



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA**  
**CURSO DE AGRONOMIA**

**ÍTALO MAGALHÃES DA COSTA EVANGELISTA**

**BIOMETRIA DE FEIJÃO CAUPI POR MEIO DE ANÁLISE DE IMAGEM DIGITAL**

**FORTALEZA**

**2023**

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

---

- E92b Evangelista, Ítalo Magalhães da Costa.  
Biometria de feijão caupi por meio de análise de imagem digital / Ítalo Magalhães da Costa  
Evangelista. – 2023.  
36 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências  
Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2023.  
Orientação: Prof. Dr. Alek Sandro Dutra.  
Coorientação: Profa. Ma. Lucimara Ribeiro Venial.
1. Vigna unguiculata L.. 2. ImageJ. 3. Qualidade fisiológica. I. Título.

CDD 630

---

ÍTALO MAGALHÃES DA COSTA EVANGELISTA

BIOMETRIA DE FEIJÃO CAUPI POR MEIO DE ANÁLISE DE IMAGEM DIGITAL

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Alek Sandro Dutra.  
Coorientadora: Msc. Lucimara Ribeiro Venial.

Aprovada em: 04/12/2023.

BANCA EXAMINADORA

---

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

---

Msc. Lucimara Ribeiro Venial (Coorientadora)  
Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

---

Msc. Paloma Rayane Pinheiro  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Msc. Jesimiel da Silva Viana  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A todos os que me ajudaram ao longo desta caminhada.

## AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Análise de Sementes por ter disponibilizado condições físicas, materiais e equipamentos para a realização de todos os experimentos.

Ao Prof. Dr. Alek Sandro Dutra pela orientação técnica e ensinamentos, durante o meu período de estágio e realização deste trabalho.

À Msc. Lucimara Ribeiro Venial pela incrível coorientação recebida, pelo apoio e disponibilidade em ajudar nos problemas que foram surgindo.

À Luci, funcionária responsável pelos serviços gerais no LAS, pela companhia e os cafés de todas as tardes.

À equipe de bolsistas do LAS, em especial Iza e Markson pelo grande apoio na realização dos experimentos e avaliações.

À minha amiga Erika Beatriz pelo grande apoio e incentivo para a realização do trabalho.

Ao meu grande amigo e irmão de outra mãe Alan do Nascimento, por todos esses anos de amizade, parceria e incentivo para encarar as adversidades da vida.

Aos meus grandes amigos feitos na graduação, pela parceria e motivação em continuar a encarar as dificuldades vividas durante a formação acadêmica, em especial à Erika Beatriz, Emanuel Magalhães, Leslyene Freitas, Lenildo Carlos, Gabriel Greca, Renan Gomes, Ivo Rodrigues e Matheus Medeiros.

Aos meus amigos fora da universidade, por todos os anos de companheirismo e diversão proporcionada, em especial à Jose Wellington, Felipe Santos, Wagner Guilherme, Alan do Nascimento, Yuri Moura, Lenildo Carlos, Jorge Ivan, Juan Christopher, Bruno Matheus, Miguel Martins, Thiago Lisley, Daniel Souza, Helton Carlos, Marcos Dantas, Adílio Juvêncio, Lucas Nascimento, Lucas Correia, Teodoro Raulino e Santiago Neto.

A Deus e a minha família, principalmente minha avó, dona Maria, meus tios e tias, aos meus pais, Mauro e Rafaelly, a minha irmã Ingrid e minha pequena sobrinha Thayla, pela união, alegria e ao incrível lar que me foi fornecido.

Aos membros da Banca Examinadora, Msc. Paloma Rayane e Msc. Jesimiel da Silva.

A todos que de alguma forma contribuíram para este trabalho e minha formação.

Obrigado.

“Eu posso não ter ido para onde eu pretendia ir, mas eu acho que acabei terminando onde eu pretendia estar” (Douglas Adams).

## RESUMO

A biometria de sementes é uma variável bastante utilizada na diferenciação da qualidade fisiológica de diferentes espécies, entretanto, a biometria pelos métodos convencionais exige tempo e recurso humano, além de ser suscetível a erro de medição. Essa caracterização pode ser feita por meio de imagens digitais, que consiste na obtenção de informações a respeito de objetos registrados em uma imagem digital, com base em algumas características como cor e textura. Com isso, objetivou-se com esse trabalho, a caracterização biométrica de lotes de sementes de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.), por meio do uso da análise de imagem digital. O experimento foi realizado utilizando cinco lotes de feijão-caupi de variedades distintas. Para a avaliação do vigor, foram conduzidos testes de germinação, primeira contagem de germinação, emergência de plântulas, comprimento das plântulas, peso de massa seca, peso de 1000 sementes e biometria das sementes com comprimento, largura e relação C/L. A aquisição das imagens foi feita utilizando um scanner de bancada (HP Scanjet 2004<sup>®</sup>) adaptada de maneira invertida. A coleta dos dados das imagens foi feita através de um plugin (SeedsAnalyser) pertencente ao software ImageJ e foram avaliados os parâmetros de características morfológicas. Com o plugin foi possível extrair os dados de todos os parâmetros avaliados e foram condizentes com os dados obtidos manualmente. Desse modo, com o uso da análise de imagem foi possível realizar a biometria dos lotes de sementes de feijão-caupi com boa precisão.

**Palavras-chave:** *Vigna unguiculata* L., ImageJ, Qualidade fisiológica.

## ABSTRACT

Seed biometrics is a widely used variable in distinguishing the physiological quality of different species, however, conventional biometrics methods require time and human resources and are susceptible to measurement errors. This characterization can be achieved through digital images, involving the extraction of information about objects captured in a digital image based on certain characteristics such as color, texture, etc. Therefore, the objective of this study was to characterize the biometrics of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) seed lots using digital image analysis. The experiment utilized five lots of cowpea varieties. Vigor assessment included germination tests, first Count of germination, seedling emergence, seedling length, dry mass weight, 1000-seed weight, and seed biometrics (length, width, and length-to-width ratio). Image acquisition was performed using an inverted flatbed scanner (HP Scanjet 2004®). Data collection from the images was conducted using a plugin (SeedsAnalyser) belonging to the ImageJ software, evaluating parameters of morphological characteristics. The plugin enabled the extraction of data for all evaluated parameters, which were consistent with manually obtained data. Thus, with the use of image analysis, it was possible to perform the biometrics of cowpea seed lots with good precision.

**Keywords:** *Vigna unguiculata* L., ImageJ, Physiological quality.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Lotes de feijão utilizados nos experimentos.....	21
Figura 2	– Biometria de semente por paquímetro digital.....	24
Figura 3	– Aquisição das imagens digitais.....	25
Figura 4	– Passo a passo para usar o software ImageJ.....	26
Figura 5	– Parâmetros disponíveis no plugin “SeedsAnalyser”.....	27
Figura 6	– Processamento da imagem no software.....	32
Figura 7	– Correlação de Pearson (r) estimados entre os parâmetros germinação (GM), primeira contagem (PC), massa seca parte área (MSPA), massa seca raiz (MSRA), comprimento (CP), largura (LG), relação comprimento/largura (C/L), peso de 1000 sementes (PMS) e parâmetros obtidos na análise de imagem.....	35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Parâmetros de características morfológicas avaliadas com o plugin “SeedsAnalyser”.....	28
Tabela 2	– Comparação de média dos cinco lotes de feijão-caupi de acordo com os parâmetros de Primeira Contagem (PC), Germinação(G), Comprimento de Parte Aérea (CPA), Comprimento de Raiz (CRA), Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA), Matéria Seca de Raiz (MSR) e Índice de Velocidade de Emergência(IVE).....	29
Tabela 3	– Médias do comprimento (mm), largura (mm), relação comprimento/largura, espessura (mm) e peso de 1000 sementes (g) de 5 lotes de feijão caupi.....	31
Tabela 4	– Médias em pixels dos parâmetros de características morfológicas avaliados com o plugin “SeedsAnalyser” nos 5 lotes de feijão-caupi.....	33

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
UFC	Universidade Federal do Ceará
RAS	Regras para Análise de Sementes

## LISTA DE SÍMBOLOS

t	toneladas
Kg	kilograma
°C	Grau Celsius
%	Porcentagem

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
2	<b>REFERÊNCIAL TEÓRICO</b> .....	17
2.1	<b>Importância do feijão-caupi</b> .....	17
2.2	<b>Semente</b> .....	17
2.3	<b>Qualidade da semente</b> .....	18
2.4	<b>Importância da biometria de sementes</b> .....	19
2.5	<b>Biometria por análise de imagem</b> .....	19
2.6	<b>Software ImageJ</b> .....	20
3	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	21
3.1	<b>Experimento I: Análise de qualidade dos lotes de sementes com testes tradicionais</b> .....	22
3.1.1	<i>Teste de germinação e primeira contagem</i> .....	22
3.1.2	<i>Comprimento de plântulas</i> .....	22
3.1.3	<i>Massa seca parte aérea e raiz</i> .....	22
3.1.4	<i>Teste de emergência e Índice de Velocidade de Emergência</i> .....	22
3.1.5	<i>Peso de mil sementes</i> .....	23
3.1.6	<i>Biometria de sementes manual</i> .....	24
3.2	<b>Experimento II: Biometria por análise de imagem digital</b> .....	24
3.2.1	<i>Aquisição de imagem</i> .....	24
3.2.2	<i>Plugin para extração de características dos dados das imagens</i> .....	25
3.3	<b>Análises estatísticas</b> .....	28
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	29
4.1	<b>Experimento I: Análise de qualidade dos lotes de sementes com testes tradicionais</b> .....	29
4.2	<b>Experimento II: Biometria por análise de imagem digital</b> .....	32
5	<b>CONCLUSÃO</b> .....	36
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	37

## 1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] é uma das leguminosas mais cultivadas no mundo (SILVA *et al.*, 2018). Tem grande importância alimentar para as regiões Norte e Nordeste do Brasil, devido ao seu valor nutricional, principalmente ao alto conteúdo proteico (DOS SANTOS *et al.*, 2021). Além disso, o feijão-caupi apresenta uma boa adaptação às condições edafoclimáticas dessas regiões, pois é tolerante a altas temperaturas e períodos de estiagem (CAMARA *et al.*, 2018).

Sementes vigorosas são fundamentais para a agricultura no estabelecimento da cultura no campo (XIA *et al.*, 2019), para isso, os testes de vigor e de germinação são instrumentos essenciais, principalmente, para avaliar a qualidade fisiológica das sementes (ARAÚJO *et al.*, 2022). A realização de biometria nas sementes também pode ser uma ferramenta importante para auxiliar na diferenciação da qualidade fisiológica de diferentes espécies vegetais e na diferenciação de espécies de mesmo gênero (LUCENA *et al.*, 2017).

Os métodos convencionais para avaliação do vigor das sementes, como o teste padrão de germinação, teste de condutividade elétrica e o teste de tetrazólio entre outros, têm sido propostos e aplicados e se mostrado com resultados satisfatórios, (XIA *et al.*, 2019). Entretanto, a medição de forma precisa da morfologia e da cor das sementes são muito difíceis de obter mesmo para um número pequeno de sementes (BAEK *et al.*, 2020). Isso ocorre, pois esses métodos podem ser demorados, destrutivos e necessitar de pessoas especializadas para avaliação, não sendo adequados para aplicação em larga escala (XIA *et al.*, 2019). A biometria feita de forma manual também é uma avaliação demorada e cansativa e pode se tornar suscetível a erros de medição (FELIX *et al.*, 2020).

Métodos de triagem não invasivos e de alto rendimento são necessários para que a indústria de sementes forneça sementes de alto vigor aos agricultores antes da semeadura (XIA *et al.*, 2019). Uma das alternativas que pode ser usada é o processamento digital de imagens, que tem a capacidade de fornecer uma variedade de informações de forma rápida e eficiente e com um número mais significativo de sementes como unidades amostrais (FELIX *et al.*, 2020).

Diante disso, objetivou-se com o presente trabalho, avaliar variáveis biométricas das sementes de feijão-caupi, por meio do uso da análise de imagem digital, e realizar o ranqueamento dos lotes e verificar se existe correlação positiva entre os dados biométricos manuais e digitais.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Importância do feijão-caupi

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) é uma planta de clima tropical, cultivada em regiões com climas mais quentes como África, Brasil e Estados Unidos (PESSOA *et al.*, 2017). É uma cultura de origem africana, introduzida no Brasil pelos portugueses, na segunda metade do século XVI (OLIVEIRA *et al.*, 2021). É considerada uma das principais leguminosas cultivadas no Brasil, com grande importância econômica e sociocultural (MENDONÇA *et al.*, 2018), pois constitui-se como um alimento básico na dieta, principalmente para as pessoas da região Norte e Nordeste do Brasil (OLIVEIRA *et al.*, 2021).

A estimativa de produtividade de feijão-caupi no Brasil no ano de 2022/23 é de 400 kg/ha na primeira safra, 541 kg/ha na segunda safra e 617 kg/ha na terceira safra (CONAB, 2023). Além disso, a região do Nordeste se destaca com a maior produção nacional, sendo o Piauí (67,5 mil t) e a Bahia (53,6 mil t) os estados de maior produção (CONAB, 2023). Isso é resultado da boa adaptação da cultura às condições edafoclimáticas, apresentando tolerância a altas temperaturas, a períodos de estiagem (veranicos) e ciclo curto (CAMARA *et al.*, 2018). Também é capaz de realizar simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium* para fixar nitrogênio atmosférico (ARAÚJO *et al.*, 2019).

O feijão-caupi pode ser comercializado de diferentes formas: feijão maduro, feijão-verde ou vagens verdes (SILVA *et al.*, 2018). É uma fonte importante de carboidratos (63%) e proteínas (25%), além de possuir baixo teor de gordura (1,5%), é rico em vitaminas e minerais (Ca, P, Fe) (XIONG *et al.*, 2015). Assim, o feijão-caupi têm grande potencial em contribuir para a segurança alimentar e continuar fazendo parte da dieta básica (NAIKER; GERRANO; MELLEM, 2019).

### 2.2 Semente

O desenvolvimento da semente é um processo essencial no ciclo de vida, que se inicia pelo processo de dupla fertilização, resultando no desenvolvimento do embrião e do endosperma, no caso das angiospermas (CHAUDHURY *et al.*, 2001). As sementes são elementos essenciais, principalmente para a agricultura, pois são o principal insumo na produção agrícola (ARAÚJO *et al.*, 2022), e a partir do desenvolvimento dos indivíduos que

será determinada a produtividade no final do ciclo (EBONE, CAVERZAN, CHAVARRIA; 2019).

As sementes podem ser classificadas em sementes recalcitrantes ou ortodoxas. As sementes recalcitrantes são aquelas que sofrem pouca ou nenhuma secagem por maturação e permanecem sensíveis à dessecação tanto durante o desenvolvimento quanto após serem eliminadas (PATRICIA BERJAK; PAMMENTER, 2002). Já as sementes ortodoxas são capazes de sobreviver à redução do teor de água de 5–15%, permitindo a sobrevivência a longo prazo, como ocorre com a maioria das plantas cultivadas (WATERWORTH; BRAY, WEST; 2015), como é o caso do feijão-caupi.

O desempenho da germinação das sementes poderá determinar o rendimento da cultura, isso ocorre, pois, a fase de plântula pode ser considerada um dos estágios mais vulneráveis do ciclo da planta, estando susceptíveis a estresses bióticos e abióticos (WATERWORTH; BRAY, WEST; 2015).

### **2.3 Qualidade da semente**

A qualidade de uma semente pode ser entendida como um conjunto de características, atributos, índices ou componentes que determinam seu estado para semeadura, bem como seu desempenho em condições de campo (BRASIL, 2009). A qualidade da semente pode interferir no estande de plantas e para garantir uma boa produtividade da cultura, os lotes devem apresentar uma alta qualidade fisiológica (ARAÚJO *et al.*, 2022). Sementes de alto vigor, que apresentam germinação rápida e uniforme, e que suportam estresses abióticos, são mais interessantes, pois estabelecem mudas mais resistentes no campo (WATERWORTH; BRAY, WEST; 2015).

Para avaliar o potencial ou a qualidade fisiológica, são utilizados testes de germinação e vigor (ARAÚJO *et al.*, 2022). Os principais critérios para definir a qualidade da semente são pureza, germinação, umidade e ausência de doenças e insetos (KAPADIA; SASIDHARAN; PATIL, 2017).



## 2.4 Importância da biometria de sementes

A biometria de sementes é uma variável bastante empregada na diferenciação da qualidade fisiológica de diferentes espécies vegetais, sendo que a biometria de frutos e sementes contribui significativamente na diferenciação de espécies de mesmo gênero (LUCENA *et al.*, 2017). Além disso, a biometria de sementes é bastante promissora como análise preliminar, tendo em vista a facilidade e rapidez do método (ARAÚJO *et al.*, 2012).

O tamanho da semente também é um atributo importante na qualidade da semente. No geral, sementes de maior tamanho possuem maior quantidade de reservas e embriões mais bem formados, possuindo potencial de serem mais vigorosas (PÁDUA *et al.*, 2010). As sementes que possuem maior quantidade de reserva, aumentam a probabilidade do sucesso e do estabelecimento da plântula (HAIG; WESTOBY, 1991).

Entretanto, a biometria de sementes pelos métodos convencionais, exigem tempo e recurso humano, além de ser mais suscetível a erros de medição (FELIX *et al.*, 2020). Por outro lado, a análise digital de imagens fornece uma variedade de informações de forma rápida e eficiente e com um número mais significativo de sementes como unidades amostrais (FELIX *et al.*, 2020), por essas razões, métodos automáticos são necessários para a classificação e separação das sementes (KOKLU *et al.*, 2020).

Os métodos de visão computacional também têm sido úteis para determinar relações entre parâmetros físicos (tamanho, forma, perímetro, área e grau de circularidade) e o potencial fisiológico da semente (SANTOS; GOMES-JUNIOR; MARCOS-FILHOS, 2019).

## 2.5 Biometria por análise de imagem

Os métodos tradicionais de avaliação do vigor das sementes, podem ser demorados, destrutivos e necessita que os avaliadores tenham experiência especializadas (XIA *et al.*, 2019), principalmente, devido a subjetividade de alguns métodos. No caso da biometria, a classificação e a separação manual de sementes pode ser um processo ainda mais difícil, demorado e ineficiente, especialmente quando se trabalha com grandes volumes de sementes (KOKLU *et al.*, 2020). Dessa forma, métodos automatizados, que não sejam invasivos e que tenham alto rendimento, são necessários para que a indústria de sementes, possa conhecer e otimizar o processo das sementes e selecionar aqueles de alto vigor para os agricultores antes da semeadura (XIA *et al.*, 2019).

O processo de análise de imagem clássico ocorre em um fluxo de trabalho contendo quatro etapas: pré-processamento; segmentação; extração de características e classificação (GONZALEZ *et al.*, 2018).

A análise biométrica de sementes por meio de imagem digital possui vantagens quando se comparada com a análise manual, como a agilidade do processo de análise, identificação automática de características específicas e a classificação automática de família ou gêneros (LIND *et al.*, 2012). Além disso, por meio de análises de imagem e o uso de um software, é possível obter resultados da área, circularidade, comprimento, largura, perímetro, cor do tegumento, dentre outros (ABUD *et al.*, 2022), de forma rápida e otimizada.

## **2.6 Software ImageJ**

O ImageJ é uma plataforma criada para processamento de imagem, que possui seu código aberto, no qual é possível editar, modificar e aprimorar o código base (RASBAND, 2018). O software funciona a partir de plugins, sendo possível fazer a segmentação e extração de partes de interesse de uma imagem (SCHNEIDER *et al.*, 2012).

O programa possui suporte para vários formatos de imagens e dele, é possível fazer a visualização, análise, modificação, processamento, armazenamento e impressão de imagens tanto coloridas quanto na escala de cinza (RASBAND, 2018). Também é possível realizar a transformação de imagens, utilização de lógicas e operações aritméticas entre as imagens, ajuste do nível de brilho e contraste, detecção de contorno, morfologia matemática etc. (GONZALEZ *et al.*, 2018). A segmentação das imagens pode ser feita por pixel ou por objeto, sendo possível também gerar histogramas, linhas de perfil e fazer medições entre ângulos e distâncias (SCHNEIDER *et al.*, 2012).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Análise de Sementes, do Centro de Ciências Agrárias, do Departamento de Fitotecnia, da Universidade Federal do Ceará (UFC). Para a realização do experimento, foram utilizados 5 lotes de sementes de feijão-caupi de variedades distintas (Figura 1). Na avaliação da qualidade dos lotes, foram conduzidos testes de germinação, primeira contagem, emergência, comprimento das plântulas, peso de massa seca e peso de 1000 sementes, seguindo os padrões das Regras para Análises de Sementes (RAS) (BRASIL, 2009). Os experimentos foram divididos em duas partes, Experimento I onde foi avaliada a qualidade das sementes por meio dos testes tradicionais, e o Experimento II onde foi realizada a biometria por análise de imagem.

Figura 1- Lotes de feijão utilizados nos experimentos.



Fonte: autor (2023).

### **3.1 Experimento I: Análise de qualidade dos lotes de sementes com testes tradicionais.**

#### ***3.1.1 Teste de germinação e primeira contagem***

No teste de germinação, para cada lote, foram utilizadas quatro repetições de cinquenta sementes. O substrato utilizado foi o papel de germinação (Germitest®). A semeadura foi feita no papel do tipo Germitest®, e umedecido com água destilada, na proporção de 2,5 vezes a massa do substrato. Após isso, as sementes foram acondicionadas em câmara de germinação tipo Biochemical Oxygen Demand (BOD) regulada à temperatura de 25 °C, com fotoperíodo de 12h, sendo feita a primeira contagem no 5º dia, considerando apenas as plântulas normais, finalizando no 8º dia. Os dados foram obtidos por meio da média das quatro repetições, transformando o resultado em porcentagem.

#### ***3.1.2 Comprimento de plântulas***

Foi realizado em conjunto com o teste de germinação, onde após oito dias da semeadura, ocorreu a medição do comprimento de dez plântulas por repetição com o auxílio de régua graduada em milímetros. O comprimento médio foi obtido somando-se as medidas de cada repetição e dividido pelo número de plântulas avaliadas.

#### ***3.1.3 Massa seca parte aérea e raiz***

As plântulas foram divididas entre parte aérea e raiz e foram colocadas em sacos de papel e levadas para a estufa com circulação de ar forçada à temperatura de 65°C até atingir peso constante. O material seco foi pesado em balança com precisão de 0,001g e o resultado dividido pelo número de plântulas normais.

#### ***3.1.4 Teste de emergência e Índice de Velocidade de Emergência***

No teste de emergência de plântulas, foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes por lote. A semeadura ocorreu de forma manual em canteiros de 10 x 1m, com 10 cm entre repetições, contendo substrato terra/areia na proporção 1:1. As sementes foram dispostas de maneira equidistante em sulcos com 3cm de profundidade no canteiro. Diariamente foram feitas observações e irrigações sempre que necessário, visando o fornecimento de água para a germinação das sementes e emergência das plântulas, onde a partir da emergência da primeira

plântula, iniciou-se a contagem. O teste foi avaliado aos dez dias após a semeadura, sendo computada a porcentagem de plântulas. Ao final da contagem os dados foram transformados em porcentagem conforme Nakagawa (1999).

Em conjunto com o teste de emergência foi avaliado o Índice de Velocidade de Emergência (IVE), que é capaz de estimar o número de dias médio necessários para ocorrer a emergência e o número de plantas emergidas por dia. O índice foi calculado seguindo a metodologia proposta por Maguire (1962), em que:  $IVE = (G1/N1) + (G2/N2) + \dots + (GN/N)$ , no qual, G = número de plântulas normais computadas nas contagens; N = número de dias da semeadura do primeiro ao último dia de contagem.

### 3.1.5 Peso de mil sementes

Para a realização do peso de mil sementes, foram utilizadas oito repetições de 100 sementes de cada lote, separadas manualmente. Após isso, foi feita a pesagem do material em balança de precisão com duas casas decimais sendo o resultado expresso em gramas. Para a obtenção dos resultados foram feitos cálculos de variância, desvio padrão e coeficiente de variação dos valores obtidos nas pesagens, seguindo as fórmulas:

$$\text{Variância} = \frac{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}{n(n - 1)}$$

Onde:

x: peso de cada repetição;

n: número de repetições;

$\sum$ : somatório.

$$\text{Desvio padrão (S)} = \sqrt{\text{variância}}$$

$$\text{Coeficiente de variação (CV)} = \frac{S}{\bar{X}} \times 100$$

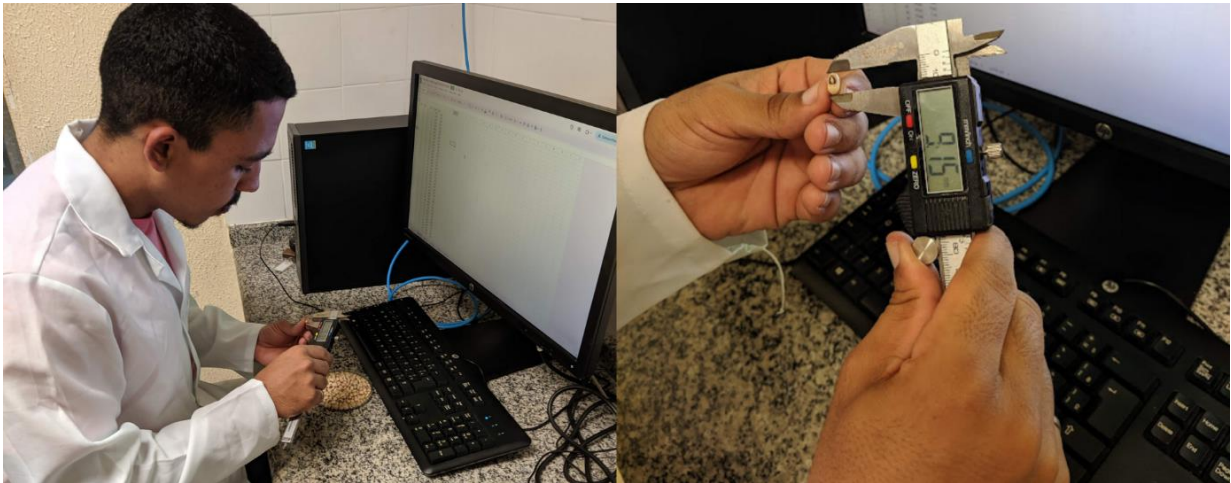
Onde:

X: peso médio de 100 sementes.

### **3.1.6 Biometria de sementes manual**

Para a análise biométrica das sementes, foram utilizadas quatro repetições e 100 sementes por unidade amostral por lote. Os dados foram obtidos por meio de um paquímetro digital com resolução de 0,01mm sendo avaliado comprimento, largura das sementes, em seguida obteve-se a relação comprimento e largura (C/L).

Figura 2 –Biometria de semente por paquímetro digital.



Fonte: autor (2023).

## **3.2 Experimento II: Biometria por análise de imagem digital**

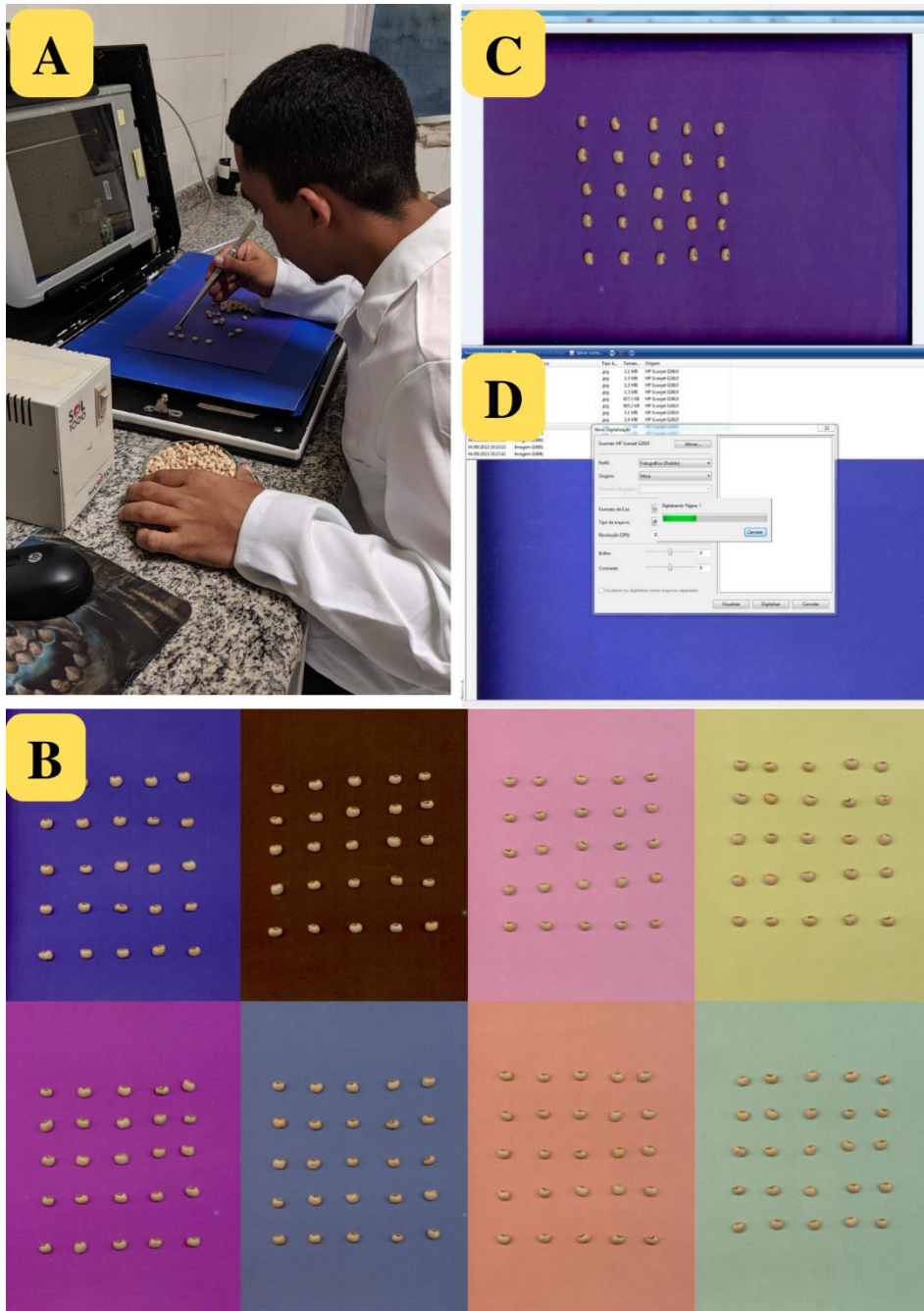
### **3.2.1 Aquisição de imagem**

Para a captura de imagem foram selecionadas aleatoriamente quatro repetições de 100 sementes para cada lote, totalizando 400 sementes por lote. A captura de imagem ocorreu com o auxílio de um scanner de bancada (HP Scanjet 2004®) adaptado de maneira invertida (Figura 3a). As sementes foram dispostas em folhas de sulfite de diferentes cores, sendo elas: azul escuro, preto, rosa claro, amarelo, rosa, verde escuro, laranja e verde (Figura 3b). As diferentes colorações foram utilizadas para encontrar a cor que melhor se adequa às sementes, possibilitando alto contraste entre o fundo da imagem e as sementes, facilitando posteriormente a segmentação da imagem e extração dos dados.

As sementes foram dispostas no papel de maneira equidistante, não ocorrendo sobreposição umas com as outras e o scanner foi utilizado com a tampa fechada, proporcionando assim uma iluminação adequada e uniforme, evitando quaisquer interferências do ambiente (Figura 3c). Após as capturas, as imagens foram salvas em formato JPEG em formato A4 com dimensões (210x297mm), as imagens foram digitalizadas com 300 dpi e foram

encaminhadas para o software ImageJ para a realização da coleta de dados (Figura 3d).

Figura 3–Aquisição das imagens digitais.



A - Scanner de bancada invertido; B - Captura da imagem com diferentes colorações de fundo; C – Disposição das sementes; D - Processamento das imagens em JPEG. Fonte: autor (2023).

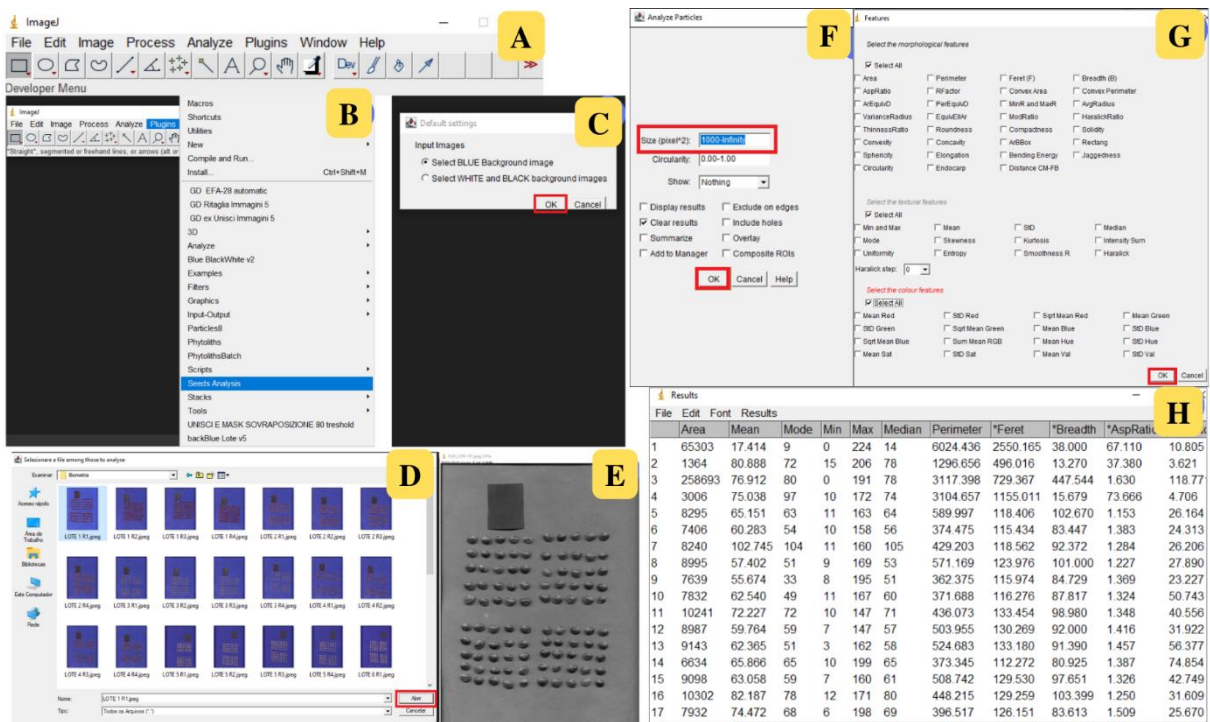
### 3.2.2 Plugin para extração de características dos dados das imagens

O plugin utilizado foi o “SeedsAnalyser”, que é um plugin capaz de analisar múltiplas sementes em uma única imagem de forma digital. O plugin se baseia em imagens

com o fundo de coloração padrão (azul escuro), e na remoção do mesmo para fazer o destaque das sementes em relação ao fundo da imagem.

Após fazer o recorte do fundo, a imagem é pré-processada para fazer a seleção das partes desejadas, sendo possível também fazer a seleção das sementes de modo individual. Ocorrido a segmentação da imagem, em seguida é necessário fazer a seleção de certos parâmetros, como o de tamanho mínimo e máximo da área, que é medido em pixels, a seleção dessas opções chaves são necessários, pois isso fará com que facilite a análise das regiões de interesse. Por fim, ao final dessas etapas, o usuário poderá então fazer a escolha de todos os parâmetros de seu interesse (Figura 4).

Figura 4 - Passo a passo para usar o software ImageJ.



A – Interface do software; B – Selecionando plugin “SeedsAnalyser”; C – Escolhendo fundo de coloração azul; D – Selecionando o arquivo; E – Aplicação da máscara cinza; F – Definindo “1000 infinity” e prosseguindo; G – Escolhendo os parâmetros a serem analisados; H – Arquivo dos resultados para ser exportado para planilha. Fonte: autor (2023).

Foram avaliados 12 parâmetros dos 64 disponíveis (Figura 5) no plugin “SeedsAnalyser”, variando entre características morfológicas (Tabela 1), intensidade de cores (Tabela 2) e textura (Tabela 3). Para às características de textura, foi utilizado uma característica capaz de analisar o arranjo de pixels com o mesmo tom de cinza (GLCM), que é capaz de extrair informações de locais similares, sendo possível realizar cálculos com quatro diferentes graus,



sendo eles: 0°, 45°, 90° e 135°.

Figura 5 - Parâmetros disponíveis no plugin “SeedsAnalyser”.

The screenshot displays the 'Features' dialog box of the SeedsAnalyser plugin. It is organized into three sections: morphological, textural, and colour features. Each section has a 'Select All' checkbox checked. The morphological section lists 20 features, the textural section lists 8 features, and the colour section lists 12 features. A 'Haralick step' dropdown is set to 0. The 'OK' button is highlighted with a red box.

**Features**

Select the morphological features

Select All

<input type="checkbox"/> Area	<input type="checkbox"/> Perimeter	<input type="checkbox"/> Feret (F)	<input type="checkbox"/> Breadth (B)
<input type="checkbox"/> AspRatio	<input type="checkbox"/> RFactor	<input type="checkbox"/> Convex Area	<input type="checkbox"/> Convex Perimeter
<input type="checkbox"/> ArEquivD	<input type="checkbox"/> PerEquivD	<input type="checkbox"/> MinR and MaxR	<input type="checkbox"/> AvgRadius
<input type="checkbox"/> VarianceRadius	<input type="checkbox"/> EquivEllAr	<input type="checkbox"/> ModRatio	<input type="checkbox"/> HaralickRatio
<input type="checkbox"/> ThinnessRatio	<input type="checkbox"/> Roundness	<input type="checkbox"/> Compactness	<input type="checkbox"/> Solidity
<input type="checkbox"/> Convexity	<input type="checkbox"/> Concavity	<input type="checkbox"/> ArBBox	<input type="checkbox"/> Rectang
<input type="checkbox"/> Sphericity	<input type="checkbox"/> Elongation	<input type="checkbox"/> Bending Energy	<input type="checkbox"/> Jaggedness
<input type="checkbox"/> Circularity	<input type="checkbox"/> Endocarp	<input type="checkbox"/> Distance CM-FB	

Select the textural features

Select All

<input type="checkbox"/> Min and Max	<input type="checkbox"/> Mean	<input type="checkbox"/> StD	<input type="checkbox"/> Median
<input type="checkbox"/> Mode	<input type="checkbox"/> Skewness	<input type="checkbox"/> Kurtosis	<input type="checkbox"/> Intensity Sum
<input type="checkbox"/> Uniformity	<input type="checkbox"/> Entropy	<input type="checkbox"/> Smoothness R	<input type="checkbox"/> Haralick

Haralick step:

Select the colour features

Select All

<input type="checkbox"/> Mean Red	<input type="checkbox"/> StD Red	<input type="checkbox"/> Sqrt Mean Red	<input type="checkbox"/> Mean Green
<input type="checkbox"/> StD Green	<input type="checkbox"/> Sqrt Mean Green	<input type="checkbox"/> Mean Blue	<input type="checkbox"/> StD Blue
<input type="checkbox"/> Sqrt Mean Blue	<input type="checkbox"/> Sum Mean RGB	<input type="checkbox"/> Mean Hue	<input type="checkbox"/> StD Hue
<input type="checkbox"/> Mean Sat	<input type="checkbox"/> StD Sat	<input type="checkbox"/> Mean Val	<input type="checkbox"/> StD Val

Fonte: autor (2023).

Tabela 1 – Parâmetros de características morfológicas avaliados com o plugin “SeedsAnalyser”.

Parâmetro	Descrição
Área	Área de semente (em pixels)
Perimeter	Comprimento do contorno da semente
Feret	Maior diâmetro rastreável com dois pontos do contorno da semente 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 $\text{ConvexArea}/(\text{Feret} \times \pi)$
Roundness	Medida de arredondamento, definida como $4 \times \text{Área}/(\pi \times \text{Feret}^2)$
Solidity	Medida de solidez, definida como $\text{Área}/\text{ConvexArea}$
Convexity	Medida de convexidade, também chamada de rugosidade, definida como $\text{ConvexPerimeter}/\text{Perimeter}$
Sphericity	Também chamada de razão de raio, expressa por $\text{MinR}/\text{MaxR}$
Circularity	Também chamado de fator de forma, obtido por $2 \times \pi \times \text{Área}/\text{Perímetro}^2$
Endocarp	Número de pixels que formam o endocarpo da semente

Fonte: autor (2023).

### 3.3 Análises estatísticas

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 Tukey a 5% de probabilidade. Os resultados também foram submetidos ao teste de correlação de Pearson entre as variáveis estudadas pelo método tradicional e pela análise de imagem. As análises estatísticas foram realizadas por meio do software R 4.3.1 (R CORE TEAM, 2020).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Experimento I: Análise de qualidade dos lotes de sementes com testes tradicionais.

Houve diferença estatística nos lotes de sementes de feijão-caupi entre as variáveis de vigor avaliados (Tabela 2). A variável MSR não foi significativa pelo teste F a 1% de probabilidade. Os testes de vigor têm sido utilizados com objetivo de identificar diferenças entre lotes de sementes, destacando aqueles que possuem maior potencial fisiológico, com maiores chances de sucesso em campo (MARCOS-FILHO *et al.*, 2015). Segundo Zucareli *et al.* (2011) os testes de vigor são utilizados também para fazer a classificação em lotes de alto e baixo vigor.

Tabela 2 – Comparação de média dos cinco lotes de feijão-caupi de acordo com os parâmetros de Germinação(G), Primeira Contagem (PC), Comprimento de Parte Aérea (CPA), Comprimento de Raiz (CRA), Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA), Matéria Seca de Raiz (MSR) e Índice de Velocidade de Emergência (IVE).

Lote	G (%)	PC (%)	CPA (cm)	CRA (cm)	MSPA (mg)	MSR (mg)	IVE
1	74,0 b	74,0 b	8,24 b	5,59 b	0,69 c	0,075 a	6,72 d
2	89,5 ab	89,5 ab	17,41 a	13,21 a	0,39 d	0,085 a	42,89 a
3	99,0 a	99,0 a	11,05 b	12,89 a	0,96 b	0,117 a	29,10 c
4	92,5 ab	89,0 a	12,59 b	11,27 a	1,26 a	0,090 a	32,77 bc
5	96,5 ab	90,0 a	12,09 b	11,97 a	0,96 b	0,115 a	37,83 ab
CV (%)	8,77	8,62	16,4	14,55	13,93	28,03	10,11

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

De acordo com os testes tradicionais, nos parâmetros G e PC, os lotes apresentaram médias próximas, exceto o lote 1, que obteve as menores médias em ambos os parâmetros, com 74 e 75%, sendo que o lote 3 apresentou as maiores médias nos parâmetros PC e G, com 99% em ambas as médias. O teste de germinação possibilita inferir sobre a qualidade fisiológica da semente, já que nele são oferecidas condições ótimas de ambiente, possibilitando o alto

potencial de germinação e desempenho dos lotes semeados (BRASIL, 2009). Do mesmo modo ocorre para a primeira contagem (PC), que é realizada sob condições favoráveis, porém, é considerado para avaliação do vigor, pois, com a primeira contagem das plântulas normais é possível determinar o vigor relativo entre lotes de sementes (SILVEIRA *et al*, 2002).

Para o CPA, observou-se que o lote 2 se destacou com 17,41cm, já os demais lotes obtiveram valores inferiores, não distinguindo entre si. Esse resultado pode ser explicado observando os resultados de IVE, indicando que as plântulas do lote 2 emergiram de maneira mais rápida, possuindo então mais tempo para seu crescimento quando se comparado com os outros lotes. Em contrapartida, tem-se que para MSPA, quase todos os lotes diferem entre si, com o lote 4 obtendo o maior valor de 1,26 mg, seguido dos lotes 3 e 5 com ambos possuindo o valor 0,96 mg.

Para o teste de MSR, percebe-se que não houve diferença estatística entre os lotes trabalhados, ou seja, todos apresentaram a mesma matéria seca de raiz ao final do experimento. Algo semelhante acontece para CRA, onde houve pouca variação nas médias entre os lotes, exceto o lote 1 que obteve o menor valor de 5,59cm.

Para o IVE, o lote 1 apresentou o menor índice com 6,72, corroborando com os dados obtidos na germinação (G) e o lote 2 apresentou o maior índice com 42,89, seguido do lote 5, com 37,83. Esses resultados corroboram com estudos realizados por Marcello *et al*. (2012), que apontam que cultivares com porcentagem de germinação e emergência semelhantes, frequentemente possuem diferenças na velocidade de germinação e emergência.

O IVE de uma semente é importante, pois segundo Emygdio, *et al*. (2000) o rápido estabelecimento das plantas no solo após a semeadura, é um fator fundamental ao sucesso de cultivos anuais. Assim, pode-se afirmar que o lote 2 é o que apresenta o maior (42,89) e o lote 1 apresenta o menor (6,72) vigor seguindo os resultados dos testes tradicionais. Caliari (1999) em seu trabalho, aponta que os testes de velocidade de emergência apresentam capacidade de identificar lotes com menor vigor na população.

Na tabela 3 estão expostos os dados biométricos obtidos de forma manual, onde os lotes de sementes de feijão-caupi apresentaram diferença estatística nas variáveis analisadas. Segundo Silva (2019), a partir da análise biométrica é possível elucidar sobre características, vantagens e desvantagens de uma variedade sobre a outra, se tornando uma ferramenta estratégica do ponto de vista de escolha da semente a ser cultivada.

Para as medidas biométricas manuais, o lote 1 apresentou as maiores médias se destacando em todos os parâmetros, C (10,56), L (7,31), C/L (1,43) e P1000 (236,25). Esses dados vão de encontro aos testes tradicionais de germinação, pois apesar de ser o lote com as

maiores médias biométricas, ele apresentou os menores resultados nas medidas: PC, G, CPA, CRA e IVE.

Tabela 3 - Médias do comprimento (mm), largura (mm), relação comprimento/largura, espessura (mm) e peso de 1000 sementes (g) de 5 lotes de feijão caupi.

Lote	Comprimento (mm)	Largura (mm)	C/L (mm)	Peso 1000 sem. (g)
1	10,56 a	7,31 a	1,43 a	236,25 a
2	7,05 e	5,48 e	1,23 b	114,50 d
3	8,26 d	6,94 b	1,18 b	197,80 c
4	9,79 b	6,79 c	1,41 a	249,27 a
5	8,75 c	6,55 d	1,36 a	218,60 b
CV (%)	8,09	6,35	3,84	3,59

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

No peso de 1000 sementes, percebe-se diferença entre os lotes, com os lotes 4 e 1 apresentando as maiores medidas, 249,27 e 236,25g respectivamente. Apesar do lote 2 apresentar o menor peso (114,50g), ele obteve os resultados mais consistentes no teste de germinação, possuindo as plântulas mais saudáveis entre os lotes.

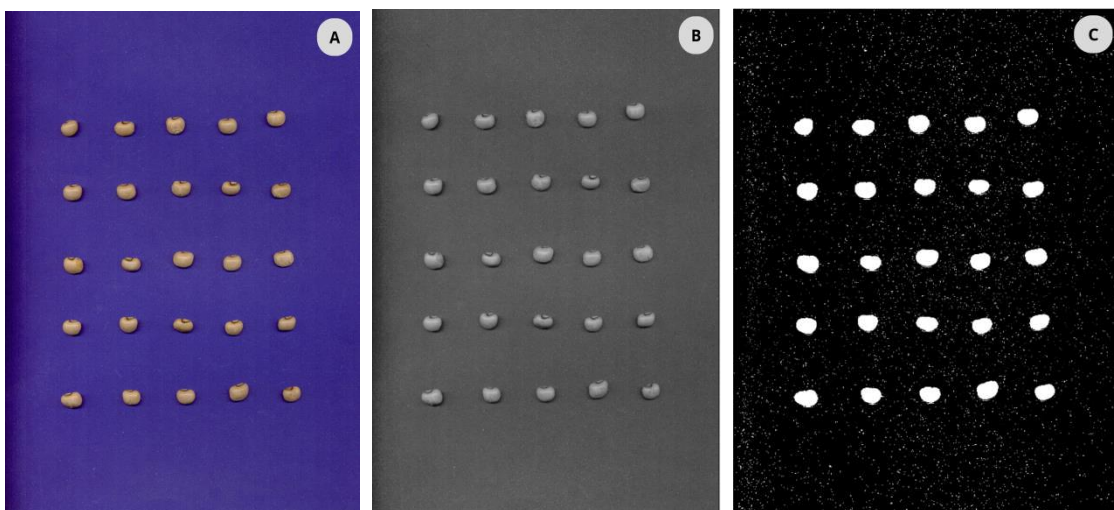
Esse resultado pode ser explicado devido a possibilidade de o processo de deterioração ter ocorrido de forma reduzida nos lotes com sementes menores quando se comparado aos lotes com sementes maiores, uma vez que o processo de deterioração das sementes armazenadas é inevitável (BRAGANTINI, 2005). Vários fatores podem ser levados em consideração para esse resultado, como a diferença de idade entre lotes, a diferença na forma de armazenamento, ocorrendo em condições inadequada de temperatura e umidade (SANTOS *et al.*, 2005), além disso, a qualidade fisiológica das sementes de feijão varia de acordo com o genótipo (SILVA *et al.*, 2008).

Resultados semelhantes foram observados por Idris (2015), em seu trabalho utilizando fava, que sementes de tamanho médio, conseguiram sobressair em relação as sementes de maior tamanho, possuindo uma maior taxa de germinação e vigor.

## 4.2 Experimento II: Biometria por análise de imagem digital

O fundo azul apresentou o melhor contraste da semente em relação ao fundo, dentre as cores pré-selecionadas. A escolha do fundo é uma etapa fundamental, pois como Nunes e Conci (2007), discutiram, um dos métodos mais comuns para realizar a segmentação de um objeto da imagem, é o que se baseia em seus contornos, de modo que o objeto a ser segmentado, é determinado por seus contornos, sendo identificado através da região interna desses contornos. Assim, tudo o que está dentro das bordas é considerado para o objeto, sendo então destacado do fundo da imagem.

Figura 6 - Processamento da imagem no software.



A - Cor escolhida para fundo das imagens; B - Aplicação da máscara de cinza na imagem; C - Processo de segmentação do fundo da imagem. Fonte: autor (2023).

Segundo Persechino e Albuquerque (2015) a subjetividade na definição do objeto e o fundo, configura uma dificuldade no processo de segmentação e que esta etapa da análise de imagem é considerada a mais crítica, pois seu resultado passará por outras etapas do processamento de imagens.

Com a utilização do plugin foi possível segmentar as sementes do fundo, possibilitando assim, a extração e análise dos dados mensurada em “pixels” (Tabela 4). Foi possível observar que existe diferença na biometria dos lotes avaliados por meio do software ImageJ.

Tabela 4 – Médias dos parâmetros de características morfológicas avaliados com o plugin “SeedsAnalyser” nos 5 lotes de feijão-caupi.

Lote	Area	Perimeter	Feret	Breadth	AspRatio	RFactor	Roundness	Solidity	Convexity	Sphericity	Circularity	Endocarp
	-----Pixels-----											
1	9087,65 a	442080 a	128747 a	93131 a	1385,54 b	33082 b	696,33 b	734,76 a	812,67 c	724,70 c	596,44 c	86455 a
2	4725,85 e	289683 e	90700 e	68431 d	1327,75 c	33651 b	730,92 a	601,23 b	884,31 b	755,53 b	715,49 b	44361 e
3	6241,27 d	329889 d	104537 d	81641 b	1284,36 d	36566 a	728,32 a	615,96 b	889,22 b	782,70 a	723,08 b	59113 d
4	7946,85 b	366921 b	122604 b	81527 b	1506,72 a	31361 b	673,30 c	707,34 a	909,25 a	666,56 d	742,49 a	75799 b
5	6492,03 c	337649 c	106443 c	77929 c	1385,54 b	36588 a	727,51 a	623,96 b	883,85 b	733,2 c	715,57 b	61543 c
CV (%)	12,93	9,41	7,02	7,2	6,52	43,99	6,48	31,8	5,32	6,39	10,95	13,3

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

Certas características como área, perímetro, redondeza, solidez são de difícil obtenção por meio da técnica tradicional com a utilização de paquímetro (BAEK *et al.*, 2020). Porém, essas características podem ser facilmente obtidas por meio da análise digital de imagens com o software ImageJ, que se mostra de grande valia para estudos de diversidade genética (SANTOS *et al.*, 2021).

Nos parâmetros area, perimeter e feret, percebe-se diferença estatística entre todos os lotes. Esses parâmetros são importantes pois remetem diretamente as medidas físicas da semente, respectivamente sendo, a área da semente, comprimento do contorno da semente e comprimento da semente. O lote 1 se obteve as maiores medidas nos três parâmetros (9087,65; 442080; 128747), destacando-se também no parâmetro breadth (93131), que se refere a largura da semente.

O lote 2 obteve as menores medias tanto nos três parâmetros (4725,85; 289683; 90700), como também no Breadth (68431). Esses dados vão de acordo com os resultados obtidos na biometria manual, corroborando com a ideia de que é possível fazer a biometria de sementes de feijão-caupi por meio da análise de imagem com boa precisão Ponce *et al.* (2019) mostraram em seus estudos que o tamanho da semente pode afetar no vigor e na sua germinação. Além disso, é possível usar esses dados para realizar atividades de caracterização em bancos de germoplasma e programas de melhoramento, uma vez que possibilitam diferenciar genótipos com base em seus tamanhos (CASTRO *et al.*, 2022)

Para o aspratio, que diz sobre a relação C/L, percebe-se que os resultados diferem dos manuais, com o lote 3 e 4 sendo os únicos condizentes com os dados previamente obtidos (36566; 728,32). Esse resultado pode ser explicado devido ao jeito que o programa faz as medições, por meio de pixels (LODDO *et al.*, 2022), devido a isso, existe uma maior faixa de medição na semente, fazendo com que seja possível a diferenciação estatística, mesmo que a diferença entre os valores na biometria manual sejam pequenos. segundo Abud *et al.* (2022), os parâmetros morfológicos das sementes e plântulas permitem classificar lotes com base no desempenho fisiológico selecionando lotes com maior vigor.

Nos parâmetros rfactor e roundness, o lote 3 se destacou, possuindo as maiores medidas (36566; 728,32), seguido do lote 2 (33651; 730,92). Esses dados vão de acordo com os resultados obtidos na relação (C/L), na biometria manual. O roundness diz sobre o formato da semente, quanto menor o valor, mais circular ela será, além disso, esse parâmetro pode ser utilizado com outras finalidades, como descrito por Ribeiro (2022), que utilizou os valores de roundness medidos para avaliar a protusão de raiz primária de sementes de soja.

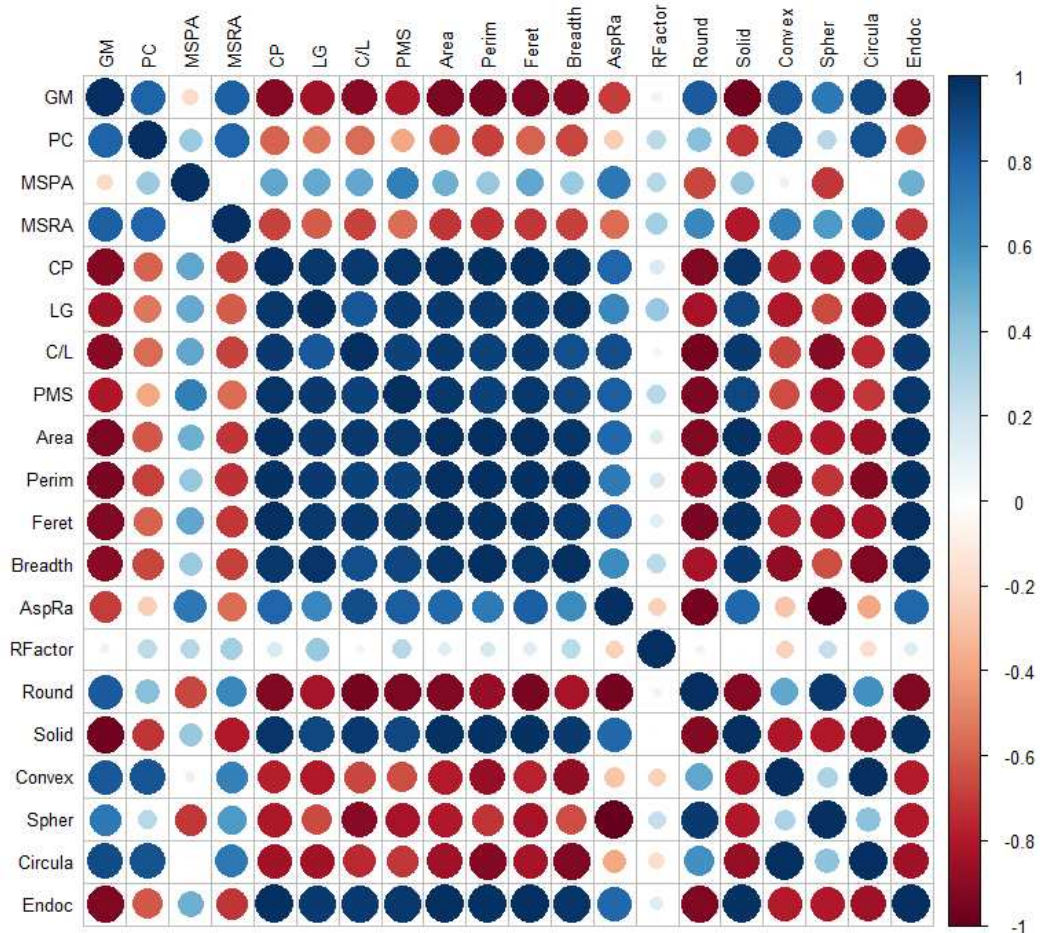


Já para solidity e convexity os resultados foram similares em ambos os parâmetros, exceto pelo lote 1, que apresentou valores diferentes nas médias (734,76; 812,67).

O lote 4 apresentou o menor e o maior resultado, para sphericity e circularity, respectivamente (666,56; 742,49), que dizem sobre a razão de raio e sobre o fator de fora da semente.

Para o parâmetro endocarp, os resultados obtidos foram semelhantes aos dados de comprimento e largura, indicando que as sementes de maior biometria possuem os maiores endocarpos. Com o lote 1 possuindo o maior (86455) e o lote 2 possuindo o menor valor (44361). Os parâmetros físicos são de grande importância, pois, as informações morfométricas das sementes é essencial para adotar um padrão de qualidade morfológica, que pode auxiliar em várias etapas do processo de produção, incluindo a semeadura, a regulação de máquinas e até mesmo a comercialização de sementes classificadas por tamanho (ABUD *et al.*, 2022).

Figura 7 – Coeficientes de correlação de Pearson (r) estimados entre os parâmetros germinação (GM), primeira contagem (PC), massa seca parte aérea (MSPA), massa seca raiz (MSRA), comprimento (CP), largura (LG), relação comprimento/largura (C/L), peso de 1000 sementes (PMS) e parâmetros obtidos na análise de imagem.



A correlação de Pearson ( $r$ ) pode ser definida como sendo uma medida da variância compartilhada entre duas variáveis (FIGUEIREDO FILHO et al., 2009). Na Figura 7 tem se a correlação com a amplitude entre os valores (1) e (-1). Assim, valores próximos a 1 indicam forte correlação positiva, valores próximos a zero, indicam baixa ou nula relação e valores próximos a -1 indicam correlação negativa (SOUSA, 2019).

Pela análise de correlação de Pearson (Figura 7), realizada entre os dados obtidos nos testes de vigor, biometria manual e análise de imagem pelo software ImageJ, foi possível observar que para os parâmetros de vigor GM, PC, MSRA, houve correlação negativa para os parâmetros biométricos, ou seja, quanto maior a germinação e matéria seca da raiz, menor será as medidas biométricas das sementes. O parâmetro MSPA apresentou correlação positiva, porém, valores baixos, indicando que sementes maiores resultaram em maior volume de parte aérea.

Quanto as correlações entre as médias biométricas manual e digital, percebe-se correlação altamente positiva, resultando em valores altos, acima de  $r=0,95$ , informando que as medidas manuais afetaram diretamente as medidas digitais, indicando que é possível fazer a avaliação biométrica de sementes por meio da análise de imagem digital.

## 5 CONCLUSÃO

O uso da análise de imagem com a utilização do software ImageJ foi eficiente para realizar as avaliações morfométricas de sementes de feijão-caupi. Além disso, foi possível também realizar o ranqueamento dos lotes através das avaliações biométricas e de vigor, com o lote 2 sendo o que apresentou o melhor vigor dentre os lotes estudados. Não foi possível realizar a correlação de maneira positiva entre dados biométricos e de vigor para as sementes de feijão-caupi estudadas.

## REFERÊNCIAS

- SILVA, M. B. O. et al. Agronomic performance of cowpea genotypes. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 4, p. 1059–1066, 2018.
- DOS SANTOS, Manoel Mota et al. Comportamento de duas cultivares de feijão-caupi quanto ao uso de correção da acidez do solo Behavior of two cowpea cultivars regarding the use of soil acidity correction. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 8, p. 80586-80595, 2021.
- CAMARA, F. T. et al. Produtividade de feijão caupi crioulo em função do espaçamento entre linhas e número de plantas por cova. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 5, n. 2, p. 19-24, 2018.
- XIA et al. Recent advances in emerging techniques for non-destructive detection of seed viability: A review. **Artificial Intelligence in Agriculture**. 2019
- ARAÚJO, A. B. N. et al. Testes de Vigor de Estresse e Bioquímicos em Sementes de Feijão Caupi–Uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 12, p. 1-15, 2022.
- DE LUCENA<sup>1</sup>, Edjane Oliveira et al. Biometria e qualidade fisiológica de sementes de juazeiro (*Ziziphus Joazeiro marth.*) de diferentes matrizes do semiárido paraibano. **Agropecuária científica no semiárido**, v. 13, n. 4, p. 275-280, 2017.
- BAEK, J. et al. High throughput phenotyping for various traits on soybean seeds using image analysis. **Sensors**, v. 20, n. 1, p. 248, 2020.
- FELIX, Francival Cardoso et al. Biometry of *Pityrocarpa moniliformis* seeds using digital imaging: implications for studies of genetic divergence. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 1, p. 1-8, 2020.
- PESSÔA, U. C. Moura et al. Desempenho fisiológicos e crescimento do feijão-caupi, sob manejos de plantas daninhas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 12, n. 2, p. 246-250, 2017.
- OLIVEIRA, A. M. C. et al. Produção de alimentos na base do feijão-caupi (*Vigna unguiculata*): importância nutricional e benefícios para a saúde. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 14, p. e56101416054-e56101416054, 2021.
- MENDONÇA, M. S. de et al. Importância e correlações de caracteres para diversidade do feijão-caupi em variedades tradicionais. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, p. 267-274, 2018.
- CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 10 – safra 2022/23, n.11 – Décimo primeiro levantamento. Brasília, p. 1-102, 2023.

ARAÚJO, B. A. et al. Veranicos na produtividade de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) no município de Crateús, Ceará. **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**, v. 14, n. 2, p. 312-316, 2019.

DA SILVA, A. C. et al. Cowpea: A strategic legume species for food security and health. In: Legume seed nutraceutical research. **IntechOpen**, 2018.

XIONG, Het al. Genetic Diversity and Population Structure of Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). **PLoS ONE** 11(8): 1-15, 2016.

NAIKER, T. S.; GERRANO, A.; MELLEM, J. Physicochemical properties of flour produced from different cowpea (*Vigna unguiculata*) cultivars of Southern African origin. **Journal of food science and technology**, v. 56, p. 1541-1550, 2019.

CHAUDHURY, Abdul M. et al. Control of early seed development. **Annual review of cell and developmental biology**, v. 17, n. 1, p. 677-699, 2001.

EBONE, Luciano Antônio; CAVERZAN, Andréia; CHAVARRIA, Geraldo. Physiologic alterations in orthodox seeds due to deterioration processes. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 145, p. 34-42, 2019.

BERJAK, PATRICIA; PAMMENTER, N. W. Orthodox and recalcitrant seeds. **Tropical tree seed manual**, p. 137-147, 2002.

WATERWORTH, Wanda M.; BRAY, Clifford M.; WEST, Christopher E. The importance of safeguarding genome integrity in germination and seed longevity. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, n. 12, p. 3549-3558, 2015.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Regras para análise de sementes. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399p.

VN, Kapadia; SASIDHARAN, N.; PATIL, Kalyanrao. Seed Image Analysis and Its Application in Seed Science Research. **Seed**, v. 7, n. 2, 2017.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4. ed. Jaboticabal: Ed. FUNEP, 2000. 588 p.

HAIG, D.; WESTOBY, M. Seed size, pollination casts and angiosperm success. **Evolutionary Ecology**, v.5, p.231-247, 1991.

KOKLU, Murat; OZKAN, Ilker Ali. Multiclass classification of dry beans using computer vision and machine learning techniques. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 174, p. 105507, 2020.

SANTOS, R. F.; GOMES-JUNIOR, F. G.; MARCOS-FILHO, J. Morphological and physiological changes during maturation of okra seeds evaluated through image analysis. **Scientia Agricola**, v. 77, p. e20180297, 2019.

GONZALEZ, Rafael C.; WOODS, Richard E. **Digital image processing 4th edition, global**

edition. 2018.

Lind, R.: Open source software for image processing and analysis: picture this with imagej. In: Harland, L., Forster, M. (eds.) *Open Source Software in Life Science Research*. **Woodhead Publishing Series in Biomedicine**, pp. 131–149. Woodhead Publishing, Sawston (2012).

ABUD, H. F. et al. Image analysis of the seeds and seedlings of *Vigna radiata* L. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 53, p. 1-9, 2022.

Rasband, W.S., ImageJ, U. S. **National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA**, <https://imagej.nih.gov/ij/>, 1997-2018.

SCHNEIDER, Caroline A.; RASBAND, Wayne S.; ELICEIRI, Kevin W. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. **Nature methods**, v. 9, n. 7, p. 671-675, 2012.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina: **ABRATES**, 1999. p.2.1-2.24.

R CORE TEAM (2023). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>.

MARCOS FILHO, Julio. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. **Scientia agricola**, v. 72, p. 363-374, 2015.

ZUCARELI, C.; CAVARIANI, CL.; SBRUSSI, C. AUGUST. GASPARETTI.; NAKAGAWA, J. Teste de deterioração controlada na avaliação do vigor de sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**., v. 33, n. 4, p. 732–742, 2011.

SILVEIRA, M.A.M. et al. Comparação de métodos para avaliação da qualidade fisiológica em sementes de calêndula. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.24, n.2, p.24-30, 2002.

EDMOND, J. B.; DRAPALA, W. J. The effects of temperature, sand and soil, and acetone on germination of okra seed. In: **Proceedings of the American Society for horticultural Science**. 1958. p. 428-434.

MARCARELLO, Ademir; YAMASHITA, Oscar Mitsuo; DE CARVALHO, Marco Antonio Camillo. Qualidade fisiológica de sementes de feijoeiro em função da aplicação foliar de cobalto e molibdênio. **Global Science and Technology**, v. 5, n. 2, 2012.

EMYGDIO, Beatriz M. et al. Variabilidade genética para velocidade de germinação em sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 6, n. 1, p. 77-82, 2000.

SILVA, Neurivan Vicente da et al. Biometria de sementes de variedades crioulas de feijão-caupi cultivadas por agricultores familiares na região de Apodi/RN. 2019.

VASCONCELOS, M. C. et al. Radiography and biometric analysis of broadleaf vegetable seeds. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 61, 2018.

BORGES, S. R. S. et al. Tomato seed image analysis during the maturation. **Journal of Seed Science**, v. 41, p. 022-031, 2019.

BRAGANTINI, Cláudio. Alguns aspectos do armazenamento de sementes e grãos de feijão. 2005.

SANTOS, Candice Mello Romero; MENEZES, Nilson Lemos de; VILLELA, Francisco Amaral. Modificações fisiológicas e bioquímicas em sementes de feijão no armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 27, p. 104-114, 2005.

DA SILVA, Abraão Cícero et al. Diagnóstico da produção de feijão-caupi no nordeste brasileiro. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 16, n. 2, 2018.

ALI, S. A.; IDRIS, Abdellatif Y. Effect of seed size and sowing depth on germination and some growth parameters of faba bean (*Vicia faba* L.). **Agricultural and Biological Sciences Journal**, v. 1, n. 1, p. 1-5, 2015.

NUNES, E. O.; CONCI, A.. Segmentação por Textura e Localização do Contorno de Regiões em Imagens Multibandas. **Ieee Latin America Transactions**, [S. I.], v. 5, n. 3, p. 185-192, jun. 2007.

PERSECHINO, A.; ALBUQUERQUE, M. Digital image processing: fundamental concepts. Monografia-Cbpf, [S.L.], v. 1, n. 4, p. 1-41, out. 2015. **Brazilian Center for Physical Research**.

BAEK, JeongHo et al. High throughput phenotyping for various traits on soybean seeds using image analysis. **Sensors**, v. 20, n. 1, p. 248, 2020.

SANTOS, Paulo César da Silva et al. Divergência genética em progênies de *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. via análise digital de imagens e estresse salino em sementes. 2021.

PONCE, Raissa Marrafon et al. Tamanho da semente e potencial fisiológico de trigo sarraceno. **Revista Científica Rural**, v. 21, n. 2, p. 259-268, 2019.

CASTRO, Erika Beatriz de Lima et al. CLASSIFICATION OF *Phaseolus lunatus* L. USING IMAGE ANALYSIS AND MACHINE LEARNING MODELS. **Revista Caatinga**, v. 35, p. 772-782, 2022.

RIBEIRO, Glória de Freitas Rocha. **Sistema Vigor-S e processamento digital como componentes auxiliares de testes para avaliação do vigor de sementes de soja**. 2022. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

FIGUEIREDO FILHO, Dalson Britto; SILVA JÚNIOR, José Alexandre. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson ( $r$ ). **Revista Política Hoje**, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2009.

SOUSA, Áurea. Coeficiente de correlação de Pearson e coeficiente de correlação de Spearman: o que medem e em que situações devem ser utilizados?. **Correio dos Açores**, p. 19-19, 2019.