dessa forma cultivares desenvolvidas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e por outras instituições que realizam pesquisas relacionadas à agropecuária são um dos caminhos para estimular esse crescimento (SOUZA *et al.*, 2020).

Fora do Cerrado, Alagoas e o Ceará são os dois estados do Nordeste que se destacam por sua capacidade de moagem de trigo, apresentando praças com indústrias beneficiadoras, sendo elas a M. Dias Branco, J. Macêdo e Moinho Motrisa (COÊLHO, 2021). Diferente de Alagoas, o Ceará realizou em 2019 e 2020, com auxílio da Embrapa e empresas privadas, dois experimentos envolvendo o cultivo de trigo, sendo um realizado em Tianguá e o outro em Limoeiro do Norte, tendo como resultado um trigo de boa qualidade, com um ciclo mais curto

(de aproximadamente 70 dias) e com uma produtividade maior (5,3 t/ha) do a das regiões Sul e Sudeste (DIÁRIO DO NORDESTE, 2019; FOCUS, 2020).

2.1.2 Morfológica das sementes de trigo

O trigo tem o seu fruto denominado de cariopse apresentando uma forma ovalada e arredondada em suas extremidades (Figura 1), e apresenta em sua constituição quatro partes onde cada uma delas exercem funções particulares relacionadas a qualidade da semente (CONAB, 2017). As quatro partes da semente são:

- Conjunto pericarpo e tegumento: sua função principal é proteger as estruturas internas da semente, sendo a estrutura mais externa da semente;
- Camada de aleuroma: região da semente em que concentra as proteínas e minerais, sendo essencial para o processo germinativo;
- Endosperma: região em que se concentra a maior parte do amido da semente, logo é a maior estrutura da semente, sendo a principal fonte de carboidrato a ser mobilizada ao embrião, proporcionando a formação da plântula;
- Eixo embrionário (Embrião): apresenta as estruturas da futura planta e são essenciais para o seu desenvolvimento, sua constituição apresenta coleorriza, radícula, hipocótilo, plúmula, folhas primárias, coleóptilo e escutelo (EICHELBERGER, 2011).

Figura 1– Semente de trigo e suas estruturas.



Fonte: Image Pesquisas (2023).

2.1.3 A cultivar de trigo BRS 264

A BRS 264 foi a cultivar de trigo mais cultivada no Cerrado entre 2010 e 2020, apresentando alta produtividade, tolerância à toxicidade de alumínio como também a mancha marrom, além de ser precoce e apresentar adaptação a temperaturas elevadas e a déficit hídrico. Essa cultivar foi lançada pela Embrapa em 2006, tendo como algumas características agronômicas satisfatórias a sua cor, dureza e tolerância ao acamamento, além de apresentar excelente qualidade para a indústria de panificação (ALBRECHT, 2021).

Essa cultivar é proveniente do cruzamento Buckbuck/Chiroca/Tui, sendo um trigo de primavera. O seu ciclo é super precoce, levando 105 dias da emergência até a sua maturação. As plantas apresentam estatura média de 90 cm, tendo espigas no formato fusiforme com comprimento curto menor que 75 mm. Os grãos apresentam comprimento médio entre 6 a 7 mm e sua textura é dura e coloração avermelhada (ALBRECHT, 2021).

Recomenda-se essa cultivar para cultivo irrigado, onde é indicado a semeadura entre os períodos de 10 de abril a 31 de maio, período em que o trigo irrigado encontra condições ideais para um bom desenvolvimento no Cerrado, pois encontra nos meses de maio até julho, temperaturas mais baixas (ALBRECHT, 2021).

2.1.4 A cultivar de trigo BRS 404

A BRS 404 teve sua origem do cruzamento simples entre a cultivar MGS 1-Aliança e a linhagem WT 99172, onde seu cultivo é indicado sistemas em sequeiro no período de safrinha em regiões com altitude em torno de 800m ou superiores a essa altitude, destacando-se pelo elevado rendimento de seus grãos (CHAGAS *et al.*, 2018).

O seu ciclo é de precoce a médio, onde a altitude influencia o ciclo da cultura que varia de 105 dias até 118 dias, e a altura média da planta é de 77 cm.

2.2 Qualidade de sementes

Em campo uma semente deve apresentar atributos que garantam sua germinação uniforme e sua permanência em campo. Os atributos que influenciam diretamente a qualidade de sementes são os genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários. As características de tamanho, peso e composição química das sementes muitas vezes podem ser relacionadas a aspectos físicos e fisiológicos das sementes (SANTOS *et al.*, 2005).

Outro fator que influencia bastante na qualidade de sementes são as condições climáticas, sendo de grande importância a escolha da época de semeadura (VIGANÓ *et al.*, 2010). Aliado a esse fator a escolha de sementes com elevada qualidade fisiológica, proporciona o favorecimento de estandes mais uniformes além de incrementar no rendimento dos grãos de trigo (LIMA *et al.*, 2006).

Para estimar o comportamento das sementes em campo existem diferentes formas de avaliá-las por meio de testes de vigor, que buscam identificar lotes com maior qualidade, por meio de testes comparativos. Cada espécie apresenta a sua particularidade na avaliação da qualidade de suas sementes, sendo a baixa velocidade e a menor quantidade de sementes germinadas os primeiros sinais que indicam uma diminuição no vigor fisiológico das sementes (MARCOS FILHO, 2015).

Dessa forma, nas rotinas de laboratórios de análises de sementes, o teste de germinação é bastante utilizado para avaliar o potencial fisiológico das sementes (BRASIL, 2009), analisando a capacidade das sementes sobre condições ideais de temperatura, umidade e substrato apresentarem a capacidade de produzir plântulas normais (LIMA *et al.*, 2006). Outros trabalhos abordam sobre a qualidade de sementes de trigo como em Cardoso *et al.* (2021), VIGANÓ *et al.* (2010) e OHLSON *et al.* (2010).

2.3 Avaliação do vigor de sementes

O mercado atual é muito exigente em relação ao processamento das sementes, logo o aprimoramento de tecnologias que garantam esse processamento se mostra de grande importância para o setor agrícola (MELO *et al.*, 2016). Uma das formas mais simples de se avaliar o vigor de sementes é por meio de testes que avaliam o desempenho das plântulas, porém quando se trata em diferenciar lotes de sementes os seus resultados nem sempre são eficientes (NOVEMBRE, 2001). Dessa forma, para complementar as informações obtidas por meio de testes que avaliam o desempenho das plântulas, outros testes de vigor devem ser empregados no controle de qualidade de sementes (MARCOS FILHO *et al.*, 2009).

Uma das técnicas de análise de sementes, consiste na análise de imagens, onde com auxílio de softwares, imagens de sementes e plântulas, obtidas com auxílio de câmeras fotográficas, scanner ou máquinas de raio X, podem ser identificadas as estruturas e analisar a integridade do material. A técnica de análise de imagens apresenta como benefício a utilização das mesmas amostras em outros testes, as imagens obtidas podem ser utilizadas como critérios de avaliação menos subjetivos, podendo ser padronizadas além de permitir

maior precisão nos resultados finais (NOVEMBRE, 2001). A análise de imagens apresenta grande eficiência e precisão nos resultados das análises, uma vez que reduz a subjetividade e consequentemente o erro humano (MEDEIROS et al., 2018).

2.3.1 Análise de imagens de Raio X

Por meio do processamento de imagens radiográficas digitais, podem ser obtidas informações físicas de determinado objeto como cor, textura e geometria. Por não apresentar destruição das sementes, ao obter as imagens é possível utilizar o mesmo material em testes de germinação após ser capturada as imagens. Por meio dos dados obtidos é possível posteriormente relacionar as características físicas e fisiológicas, por meio da análise dos dados (ACHA; VIEIRA, 2020).

As imagens de raio X permitem analisar diferentes aspectos das sementes como os tecidos de reserva, o espaço ocupado pelas estruturas internas (NORONHA; MEDEIROS; PEREIRA, 2018), a localização e o tamanho do embrião (MARCHI; GOMES JUNIOR, 2017), anormalidades no embrião (GOMES *et al.*, 2014) e danos causados por umidade ou por insetos (FORTI; CICERO; PINTO, 2010).

Essa técnica apresenta ótima adaptação ao estudo de sementes, por não comprometer a morfologia e a fisiologia da semente, pois aplica no material uma frequência de radiação com baixa intensidade, podendo observar as diferenças de densidade e a integridade física do material biológico observado (JEROMINI *et al.*, 2019), além de ser fácil de execução, reproduzível e de rápida execução, sendo possível processar uma única semente ou várias em poucos segundos, proporcionando menor tempo na avaliação do vigor de muitos lotes de sementes (ABUD; CÍCERO; GOMES JUNIOR, 2018).

2.3.2 Análise de imagens em RGB

Por meio de imagens em RGB (Red, Green, and Blue) é possível realizar a análise de plântulas, otimizando o tempo de análise e aumentando a sua precisão, uma vez que dados são calculados via programas de processamento de imagens, eliminando a subjetividade que antes existia pelo analista (CASTAN, 2017). Por meio desses softwares é realizada uma automatização das análises, onde são realizadas a contagem dos pixels, sendo possível obter o comprimento de parte aérea e do sistema radicular de plântulas em centímetros.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Análise de Sementes da empresa Image Pesquisas Semente e Plantas, no Parque de Desenvolvimento Tecnológico (PADETEC), localizado junto à Universidade Federal do Ceará, em Fortaleza - CE, Brasil. Duas cultivares de sementes de trigo foram utilizadas, BRS 264 e BRS 404, para a análise de imagens e teste de germinação.

3.1 Obtenção das imagens de raios X das sementes

As imagens radiográficas foram realizadas no Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo (CENA-USP), em Piracicaba, São Paulo.

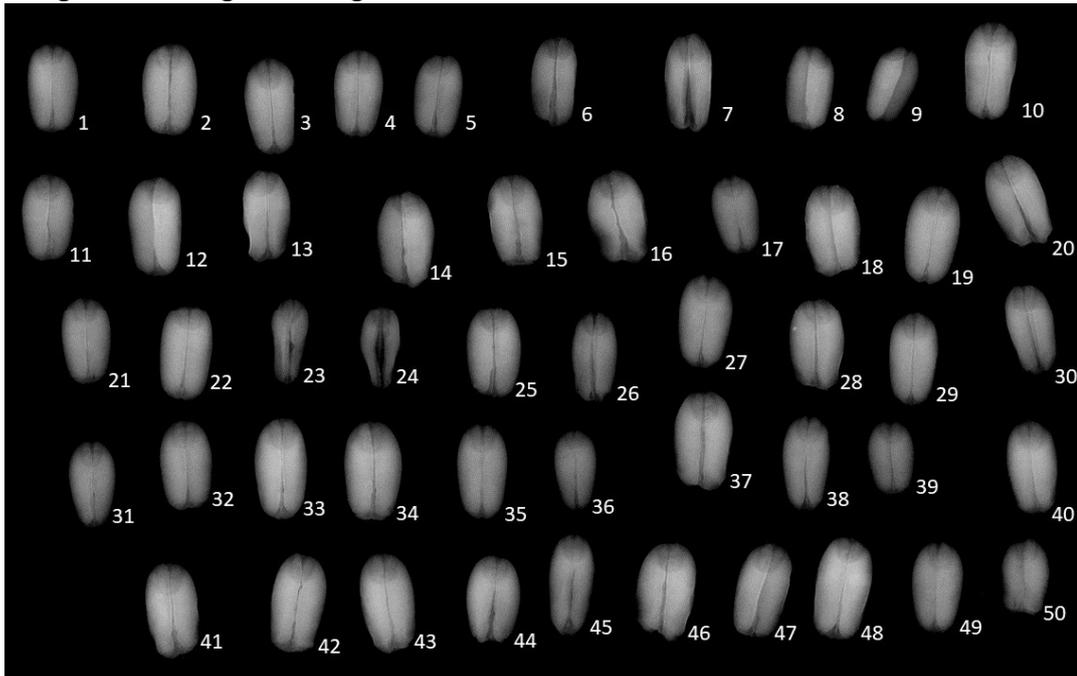
Foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes para cada uma das cultivares para a obtenção das imagens radiográficas. As sementes foram distribuídas e fixadas em folhas de plástico transparente (Figura 2), utilizando fita adesiva dupla face para posicionar as sementes, e assim facilitar a visualização das partes internas da semente, como embrião, endosperma e tegumento e partes vazias (Figura 3).

Figura 2 – Sementes de *Triticum aestivum* fixadas em uma folha de plástico transparente com auxílio de uma fita adesiva.



Fonte: Elaborada pelo autor (2023).

Figura 3 – Imagem radiográfica de sementes de *Triticum aestivum*



Fonte: Elaborada pelo autor (2023).

As imagens radiográficas foram geradas usando um sistema de radiografia digital MultiFocus (Faxitron Bioptics LLC, EUA), sendo equipado com um sensor de raios X semicondutor de óxido metálico complementar (CMOS) acoplado a um tubo de ponto focal de 11 μ m de até 8 vezes ampliação geométrica. Todas as imagens foram gravadas em um dispositivo externo e utilizadas posteriormente.

3.1.1 Análise de imagens de raios X de sementes

Para a análise das imagens radiográficas foi utilizado o software ImageJ® (Image Processing and Analysis in Java) em computador com processador Celeron G5920 CPU (3.50 GHz, 8 GB de memória RAM) e monitor LG. Foi coletada a seguinte variável: Densidade dos tecidos (Valor médio de cinza), que consiste na capacidade da semente absorver ou transmitir luz, apresentando uma variação de 0 a 250. Dessa forma as sementes foram classificadas de acordo com sua densidade individual, em classes que respeitaram a amplitude dos valores de densidade de tecidos obtidos, que variou de 59,548 a 134,052 para primeira cultivar e 44,259 a 126,361 para a segunda. As classes estabelecidas foram:

Tabela 1 – Classes da densidade dos tecidos para as duas cultivares *Triticum aestivum*.

	Cultivar I	Cultivar II
Classe I (menor densidade)	59,548 a 85,742	44,259 a 86,923
Classe II (média densidade)	85,743 a 109,999	86,924 a 105,653
Classe III (maior densidade)	110,000 a 134,052	105,654 a 126,361

Fonte: Elaborada pelo autor (2023).

3.2 Teste de germinação

Posteriormente, mantendo a mesma ordem de distribuição das sementes utilizadas no teste de raios X, foi realizado o teste de germinação, em que foram realizadas quatro repetições de 50 sementes para uma das cultivares. O teste foi conduzido utilizando papel de germinação, previamente umedecidas com água destilada equivalente a 2,5 vezes a massa do substrato seco. Os rolos de papel contendo as sementes foram mantidos em germinador do tipo BOD, em temperatura constante de 25°C e sob fotoperíodo de 8 horas de luz e 16 horas de escuro. As avaliações foram realizadas quatro dias após a semeadura, data estabelecida para a primeira contagem de germinação (BRASIL, 2009).

3.3 Análise computadorizada de imagens de plântulas

As plântulas normais, anormais e sementes mortas, após quatro dias de sua semeadura, foram transferidas para uma folha de papel que apresentava coloração preta, e logo depois foram realizadas as capturas de imagens com auxílio de um scanner, modelo HP Scanjet G2410, adaptado de maneira invertida dentro de uma caixa de alumínio (Figura 4). As imagens foram digitalizadas, em 300 dpi e armazenadas para posterior análise.

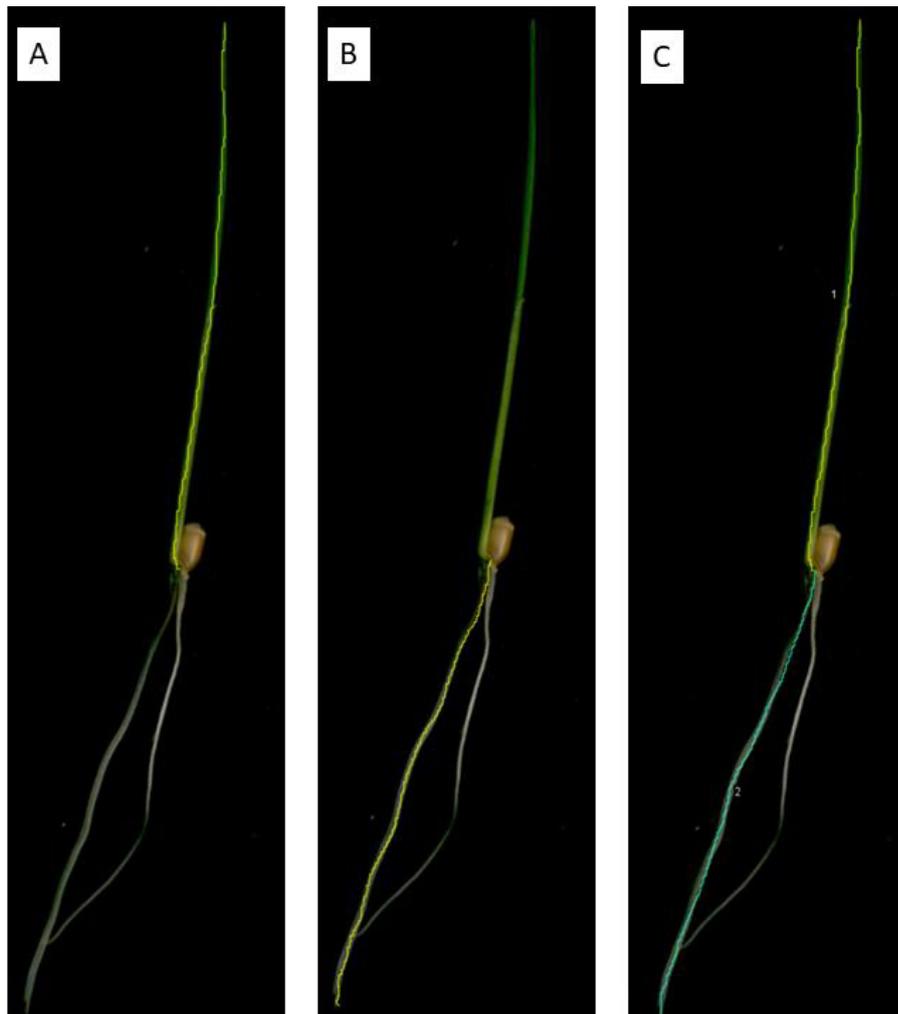
Para determinar os comprimentos de parte aérea, sistema radicular e o comprimento total das plântulas utilizou-se o software Image J® em sua versão gratuita, que possibilitou a demarcação de partes especificadas anteriormente do material analisado (Figura 5). O comprimento foi expresso em centímetros por plântula.

Figura 4 – Sistema de captura de imagens de plântulas.



Fonte: Elaborada pelo autor (2023).

Figura 5 – Imagem computadorizada de uma plântula de trigo após o quarto dia de sua semeadura. A - a linha amarela marca o comprimento da parte aérea da plântula; B - a linha amarela marca o comprimento do sistema radicular da plântula; e C - os comprimentos de parte aérea e sistema radicular marcados.



Fonte: Elaborada pelo autor (2023).

3.4 Análise estatística

Foi realizada uma análise estatística descritiva para os dados dos exames das imagens radiográficas e da análise das imagens das plântulas. Por meio dos resultados das imagens foi realizada uma relação entre a densidade dos tecidos obtidas por meio das imagens radiográficas de cada semente e seu respectivo resultado no teste germinativo (germinação e comprimento da plântula). Foi calculado os percentuais de ocorrência, para cada uma das cultivares, para o número total de plântulas normais, plântulas anormais e sementes mortas identificadas nas imagens em RGB.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio das imagens radiográficas foi possível analisar a densidade das sementes das duas cultivares, para cada uma das classes definidas (Tabela 2). A cultivar I apresentou maior parte das sementes com média e maior densidade (Classe II e III), variando seus percentuais entre 36,0% (C1R4) a 66,0% (C1R2) para a classe II, e de 26,0% (C1R2) a 58,0% (C1R4) para a classe III. Foi observado na primeira cultivar que sementes com menor densidade, mesmo com as menores porcentagens de germinação apresentaram maior frequência de plântulas normais, onde nas quatro repetições ocorreu ausência de plântulas anormais, sendo observado a apenas na primeira repetição a presença de sementes não germinadas. Kobori et al., 2012, observou que sementes de mamona que apresentavam preenchimento parcial foram capazes de gerar plântulas normais.

Tabela 2 – Relação entre as classes de densidade das imagens raios X e a germinação das quatro repetições das duas cultivares de trigo.

CULTIVARES/REPETIÇÕES	GE	CLASSES			TOTAL
		I	II	III	
		*****%/*****			
C1R1	PN	6.0	38.0	36.0	80.0
	PAN	0.0	4.0	14.0	18.0
	SM	2.0	0	0	2.0
C1R2	PN	8.0	58.0	24.0	90.0
	PAN	0.0	4	2.0	6.0
	SM	0.0	4	0	4.0
C1R3	PN	10.0	42.0	40.0	92.0
	PAN	0.0	4	4.0	8.0
	SM	0.0	0	0.0	0.0
C1R4	PN	6.0	34.0	54.0	94.0
	PAN	0.0	2.0	4.0	6.0
	SM	0.0	0	0.0	0.0
C2R1	PN	6.0	18.0	52.0	76.0
	PAN	2.0	10.0	8.0	20.0
	SM	2.0	2.0	0.0	4.0
C2R2	PN	6.0	48.0	32.0	86.0
	PAN	8.0	4.0	2.0	14.0
	SM	0.0	0.0	0.0	0.0
C2R3	PN	10.0	40.0	40.0	90.0
	PAN	2.0	4.0	2.0	8.0
	SM	0.0	2.0	0.0	2.0
C2R4	PN	74.0	6.0	0.0	80.0
	PAN	20.0	0.0	0.0	20.0
	SM	0.0	0.0	0.0	0.0
	MÉDIA	44	31.25	24.75	86.0

Legenda: GE – Germinação; PN – Plântulas normais; PAN – Plântulas anormais; e SM – Sementes não germinadas.

Fonte: Elaborada pelo autor (2023).

A cultivar II apresentou resultados bem diferentes em relação à cultivar I, para as três primeiras repetições. As sementes que apresentaram média e maior densidades (Classe II e III), apresentaram variações de 30,0% (C2R1) a 52,0% (C2R2) para a classe II, e 42,0% (C2R3) a 60,0% (C2R2) para a classe III. A quarta repetição da segunda cultivar obteve maior porcentagem (94,0%) de sementes com menor densidade e obteve também o maior percentual de plântulas normais (74,0%), mostrando que mesmo sementes com valores de densidade mais baixas demonstraram ótimo vigor.

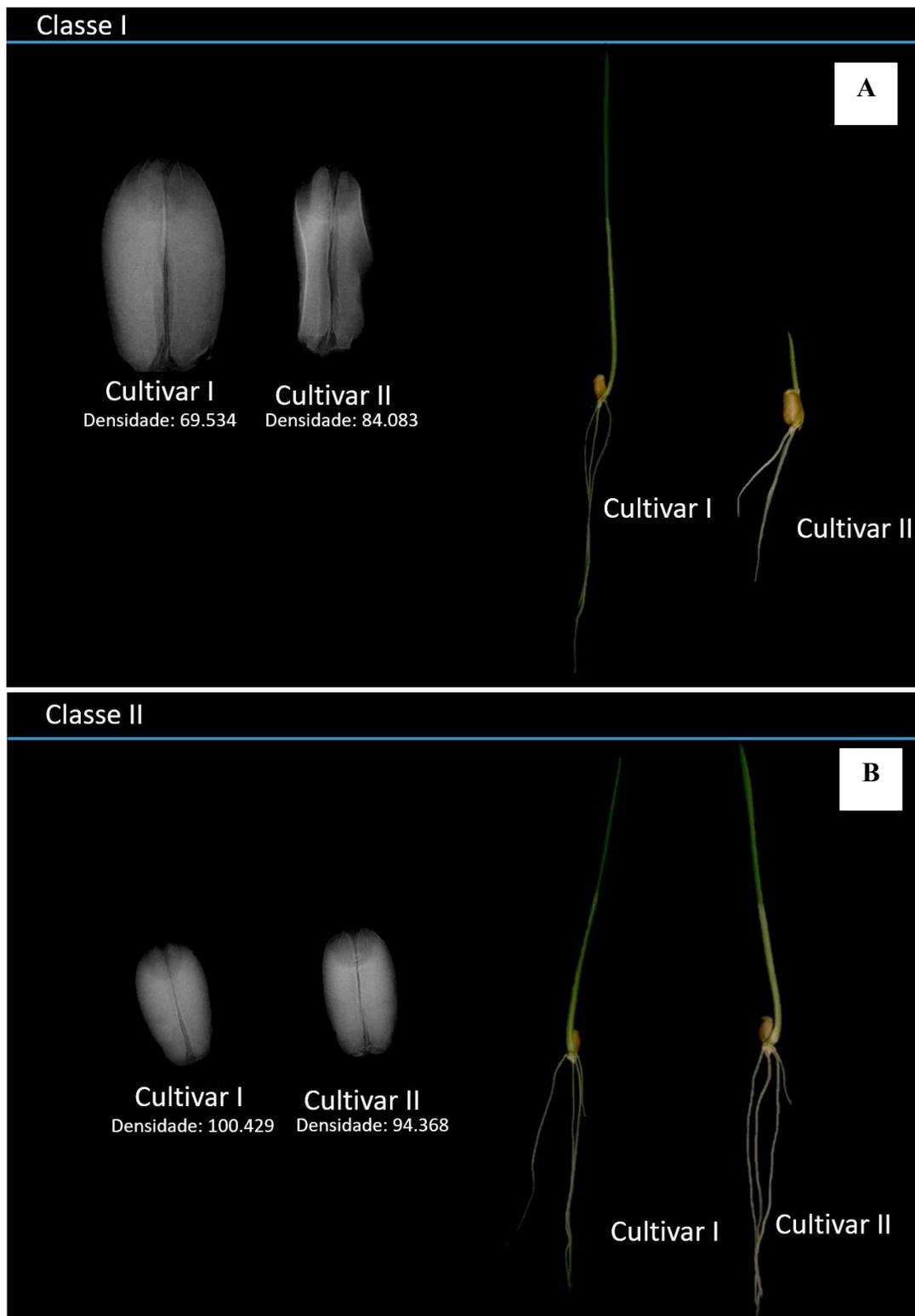
Para ambas cultivares, a porcentagem de plântulas normais apresentou valores acima de 50%. O valor médio de plântulas normais foi de 86%, tendo como variação de porcentagem de 76% (C2R1) a 94% (C1R4). Apenas as C1R1 (80%), C2R1 (76%) e C2R4 (80%), apresentaram porcentagem abaixo do valor médio de plântulas normais.

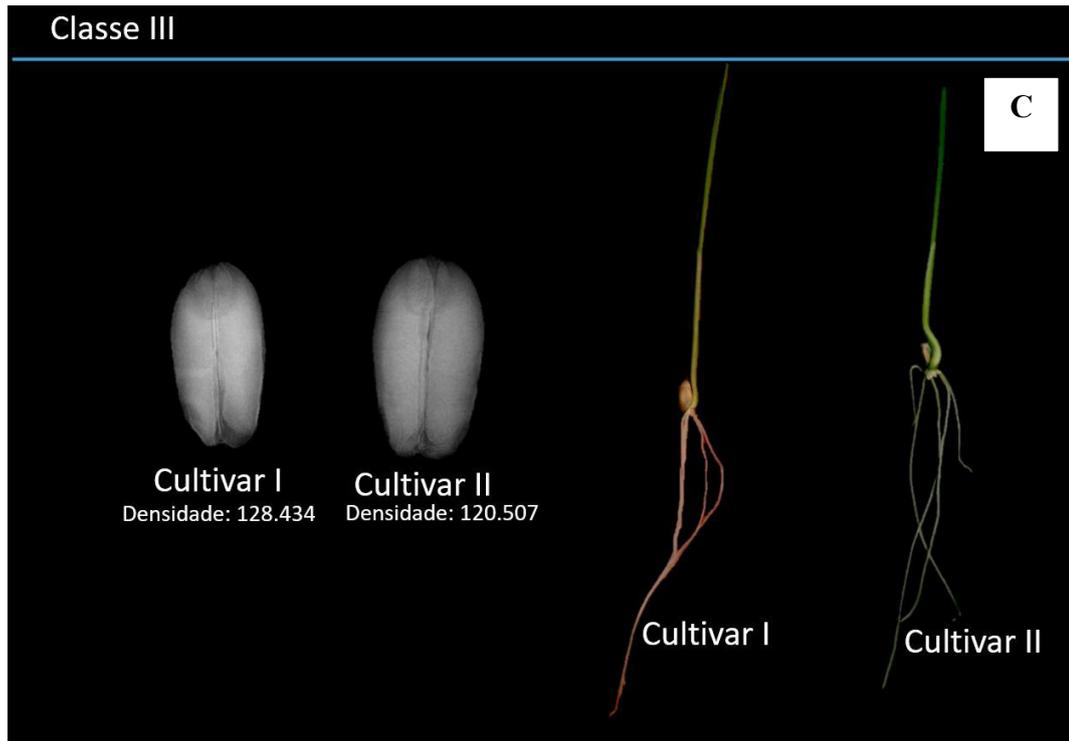
A porcentagem de sementes não germinadas variou de 2% a 4%, e sua ocorrência foi observada nas duas primeiras classes de densidade, apresentando valores nulos para a classe III para as duas cultivares.

Na Figura 6 é possível observar a região interna das sementes das duas cultivares em relação às classes na qual foram classificadas, por meio dessas imagens radiográficas foi possível observar a diferença de regiões que apresentam maior e menor densidade. Ao das imagens radiográficas, está o resultado da germinação das respectivas sementes.

Ao analisar o comprimento das plântulas, foi observado um melhor desempenho no comprimento das plântulas, ao observar o comportamento de cada uma das classes isoladamente (Figura 7). Para cultivar I observou-se que na primeira repetição, o valor médio do comprimento aumentou na classe II, de 8,91 cm da média geral para 10,14 cm. A classe III obteve uma média (8,64 cm) bem próxima da média geral. Para as demais repetições também ocorreu um aumento no valor médio do comprimento das plântulas, quando analisadas isoladamente. Na segunda repetição o valor médio aumentou de 10,15 cm para 12,64 cm na primeira classe e 11,67 cm na terceira classe, na terceira repetição a média saiu de 12,13 cm para 12,55 cm na primeira classe e 12,71 cm na terceira classe, e na quarta repetição ocorreu um aumento de 11,82 cm para 12,55 cm na primeira classe, e 12,71 cm na terceira classe.

Figura 6 – Imagens radiográficas de sementes de trigo de cada uma das cultivares e para cada uma das três classes de densidade e no lado direito, o respectivo resultado do teste de germinação em imagens de RGB. A – Imagens das sementes e plântulas pertencentes a classe I; B - Imagens das sementes e plântulas pertencentes a classe II; e B - Imagens das sementes e plântulas pertencentes a classe III.



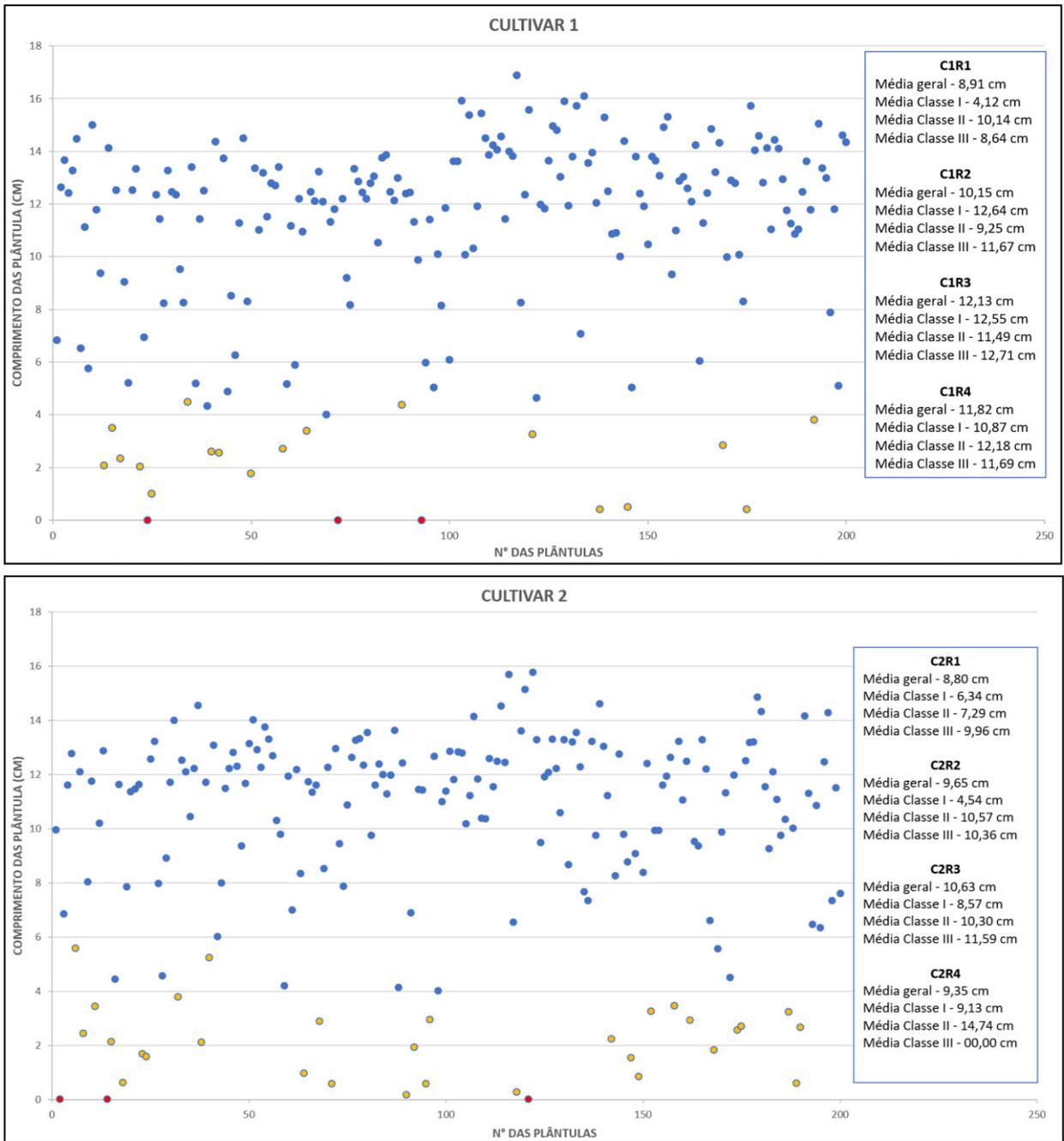


Fonte: Elaborada pelo autor.

O mesmo foi observado para segunda cultivar (Figura 7), que apresentou na primeira repetição um aumento na média dos comprimentos das plântulas de 8,80 cm para 9,96 cm na terceira classe, na segunda repetição de 9,65 cm para 10,57 cm na classe II e 10,36 cm para classe III. O mesmo se repetiu para as outras duas repetições, onde foi observado um aumento de 10,63 cm para 11,59 cm para a terceira classe e para quarta repetição a alteração foi de 9,35 cm para 12,74 cm para a classe II.

Os resultados observados mostraram que os valores de densidade dos tecidos observados nas imagens radiográficas não deve ser o único fator a ser observado, quando o objetivo é utilizar esse parâmetro como análise da qualidade de sementes de trigo. Logo as imagens de raios x não devem ser o único parâmetro a ser utilizado para avaliação de lotes de sementes (ALTIZANI-JÚNIOR *et al.*, 2023).

Figura 7 – Comprimento médio de plântulas de duas cultivares de trigo com quatro repetições, considerando o número total de sementes avaliadas em comparação com as três classes de densidade.



Fonte: Elaborada pelo autor.

● Plântulas Normais ● Plântulas anormais ● Sementes não germinadas

5 CONCLUSÃO

A análise de imagens é uma excelente ferramenta para a avaliação da morfologia interna de sementes de trigo. A qualidade das sementes demonstrou que mesmo sementes com densidades menores apresenta capacidade de desenvolver plântulas viáveis, sendo necessário integrar outras técnicas de análise de sementes ou até mesmo outros aspectos da morfologia interna da semente. Logo é possível relacionar a densidade de tecidos obtidas por meio das imagens radiográficas (características morfológicas) com o potencial fisiológico.

REFERÊNCIAS

- ABUD, H. F.; CÍCERO, S. M.; GOMES JUNIOR, F. G. Radiographic images and relationship of the internal morphology and physiological potential of broccoli seeds. **Acta Scientiarum. Agronomy**, [S.L.], v. 40, n. 1, p. 34950, 9 fev. 2018. Universidade Estadual de Maringá. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v40i1.34950>.
- ACHA, A. J.; VIEIRA, H. D. Digital image processing of coated perennial-soybean seeds and correlation with physiological attributes. **Journal of Seed Science**, 2020. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v42227516>
- ALBRECHT, J. C. **Cultivar Trigo BRS 264**: precocidade, qualidade industrial e altos rendimentos para o cerrado do Brasil central. 49. ed. Planaltina, Df: Embrapa, 2021. 14 p. (CIRCULAR TÉCNICA). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/225213/1/Cultivar-trigo-BRS-264-Circular-tecnica-49.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2023.
- ALTIZANI-JÚNIOR, Júlio César *et al.* Non-destructive assessment of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) seeds quality. **Journal Of Seed Science**, Brasil, v. 45, p. 1-11, 2023.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise Sementes**. Brasília: Mapa/ACS,2009. 399p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária **Glossário ilustrado de morfologia**. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 406 p.
- CARDOSO, Carolina Pereira *et al.* Effect of seed vigor and sowing densities on the yield and physiological potential of wheat seeds. **Journal Of Seed Science**. Brasil, p. 1-11. 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jss/a/fbFNdMQXQJx87hKQbn3VX7v/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 21 nov. 2023.
- CHAGAS, Jorge Henrique *et al.* **Informações fitotécnicas para potencializar o desempenho produtivo da cultivar de trigo BRS 404 no Cerrado do Brasil Central**. 33. ed. Passo Fundo, Rs: Embrapa, 2018. 26 p. (CIRCULAR TÉCNICA). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/214032/1/Circular33-Chagas-corrigido.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2023.
- COÊLHO, J. D. **TRIGO**: produção e mercados. 203. ed. Fortaleza-Ce: ETENE, 2021. Disponível em: https://bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1057/1/2021_CDS_203.pdf. Acesso em: 16 nov. 2023.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **A cultura do trigo**. Brasília: Conab, 2017. 218p. Disponível em: https://www.conab.gov.br/uploads/arquivos/17_04_25_11_40_00_a_cultura_do_trigo_verso_digital_final.pdf >. Acesso em: 26 out. 2023.
- CONAB. **Série Histórica das Safras**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>>. Acesso em: 13 nov. 2023.

DIÁRIO DO NORDESTE. **Ceará colhe 1ª safra de trigo**. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/editorias/opiniaio/egidio-serpa-1.209/ceara-colhe-1-safra-de-trigo-1.2162716>. Acesso em: 16 nov. 2023.

EICHELBERGER, L. Produção de sementes de trigo. **Trigo no Brasil**. Brasília: Embrapa, 2011. p. 349-369.

FOCUS. **Empresa quer aumentar de cinco para mil hectares área de produção de trigo no Ceará**. Disponível em: <https://www.focus.jor.br/empresa-quer-aumentar-de-cinco-para-1-000-hectares-area--de-producao-de-trigo-no-ceara/>. Acesso em: 16 nov. 2023.

FORTI, V. A.; CICERO, S. M.; PINTO, T. L. F. Avaliação da evolução de danos por “umidade” e redução do vigor em sementes de soja, cultivar TMG113-RR, durante o armazenamento, utilizando imagens de raios x e testes de potencial fisiológico. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 32, n. 3, p. 123-133, set. 2010.

FRANÇA-NETO, J. B. **Evolução do conceito de qualidade de sementes**. Informativo ABRATES, [s. l.], v. 19, ed. 2, p. 76-80, 2009.

GOMES, K. B. P.; MARTINS, R. C. C.; MARTINS, I. S.; GOMES JUNIOR, F. G. Avaliação da morfologia interna de sementes de *Terminalia argentea* (Combretaceae) pelo teste de raios X. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 4, p. 752-759, 2014. <https://doi.org/10.1590/s1806-66902014000400013>

IMOLESI, A. S.; VON PINHO, É. V. de R.; VON PINHO, R. G.; VIEIRA, M. G. G. C.; CORRÊA, R. S. B. INFLUÊNCIA DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NA QUALIDADE FISIOLÓGICA DAS SEMENTES DE MILHO. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 25, n. 5, p. 1119-1126, set./out. 2001. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Renzo-Pinho/publication/237275812_INFLUENCIA_DA_ADUBACAO_NITROGENADA_NA_QUALIDADE_FISIOLOGICA_DAS_SEMENTES_DE_MILHO/links/02e7e538e0992be26900000/INFLUENCIA-DA-ADUBACAO-NITROGENADA-NA-QUALIDADE-FISIOLOGICA-DAS-SEMENTES-DE-MILHO.pdf. Acesso em: 20 nov. 2023.

JEROMINI, T. S.; CHALITA, C. M.; PEREIRA, F. E. C. B.; GOMES JÚNIOR, F. G. Raios X na avaliação da qualidade de sementes de *Brachiaria brizantha* durante o beneficiamento **Revista Ciência Agrônômica**; Fortaleza, Vol. 50, Ed. 3, (2019): 439-446.

KOBORI, N.N.; CICERO, S.M.; MEDINA, P.F. Teste de raios x na avaliação da qualidade de sementes de mamona. **Revista Brasileira de Sementes**, v.34, n.1, p.125-133, 2012.

LIMA, T.C.; MEDINA, P.F.; FANAN, S. Avaliação do vigor de sementes de trigo pelo teste de envelhecimento acelerado. **Revista Brasileira de Sementes**, v.28, n.1, p.106-113, 2006.

MARCHI, 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**, v. 39, n. 1, p. 013 - 019, 2017. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v39n1165423>

MARCOS FILHO, Júlio. **Sistema computadorizado de análise de imagens de plântulas (SVIS) para avaliação do vigor de sementes.** Informativo ABRATES, Londrina, v. 20, n. 3, p. 40-44, 2010.

MEDEIROS, A. D.; ARAÚJO, J. O.; LEÓN, M. J. Z.; SILVA, L. J.; DIAS, D. C. F. D. S. Parameters based on X-ray images to assess the physical and physiological quality of *Leucaena leucocephala* seeds. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 42, n. 6, 643–652., 2018.
<https://doi.org/10.1590/1413-70542018426023318>

MELO, L. F.; MARTINS, C. C.; SILVA, G. Z.; BRANDÃO BONETI, J. E.; VIEIRA, R. D. Beneficiamento na qualidade física e fisiológica de sementes de capim-mombaça. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 4, p. 667 - 674, 2016.

NORONHA, B. G.; MEDEIROS, A. D.; PEREIRA, M. D. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de *Moringa oleifera* Lam. **Ciencia Florestal**, v. 28, n. 1, p. 393- 402, 2018.
<https://doi.org/10.5902/1980509831615>

NOVEMBRE, A. D. L. C.. Avaliação da qualidade de sementes. **Seednews**, Pelotas, v. 5, n. 3, maio 2001.

OHLSON, Osvaldo de Castro *et al.* TESTE DE ENVELHECIMENTO ACELERADO EM SEMENTES DE TRIGO. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 4, p. 118-124, 2010.

SANTOS, P. M.; REIS, M. S.; SEDIYAMA, T.; ARAUJO, E. F.; CECON, P. R.; SANTOS, M. R. Efeito da classificação por tamanho da semente de soja na sua qualidade fisiológica durante o armazenamento. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 3, p.395-402, 2005.

SOUZA, Rodrigo Gomes *et al.* **PRODUÇÃO DE TRIGO NO BRASIL:** indicadores regionais e políticas públicas. Brasília: Ipea, 2020. 41 p. (Texto para Discussão). Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/10315/1/td_2608.pdf. Acesso em: 13 nov. 2023.

TAKEITI, C. Y. **Trigo.** Brasília: Agência Embrapa de Informação Tecnológica, 2015. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/tecnologia-de-alimentos/processos/grupos-de-alimentos/cereais-e-graos/trigo>>. Acesso em: 27 out. 2023.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **World Wheat and Coarse Grains: Supply and Demand.** 2023. Disponível em: <<https://bit.ly/36zim4G>>. Acesso em: 30 out. 2023.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **World Wheat Production, Consumption, and Stocks.** 2023. Disponível em: <<https://bit.ly/36zim4G>>. Acesso em: 30 out. 2023.

VIGANÓ, Joselaine *et al.* Qualidade fisiológica de sementes de trigo em resposta aos efeitos de anos e épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Sementes**, [S.L.], v. 32, n. 3, p. 86-96, set. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-31222010000300010>.