



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA/FITOTECNIA

MARKSON LUAN DO VALE OLIVEIRA

**PLUGIN *SEEDS ANALYSIS*® NA AVALIAÇÃO MORFOCOLORIMÉTRICA DE
PLÂNTULAS DE GERGELIM**

FORTALEZA

2024

MARKSON LUAN DO VALE OLIVEIRA

PLUGIN *SEEDS ANALYSYS*® NA AVALIAÇÃO MORFOCOLORIMÉTRICA DE
PLÂNTULAS DE GERGELIM

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Agronomia. Área de concentração: Fitotecnia.

Orientador: Prof. Dr. Alek Sandro Dutra.

FORTALEZA

2024

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)

- O48p Oliveira, Markson Luan do Vale.
Plugin Seeds Analysis® na avaliação morfocolorimétrica de plântulas de gergelim / Markson Luan do Vale Oliveira. – 2024.
51 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, , Fortaleza, 2024.
Orientação: Prof. Dr. Alek Sandro Dutra.
1. Visão computacional. 2. Morfometria. 3. Colorimetria. 4. Vigor. 5. Sesamum indicum. I. Título.
CDD
-

MARKSON LUAN DO VALE OLIVEIRA

PLUGIN *SEED ANALYSIS*® NA AVALIAÇÃO MORFOCOLORIMÉTRICA DE
PLÂNTULAS DE GERGELIM

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Agronomia. Área de concentração: Fitotecnia.

Aprovada em: 25/09/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alek Sandro Dutra (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Salvador Barros Torres
Universidade Federal Rural do Semi-Árido (EMPARN/UFERSA)

Prof. Dr^a. Charline Zaratini Alves
Universidade Federal do Mato Grosso (UFMS)

Prof. Dr^a. Marcio Dias Pereira
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

A Deus.

A minha mãe, Jeanne.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Gostaria de expressar minha mais profunda gratidão à minha mãe, Jeanne, e ao meu pai, João, cujos ensinamentos e apoio incondicional me guiaram ao longo de toda a minha jornada acadêmica.

Ao meu irmão, agradeço por ser não apenas meu companheiro de vida, mas o melhor irmão que eu poderia desejar.

As minhas amigas do ensino médio (Elva e Mônica), que permanecem presentes e essenciais em minha vida até hoje, especialmente nesta fase tão desafiadora.

Ao Prof. Dr. Alek, sou grato pela orientação, e à Lucimara, por sua coorientação.

Agradeço também a Iza, bolsista, e Lívia, estagiária, pela parceria nos dias de laboratório, pelas trocas de ideias e pelas conversas descontraídas que tornaram as horas de trabalho mais leves e agradáveis.

Ao Laboratório de Análise de Sementes, pelo espaço de aprendizado e pesquisa, e a todas as pessoas que, de alguma maneira, passaram pela minha vida nestes dois anos e contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

A todos, meu sincero e profundo agradecimento.

“Vou mostrar todas as coisas que vocês não deram valor, que nunca esperaram ver desse menino do interior.” (Jão).

RESUMO

O gergelim é uma oleaginosa com alto teor de óleos, propagada por sementes, sendo a qualidade destas crucial para aumentar a produtividade. A qualidade de sementes é avaliada por testes físicos, fisiológicos, genéticos e sanitários, estes métodos são demorados, podendo ser subjetivos e imprecisos. Nesse contexto, a visão computacional propõe alternativas mais rápidas e precisas para avaliação de sementes. O objetivo deste estudo foi verificar a eficiência do plugin *Seeds Analysis*[®] do ImageJ na avaliação morfocolorimétrica de plântulas de gergelim e na distinção da qualidade dos lotes. A pesquisa foi conduzida no Laboratório de Análise de Sementes, do Departamento de Fitotecnia, no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, em colaboração com a Universidade de Cagliari, Itália. A metodologia foi dividida em duas etapas. Na primeira, foram analisados 15 lotes de gergelim por meio dos testes tradicionais: primeira contagem, germinação, comprimento da parte aérea e raiz, peso de massa seca da parte aérea e raiz, emergência, índice de velocidade de emergência, condutividade elétrica e peso de 1000 sementes. Na segunda etapa, realizou-se o teste de germinação para capturar as imagens de plântulas ao final do teste com scanner de mesa. Essas imagens foram analisadas usando o plugin *Seeds Analysis*[®] do ImageJ para extrair recursos morfocolorimétricos (area, perímetro, feret, rfactor, solidity, e médias de red, blue, green, RGB, cinza, H, S e V). As análises estatísticas incluíram testes de médias de Tukey, correlação de Spearman e análise de componentes principais. Os resultados mostraram variações significativas no vigor das sementes, com alta correlação entre as variáveis primeira contagem, germinação, porcentagem e índice de velocidade de emergência e os recursos Mean RGB e H. A correlação também foi alta entre primeira contagem e germinação com mean blue, e entre comprimento da parte aérea e os solidity e mean S. Destaca-se que mean red teve alta correlação com várias variáveis (primeira contagem, germinação, massa seca da parte aérea e raiz, porcentagem e índice de velocidade de emergência). A análise de componentes principais permitiu o agrupamento dos lotes com base em suas características. Os atributos rfactor, breadth, perimeter, area, aspratio e feret formaram um grupo com os lotes 11, 15, 9, 7, 10, 3, 12, 8, 2 e 4. O atributo solidity agrupou os lotes 5, 6, 13 e 7. Os lotes 3, 4, 6, 7, 8, 12, 13, 14 e 15 foram associados a mean green, blue, H, RGB e cinza, enquanto os lotes 10, 1, 2, 8 e 9 foram agrupados com mean S, red e V. Estes agrupamentos indicam correlações entre os atributos morfocolorimétricos e a qualidade dos lotes. Conclui-se que o plugin *Seeds Analysis*[®] foi efetivo na extração de recursos morfocolorimétrico, sendo a análise morfocolorimétrica uma ferramenta eficaz e reprodutível para avaliar o vigor dos lotes de sementes de gergelim podendo

ser incorporada às avaliações tradicionais de sementes. As análises de Spearman e de componentes principais foram importantes para destacar os recursos morfocolorimétricos que estavam relacionadas e mais influenciavam as variáveis dos testes tradicionais.

Palavras-chave: visão computacional; morfometria; colorimetria; vigor; *Sesamum indicum*.

ABSTRACT

Sesame is an oilseed with a high oil content, propagated by seeds, and the quality of these seeds is crucial to increase productivity. Seed quality is assessed by physical, physiological, genetic and health tests; these methods are time-consuming, and can be subjective and inaccurate. In this context, computer vision proposes faster and more accurate alternatives for seed evaluation. The objective of this study was to verify the efficiency of the ImageJ Seeds Analysis® plugin in the morphocolorimetric evaluation of sesame seedlings and in distinguishing the quality of the lots. The research was conducted at the Seed Analysis Laboratory, of the Department of Plant Science, at the Center for Agricultural Sciences of the Federal University of Ceará, Fortaleza, CE, in collaboration with the University of Cagliari, Italy. The methodology was divided into two stages. In the first stage, 15 sesame lots were analyzed using traditional tests: first count, germination, shoot and root length, shoot and root dry mass weight, emergence, emergence speed index, electrical conductivity, and 1000-seed weight. In the second stage, the germination test was performed to capture images of seedlings at the end of the test with a flatbed scanner. These images were analyzed using the Seeds Analysis® plugin of ImageJ to extract morphocolorimetric features (area, perimeter, feret, rfactor, solidity, and means of red, blue, green, RGB, gray, H, S, and V). Statistical analyses included Tukey's mean tests, Spearman's correlation, and principal component analysis. The results showed significant variations in seed vigor, with high correlation between the variables first count, germination, percentage and emergence speed index and the Mean RGB and H features. The correlation was also high between first count and germination with mean blue, and between shoot length and solidity and mean S. It is noteworthy that mean red had a high correlation with several variables (first count, germination, shoot and root dry mass, percentage and emergence speed index). Principal component analysis allowed grouping of lots based on their characteristics. The attributes rfactor, breadth, perimeter, area, aspratio and feret formed a group with lots 11, 15, 9, 7, 10, 3, 12, 8, 2 and 4. The attribute solidity grouped lots 5, 6, 13 and 7. Lots 3, 4, 6, 7, 8, 12, 13, 14 and 15 were associated with mean green, blue, H, RGB and gray, while lots 10, 1, 2, 8 and 9 were grouped with mean S, red and V. These groupings indicate correlations between the morphocolorimetric attributes and the quality of the lots. It is concluded that the Seeds Analysis® plugin was effective in extracting morphocolorimetric features, and that morphocolorimetric analysis is an effective and reproducible tool for evaluating the vigor of sesame seed lots and can be incorporated into traditional seed evaluations. Spearman and

principal component analyses were important for highlighting the morphocolorimetric features that were related to and most influenced the variables of traditional tests.

Keywords: computer vision; morphometry; colorimetry; vigor; *Sesamum indicum*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Interface ImageJ	21
Figura 2 – Scanner para aquisição de imagens	23
Figura 3 – Processamento de imagens no ImageJ	24
Figura 4 – Escolha da tonalidade (1A – azul claro, 1B – azul médio, 1C - azul escuro médio e 1D – azul escuro) para aquisição de imagens de plântulas de gergelim	32
Figura 5 – Pré-processamento das imagens (A - Abertura da imagem em RGB; B - Conversão da imagem RGB em escala de cinza; C - Aplicação de detecção de borda - segmentação)	33
Figura 6 – Coeficiente de Spearman (r) estimado para primeira contagem (PC), germinação (G), comprimento da parte aérea (CPA) e de raiz (CR), massa seca da parte aérea (MSPA) e raiz (MSR), porcentagem de emergência (PE), índice de velocidade de emergência (IVE), condutividade elétrica (CE), peso de mil sementes (PMS), e para os recursos de area, perimeter, feret, breadth, aspratio, rfactor, solidy, mean cinza, mean red, green, blue e RGB, mean H, S e V	40
Figura 7 – Gráficos biplot da análise de componentes principais dos recursos area, perímetro, feret, breadth, aspratio, rfactor e solidity (Figura A) e das médias de RGB, red, green, blue, cinza, H, S e V (Figura B) de plântulas de gergelim	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Variáveis morfológicas obtidas pela plugin Seeds Analysis® do ImageJ	26
Tabela 2 – Variáveis de cores dos espaços RGB e HSV obtidas pela plugin Seeds Analysis® do ImageJ	26
Tabela 3 – Qualidade fisiológica de 15 lotes de gergelim analisado através dos testes de Primeira Contagem (PC), Germinação (G), Comprimento da Parte Aérea (CPA) e de Raiz (CR), Massa Seca da Parte Aérea (MSPA) e Raiz (MSR), Porcentagem de Emergência (PE), Índice de Velocidade de Emergência (IVE), Condutividade Elétrica (CE) e Peso de Mil Sementes (PMS)	28
Tabela 4 – Comparação de médias dos 15 lotes de gergelim de acordo com os parâmetros de Area, Perimeter, Rfactor, Breadth, Aspratio, Solidity e Feret	35
Tabela 5 – Comparação de médias dos 15 lotes de gergelim para os parâmetros de Mean Red, Mean Green, Mean Blue, Mean RGB, Mean H, Mean S, Mean V e Mean Cinza	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	Cultura do gergelim	15
2.1.1	<i>Histórico</i>	15
2.1.2	<i>Características agronômicas e botânicas</i>	15
2.1.3	<i>Produção e Importância</i>	16
2.2	Sementes	16
2.2.1	<i>Qualidade de sementes</i>	16
2.2.2	<i>Análise de qualidade de sementes</i>	17
2.2.2.1	<i>Vigor e germinação</i>	17
2.2.3	<i>Testes tradicionais</i>	17
2.3	Princípios da visão computacional	18
2.3.1	<i>Inteligência artificial</i>	19
2.3.2	<i>Processamento digital de imagens</i>	19
2.3.3	<i>Aquisição de imagens</i>	20
2.4	Softwares de análise de sementes	20
2.5	ImageJ	20
2.5.1	<i>Plugin Seeds Analysis®</i>	21
3	MATERIAL E METODOS	22
3.1	Etapa I: Análise de qualidade de sementes com testes tradicionais	22
3.1.1	<i>Teste de germinação e primeira contagem</i>	22
3.1.2	<i>Biometria de plântulas</i>	22
3.1.3	<i>Biomassa de plântulas</i>	22
3.1.4	<i>Teste de emergência de plântulas</i>	23
3.1.5	<i>Condutividade elétrica</i>	23
3.1.6	<i>Peso de mil sementes</i>	23

3.2	Etapa II: Análise de imagens	23
3.2.1	<i>Aquisição de imagens</i>	23
3.2.2	<i>Processamento de imagens</i>	24
3.2.3	<i>Étapas do processamento</i>	25
3.3	Análise estatística	27
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
4.1	Etapa I: Análise de qualidade de sementes com testes tradicionais	27
4.2	Etapa II: Análise de Imagens	32
5	CONCLUSÕES	44
	REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

O gergelim é uma cultura pertencente ao grupo de sementes oleaginosas, ricas em lipídios e de grande importância no setor agrícola mundial. É destinado a formulação de alimentos, cosméticos, combustíveis e produtos farmacêuticos (Melo *et al.*, 2023). A semente se destaca pela alta concentração de óleos em sua composição, sendo considerada uma das oleaginosas mais cultivadas mundialmente (Castro *et al.*, 2021). No Brasil, o plantio ocorre exclusivamente pela propagação de sementes em pequenas propriedades, e em condições de sequeiro (Arriel *et al.*, 2007; Dias *et al.*, 2018), constituindo parte da renda de diversos agricultores familiares.

Direcionar ao campo sementes de alta qualidade é fator primordial para garantir a eficiência do cultivo, fornecendo o rápido e uniforme estabelecimento do estande e o sucesso da lavoura para o produtor (França-Neto *et al.*, 2016; Medeiros *et al.*, 2020). Para tanto, as sementes devem ser submetidas a testes tradicionais realizados em condições de laboratório e campo para avaliar viabilidade e vigor. Dessa forma é possível selecionar aqueles lotes com melhores potenciais de formarem plântulas normais e terem alto desempenho durante todo o ciclo da cultura (Custódio, 2005).

A crescente procura por sementes de alta viabilidade e vigor desencadeia uma busca por novos métodos que aprimorem as técnicas de análise de qualidade de sementes, fornecendo análises rápidas e precisas. A visão computacional vem incorporando tecnologias digitais no setor agrícola, contribuindo positivamente para o desenvolvimento desta área (Kaufman *et al.*, 2019). Por exemplo, McCormac *et al.* (1990) e Hoearth e Stanwood (1993) foram os precursores no uso de análise de imagens digitais (AID) na detecção de qualidade de semente, abrindo caminho para a criação de diversos outros métodos com potencial de aferir a qualidade das sementes de forma semi e automatizada. Desde então, a aplicação da análise de imagens vem crescendo, principalmente por se tratar de uma técnica que viabiliza análises de grande número de amostras, estimando atributos importantes de plantas de forma rápida e precisa (Brunes *et al.*, 2016; Ribeiro *et al.*, 2024).

O ImageJ é o software pioneiro na AID (Rasband, 1987), e ainda é muito utilizado por oportunizar extrair diversas variáveis de objetos de forma semiautomatizada. O código do software é aberto possibilitando a inserção de extensões que se adaptem às necessidades do usuário (Schneider *et al.*, 2012). Nesse contexto, Loddo *et al.* (2022) desenvolveram o plugin Seeds Analysis® para o ImageJ, visando uma extração automatizada de características de sementes. Este plugin é capaz de identificar até 64 características morfocolorimétricas das

sementes, com mínima interação do usuário. Essas características englobam aspectos morfológicos (área, comprimento, largura e etc.) e de cor (canal RGB e canal cinza), que são importantes na caracterização de espécies de sementes.

Atualmente a análise de imagens oferece a capacidade de classificar espécies de plantas com base em características morfocolorimétricas de sementes (Vale *et al.*, 2021), sendo extraídas características por meio de softwares, como o ImageJ. No entanto algumas sementes possuem tamanhos reduzidos e os meios de captura menos sofisticados não são capazes de realizar suas funções com maestria, com uso de objetos maiores, como as plântulas pode ocorrer de forma eficiente. Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo verificar a eficiência do uso do plugin Seeds Analysis® do ImageJ na avaliação morfocolorimétrica de plântulas de gergelim e na distinção da qualidade de lotes de sementes.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura do gergelim

2.1.1 Histórico

O gergelim, conhecido cientificamente como *Sesamum indicum* L. é uma planta oleaginosa pertencente à família Pedaliaceae. Presume-se que seu centro de origem esteja no continente africano, devido à grande diversidade de espécies silvestres do gênero *Sesamum* presente na região (Mili *et al.*, 2021). Foi introduzido no Brasil durante o século XVI, mas apenas com o objetivo de consumo humano e local. Na atualidade a maior produção nacional se concentra em Goiás, sendo também realizada em São Paulo, Mato Grosso e Minas Gerais, além de alguns estados do Nordeste, onde a exploração a nível comercial teve início em 1986 (Arriel *et al.*, 2007). O mercado de produção de gergelim vem se expandindo devido à alta demanda na área farmacológica e alimentícia (Mili *et al.*, 2021).

2.1.2 Características agronômicas e botânicas

O gergelim é uma planta anual com crescimento entre de 0,5 a 2 m de altura, com fruto do tipo cápsula alongado, deiscente ou indeiscente a depender da cultivar utilizada, comporta de 50 a 100 sementes por fruto. As sementes no geral são de formato oval, possuindo coloração que varia de branco ao preto (branco, creme, marrom, amarelo e verde-oliva e preto), o sistema radicular é composto por uma raiz principal e ramos laterais (Valeriano *et al.*, 2019; Mili *et al.*, 2021).

A semente é o principal produto de importância econômica da cultura (Queiroga *et al.*, 2010), classificada como ortodoxa, pela capacidade de suportar a dessecação de seu teor de água sem que haja grandes perdas de viabilidade e vigor, o que possibilita seu armazenamento por longos períodos.

O gergelim não possui dormência, fato que facilita seu cultivo em campo (Lima *et al.*, 2021), sendo cultivado em regiões de clima tropical, subtropical e em zonas temperadas, consome em média por ciclo 500 a 650 mm de água, com temperaturas ideais de 25 - 30 °C, e o fotoperíodo varia de acordo com a cultivar, podendo exigir de 8 a 16 horas/dia de luz (Arriel *et al.*, 2007; Brasil 2009).

2.1.3 Produção e Importância

O continente asiático e africano produz aproximadamente 97% do suprimento mundial de gergelim, com destaque para Índia, Myanmar e China como os maiores produtores da cultura (Myint *et al.*, 2020). O Brasil ainda possui uma baixa produção de sementes de gergelim quando comparado com os demais, produzindo 62.000 t em uma área plantada de 11.800 ha (FAOSTAT, 2021). Essa produção já foi superior, como em 2019 que a produção atingiu 96.000 t em uma área plantada de 175.000 ha (FAOSTAT, 2019). Essa queda na produção se deu em virtude da ocorrência da pandemia do Covid 19 que perdurou entre os anos de 2020 e 2022 afetando drasticamente as produções agrícolas e diversos outros setores da economia mundial (Silva *et al.*, 2021).

A grande importância do gergelim está em ser um grão rico em proteínas, carboidratos, minerais e principalmente em óleos. Esse último corresponde a 50% do peso da semente, e possui um sabor suave e agradável ao paladar, o que direciona a maior parte da produção a confecção de óleos e azeites (Arriel *et al.*, 2007; Myint *et al.*, 2020). O gergelim tem destaque também na farmacologia, devido aos compostos antidiabéticos, anticancerígeno, antioxidante, antiinflamatório, cicatrizante, antimicrobiano, antifúngico e antibacteriano que possui (Mili *et al.*, 2021).

2.2 Sementes

2.2.1 Qualidade de sementes

Dado a relevância do cultivo do gergelim, é indispensável produzir sementes de alta qualidade. Então antes de tudo é necessário entender que sementes são unidades dispersoras especializadas, exclusivas de plantas com sementes (Taiz *et al.*, 2017), sendo muitas vezes o principal, senão, único meio propagativo viável dessas plantas (Costa, 1996). De acordo com Marcos Filho (2005) cerca de 80% das espécies cultivadas de importância econômica são produzidas por meio de sementes, como no caso do gergelim que é cultivado exclusivamente por este material propagativo. O cultivo a partir da utilização de sementes exige um alto nível de qualidade da mesma, pois é o que permite um ótimo estabelecimento do estande de plantas, com plântulas viáveis, vigorosas e com uma boa distribuição uniforme em campo (Sediyama *et al.*, 2012; Xavier *et al.*, 2015).

O estabelecimento da plântula é crucial para a sobrevivência, crescimento e desenvolvimento da planta em campo, pois as plântulas são altamente suscetíveis a fatores bióticos e abióticos durante o estágio inicial. Portanto, sementes de alta qualidade são de suma importância para

propiciar que o produtor aproveite o máximo das características da semente, como as qualidades genéticas de adaptação, o que tem ligação direta com seu crescimento e desenvolvimento inicial e subsequente, e com a alta produtividade, mesmo que em épocas e condições adversas (França Neto *et al.*, 2016).

Antes das sementes serem conduzidas a campo é necessário que os lotes sejam submetidos a um conjunto de avaliações, geralmente realizadas em laboratórios de análise de sementes, para avaliar sua natureza física, fisiológica, genética e sanitária (Brasil, 2009; ISTA, 2019). Essas avaliações, realizadas em condições controladas de laboratório, objetivam avaliar a qualidade das sementes, a fim de serem levadas a campo apenas lotes que possibilitem a produção de plântulas com condições de se desenvolverem e reproduzirem, em condições não controladas (Guedes *et al.*, 2009).

2.2.2 Análise de qualidade de sementes

2.2.2.1 Vigor e germinação

Na tecnologia de sementes, o vigor é o principal parâmetro de avaliação de qualidade. É definido como a soma total das propriedades que predizem o nível de atividade e desempenho de uma semente durante a germinação e emergência de plântula. É considerada vigorosa semente que apresente bom desempenho, e de baixo vigor a que apresenta desempenho fraco (Perry, 1978; Amaro *et al.*, 2015). No entanto, esse parâmetro nem sempre foi utilizado inicialmente o teste de germinação era o mais comum para verificar a qualidade da semente.

Na fisiologia de sementes, a germinação é definida como uma sequência de eventos metabólicos que findam no reinício do desenvolvimento do embrião (Marcos-Filho, 1986). Pode ser conceituada ainda como a reativação do crescimento do embrião, o que resulta na ruptura do tegumento com a protrusão da radícula e emergência da plântula (Copeland e McDonald, 1995). Nesse sentido, a germinação viabiliza determinar o potencial de germinação, e distinguir sementes viáveis de não viáveis.

2.2.3 Testes tradicionais

Embora o teste de germinação possua vantagens na análise de qualidade, ao longo dos anos percebeu-se que o seu uso de forma isolada não identificava todos os fatores que afetam a qualidade das sementes, além de ser realizado em condições ótimas (temperatura e luz) e gerar resultados superestimados (Ohlson *et al.*, 2010; França Neto e Krzyzanowski, 2018). Em razão disso, a metodologia para avaliação de vigor passa a ser composta por um conjunto de testes que possibilitam resultados complementares. Esses testes, diferente do teste de germinação, são capazes de identificar possíveis diferenças no grau de deterioração de sementes que apresentem mesmo potencial germinativo, possibilitando prever a capacidade de armazenamento e emergência de plântulas em campo (Franzin

et al., 2004) Os testes são divididos em testes de origem física, fisiológicas, bioquímicas e resistência ao estresse, conforme McDonald (1975):

- Testes físicos: Correspondem àqueles que examinam aspectos morfológicos ou físicos das sementes, como o peso e pureza das sementes;
- Testes fisiológicos: Avaliam a atividade fisiológica, como no teste de velocidade de germinação ou de emergência de plântulas;
- Testes bioquímicos: Constatam as alterações ocorridas no mecanismo metabólico das sementes associadas com o seu vigor, tais como a taxa respiratória pelo teste de tetrazólio, e deterioração pelo teste de condutividade elétrica;
- Testes de estresse: Verificam se o desempenho da semente se mantém, ou, se reduz após submetida a condições estressantes, como ocorre no teste de envelhecimento acelerado.

Dentre os testes, os mais aplicados para vigor são: primeira contagem, emergência, índices de velocidade emergência, envelhecimento acelerado, tetrazólio, e condutividade elétrica, e são nomeadas como testes tradicionais. Esses testes são reconhecidos e recomendados pela ISTA (International Seed Testing Association), AOSA (Association of Official Seed Analysts), e ABRATES (Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes), ou seja, pelas principais associações e instituições de análise de sementes internacionais e nacionais (Rodrigues *et al.*, 2020).

Após a realização dos testes é necessário fazer a coleta e análise de dados, para se avaliar os resultados obtidos. Geralmente ocorre manualmente, com auxílio de ferramentas para mensurar biometria e biomassa, como régua, paquímetro e balança, além da análise visual para verificar o estágio de desenvolvimento e qualidade do material. Entretanto, o procedimento dos testes e análises podem apresentar restrições, como a exigência de tempo e a subjetividade das análises (Trujillo *et al.*, 2019; Elmasry *et al.*, 2019; Ramos, *et al.*, 2022).

No entanto, o surgimento da agricultura 4.0 possibilitou uma maior inserção de mecanismos digitais nas mais variadas áreas de estudo (Ferreira *et al.*, 2023), a exemplo a visão computacional. Na tecnologia de sementes, viabiliza novas perspectivas e abordagens pertinentes ao desenvolvimento de métodos de análise, como a análise de imagens digitais, que busca padronizar os testes, a precisão, a objetividade, e a redução do tempo necessário para a realização do teste (Marcos Filho, 2015).

2.3 Princípios da visão computacional

A visão computacional (VC) objetiva desenvolver algoritmos que sejam capazes de interpretar conteúdos visuais de imagens, e a partir disso ser competente na resolução de problemas, sejam eles simples ou complexos. E para isso a VC integra a inteligência artificial (IA) ao processamento digital de imagens (PDI) (Neves, Neto e Gonzaga, 2012), que serão discutidos nos próximos tópicos.

A sua inserção no meio agrícola oportuniza, por exemplo, classificar espécies de plantas com base na morfologia e nas características colorimétricas de suas sementes (Vale *et al.*, 2020), isso por meio do desenvolvimento de algoritmos e softwares associados à análise de imagem. A análise deixa de ser manual e passa a ser semiautomatizada ou totalmente automatizada, promovendo a redução de tempo de trabalho e minimizando as distorções criadas pela luz natural e microscópios (Marcos Filho, 2015; Vale *et al.*, 2020).

2.3.1 Inteligência artificial

A IA surgiu na busca de se produzir máquinas pensantes que tivessem a aptidão de aprender, compreender e assim tomar decisões na resolução de problemas, o que ocorreu por meio da simulação da inteligência humana (Lobo, 2018). É certo que esses sistemas não conseguem reproduzir tudo que o cérebro humano é capaz de fazer, porém tudo o que eles se propõem a fazer é executado com maior precisão e rapidez, como exemplo nos algoritmos de tradução de texto que permite a tradução em fração de segundos.

2.3.2 Processamento digital de imagens

Primeiramente é relevante entender o que é uma imagem digital, e pode ser definida como qualquer representação bidimensional, constituída de pixels (do inglês *picture elements*), menor unidade de medida de uma imagem, esses pixels em conjunto formam uma matriz binária constituída por 0 e 1 (Gonzales *et al.*, 2004). Em uma única imagem há a existência de diversos pixels, quanto maior a quantidade, maior a resolução desta. Cada pixel carrega uma informação de cor, o que possibilita a existência de imagens multicoloridas (Blim, 2005).

Na visão computacional existem sistemas de composição de cores, um deles é o sistema RGB (Red, Green e Blue). Através desse sistema temos a formação de imagens coloridas com até 16.777.216 mi diferentes combinações de tons (Onishi *et al.*, 2020). Cada pixel como já mencionado corresponde a uma variação de cor, e essa variação ocorre entre a escala binária 0 - 1, quanto mais próximo de zero menor a intensidade da cor, e quando mais próximo de 1 maior a intensidade da cor (Nakano *et al.*, 2011).

Com a mesclagem das cores de RGB em suas mais variadas proporções consegue-se originar todas as demais cores e tons existentes. Na análise de imagens a inteligência artificial consegue desempenhar suas funções exatamente trabalhando na leitura dos pixels e em suas informações de cores, por isso a importância de se ter um sistema padrão de cores, e também de se obter imagens de boa resolução.

2.3.3 Aquisição de imagens

A aquisição de imagens é uma das partes mais importantes dentro do PDI. Vale *et al.* (2020) descreve que a obtenção de imagens envolve três etapas importantes, sendo elas a criação das imagens, o pré-processamento e a segmentação. A primeira etapa consiste em adquirir imagens de entradas que são processadas e disponibilizadas para o sistema de análise. A câmera digital e o scanner de mesa são duas ferramentas bastante empregadas para se adquirir imagens. O scanner de mesa é mais usual por permitir resultados mais satisfatórios, como proporcionar um melhor ajuste de iluminação, melhor nitidez, e possuir escala de imagem conhecida (Loddo *et al.*, 2022), facilitando o reconhecimento dos objetos por parte do software e a compreensão do analista.

A segunda etapa compreende o pré-processamento, nesse momento as imagens são aprimoradas. A exemplo temos o recorte de bordas do fundo que não é essencial na análise e que inclusive pode acarretar problemas caso não seja feito. Por último a segmentação consiste em identificar as regiões de interesse na imagem, e separar o objeto do fundo, permitindo selecionar e realizar a mensuração das características do objeto. Ressalta-se que essa é uma das etapas mais complexas, principalmente quando as condições não são padronizadas (Zhao *et al.*, 2014).

2.4 Softwares de análise de sementes

No mercado, existe softwares desenvolvidos para verificar a viabilidade e vigor de sementes pela leitura de pixels, como o Vigor-S (Seed Vigor Automated Analysis System), do qual a análise é feita através da comparação do índice de vigor obtido, com valores de máximo estimado para plântulas de idade pré-estabelecida (Leite *et al.*, 2018; Rodrigues *et al.*, 2020). No entanto, o software é limitado a avaliar o potencial fisiológico apenas de sementes de milho (*Zea mays* L.) e soja (*Glycine max* L.), No entanto, Rego *et al.* (2021) avaliou a eficiência do Vigor-S na análise de plântulas de feijão-caupi e obteve resultados satisfatórios, o que atesta que pode ser utilizado para outras sementes de morfologia semelhantes, contudo para outras espécies de importância econômica não é eficiente.

Existem outros softwares que possuem a mesma funcionalidade, porém assim como o Vigor-S apresentam restrições a culturas específicas ou são de domínio privado, sem acesso livre. Nesse viés, há a necessidade de desenvolver outros meios que possibilitem a classificação de vigor de sementes de forma mais eficiente e ampla.

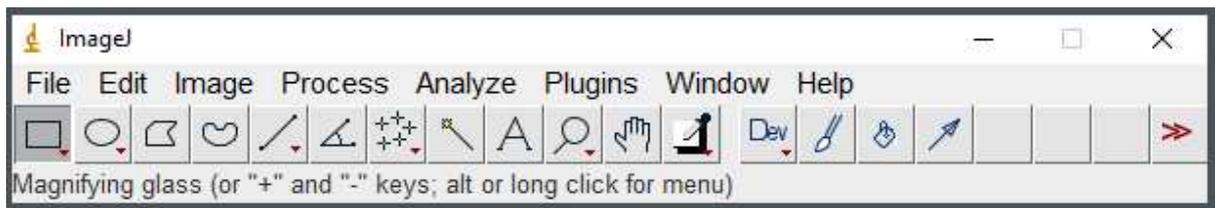
2.5 ImageJ

O ImageJ é um software de código aberto pioneiro na análise de imagens digitais. Surgiu em 1987, como NIH Image, uma criação de Wayne Rasband, que na época buscava estabelecer um programa de análise de imagens, que pudesse ser utilizado por qualquer usuário que desejasse capturar, exibir e aprimorar imagens. O NIH Image foi aprimorado para ter funcionalidade apenas no sistema MAC, mas com o surgimento e popularização do sistema operacional da Microsoft Windows em 1990,

Rasband se viu no dever de aprimorar uma versão compatível ao sistema Windows, e então nasce o ImageJ, em sistema Java também de código aberto, e com acesso ampliado para os usuários (Schneider *et al.*, 2012; Schindelin *et al.*, 2015)

Este software (Figura 1) é um sistema intuitivo de fácil uso, constituído apenas por uma única barra de ferramentas onde todos os recursos podem ser encontrados e utilizados (Rueden *et al.*, 2017). O ImageJ vem facilitando os trabalhos de profissionais das mais variadas áreas de estudos isso porque se trata de um software com forte capacidade de extração de dados de imagem.

Figura 1 – Interface ImageJ



Fonte: Oliveira, 2024

Baek *et al.* (2020), com o objetivo de medir e analisar os vários fenótipos em sementes de soja e selecionar aquelas com as características agronomicamente desejáveis, concluiu que o uso do ImageJ permite investigar informações sobre a morfologia e cor em sementes da cultura utilizando alto rendimento, além da investigação de grande número de amostras de dados fenotípicos que são difíceis para humanos medir e analisar de forma manual. Portanto, o ImageJ é capaz de mensurar variáveis de forma semiautomatizada, com a necessidade do usuário, com o auxílio do mouse indicar ao software a parte que deve ser mensurada. Porém como o software é de código aberto, ele oportuniza a inserção de extensões para adaptação de recursos às necessidades do usuário, e assim automatizar totalmente suas análises. Essas extensões podem ser do tipo plugins e macros. Os plugins possuem o diferencial de serem mais rápidos, flexíveis e leves, condições que facilitam sua implementação e aplicação em softwares (Schindelin *et al.*, 2015).

2.5.1 *Plugin Seeds Analysis®*

Um plugin de extração de características implementado no ImageJ, denominado Seed Analysis®, foi desenvolvido na Universidade de Cagliari, Itália. O objetivo desse plugin é realizar a análise de diversas sementes presentes em uma imagem digital, com a extração de informações visuais e morfológicas para a avaliação e classificação automatizada das sementes. O plugin é capaz de mensurar até 64 recursos morfocolorimétricos, como altura, comprimento, diâmetro e cor (RGB e cinzas), além de organizar esses dados extraídos em planilha Excel, tudo isso de forma totalmente automatizada (Loddo *et al.*, 2022), dessa forma permite ao usuário obter inúmeras informações de sementes pertinentes à sua pesquisa com apenas alguns cliques.

3 MATERIAL E METODOS

A pesquisa foi conduzida no Laboratório de Análise de Sementes, pertencente ao Departamento de Fitotecnia, no Centro de Ciências Agrárias, localizado no Campus Pici da Universidade Federal do Ceará, em Fortaleza, Ceará em parceria com a Universidade de Cagliari na Itália. Foram utilizados 15 lotes de sementes de gergelim, cultivares BRS Anahí, BRS Seda, Trebol e K3, colhidos nas safras de 2021/2022 provenientes da Sebra Agrícola SA.

Para a avaliação da qualidade dos lotes, foram conduzidos testes de primeira contagem (PC), germinação (G%), comprimento de parte aérea e raiz (CPA e CPR), massa seca de parte aérea e raiz (MSPA e MSR), emergência (PE), índice de velocidade de emergência (IVE), condutividade elétrica (CE) e peso de 1000 sementes (PMS). O experimento foi dividido em duas etapas, na etapa I foi avaliada a qualidade das sementes por meio dos testes tradicionais, e na etapa II foi realizada análise das plântulas por meio da análise de imagem.

3.1 Etapa I: Análise de qualidade de sementes com testes tradicionais

3.1.1 Teste de germinação e primeira contagem

No teste de germinação utilizou-se quatro repetições de 50 sementes por lote, distribuídas sobre papel Germitest® umedecido com água destilada (2,5 x o peso do substrato), dispostos em gerbox e mantidos em câmara BOD (Biochemical Oxygen Demand), com temperatura controlada alternada de 20 - 30° C e fotoperíodo de 16h de escuro e 8h de luz, por um período de seis dias (BRASIL, 2009). A primeira contagem foi realizada aos três dias após semeadura e a porcentagem de germinação no sexto dia. Os resultados foram expressos em porcentagem de germinação, considerando-se germinada toda semente com protrusão de radícula e emissão da parte aérea, com a formação de plântula normal (Brasil, 2009).

3.1.2 Biometria de plântulas

Foram selecionadas 10 plântulas do teste de germinação para medição de comprimento de parte aérea (CPA) e raiz (CP) com auxílio de régua graduada em centímetros (cm). Considerou-se CPA a mensuração da base ao ápice caulinar e CR da base ao ápice radicular.

3.1.3 Biomassa de plântulas

A massa seca de parte aérea (MSPA), raiz (MSR) e total (MST) foi obtida em gramas (g), com o uso de balança de precisão. Para massa seca, as amostras foram seccionadas separando parte aérea de raízes e acondicionadas em sacos de papel devidamente identificados e levado estufa regulada em 65°C para a secagem por 48h. Ao final da secagem, as amostras foram pesadas em balança de precisão de 0,001g e anotado o peso da massa seca.

3.1.4 Teste de emergência de plântulas

A emergência de plântulas foi realizada em dois canteiros de alvenaria com substrato composto por terra e areia na proporção de 1:1. As sementes foram semeadas em linha com espaçamento de 10 cm e profundidade de 2 cm. A rega foi feita de forma manual e diária, com uso de um regador. A contagem de plântulas emergidas ocorreu diariamente, determinando-se a porcentagem de emergência (PE) com os resultados expressos em porcentagem, pelo método proposto por Labouriau e Valadares (1976).

3.1.5 Condutividade elétrica

O teste de condutividade elétrica foi conduzido com quatro repetições de 50 sementes embebidas em 25 mL de água destilada, em copos descartáveis com capacidade de 50 mL. Os copos com as sementes foram acondicionados em BOD a uma temperatura de 25°C por 24 h. Após esse período, a solução foi agitada para uniformizar os lixiviados e foi feita a leitura da condutividade elétrica com condutivímetro (MARCONI MA-521), sendo os valores expressos em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ de semente (Marcos Filho, 2015).

3.1.6 Peso de mil sementes

Para o peso de mil sementes utilizou-se oito repetições de 100 sementes para cada lote, sendo o peso aferido por meio de uma balança de precisão (0,001) (Brasil, 2009).

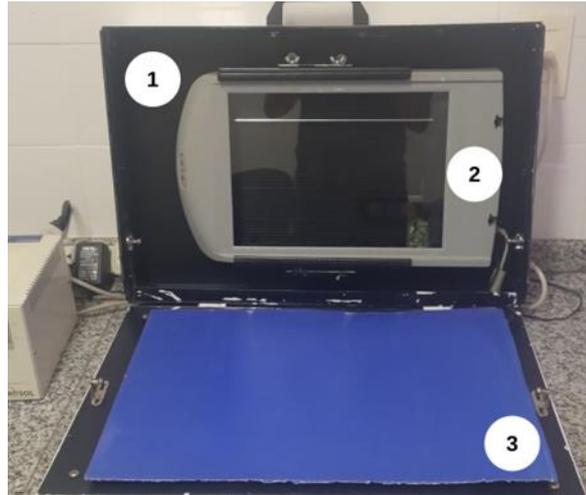
3.2 Etapa II: Análise de imagens

3.2.1 Aquisição de imagens

Foi implementado um segundo teste de germinação (vide etapa I) para aquisição do banco de imagens. 10 plântulas de cada repetição foram retiradas dos gerbox com auxílio de pinças e dispostas separadamente, evitando sobreposição (Vale *et al.*, 2020), sobre plano de fundo azul (papel sulfite) no scanner.

A cor do fundo foi definida pelo contraste das plântulas com o fundo azul, sendo realizado um pré-teste para verificar se o plugin consegue efetivar seu trabalho em qualquer tonalidade de azul, de modo que possa fornecer bom contraste e nitidez na captura das imagens de plântulas de gergelim. Para isso foi testado quatro tonalidades de azul (azul claro, azul médio, azul médio escuro e azul escuro). A captura foi feita com auxílio de um scanner de mesa (HP Scanjet 2004), adaptado de maneira invertida dentro de uma caixa de alumínio fechada (Figura 2) para uma iluminação adequada e prevenção de ruídos ambientais (Castro *et al.*, 2022).

Figura 2 – Scanner para aquisição de imagens



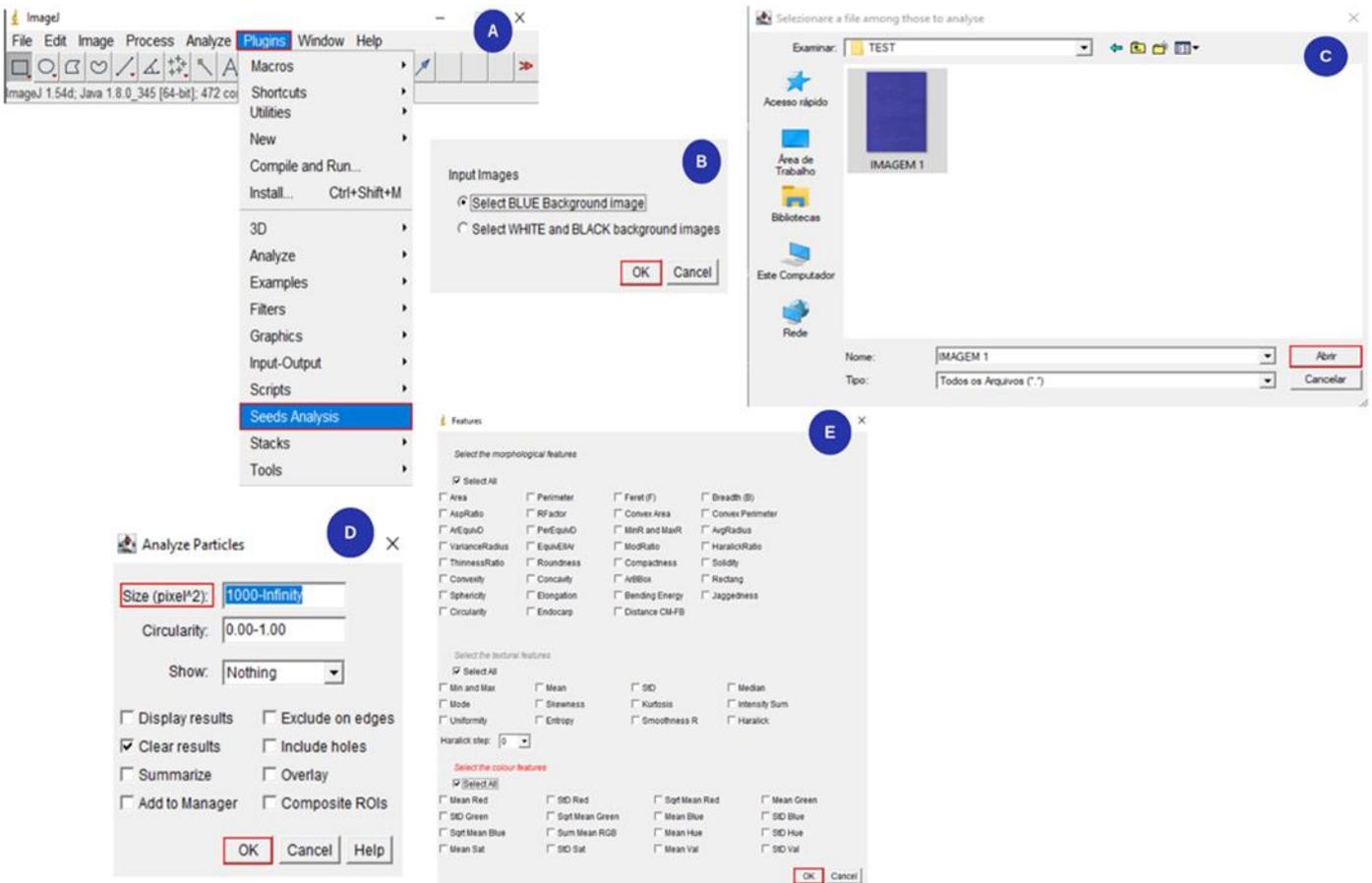
1 - Caixa de alumínio para controle de ruídos ambientais; 2 - Scanner montado de forma invertida; 3 - Fundo azul). Fonte: Oliveira, 2023

A padronização de luz é necessária uma vez que as variações ambientais podem interferir na detecção de cor das imagens (Nashat *et al.*, 2011, Casacuberta *et al.*, 2016, Onishi *et al.*, 2020). A digitalização foi em 300dpi e as imagens salvas em formato de Joint Photographic Experts Group (JPG).

3.2.2 *Processamento de imagens*

O processamento de imagens compreendeu quatro etapas, correspondentes ao pré-processamento, a segmentação, extração de recursos e classificação (Loddo *et al.*, 2022) e foi realizado pelo plugin Seeds Analysis® no software ImageJ. Na Figura 3, é demonstrado o passo a passo no software (seleção do plugin para extração de recursos (a), escolha do tipo de fundo (b); ajuste da quantidade de pixel (1000-Infinity) (c) e seleção de recursos a serem analisados pelo plugin Seeds Analysis® (d)).

Figura 3 – Processamento de imagens no ImageJ



Fonte: Oliveira, 2024

3.2.3 Etapas do processamento

Pré-processamento: consistiu em melhorar a qualidade das imagens, ocorrendo pela correção da nitidez, clareza e demarcação da área de interesse, realizado por meio da conversão das imagens em escala de cinza e pela detecção das bordas, ou seja, nesse primeiro momento seguiu três passos: abertura da imagem em RGB, conversão da imagem RGB em escala de cinza e aplicação da detecção de borda na imagem (Vale *et al.*, 2020).

Segmentação: ocorreu a separação do objeto (plântula) do plano de fundo pela remoção do fundo azul, usando RGB (R- vermelho, G - verde, B - azul) e HSB (H – matiz, S – saturação, V – brilho), modelos de cor, preenchimento de região e correção de ruído (Vale *et al.*, 2020). Na remoção do fundo define-se um valor específico para pixels de primeiro e segundo plano, como exemplo “um” para os pixels que compreende a área da plântula, e “zero” para pixels de segundo plano que constitui o fundo da imagem (Frigau *et al.*, 2020).

Extração de recursos: o plugin Seeds Analysis® (Loddo *et al.*, 2022) foi empregado para a extração dos recursos, visto que o plugin possibilita de forma totalmente automatizada a extração de 64

características de sementes, sendo 32 de recursos morfológicos como comprimento, largura, relação L/C, área, perímetro e arredondamento, 16 de cor como R, G, B, H, S, V e cinza, e outras 16 de textura calculados para cada canal de cor do RGB e cinza (Loddo *et al.*, 2022). No entanto, como esse trabalho buscou adaptar a ferramenta de extração de recursos de sementes para extração em plântulas, foram selecionados apenas sete recursos morfológicos (Tabela 1) e oito recursos de cores (Tabela 2), devido a serem os mais adequados para a análise de plântulas.

Tabela 1 – Variáveis morfológicas obtidas pela plugin *Seeds Analysis*® do ImageJ.

Características Morfológicas	
Recursos	Descrição
Área	Área de plântula (em pixels)
Perimeter	Comprimento do contorno da plântula
Feret	Maior diâmetro rastreável com dois pontos do contorno da plântula como extremidades, chamado Comprimento
Breadth	Comprimento do maior eixo rastreável perpendicular ao Feret, também chamado de Largura
AspRatio	Feret/largura, também chamado de razão de excentricidade ou retangularidade
RFactor	Fator de forma, definido como $CovexArea / (Feret \times \pi)$
Solidity	Medida de solidez, definida como $Área / ConvexArea$

Fonte: Adaptado de Loddo *et al.*, 2022

Tabela 2 – Variáveis de cores dos espaços RGB e HSV obtidas pela plugin *Seeds Analysis*® do ImageJ.

Recursos de cores dos espaços de cores RGB e HSV	
Recursos	Descrição
Mean Red	Média dos valores do canal vermelho
Mean Green	Média dos valores do canal Verde
Mean Blue	Média dos valores do canal Blue
Mean RGB	Média dos valores do canal RGB
Mean H	Tom médio do canal de matiz
Mean S	Tom médio do canal de saturação
Mean V	Tom médio do canal de brilho
Mean Cinza	Média dos valores do canal cinza

Fonte: Adaptado de Loddo *et al.*, 2022

3.3 Análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC). Os resultados dos testes de germinação e vigor foram submetidos à análise de variância e as médias submetidas ao teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade. Os resultados também foram submetidos aos testes de correlação de Spearman e a análise de componentes principais (PCA). As análises estatísticas foram realizadas por meio do software R 4.3.1 (R CORE TEAM, 2020). As características morfocolorimétricas foram utilizadas para construção de um banco de dados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Etapa I: Análise de qualidade de sementes com testes tradicionais

A Tabela 3 apresenta a análise estatística dos testes de vigor no qual todas as variáveis estudadas foram significativas pelo teste F a 5 % de probabilidade, com comparação de médias feita pelo teste de Skott-Knott.

Tabela 3 – Qualidade fisiológica de 15 lotes de gergelim analisado através dos testes de Primeira Contagem (PC), Germinação (G), Comprimento da Parte Aérea (CPA) e de Raiz (CR), Massa Seca da Parte Aérea (MSPA) e Raiz (MSR), Porcentagem de Emergência (PE), Índice de Velocidade de Emergência (IVE), Condutividade Elétrica (CE) e Peso de Mil Sementes (PMS).

LOTE	PC (%)	G (%)	CPA (cm)	CR (cm)	MSPA (mg)	MSR (mg)	PE (%)	IVE	Cond.Elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$)	PMS (g)
1	57 a	67 a	2,53 a	4,45 a	0,0160 a	0,0062 a	55 a	34,82 b	53,48 c	2,72 d
2	54 a	62 a	1,75 b	3,07 b	0,0198 a	0,0060 a	55 a	31,75 b	53,73 c	2,79 d
3	61 a	79 a	2,18 a	4,35 a	0,0162 a	0,0055 a	57 a	40,55 a	45,08 d	2,71 d
4	19 c	36 b	1,70 b	2,42 b	0,0143 a	0,0044 b	19 c	17,62 c	56,82 b	3,02 b
5	12 c	32 b	2,04 b	2,11 b	0,0093 b	0,0027 b	15 c	16,90 c	54,17 c	3,07 b
6	20 c	32 b	2,51 a	1,53 b	0,0098 b	0,0020 b	16 c	16,02 c	58,08 b	3,10 b
7	33 c	64 a	1,95 b	2,14 b	0,0093 b	0,0032 b	38 b	32,01 b	46,65 d	2,64 d
8	20 c	47 b	1,77 b	2,11 b	0,0042 b	0,0034 b	22 c	22,96 c	49,01 d	2,69 d
9	45 b	67 a	1,69 b	4,03 a	0,0165 a	0,0055 a	42 b	32,76 b	48,14 d	2,74 d
10	42 b	76 a	2,49 a	4,30 a	0,0194 a	0,0077 a	35 b	39,16 a	62,21 a	2,88 c
11	66 a	73 a	2,36 a	4,71 a	0,0194 a	0,0056 a	60 a	36,80 a	48,40 d	2,73 d
12	51 b	65 a	1,86 b	4,05 a	0,0131 b	0,0051 a	51 a	30,69 b	43,36 d	2,37 f
13	44 b	64 a	1,64 b	2,76 b	0,0130 b	0,0040 b	43 b	30,45 b	47,93 d	2,47 e
14	18 c	34 b	2,33 a	2,37 b	0,0164 a	0,0043 b	21 c	16,30 c	66,95 a	3,29 a
15	54 a	65 a	2,32 a	4,45 a	0,0194 a	0,0055 a	47 c	30,34 b	63,69 a	3,05 b
CV (%)	22,93	17,13	9,97	24,7	30,3	39,2	23,11	18,07	6,61	3,45

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste Skott-Knott a 5% de probabilidade.

Na análise de primeira contagem os lotes 1, 2, 3, 11 e 15 não diferiram estatisticamente entre si, onde apresentaram os maiores números de plântulas normais, com médias superiores a 44% de germinação. Enquanto os demais lotes apresentaram valores inferiores a 42% diferindo estatisticamente dos anteriores mencionados. Na avaliação desse teste é possível identificar lotes com rápida capacidade de estabelecimento (Santos *et al.*, 2017), ou seja, lotes de sementes de gergelim com maior porcentagem de plântulas normais, são considerados mais vigorosos, visto que quanto maior velocidade de germinação menor é o grau de deterioração em campo (Nakagawa, 1999).

No teste de germinação os lotes 1, 2, 3, 7, 9, 10, 11, 12, 13, e 15 apresentaram as maiores porcentagens de plântulas normais germinadas com percentual superior a 62%. Observasse que os lotes que tiveram maior velocidade de germinação na primeira contagem também apresentaram maiores porcentagens de germinação o que confirma que os lotes com maior velocidade de germinação na primeira contagem possuem maior capacidade de estabelecimento de plântula (Nakagawa, 1999).

Para comprimento da parte aérea as plântulas dos lotes 1, 3, 6, 10, 11, 14 e 15 tiveram os maiores valores com médias variando entre 2,04 e 2,53 cm, não diferindo entre si. No comprimento de raiz as plântulas dos lotes 1, 3, 9, 10, 11, 12 e 15 acarretaram os maiores comprimentos com valores entre 2,76 e 4,71 cm. Enquanto na massa seca da parte aérea os lotes 1, 2, 3, 9, 10, 11, 12, 14 e 15 registram as maiores massas secas, e a massa seca de raiz os lotes 1, 2, 3, 9, 10, 11, 12 e 15 tiveram maior peso de massas radiculares. Marcos Filho (2015) afirma que as avaliações de comprimento e de massa seca de plântulas constitui importante parâmetro de vigor.

Essas análises partem do princípio de que amostras que expressam os maiores valores de comprimento e massas são originadas de sementes mais vigorosas (Nakagawa, 1999), isso decorre da maior translocação das reservas dos tecidos de armazenamento dessas sementes para o crescimento e acúmulo de fitomassa do eixo embrionário (Oliveira *et al.*, 2009; Taiz *et al.*, 2017). Essa translocação favorece o crescimento das plântulas, possibilitando um aproveitamento melhor das reservas hídricas e nutricionais do solo pelo sistema radicular, bem como dos processos fotossintéticos pelo caule e folhas (Sousa *et al.*, 2010; Sales Guedes *et al.*, 2015).

Já a porcentagem de emergência determinou o potencial máximo de emergência de plântulas em campo, dos quais os lotes 1, 2, 3, 11 e 12 apresentaram as maiores porcentagens de plântulas emergidas, esses resultados concordam com os encontrados para germinação.

Lotes viáveis têm a capacidade de produzir estandes com maiores porcentagens e uniformidades de plântulas emergidas, esse sincronismo é importante pois gera plântulas com mesmo estágio de crescimento e desenvolvimento, permitindo que os manejos sejam realizados de forma uniforme em todo o estande além de garantir alta produtividade (Marcos Filho, 2015).

Os maiores índices de velocidade de emergência foram vistos nos lotes 3, 10 e 11, esses resultados demonstram que os lotes com maiores índices possuem maior capacidade de tolerar as intempéries presentes no campo, uma vez que a velocidade de emergência afeta diretamente o estabelecimento do estande (Marcos Filho, 2015). Isso ocorre em função do estágio de desenvolvimento inicial ser uma fase frágil e sensível para a plântula. Então quanto mais rápido for essa etapa, mais cedo a plântula se tornará autotrófica, e, portanto, com maiores chances de sobreviver (Luiz *et al.*, 2017, Taiz *et al.*, 2017).

Os lotes 14 e 15 apresentaram os maiores valores de condutividade elétrica, enquanto o lote. Esse teste parte do pressuposto que quanto maior condutividade elétrica, maior é o grau de deterioração da semente (Marcos Filho, 2005). Vale salientar que a deterioração está estritamente ligada ao vigor da semente, pois com o aumento da deterioração há a redução do vigor e vice-versa (Krzyzanowski *et al.*, 2022). Isso é bem visível na primeira contagem, germinação, porcentagem de emergência e índice de velocidade de emergência para o lote 14 que apresentou valores baixos nessas variáveis, constatando que sementes com altas taxas de lixiviados no teste de condutividade elétrica apresentam viabilidade e vigor reduzido.

A deterioração de semente inicia logo após a cultura atingir a maturação fisiológica. Em sementes oleaginosas, como o gergelim, esse processo ocorre ainda mais rápido devido ao seu alto teor de óleo que oxida facilmente, e à rápida respiração celular (Oyekale *et al.*, 2012; Nyo *et al.*, 2020), o que potencializa o grau de deterioração nesse tipo de semente.

No peso de mil sementes o lote 14 diferiu estatisticamente dos demais, é importante destacar que nesta variável, quanto menor o peso do lote, menor o tamanho da semente, e vice-versa. Neste contexto, o peso de mil sementes é uma informação que dá ideia do tamanho das sementes, sendo muito utilizado para calcular a densidade de semeadura em campo (Brasil, 2009).

Os lotes estudados apresentaram variações de peso entre 2,37g a 3,29g, o que classifica as sementes como pequenas (Queiroga *et al.*, 2010). Moshatati e Gharineh (2012) afirmam que o tamanho da semente condiz com a quantidade de energia gerada e armazenada em seu embrião. Usar sementes grandes que têm muitos nutrientes é superior a usar sementes menores ou fracas, que normalmente produzem plantas mais fracas, vale salientar que o

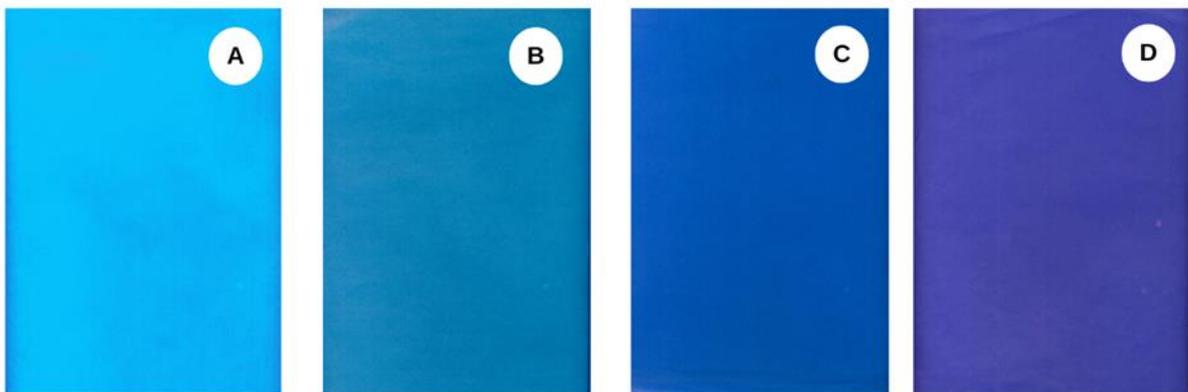
tamanho da semente tem grande impacto no processo de semeadura, quando mecanizada algumas semeadeiras necessitam de adaptações em seus discos para comportar o tamanho inferior dessas sementes (Queiroga *et al.*, 2010).

Além disso, há estudos que demonstram relação entre o tamanho da semente e a formação de plântulas (Siega *et al.*, 2023), em que sementes menores podem apresentar plântulas de vigor inferior e sementes maiores, plântulas de vigor superior. Isso se dá pelo fato de que sementes menores podem não ter completado sua maturação (Marcos Filho, 2015), enquanto sementes maiores, bem formadas, possuem maior conteúdo de reserva, que é mobilizada após germinação, fornecendo nutrientes para a plântula em crescimento (Taiz *et al.*, 2017). Nesse sentido, quanto maior a quantidade de reservas, maior será o incremento de massa e comprimento nas plântulas. É possível constatar isso pelos valores significativos que o lote 14, maior peso de mil sementes, apresentou nas variáveis de comprimento da parte aérea, massa seca da parte aérea, comprovando que sementes maiores podem agregar maior crescimento em plântulas.

4.2 Etapa II: Análise de Imagens

O processo de aquisição das imagens demonstrou ser eficiente e reproduzível, o que é importante para as próximas fases na análise de imagem, uma vez que obter imagens padronizadas e de qualidade adequada é essencial para propiciar uma segmentação eficiente dos objetos estudados. Na Figura 4, observa-se as tonalidades de azul testadas para a escolha da tonalidade de fundo para extração de recursos de plântulas de gergelim.

Figura 4 – Escolha da tonalidade de azul (1A – azul claro, 1B – azul médio, 1C - azul escuro médio e 1D – azul escuro) para aquisição de imagens de plântulas de gergelim.



Fonte: Oliveira, 2024

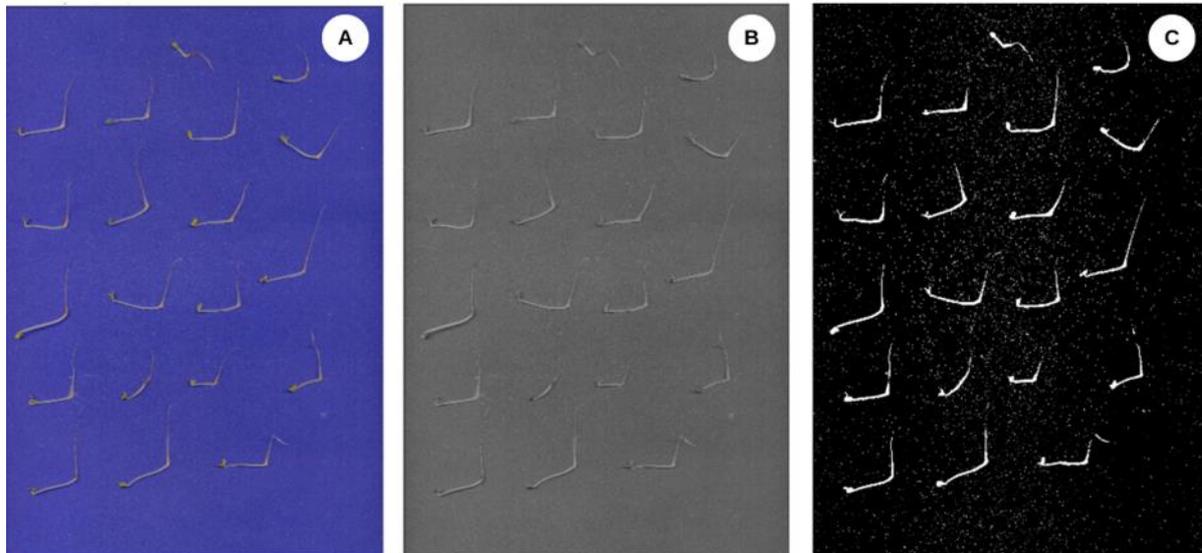
No teste de tonalidade, observou-se que independentemente do tom de azul a segmentação ocorreu perfeitamente, portanto o plugin Seeds Analysis® consegue desempenhar seu papel em qualquer tonalidade da cor azul. Essa questão da cor do fundo é relevante porque os objetos precisam ser separados do plano de fundo para que a extração de recurso seja feita apenas do objeto de estudo e não do fundo da imagem. O ajuste da cor foi essencial para adequar os padrões nacionais à colorimetria exigida, particularmente no tom de azul utilizado. Esse ajuste foi implementado para garantir que a análise das imagens no plugin desenvolvido pelo grupo de pesquisa da Universidade de Cagliari seguisse normas adequadas, promovendo precisão na análise de sementes em território brasileiro.

Esta tarefa pode ser simples, desde que os objetos estejam facilmente destacados da imagem de fundo (Queiroz e Gomes, 2006), ou seja, se há um bom contraste entre a cor do objeto e a cor do fundo. Nesse sentido, para o prosseguimento do trabalho optou-se por utilizar apenas a cor azul escuro (Figura 4D) por visualmente ter mais contraste com a cor da plântula e facilitar o manuseio e organização sobre o papel pelo usuário.

Na Figura 5, observa-se a abertura da imagem em RGB (Figura 5A), conversão da imagem RGB em escala de cinza (Figura 5B) e aplicação de detecção de borda e a segmentação do objeto de estudo (Figura 5C), excluindo o fundo através da remoção do fundo azul, usando RGB (R- vermelho, G

- verde, B - azul) e HSV (H – matiz, S – saturação, V – brilho), modelos de cor, preenchimento de região e correção de ruído (Vale et al., 2020).

Figura 5 – Pré-processamento das imagens (A - Abertura da imagem em RGB; B - Conversão da imagem RGB em escala de cinza; C - Aplicação de detecção de borda - segmentação).



Fonte: Oliveira, 2023

Conforme Queiroz e Gomes (2009) a segmentação se deu analisando a imagem, pixel a pixel, rotulando cada pixel como sendo plântula ou fundo, em função da relação entre o valor do pixel (1000-infinito) e o valor do limiar (<1000 px), configurado previamente. Isso possibilita extrair as variáveis morfocolorimétricas de plântulas de gergelim adequadamente.

Quando não há padronização de imagens, a segmentação ocorre de maneira incorreta, Maldonado e Barbosa (2016) em análise de imagens de frutos verdes de laranjeira, não conseguiram efetivar a remoção do fundo (árvore) usando os componentes HS (H – matiz, S – saturação), pois tanto o fruto verde como as folhas da laranjeira possuíam tons de verde muito próximos, e isso impacta diretamente a etapa de extração de recurso, pois nessa etapa ocorrerá a extração não só do objeto de interesse, mas também daqueles de não interesse. Portanto, a segmentação é uma etapa imprescindível para a análise de imagens, se o fundo apresentar elementos com baixo contraste com o primeiro plano, a segmentação pode não ser executada adequadamente (Barbedo, 2016), prejudicando toda a análise.

O software ImageJ demonstrou uma capacidade significativa para uma segmentação precisa de imagens de plântulas de gergelim. A implementação do plugin Seeds Analysis® possibilitou a extração eficiente de dados morfocolorimétricos, otimizando a análise de qualidade de plântulas de gergelim. Segundo Silva *et al.* (2020), isso gera diversas vantagens, como a possibilidade de construção de banco de imagens, permitindo análises posteriores, o uso de qualquer imagem de dispositivo de aquisição, e a utilização de imagens com diferentes resoluções.

Na Tabela 4 é apresentado a análise estatística das variáveis morfométricas obtidas pelo plugin Seeds Analysis®, onde todas as variáveis estudadas foram significativas pelo teste F a 5% de probabilidade e testados pelo teste de média de Skott-Knott.

Tabela 4 – Comparação de médias dos 15 lotes de gergelim de acordo com os parâmetros de Area, Perimeter, Rfactor, Breadth, Aspratio, Solidity e Feret.

LOTE	Area	Perimeter	Rfactor	Breadth	Aspratio	Solidity	Feret
	-----			Pixels (px)	-----		
1	5519 a	1110 b	27 c	127 b	2,296 a	207 c	286,98 b
2	6409 a	1266 b	32 b	155,53 a	2,153 b	175 c	323,72 b
3	7084 a	1522 a	35 a	166,75 a	2,336 a	164 c	377,22 a
4	6410 a	1265 b	29 c	123,93 b	2,317 a	220 b	305,81 b
5	4617 a	8312 c	25 d	91,06 c	2,121 b	263 a	224,84 b
6	5857 a	1108 b	29 c	127,54 b	2,110 b	218 b	277,20 b
7	6063 a	1255 b	32 b	141,282 a	2,301 a	178 c	319,50 b
8	5588 a	1251 b	28 c	130,35 b	2,285 a	204 c	311,94 b
9	5810 a	1295 b	33 b	154,01 a	2,047 b	177 c	311,09 b
10	5872 a	1243 b	27 c	139,43 a	2,614 a	180 c	373,55 a
11	7029 a	1609 a	36 a	173,29 a	2,303 a	151 c	400,77 a
12	5759 a	1255 b	30 b	153,22 a	2,220 b	166 c	327,53 b
13	5467 a	1214 b	30 b	146,19 a	2,192 b	181 c	300,517 b
14	5059 a	9904 c	23 d	101,65 c	2,475 a	282 a	252,67 b
15	5488 a	1202 b	32 b	136,30 a	2,013 b	182 c	295,71 b
CV (%)	15,09	15,67	9,01	16,35	8,3	15,99	18,87

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste Skott-Knott a 5% de probabilidade.

Na análise morfométrica, os lotes estudados não diferiram para a variável área. Os lotes 3 e 11 apresentaram as maiores médias para as características perimeter (perímetro) e rfactor (fator de forma), enquanto os lotes 2, 3, 7, 9, 10, 11, 12, 13 e 15 resultaram nos maiores valores na variável breadth (largura), e os lotes 1, 3, 4, 7, 8, 10, 11 e 14 tiveram os maiores valores para Aspratio (largura comprimento). Os lotes 5 e 14 se destacaram com as maiores médias para solidity (solidez), e os lotes 3, 10 e 11 tiveram os maiores valores para a variável feret (comprimento).

Observa-se então que os lotes 3 e 11 foram os lotes de sementes que apresentaram médias significativas para diversas variáveis estudadas, como perimeter, rfactor, breadth, aspratio e feret, isso pode indicar uma melhor performance em termos de desenvolvimento estrutural, o que pode estar correlacionado com a qualidade fisiológica das sementes que geraram essas plântulas. Plântulas com características físicas superiores podem apresentar maior vigor, visto que geralmente possuem esse maior crescimento em virtude de maior translocação de reservas, promovendo um desenvolvimento inicial mais robusto.

A maior solidez, como observada nos lotes 5 e 14, pode indicar uma maior integridade das plântulas, o que potencialmente favorece o estabelecimento das plântulas. Diante do exposto, os lotes com maiores médias de solidez apresentam plântulas de maior tamanho, e em campo essas plântulas maiores são mais competitivas por luz e nutrientes do que plantas daninhas (Rossi *et al.*, 2017), o que aumenta sua capacidade de estabelecimento e sobrevivência.

As características analisados anteriormente referem-se a medidas físicas que são obtidas de forma prática e rápida pela plugin Seeds Analysis® fornecendo suporte para análise de qualidade de sementes. Quando essas características são associadas a técnicas de aprendizado de máquina, é possível fornecer uma separação eficiente de lotes de sementes com qualidades distintas para realizar testes de qualidade de sementes, como os testes de vigor (Keling Tu *et al.*, 2023). Portanto os lotes de sementes que apresentaram os maiores valores nestas variáveis são classificados como mais vigorosos.

França-Silva *et al.*, (2023) relataram as vantagens proporcionadas pela análise computadorizada de imagens de plântulas, dentre elas está a maior precisão e rapidez quando comparada com a avaliação manual realizada com o auxílio de régua, além disso há a padronização entre os diferentes laboratórios e analistas, uma vez que a análise dos testes manuais pode variar conforme o nível de experiência do analista e cansaço físico ao final do dia, ou seja, a análise automática pode reduzir a interferência humana.

Na Tabela 5 verifica-se a análise estatística dos recursos colorimétricos obtidas pelo plugin, todas as variáveis estudadas foram significativas pelo teste F a 5% de probabilidade, com comparação de médias feita pelo teste de Skott-Knott.

Tabela 5 – Comparação de médias dos 15 lotes de gergelim para os parâmetros de Mean Red, Mean Green, Mean Blue, Mean RGB, Mean H, Mean S, Mean V e Mean Cinza.

LOTE	Mean Red	Mean Green	Mean Blue	Mean RGB	Mean H	Mean S	Mean V	Mean Cinza
	----- Pixels -----							
1	178,90 a	85,84 b	77,40 c	113,23 b	73,74 c	125,28 a	180,74 a	117,93 b
2	173,28 a	87,15 b	79,01 c	113,25 b	84,30 b	121,09 a	175,18 a	116,81 b
3	171,60 a	91,42 a	89,07 a	117,19 a	99,51 a	109,01 b	175,80 a	121,96 a
4	162,85 b	92,03 a	85,03 b	113,63 b	84,29 b	105,21 c	165,80 b	116,67 b
5	171,58 a	90,68 a	74,40 c	111,81 b	56,29 d	128,31 a	172,78 b	114,72 b
6	166,97 b	93,77 a	86,55 b	115,60 a	81,24 b	106,86 c	169,56 b	119,47 a
7	173,82 a	90,54 a	86,38 b	116,20 a	86,39 b	112,11 b	176,86 a	121,97 a
8	165,39 b	89,79 a	86,73 b	114,26 b	95,02 a	107,61 c	168,46 b	117,09 b
9	173,90 a	87,81 b	85,04 b	115,71 a	91,04 a	113,09 b	176,86 a	120,73 a
10	177,88 a	84,70 b	76,84 c	113,09 b	63,71 d	126,68 a	179,53 a	117,87 b
11	174,88 a	88,44 b	87,57 b	116,38 a	97,56 a	110,98 b	178,14 a	121,23 a
12	173,92 a	90,00 a	92,19 a	118,15 a	98,88 a	104,03 c	177,10 a	123,44 a
13	171,28 a	90,93 a	90,63 a	118,02 a	97,17 a	104,57 c	174,89 a	123,21 a
14	164,49 b	92,76 a	83,60 b	114,46 b	70,84 c	107,85 c	166,57 b	116,85 b
15	169,11 b	92,03 a	86,04 b	115,67 a	78,34 c	104,60 c	171,15 b	119,62 a
CV (%)	2,44	2,75	3,48	1,63	10,19	3,69	2,54	2,05

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste Skott-Knott a 5% de probabilidade.

Na mean red os lotes 1, 2, 3, 5, 7, 9, 10, 11, 12 e 13 apresentaram os maiores valores de cor do canal vermelho. A média de vermelho pode influenciar a percepção visual da qualidade das plântulas, valores elevados podem indicar uma maior presença de pigmentos vermelhos, que podem estar associados a características de vigor. Em plantas em desenvolvimento pode estar relacionado ao acúmulo de antocianinas, um antioxidante natural que possui coloração variando do vermelho ao azul (Bobbio e Bobbio, 1995). O acúmulo desse antioxidante pode significar desequilíbrio nutricional de enxofre e fósforo sendo perceptível pela coloração levemente purpúrea (variando do roxo ao vermelho) nas folhas (Taiz *et al.*, 2017).

Para variável mean green os lotes 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 12, 14 e 15 apresentaram os maiores valores de verde. A cor verde é essencial para avaliar a qualidade das plântulas, pois é um indicador direto da quantidade de clorofila, essencial para a fotossíntese. A clorofila é um dos pigmentos fotossintetizantes mais abundantes em plantas verdes, responsável por absorver energia luminosa e convertê-la em energia química (Taiz *et al.*, 2017). Dessa forma uma planta com altos teores de clorofila é capaz de atingir elevadas taxas fotossintéticas (Chappelle e Kim, 1992).

Como visto, os lotes de sementes que apresentaram médias significativas para mean green, sugere que essas plântulas têm uma concentração mais alta de clorofila e, portanto, podem ser mais saudáveis e vigorosas. Em algumas plantas a clorofila pode estar altamente correlacionada com a concentração de N e produtividade (Smeal e Zhang, 1994). Nisso, a determinação do conteúdo de mean green no crescimento inicial e subsequente pode servir de suporte para prever possíveis desequilíbrios nutricionais, como a ausência de nitrogênio, possibilitando uma tomada de decisão rápida.

Na mean blue os lotes 3, 12 e 13 registraram os maiores valores de azul. A tonalidade azul pode estar associada a características específicas das plântulas, como a presença de pigmentos ou a absorção de luz. Em plântulas, isso pode influenciar a fotossíntese. O fitocromo, por exemplo, é um pigmento presente em plantas responsável pela captação da luz vermelha e vermelha distante, essa proteína pode apresentar coloração ciano-azul ou ciano-verde, além disso quando esse pigmento absorve luz no comprimento vermelho pode causar acúmulo de antocianinas, como já mencionado para mean red, ele pode variar a cor do vermelho ao azul (Bobbio e Bobbio, 1995; Taiz *et al.*, 2017). Relevante evidenciar que a antocianina também estar associada a mecanismos de proteção da plântula em casos de excesso de luz (O'Neill e Gould, 2003). Portanto os lotes com uma média elevada para mean blue pode indicar uma característica visual distinta, possivelmente relacionada à pigmentação das plântulas ou à sua capacidade de refletir a luz azul, e a acúmulos de antioxidantes.

Na mean RGB os lotes 3, 6, 7, 9, 11, 12, 13 e 15 tiveram os maiores valores. Mean RGB fornece uma visão geral da intensidade das cores primárias e pode ajudar a avaliar a vivacidade e a saúde das plântulas. Plântulas com altas médias de RGB tendem a ser mais vigorosas, a exemplo, os lotes 3, 7, 9, 11, 12 e 13 apresentaram plântulas normais com médias significativas no teste de germinação.

Para mean H os lotes 3, 8, 9, 11, 12 e 13 obtiveram os maiores valores. O mean H (Hue - matiz) representa a tonalidade básica da cor e pode fornecer informações sobre o estado geral da plântula

e características distintivas entre cultivares. Ferreira et al. (2018), por exemplo, realizou um estudo associando caracteres de cor, biometria e textura na divergência genética de sementes de maracujazeiro, dentre os descritores de cor, o matiz (mean H) se destacou como relevante na identificação genética do maracujazeiro. Desse modo o matiz aplicado em plântulas pode indicar diferenças visuais que podem estar relacionados a distinções de espécies, cultivares, ou até mesmo do estado de estresse da plântula, de acordo com possíveis presença de sintomas que a partir da intensidade do matiz pode ser identificado como normal ou anormal em relação a uma plântula normal.

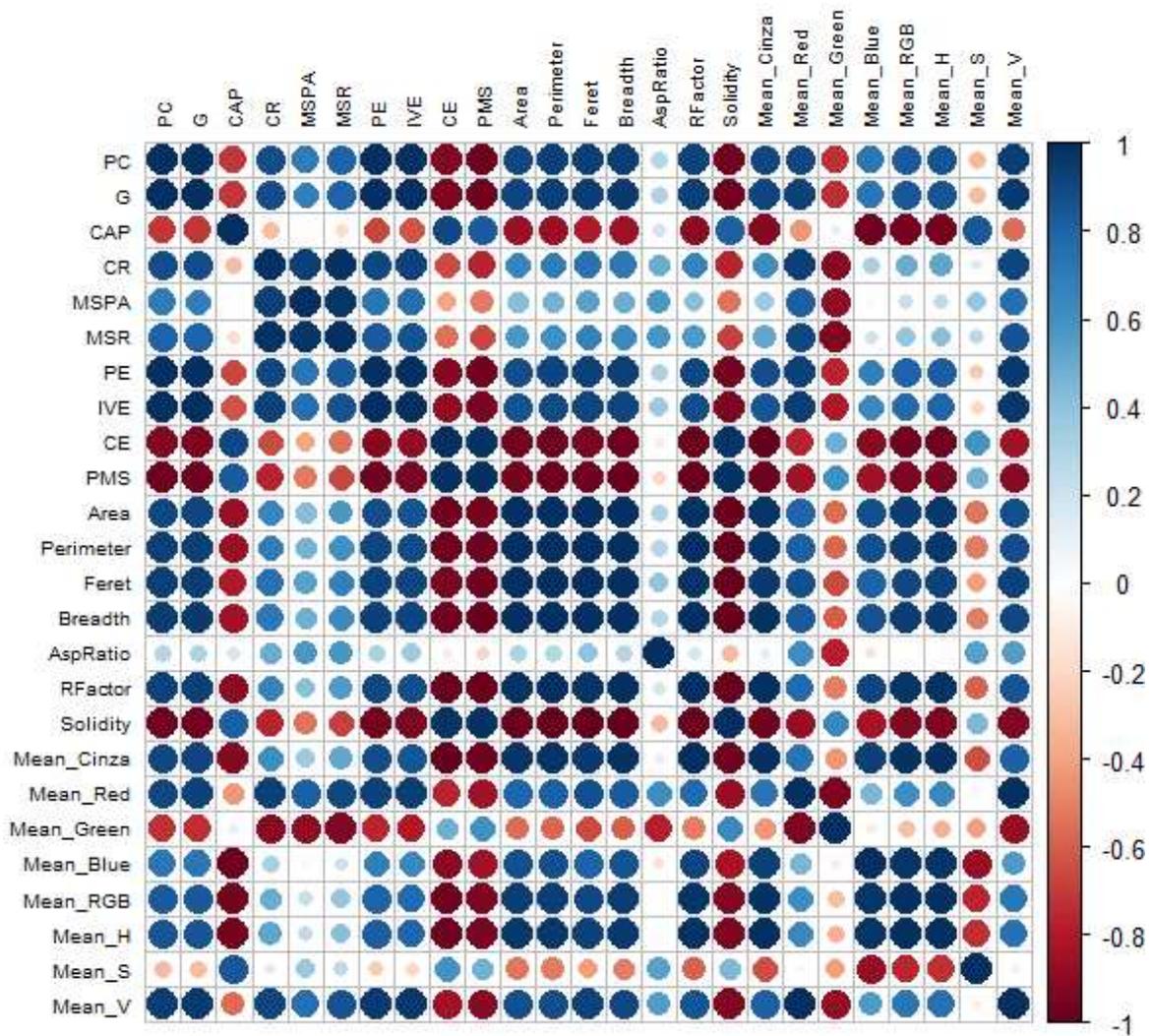
Na mean s os lotes 1, 2, 5 e 10 apresentaram os maiores valores de saturação. A saturação reflete a pureza da cor, alta saturação pode indicar plântulas mais vigorosas, com folhas mais verdes. Os lotes com médias significativas podem sugerir plântulas com cores mais vibrantes devido a saturação de cores. Para mean v os lotes 1, 2, 3, 7, 9, 10, 11, 12 e 13 apresentaram os maiores valores de brilho. O brilho representa a intensidade luminosa da cor. Em plântulas, um valor alto pode indicar folhas mais saudáveis e vigorosas, através dessa métrica em algumas plantas podem ser possível observar a presença de ceras constituintes de proteção adaptativas à regiões de altas intensidades luminosas (Salatino *et al.*, 1986). A alta média nos lotes citados indica que essas plântulas podem ter uma intensidade luminosa mais alta, possivelmente indicando maior desenvolvimento.

Na média do canal cinza os lotes 3, 6, 7, 9, 10, 11, 12 e 15 tiveram os maiores valores. O valor cinza pode ser um indicador de textura ou estresse na plântula. Plântulas com variações anormais podem estar sofrendo de doenças ou deficiências nutricionais. O lote 12 apresentou uma alta média para mean cinza, sugerindo que essas plântulas podem ter uma textura ou aparência que pode ser distintiva de outros lotes.

Os sistemas RGB e HSV são canais de cores constituintes de imagens, podendo estar em menor ou maior quantidade a depender da composição colorimétrica da imagem (Oliveira *et al.*, 2023). Como visto na metodologia deste trabalho, são excelentes parâmetros para realizar a segmentação de imagens efetuando a separação de objetos de seu fundo. Para além disso, esses recursos quando extraído de imagens de plântulas podem nos dar informações importante a respeito da caracterização de lotes. Na literatura não há estudos voltados para o uso desses canais na averiguação de qualidade fisiológica de sementes, no entanto são utilizados para diferenciação de sementes, como Sabato *et al.* (2015) que diferenciaram sementes de melão pela cor do tegumento (cor creme escura, de sementes de cor mais claras) por meio dos canais red, blue e sue, possibilitando uma alternativa para caracterizar também variedades de gergelim.

Na Figura 6 é apresentado as correlações de Spearman entre as variáveis provenientes dos testes tradicionais e os recursos obtidos da extração feita pelo plugin Seeds Analysis® das imagens RGB's dos testes de germinação.

Figura 6 – Coeficiente de Spearman (r) estimado para as variáveis de primeira contagem (PC), germinação (G), comprimento da parte aérea (CPA) e de raiz (CR), massa seca da parte aérea (MSPA) e raiz (MSR), porcentagem de emergência (PE), índice de velocidade de emergência (IVE), condutividade elétrica (CE), peso de mil sementes (PMS), e para os recursos de area, perimeter, feret, breadth, aspratio, rfactor, solidity, mean cinza, mean red, green, blue e RGB, mean H, S e V.



De acordo com a análise dos coeficientes de correlação de Spearman, as variáveis primeira contagem e germinação, tiveram correlação muito alta com os recursos area, perimeter, feret, breadth, rfactor, mean cinza, mean red e mean V, variando de 0,90 a 0,95. Os mesmos recursos se correlacionaram positivamente com porcentagem e índice de velocidade de emergência com correlação alta a muito alta. Isso sugere que, no início da germinação, essas variáveis estão fortemente associadas a esses recursos morfocolorimétrico de plântulas.

A correlação muito alta (0,90 a 0,95) entre primeira contagem e germinação com os recursos morfométricos como area, perimeter, feret, breadth e rfactor sugere que lotes com maior número de plântulas normais e melhor porcentagem de germinação tendem a ter dimensões maiores e formas mais definidas. Isso pode indicar que sementes mais vigorosas, que germinam de maneira mais eficiente, produzem plântulas com características morfológicas mais robustas. A correlação muito alta com mean cinza, mean red e mean V indica que a intensidade da cor também está associada ao vigor das plântulas. Plântulas normais e bem desenvolvidas tendem a ter cores mais intensas e uniformes, refletindo uma maior saúde e qualidade das sementes.

As variáveis de primeira contagem, germinação, porcentagem e índice de velocidade de emergência tiveram correlação alta (0,73 - 0,86) com mean RGB e mean H, Já no recurso mean blue observou-se correlação alta com primeira contagem e germinação e moderada com porcentagem de emergência e índice de velocidade de emergência. A presença de cores mais saturadas e contrastantes pode estar correlacionada com plântulas mais saudáveis e vigorosas. No comprimento da parte aérea ocorreu correlação alta com solidity e mean S (0,81 e 0,85, respectivamente). O recurso mean red apresentou correlação alta a muito alta com a maioria das variáveis dos testes tradicionais (PC, G, CR, MSPA, MSR, PE e IVE) indicando que a cor vermelha do canal RGB pode ser um bom indicador para várias medições morfológicas. Isso indica que essas variáveis estão altamente relacionadas e dessa forma os recursos extraídos pelo plugin podem ser utilizadas em conjunto para avaliar a qualidade das sementes.

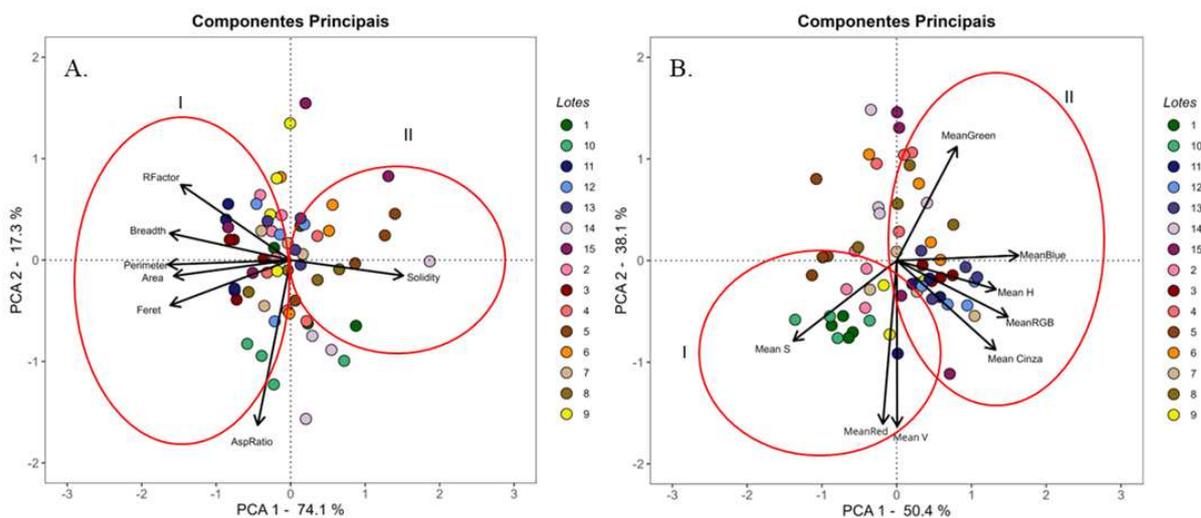
Então de forma geral, as variáveis primeira contagem e germinação mostraram uma forte relação com várias características morfométricas e colorimétricas. Isso indica que essas variáveis extraídas pelo plugin Seeds Analysis são eficazes em distinguir lotes de sementes de gergelim com base em seu potencial de vigor. O recurso mean red merece destaque uma vez que manteve correlação forte com diversas variáveis dos testes tradicionais, o que ressalta sua importância na análise dos dados de vigor.

Keling Tu *et al.* (2023) utilizando o software Alseed para análise e detecção automática de características morfológicas, de cor e textura em imagens de sementes, observaram correlação significativa para correlação de Spearman entre as características fenotípicas (area, perimeter, feret, mean red, mean H, mean S e mean V) e o teste de germinação utilizado em sementes de milho, corroborando com os resultados observados neste trabalho para plântulas de gergelim. Portanto, a alta correlação entre as recurso obtidos de imagens RGB e as variáveis dos testes fisiológicos são dados importantes que validam o método de avaliação

da qualidade de plântulas de gergelim por meio da análise de imagem. A análise de imagens é uma ferramenta crucial que quando combinada com análises de correlação, pode significativamente acelerar a obtenção de resultados. Esse processo é eficaz porque permite a seleção de características de forma indireta com base em suas correlações positivas ou negativas (Abud *et al.*, 2022), nesse sentido as correlações permitem filtrar e priorizar os recursos mais relevantes para o estudo.

Os dados provenientes do teste de germinação foram utilizados na análise multivariada de componentes principais (Figura 7), com dois componentes (PCA1 e PCA2) construídos para cada tipo de variável (morfométrica e colorimétrica).

Figura 7 – Gráficos biplot da análise de componentes principais dos recursos area, perímetro, feret, breadth, aspratio, rfactor e solidity (Figura A) e das médias de RGB, red, green, blue, cinza, H, S e V (Figura B) de plântulas de gergelim.



Observa-se que as somas dos PCA's representou 91,4% (Figura 7A) e 88,5% (Figura 7B) da variabilidade total dos dados. Dessa forma os dois primeiros componentes foram eficientes em explicar a maior parte da variabilidade dos dados, pois apresentaram somas superiores a 80% (Johnson e Wichern, 1998; Hongyu *et al.*, 2015).

Na análise morfométrica (Figura 7A), os recursos rfactor, breadth, perimeter, area, aspratio e feret foram responsáveis por formar o grupo I (lotes: 11, 15, 9, 7, 10, 3, 12, 2, 4) localizado à esquerda do PCA1. Esses resultados corroboram com a correlação de Spearman, uma vez que esse grupo é constituído por lotes que apresentaram maiores valores para primeira contagem, germinação, porcentagem de emergência e índice de velocidade de emergência, e essas variáveis obtiveram correlação alta à muito alta com o recursos area, perimeter, breadth e rfactor. Já o recurso solidity foi responsável pelo grupo II (lotes: 1, 5, 6, 8, 14) localizado a

direita do PCA1. O grupo II foi formado por lotes que apresentaram maiores comprimentos da parte aérea corroborando com a correlação de Spearman, onde essa mesma variável teve correlação alta com solidity.

Além disso, esses recursos estão relacionados com medidas biométricas. Logo, os lotes que formaram os grupos se destacam por maiores valores de comprimento, largura, perímetro e área no crescimento inicial da plântula como já mencionado, sendo que esses maiores valores conduzem a maior estabelecimento de plântulas em campo. Segundo Abud *et al.* (2022) dados morfométricos de sementes são fundamentais para estabelecer um padrão morfológico de qualidade. O mesmo pode ser aplicado a plântulas, como visto na análise multivariada que possibilitou observar os lotes mais próximos de cada recurso, e assim entender quais variáveis mais contribuem na análise de qualidade de sementes de gergelim por meio da análise de imagens de plântulas.

Dessa forma, o estudo baseado na morfometria de plântula e não de semente é importante uma vez que, algumas sementes possuem tamanhos menores e os meios de captura menos sofisticados não são capazes de realizar suas funções com maestria, no entanto com objetos maiores (plântulas) ocorre de forma eficiente.

Na análise colorimétrica (Figura 7B), os recursos mean green, mean blue, mean H, mean RGB e mean cinza formaram o grupo I (lotes: 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 14 e 15) localizado à direita do PCA 1 (correlações positivas), e os recursos mean s, mean red e mean v o grupo II (lotes: 10, 1, 2 e 9) localizado à esquerda do PCA 1 (correlações negativas).

O grupo I é composto por lotes que apresentaram médias significativas para primeira contagem e germinação, e segundo a análise de spearman esses resultados corroboram, uma vez que essas variáveis tiveram correlação com mean H, blue e RGB (alta) e mean cinza (muito alta), responsáveis pela formação deste grupo. O grupo II é constituído por lotes que obtiveram maiores médias para comprimento de raiz, massa seca da parte aérea, porcentagem de emergência e índice de velocidade de emergência, e essas variáveis apresentaram correlação alta com mean red, então mais uma vez os resultados do PCA corroboram com o visto na correlação de Spearman.

Silva *et al.* (2020) afirma que quanto mais próximo o vetor (recurso) estiver do indivíduo (lote), ou seja, quanto maior for a correlação, maior será o desempenho do lote para o recurso correspondente. Como visto, os lotes apresentaram correlações com um, ou, mais recursos morfocolorimétricos, constatando que esses recursos possuem relação e podem ser utilizados na análise de qualidade de plântulas de gergelim pela análise de imagem.

5 CONCLUSÕES

O ImageJ demonstrou eficiência no pré-processamento e segmentação de imagens; O plugin Seeds analysis® foi eficiente em extrair recursos de imagens de plântulas adequadamente;

Mais estudos acerca do uso dos canais RGB e HVS na análise de vigor de semente devem ser realizados para comprovar sua eficiência;

As análises de Spearman e PCA foram importantes para destacar os recursos morfo-colorimétricos que estavam relacionadas e mais influenciavam as variáveis dos testes tradicionais;

REFERÊNCIAS

- ABUD, H. F.; MESQUITA, C. M. D. S.; SARMENTO, E. C. S.; MELO, R. D. S.; LIMA, K. A. P. D.; SILVA, A. K. F. D. Image analysis of the seeds and seedlings of *Vigna radiata* L. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 53, p. e20207303, 2022.
- AMARO, H. T. R.; DAVID, A. M. S. S.; ASSIS, M. O.; RODRIGUE, B. R. A.; CANGUSSÚ, L. V. S.; OLIVEIRA, M. B. Vigor tests to evaluate the physiological quality of bean seeds. **Revista de Ciências Agrárias** (Portugal), v. 38, n. 3, p. 383-389, 2015.
- ARRIEL, N. H. C.; FIRMINO, P. D. T.; BELTRÃO, N. D. M.; SOARES, J. J.; DE ARAUJO, A. E.; SILVA, A. C.; FERREIRA, G. B. A cultura do gergelim. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**; Campina Grande: Embrapa Algodão, 72 p, 2007.
- BAEK, J.; LEE, E.; KIM, N.; KIM, S. L.; CHOI, I.; J. I, H.; CHUNG, Y. S.; CHOI, M.S.; MOON, J. K.; KIM, K. H. High throughput phenotyping for various traits on soybean seeds using image analysis. **Sensors**, v. 20, n. 1, pág. 248, 2020.
- BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. Pigmentos naturais. In: BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O.(Ed.) Introdução à Química de Alimentos. 2. ed; São Paulo: **Varela**, 1995. cap.6, p.191-223.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Secretaria de Defesa Agropecuária**. – Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p
- BRUNES, A.P.; ARAÚJO, A.D.; DIAS, L.K.; VILLELA, F.A.; AUMONDE, T. Z. Seedling length in wheat determined by image processing using mathematical tools. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 47, n. 2, p. 374-379, 2016.
- CASACUBERTA, M.; KINUNGHU, S.; VENNERVALD, B. J.; OLSEN, A. Evaluation and optimization of the circulating cathodic antigen (poc-cca) cassette test for detecting chistosomomansoni infection by using image analysis in school children in mwanza region, tanzania, **Parasite Epidemiology and Contro**, 11(2): 105 –115, 2016.
- CASTAN, D. O. C.; GOMES-JUNIOR, F. G.; MARCOS-FILHO, J. Vigor-S, a new system for evaluating the physiological potential of maize seeds. **Scientia Agricola**, 75(2), 167–172, 2018.
- CASTRO, É. B. D. L.; MELO, R. D. S.; COSTA, E. M. D.; PESSOA, A. M. D. S.; OLIVEIRA, R. K. B.; BERTINI, C. H. C. D. M. Classification of *Phaseolus lunatus* L. using image analysis and machine learning models. **Revista Caatinga**, 35(4), 772–782, 2022.
- CASTRO, V. R.; FURTADO, M. C dos S.; BERMÚDEZ, V. M. S.; SILVA, E. F da. NASCIMENTO, V. L. V do. Avaliação da qualidade oleoquímica de sementes de gergelim (*Sesamum indicum*) e girassol (*Helianthus annus*). **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, [S. l.], v. 7, pág. e3510716226, 2021.

CHAPPELLE, E. W.; KIM, M. S. Ratio analysis of reflectance spectra (RARS): an algorithm for a remote estimation of the concentrations of chlorophyll A, chlorophyll B, and carotenoids in soybean leaves. **Remote Sensing of Environment**, v. 39, n. 3, p. 239-247, 1992.

COPELAND, L.O.; McDONALD, M. Principles of seeds science and technology. New York: **Chapman Hall**, 1995. 409p.

COSTA, José Antonio. **Cultura da Soja**. Porto Alegre. 1996, 233p.

CRUZ, C.D. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético II. Viçosa: **UFV**, 2004. 480p.

CUSTÓDIO, C. C. Testes rápidos para avaliação do vigor de sementes: uma revisão. In **Colloquium Agrariae**. ISSN: 1809-8215, Vol. 1, No. 1, pp. 29-41, 2005.

DE MEDEIROS, A. D.; DA SILVA, L. J.; DA SILVA, J. M.; DOS SANTOS DIAS D. C. F.; PEREIRA, M. D. IJCropSeed: An open-access tool for high-throughput analysis of crop seed radiographs. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 175, p. 105555, 2020.

DE MELO, M. P.; DO NASCIMENTO TEIXEIRA, L.; DE MELO TRAJANO, A. E.; PEREIRA, S. L.; DE JESUS, A. A. Evolução da extração supercrítica de matrizes de sementes oleaginosas cultivadas no Brasil: uma revisão. **International Seven Journal of Health Research**, v. 2, n. 4, p. 476-522, 2023.

DIAS, A. S.; DE LIMA, G. S.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; FERNANDES, P. D.; DA SILVA, F. A. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica do gergelim sob estresse salino e adubação com nitrato-amônio. **Irriga**, v. 23, n. 2, p. 220-234, 2018.

ELMASRY, G.; MANDOUR, N.; WAGNER, M. H.; DEMILLY, D.; VERDIER, J.; BELIN, E.; ROUSSEAU, D. Utilization of computer vision and multispectral imaging techniques for classification of cowpea (*Vigna unguiculata*) seeds. **Plant methods**. v. 15, p. 1-16, 2019.

FERREIRA, A. M.; NASCIMENTO, G. C.; DOS SANTOS, L. C. Tecnologia da internet das coisas na agricultura 4.0. **Advances in Global Innovation & Technology**, v. 1, n. 2, 2023.

FERREIRA, A. F.; KRAUSE, W.; FALEIRO, A. C.; MIRANDA, A.; ACHA, A. Seleção de descritores de sementes de maracujazeiro azedo utilizando fenotipagem digital. **Academia Agrária**, v. 5, n. 10 de outubro de 2018.

Food and Agriculture Organization Statistical Databases (FAOSTAT). Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>> Acesso em: 26 de Junho de 2023.

FRANÇA NETO, J. de B.; KRZYŻANOWSKI, F. C. Metodologia do teste de tetrazólio. Londrina: **Embrapa Soja**, p. 108, 2018.

FRANÇA NETO, J. de B.; KRZYŻANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A.; PADUA, G. P. de; LORINI, I.; HENNING, F. A. Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade. Londrina: **Embrapa Soja**, 2016. 82 p.

- FRANÇA-SILVA, F.; GOMES-JUNIOR, F. G.; REGO, C. H. Q.; MARASSI, A. G.; TANNÚS, A. (2023). Advances in imaging technologies for soybean seed analysis. **Journal of Seed Science**, 45, e202345022.
- FRANZIN, S. M.; MENEZES, N. L.; GARCIA, D. C.; WRASSE, C. F. Métodos para avaliação do potencial fisiológico de sementes de alface. **Revista Brasileira de Sementes**, 26(2), 63-69, 2004.
- FRIGAU, L.; ANTOCH, J.; BACCHETTA, G.; SARIGU, M.; UCCHESU, M.; ZARATIN ALVES, C.; MOLA, F. A statistical approach to the morphological classification of *Prunus* sp. seeds. **Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology**, v. 154, n. 6, p. 877-886, 2020.
- GONZALES, R. C.; WOODS, R. E.; EDDINS, S. L. Digital image processing using MATLAB. **Pearson Prentice Hall**, 2004.
- GUEDES, R. S.; ALVES, E. U.; GONÇALVES, E. P.; SANTOS, S. do R. N. DOS.; LIMA, C. R. de. Testes de vigor na avaliação da qualidade fisiológica de sementes *Erythrina velutina* Willd. (FABACEAE - PAPILIONOIDEAE). **Ciência e Agrotecnologia**, 33(5), 1360–1365 p, 2009.
- HOWARTH, M. S.; STANWOOD, P. C. Measurement of seedling growth rate by machine vision. **Transactions of American Society of Agricultural Engineering**, v. 36, p. 959-963, 1993.
- ISTA. Regras internacionais para testes de sementes. Associação Internacional de Testes de Sementes, **Bassersdorf**, 2019.
- KAUFMAN, D; BOAS, L. L. V. Visão computacional na agricultura: APIs de detecção e reconhecimento de doenças das plantas. **TECCOGS: Revista Digital de Tecnologias Cognitivas**, n. 20, 2019.
- KELING TU; WEIFENG WU.; YING CHENG.; HAN ZHANG.; YANAN XU.; XUEHUI DONG.; MANG WANG.; QUN SUN. AIseed: An automated image analysis software for high-throughput phenotyping and quality non-destructive testing of individual plant seeds. **Computers and Electronics in Agriculture**, Volume 207, 2023, 107740, ISSN 0168-1699.
- KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B.; DIAS, D. Deterioração e vigor da semente. **Revista Seeds News**, v. 25, 2022.
- LABOURIAU, L. G. A Germinação das sementes. **Oea**. Washington, EUA: 174 p, 1983.
- LABOURIAU, L. G.; VALADARES, M. E. B. On the germination of seeds *calotropis procera* (Ait.) Ait.F. **Anais da Academia Brasileira De Ciências**, Rio De Janeiro, Brasil. 48: 263-284. 1976.
- LEITE, C. A. M.; FRANÇA-NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; GOMES JUNIOR, F. G. Validação do sistema de análise de imagens Vigor-S para a determinação de fitotoxicidades em plântulas de soja. *In: Jornada Acadêmica da Embrapa Soja*, 13; 2018, Londrina. Resumos expandidos... Londrina: Embrapa Soja, 2018. p. 130-137.

- LIMA, B. F. S.; ALMEIDA, T. T.; SANTOS OLIVEIRA, A. dos; LIMA, G. Qualidade fisiológica de sementes de gergelim em função do equilíbrio higroscópico em diferentes saís. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 17, n. 1, p. 18-22, 2021.
- LOBO, L. C. Inteligência artificial, o Futuro da Medicina e a Educação Médica. **Rev. Bras. Educ. Med.** [Internet]. 42(3):3–8, 2018.
- LODDO, A.; Di RUBERTO, C.; VALE, A. M. P. G.; UCCHESU, M.; SOARES, J. M.; BACCHETTA, G. An effective and friendly tool for seed image analysis. **The Visual Computer**, p. 1-18, 2022.
- LUIZ, M. C.; SILVA, S. M. DA C.; SCAVACINI, A. T.; DE OLIVEIRA, A. L. R.; DA CUNHA, A. H. N. **Revista Mirante**, Anápolis (GO), v. 10, n. 1, jun. 2017. ISSN 19814089
- MAGUIRE, J. D. Seeds germination-aid selection and evaluation for streedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, n. 2, p. 176–177, 1962.
- MARCOS FILHO, J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. Londrina: **ABRATES**.660p, 2015.
- MARCOS FILHO, J. Fisiologia de Plantas Cultivadas. Piracicaba: **Fealq**. v.12, 495 p, 2005.
- MARCOS FILHO, J. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. **Ciência Agrícola** v.72, n.4, p.363-374, 2015.
- MCCORMAC, A. C.; KEFFE, P. D.; DRAPER, R. S. Automated vigor testing of field vegetables using image analysis. **Seed Science and Technology**, v. 18, p. 103-112, 1990.
- McDONALD Jr, M. B. A review and evaluation of seed vigor tests. *In*: Proceedings of the Association of Official Seed Analysts. **The Association of Official Seed Analysts**. p. 109-139, 1975.
- MILI, A. DAS, S.; NANDAKUMAR, K.; LOBO, R. A comprehensive review on *Sesamum indicum* L.: Botanical, ethnopharmacological, phytochemical, and pharmacological aspects. **Journal of Ethnopharmacology**, Volume 281, 2021, 114503, ISSN 0378-8741.
- MOSHATATI, A. E.; GHARINEH, M. H. Efeito do peso do grão na germinação e vigor da semente de trigo. **Revista Internacional de Agricultura e Ciências das Culturas**. 4(8): 458-460, 2012.
- MYINT, D.; GILANI, S.A.; KAWASE, M.; WATANABE, K. N. Sustainable Sesame (*Sesamum indicum* L.) Production through Improved Technology: An Overview of Production, Challenges, and Opportunities in Myanmar. **Sustainability**, 12, 3515, 2020.
- NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas. *In*: VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. Testes de vigor em sementes Jaboticabal: **FUNEP**, 1999. p.49-85.
- NAKAGAWA, J.; KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B. Vigor de sementes: conceitos e testes. **ABRATES**. [S.l: s.n.], p. 2–10, 1999.

- NAKANO, M.; ESCAMILLA, E.; PÉREZ, H.; IWAMOTO, M. Criptografía Visual basada en el esquema de umbral: Una revisión tutorial. **Información tecnológica**, v. 22, n. 5, p. 107-120, 2011.
- NASHAT, S.; ABDULLAH, A.; ABDULLAH, M. Z. A robust crack detection method for non-uniform distributions of coloured and textured image. **IEEE – International Conference on Imaging Systems and Techniques, IST Proceedings** pp. 98–103, 2011.
- NEVES, L. A. P.; VIEIRA NETO, H.; GONZAGA, A. Avanços em visão computacional. Curitiba: **Omnipax**, p. 27, 2012.
- NYO, HNIN THIDA.; HTWE, NYEIN NYEIN.; WIN, KYAW KYAW. Efeito de diferentes materiais de embalagem e ambientes de armazenamento na qualidade de sementes de gergelim (*Sesamum indicum* L.). **Journal of Biology and Life Science**, v. 11, n. 1, p. 1, 2019.
- O'NEILL S, K S GOULD. Anthocyanins in leaves: light attenuators or antioxidants? **Functional Plant Biol.** 30: 865-873, 2003.
- OHLSON, O. DE C.; KRZYZANOWSKI, F. C.; CAIEIRO, J. T; PANOBIANCO, M. Teste de envelhecimento acelerado em sementes de trigo. **Revista Brasileira De Sementes**, 32(4), 118–124 p, 2010.
- OLIVEIRA, A. C. S.; MARTINS, G. N.; SILVA, R. F.d.; VIEIRA, H. D. Testes de vigor em sementes baseados no desempenho de plântulas. **Revista Científica Internacional**, 2(04), 2009.
- ONISHI, P. K.; KUNKEL, M.E. E ZORZAL, E. R. Revisão sistemática dos métodos computacionais para avaliação e comparação de cores. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**. 12, 1 (fev. 2020), 71-83, 2020.
- OYEKALE, K. O.; NWANGBURUKA, C. C.; DENTON, O. A.; DARAMOLA, D. S.; ADEYEYE, J. A.; AKINKUOTU, A. O. Efeitos comparativos de tratamentos de sementes orgânicos e inorgânicos na viabilidade e vigor de sementes de gergelim em armazenamento. **Journal of Agricultural Science**, 4(9), 187-195, 2012.
- QUEIROGA, V. de P.; SOUZA GONDIM, T. M. de.; QUEIROGA, D. A. N. Tecnologias sobre operações de semeadura e colheita para a cultura do gergelim (*Sesamum indicum* L.). **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 3, n. 2, p. 106-121, 2010.
- RAMOS, A. K. F.; MEDEIROS, A. D. D.; PEREIRA, M. D.; ARAÚJO, Y. F.; SILVA, L. J. D.; ALVES, C. Z. Software SARS para análise de imagens radiográficas de sementes de *Urochloa decumbens* (Stapf) RD Webster. **Journal of Seed Science**, v. 44, p. 10, 2022.
- REGO, C. H. Q.; CICERO, S. M.; FRANÇA-SILVA, F.; GUILHIEN GOMES-JUNIOR, F. Assessing the vigor of cowpea seeds using the Vigor-S software. **Journal of Seed Science**, v.43, e202143018, 2021.

- RIBEIRO, A. M. P.; DA SILVA, A. A. P.; ALVES, R. V. M.; LIMA, V. A. P.; DOS SANTOS, H. O.; PINHO, ÉDILA V. de R. V.; Fenotipagem de plântulas de tabaco pela análise de imagens. **Contribuciones A Las Ciencias Sociales**, 17 (2), e5437, 2024.
- RODRIGUES, M.; GOMES JUNIOR, F. G.; MARCOS FILHO, J. Vigor-S: System for Automated Analysis of Soybean Seed Vigor. **Journal of Seed Science**, v.42, e202042039, 2020.
- ROSSI, Rubiana Falopa.; CAVARIANI, Cláudio.; de BARROS FRANÇA-NETO, José. Vigor de sementes, população de plantas e desempenho agrônômico de soja. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 60, n. 3, p. 215-222, 2017.
- RUEDEN, C. T, SCHINDELIN, J.; HINER, M. C.; DEZONIA, B. E.; WALTER, A. E.; ARENA, E. T.; ELICEIRI, K.W. ImageJ2: ImageJ para a próxima geração de dados de imagem científica. **BMC Bioinformatics** , 18 (1), 2017.
- SALATINO, A.; MONTENEGRO, G.; SALATINO, M. L. F. Microscopia eletrônica de varredura de superfícies foliares de espécies lenhosas do cearrado. **Revista Brasileira de Botânica**: 117-124, 1986.
- SALES GUEDES, R.; URSULINO ALVES, E.; DA SILVA SANTOS-MOURA, S.; ALVES GALINDO, E. Teste de comprimento de plântula na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de *Amburana cearensis* (Allemão) AC Smith. *Semina: Ciências Agrárias*, 36 (4), 2373-2381, 2015.
- SANTOS, A. D. DOS.; SOUZA, E. M. DE.; FÉBOLI, A.; NOGUEIRA, D. C. Testes de vigor em sementes de três cultivares de soja. *Rev. Conexão Eletrônica*, 14(1) 2017.
- SCHINDELIN, J.; RUEDEN, C. T.; HINER, M. C.; ELICEIRI, K. W. O ecossistema ImageJ: Uma plataforma aberta para análise de imagens biomédicas. **Mol. Reprod. Dev**; 82: 518-529, 2015.
- SCHNEIDER, C. A.; RASBAND, W. S.; ELICEIRI, K. W. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. **Nature Methods**. vol. 9 n°.7, 671-675 p. 2012.
- SEDIYAMA, C. A. Z.; REIS, M. S.; SEDIYAMA, C. S.; DIAS, M. A.; SEDIYAMA, T.; DIAS, D. C. F. S. Physiological quality of soybean seed cultivars by osmoconditioning. **Comunicata Scientiae** 3: 90-97, 2012.
- SIEGA, A. P. A. Y. P.; PADILHA, M. S.; COELHO, C. M. M.; EHRHARDT-BROCARDO, N. C. M. O tamanho de sementes de feijão afeta a utilização das reservas armazenadas durante a germinação. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 22, n. 3, p. 529-537, 2023.
- SILVA, J. A. D.; MEDEIROS, A. D. D.; PEREIRA, M. D.; RAMOS, A. K. F.; SILVA, L. J. D. Análise da qualidade de sementes de *Senna siamea* Lam. usando técnicas de análise de imagem. **Journal of Seed Science**, v. 42, p. e202042042, 2020.

SILVA, M. C. M.; RODRIGUES, J. M. A.; YAMASHITA, O. M. Impacto da pandemia de covid-19 no agronegócio brasileiro. **Colloquium Socialis**. ISSN: 2526-7035, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 63–70, 2021.

SMEAL, D.; ZHANG, H. Chlorophyll meter evaluation for nitrogen management in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 25, n. 9/10, p. 1495-1503, 1994.

SOUSA, S. M, DE.; GOMES, E. A.; DE SOUZA, F. A.; DE VASCONCELOS, M. J. V. Importância da morfologia radicular na eficiência da aquisição de fósforo. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**. 2010, 33 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6.ed. Porto Alegre: **Artmed**, 2017. 888 p.

TRUJILLO, H. A.; GUILHIEN, GOMES-JUNIOR, F.; CICERO, S. M. Digital images of seedling for evaluating coffee seed vigor. **Journal of Seed Science**, v. 41, n. 1, p. 60–68, jan. 2019.