



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE TECNOLOGIA DO DESENVOLVIMENTO**  
**CURSO TECNOLOGIA EM AGROECOLOGIA**

**JOSÉ JERÔNIMO SANTOS SARAIVA**

**FENOTIPAGEM DE VARIEDADES CRIOULAS DE FEIJÃO-CAUPI EM  
DIFERENTES ESTÁDIOS FENOLÓGICOS COM USO DE INTELIGÊNCIA  
ARTIFICIAL**

**SUMÉ – PB**

**2023**

**JOSÉ JERÔNIMO SANTOS SARAIVA**

**FENOTIPAGEM DE VARIEDADES CRIOULAS DE FEIJÃO-CAUPI EM  
DIFERENTES ESTÁDIOS FENOLÓGICOS COM USO DE INTELIGÊNCIA  
ARTIFICIAL**

**Monografia apresentada ao Curso de  
Tecnologia em Agroecologia, do Centro  
de Desenvolvimento Sustentável do  
Semiárido, da Universidade Federal de  
Campina Grande, como requisito parcial  
para obtenção do título de Tecnólogo em  
Agroecologia.**

**Orientador: Professor Dr. Rener Luciano de Souza Ferraz**

**SUMÉ – PB**

**2023**



S243f Saraiva, José Jerônimo Santos.

Fenotipagem de variedades crioulas de feijão-caupi em diferentes estádios fenológicos com uso de inteligência artificial. / José Jerônimo Santos Saraiva. - 2023.

31 f.

Orientador: Professor Dr. Rener Luciano de Souza Ferraz.

Monografia - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Curso Superior de Tecnologia em Agroecologia.

1. Feijão-caupi. 2. Fenotipagem - feijão-caupi. 3. Inteligência artificial. 4. Vigna unguiculata. 5. Aprendizagem de máquina. 6. Processamento digital de imagens. 7. Sementes - variedades crioulas de feijão-caupi. 8. Território Indígena Xucuru de Ororubá - Pequira - PE. I. Ferraz, Rener Luciano de Souza. II. Título.

CDU: 631.53.01(043.1)

**Elaboração da Ficha Catalográfica:**

Johnny Rodrigues Barbosa  
Bibliotecário-Documentalista  
CRB-15/626

**JOSÉ JERÔNIMO SANTOS SARAIVA**

**FENOTIPAGEM DE VARIEDADES CRIOULAS DE FEIJÃO-CAUPI EM  
DIFERENTES ESTÁDIOS FENOLÓGICOS COM USO DE INTELIGÊNCIA  
ARTIFICIAL**

**Monografia apresentada ao Curso de  
Tecnologia em Agroecologia, do Centro  
de Desenvolvimento Sustentável do  
Semiárido, da Universidade Federal de  
Campina Grande, como requisito parcial  
para obtenção do título de Tecnólogo em  
Agroecologia.**

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. Dr. Rener Luciano de Souza Ferraz  
Orientador – UATEC/CDSA/UFCG**

---

**Profa. Dra. Patrícia da Silva Costa  
Examinadora Externa I – FAPESQ-PB**

---

**Esp. Gabriella Henrique Brandão  
Examinadora Externa II – CCHSA/UFPB**

---

**Me. Wellerson Leite de Andrade  
Examinador Externo III – CCA/UFPB**

**Trabalho aprovado em: 16 de fevereiro de 2023**

**SUMÉ - PB**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus e a Nossa Senhora da Conceição por toda força, coragem, determinação e esforço pra chegar até aqui em meio a tantos momentos difíceis ao longo da caminhada e que se tornaram desafiadores.

A minha mãe, Josefa Francisca da Conceição por todo empenho, dedicação, incentivo e acima de tudo esforço pra que eu continuasse aqui, por todos aqueles momentos difíceis que passei e sempre pode contar. Tenho muita admiração pela senhora e orgulho por ser seu filho!

A minha Avó, Francisca Maria dos Santos, por toda oração, todo esforço e ajuda pra que eu tivesse chegado nesse momento e por ser aquela pessoa que se mostra sempre cuidadosa.

A minha prima/irmã Mickaelle Jéssica da Silva Santos por todo suporte necessário e ajuda ao longo do caminho.

Agradeço a minha namorada, Ednatelma Maria de Souza, que durante esses últimos meses esteve sempre presente, me apoiando em toda dificuldade e me mostrando que consigo superar todos os obstáculos.

Agradeço aos demais familiares que se fizeram presentes durante toda essa caminhada.

Agradeço demais a meu orientador, Professor Rener Luciano de Souza Ferraz, pela dedicação, incentivo, aprendizado e confiança, além de professor uma pessoa humana, amigo e bom caráter. Sempre me ajudando e me estimulando a aprimorar meus conhecimentos durante o bom tempo que trabalhamos juntos, além de ser um espelho pra mim.

Aos meus irmãos da vida e parceiros Anderson Feitoza Rodrigues e Pedro Florêncio Almeida Lima, que tive o privilégio e a honra de conhecer e dividir a mesma casa durante todos esses anos, além da amizade construída e irmandade.

Ao meu amigo Deyvid Mendes e irmão da vida, por toda ajuda, companheirismo, e determinação nos trabalhos executados.

Um agradecimento especial ao meu amigo e conterrâneo do Ceará Matheus Leite que me ajudou e abrigou em um dos momentos mais difíceis que passei e naquele momento se mostrava sem saída, uma ação e atitude gigante. Obrigado mesmo. Hoje somos amigos, quis o destino que fosse assim.

A duas pessoas fundamentais e extremamente do bem, além de um coração gigante que tenho um carinho enorme e levarei comigo onde quer que esteja Dona Maria e Ruberlânia Moreira, essas duas me abraçaram de uma forma, incentivaram e tiveram um cuidado por

mim que jamais esquecerei principalmente Dona Maria, quando sentávamos pra conversar ficávamos horas ali, ela contando um pouco de sua vida e eu atentamente ouvindo-a, sem falar nas altas gargalhadas. Obrigado a cada uma. Que Deus possa sempre abençoá-las.

Aos amigos que fizeram parte da minha graduação, pessoas que me mostraram ser verdadeiras e que eu tive o privilégio de conviver durante esse tempo e que hoje tem um lugar especial, Maicon Catingueiro, Eva Lucena, Isabela Ferreira, Alisson Clauber, Marcelo (o mago), Eduardo Fernandes, Jéssica Alexandre, Dayanny Siqueira, Viviane Alexandre.

“Quase tudo me faltava, mas fé nunca me faltou. Deus me ensinou os valores mais nobres, que um sonhador nunca é pobre, que sonho não tem preço, mas tem muito valor.”

(Bráulio Bessa)

## RESUMO

O trabalho objetivou realizar a fenotipagem de variedade crioulas de feijão-caupi em diferentes estádios fenológicos utilizando-se de técnicas de inteligência artificial para processamento de imagens digitais e ajuste de modelos de aprendizagem de máquina. Ações antrópicas estão relacionadas às mudanças climáticas globais, o que reforça o papel dos agricultores familiares como guardiões de sementes de variedades crioulas de feijão-caupi. Devido ao fato de existirem muitas variedades, há risco de confusão na identificação desses materiais. Para tanto, seis variedades crioulas foram cultivadas para obtenção de imagens digitais em diferentes estádios fenológicos, as quais foram processadas utilizando-se dos vetorizadores InceptionV3, SqueezeNet, VGG16 e VGG19. Posteriormente, foram testados os algoritmos de aprendizado de máquina k-vizinhos mais próximos (*KNN - number of nearest neighbors*), árvore de decisão (*Tree*), floresta aleatória (*RF - Random Forest*), aumento de gradiente (*GB - Gradient Boosting*), máquina de suporte de vetores (*SVM - Support Vector Machines*) e rede neural artificial (*MLP - Multi-Layer Perceptron*). A performance dos modelos foi testada utilizando-se do método de validação cruzada (*Cross-validation*). Algoritmos de aprendizagem de máquina do tipo Rede Neural Artificial e Máquina de Suporte de Vetores têm elevado desempenho para fenotipagem de variedade crioulas de feijão-caupi em diferentes estádios fenológicos a partir do processamento de imagens digitais.

**Palavras-chave:** *Vigna unguiculata*, classificação fenotípica, aprendizagem de máquina.

SARAIVA, José Jerônimo Santos. **The phenotyping of cowpea landraces at different phenological stages using artificial intelligence techniques for digital image processing and adjustment of machine learning models.** 2023. 30f. (Trabalho de Conclusão de Curso - Monografia), Curso Superior de Tecnologia em Agroecologia, Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Universidade Federal de Campina Grande, Sumé – Paraíba – Brasil, 2023.

## **ABSTRACT**

The objective of this work was to perform the phenotyping of cowpea landraces at different phenological stages using artificial intelligence techniques for digital image processing and adjustment of machine learning models. Anthropogenic actions are related to global climate change, which reinforces the role of family farmers as guardians of seeds of landraces of cowpea. Because there are many varieties, there is a risk of confusion in identifying these materials. For that, six landrace varieties were cultivated to obtain digital images at different phenological stages, which were processed using the vectors InceptionV3, SqueezeNet, VGG16 and VGG19. Subsequently, the k-nearest neighbors (KNN - number of nearest neighbors), decision tree (Tree), random forest (RF - Random Forest), gradient boost (GB - Gradient Boosting), vector support machine (SVM - Support Vector Machines) and artificial neural network (MLP - Multi-Layer Perceptron). The performance of the models was tested using the cross-validation method. Machine learning algorithms such as Artificial Neural Network and Vector Support Machine have high performance for phenotyping of cowpea landrace varieties at different phenological stages from digital image processing

**Keywords:** *Vigna unguiculata*, phenotypic classification, machine learning.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Território Xukuru do Ororubá, de Pesqueira – PE. Sumé, PB, 2022. ....	18
<b>Figura 2</b> - Sementes crioulas das variedades Sempre-Verde (A), Bola de Coco (B), Paulistinha (C), Corujinha (D), Pintado (E) e Rabo de Tatu (F) obtidas do Território Indígena Xukuru do Ororubá. Sumé, PB, 2022. ....	19
<b>Figura 3</b> - Localização da Fazenda Experimental do CDSA, com destaque para a área onde foi realizado o cultivo das variedades crioulas de feijão-caupi. Sumé, PB, 2022. ....	19
<b>Figura 4</b> - Manejo de irrigação utilizando-se do método de irrigação localizada. Fonte: Acervo da equipe de pesquisa. Sumé, PB, 2022. ....	21
<b>Figura 5</b> - Coleta do solo (A), instalação do sistema de irrigação (B), demarcação das parcelas para semeadura (C), emergência das plântulas (D), obtenção de fotos (E) e visão parcial da área experimental (F). Sumé, PB, 2022. ....	22
<b>Figura 6</b> - Resumo do fluxo de trabalho do processamento de imagens e ajuste de modelos de aprendizagem de máquina para fenotipagem de variedades crioulas de feijão-caupi nos estádios fenológicos. Sumé, PB, 2022. ....	23

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Estatísticas de desempenho dos Embedder na etapa de modelagem para fenotipagem de feijão-caupi nos estádios fenológicos. Sumé, PB, 2022. ....	24
<b>Tabela 2</b> - Matriz de confusão para a performance da Máquina de Suporte de Vetores com o tipo de Kernel Rbf para fenotipagem de feijão-caupi no estádio fenológico V1. Sumé, PB, 2022. ....	25
<b>Tabela 3</b> - Matriz de confusão para a performance da Rede Neural Artificial com a função de ativação ReLu e solver L-BFGS-B para fenotipagem de feijão-caupi no estádio fenológico V3. Sumé, PB, 2022. ....	25
<b>Tabela 4</b> - Matriz de confusão para a performance da Rede Neural Artificial com a função de ativação ReLu e solver L-BFGS-B para fenotipagem de feijão-caupi no estádio fenológico V4. Sumé, PB, 2022. ....	26
<b>Tabela 5</b> - Matriz de confusão para a performance da Rede Neural Artificial com a função de ativação Tan Hiperbólica e solver Adam para fenotipagem de feijão-caupi no estádio fenológico V5. Sumé, PB, 2022. ....	26

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>14</b>
2.1 IMPORTÂNCIA DO FEIJÃO-CAUPI.....	14
2.2 MORFOLOGIA E FENOLOGIA DO FEIJÃO-CAUPI.....	15
2.3 IMPORTÂNCIA DAS VARIEDADES CRIOULAS .....	16
2.4 FENOTIPAGEM TRADICIONAL DE FEIJÃO-CAUPI.....	16
2.5 FENOTIPAGEM E IDENTIFICAÇÃO DE PLANTAS COM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL .....	17
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>18</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>24</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>28</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>29</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas globais são frequentemente relacionadas às ações antrópicas e têm causado desequilíbrio e vulnerabilidade aos agroecossistemas, sobretudo, em decorrência de eventos climáticos extremos, fato que coloca em risco a produção agrícola (BUONO, 2021). Variedades crioulas vêm sendo cultivadas há gerações por agricultores familiares, o que, provavelmente, está associado a adaptabilidade e características nutricionais dessas variedades, o que evidencia o interesse pelos programas de melhoramento genético (AIDA *et al.*, 2021).

O feijão-caupi é uma leguminosa adaptada às regiões áridas e semiáridas, é caracterizado por ser rico em proteínas, minerais, vitaminas e alguns compostos importantes para a saúde, sendo utilizado também na alimentação animal (FASUAN *et al.*, 2021). Regiões com limitações hídricas no continuum solo-planta-atmosfera provocam reduções da germinação, do crescimento e estabelecimento das plantas no campo e isso reduz a produção de grãos do feijão-caupi (TAVARES *et al.*, 2021).

O cenário supracitado induz a comunidade científica a desenvolver ferramentas tecnológicas e de fácil acesso para facilitar a identificação das plantas de cada variedade crioula no campo em diferentes estádios fenológicos (NARAYANA & ANGAMUTHU, 2021), o que é possível com a utilização de técnicas avançadas de fenotipagem a partir de características complexas das plantas. Nesse sentido, as técnicas de fenotipagem de plantas, baseadas em processamento computacional, em que as plantas não sejam destruídas, têm grande potencial para a agricultura moderna (HATI & SINGH, 2021).

Diante do exposto, a utilização de técnicas de inteligência artificial para aprendizado de máquina introduz uma alternativa tecnológica promissora para evolução dos agroecossistemas em regiões áridas e semiáridas, por exemplo, no Nordeste do Brasil (MENEZES NETO *et al.*, 2021), onde há necessidade de identificação fenotípica de variedades crioulas de feijão-caupi para dar suporte aos produtores e agricultores familiares na tomada de decisões em relação à escolha rápida de variedades para cultivo. O presente trabalho tem como objetivo realizar a fenotipagem de variedade crioula de feijão-caupi em diferentes estádios fenológicos utilizando-se de técnicas de inteligência artificial para processamento de imagens digitais e ajuste de modelos de aprendizagem de máquina.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 IMPORTÂNCIA DO FEIJÃO-CAUPI

O feijão-caupi é considerada uma espécie exótica com grande variabilidade genética e potencial, podendo ser utilizado em programas de melhoramento genético (SOUZA, 2016). A mesma é uma espécie vegetal que foi a princípio descrita por Linnaeus como *Dolichos unguiculatus* L., logo em seguida foi classificada por Walpers como *V. unguiculata* (L.) Walp (PASQUET, 1998). Contudo, é uma espécie diploide,  $2n = 2x = 22$  cromossomos, Dicotyledonea, e que pertencente a ordem Fabales, família Leguminosae, tribo Phaseoleae, gênero *Vigna* (DINIZ, 2019). Se identificar por ser uma planta original da África ocidental, que chegou ao Brasil por meio dos colonizadores portugueses, associados ao tráfico de escravos, sendo introduzido no Estado da Bahia, e atualmente sua produção concentra-se nas regiões Norte e Nordeste do país (DINIZ, 2019; FREIRE FILHO et al. 2011; LIMA, 2015; GONÇALVES et al., 2016).

Sendo assim, os maiores consumidores e produtores dessa leguminosa estão localizados nos países latino-americanos, asiáticos e africanos nos quais o principal sistema de produção é caracterizado pela agricultura de base familiar (FAOSTAT, 2012). Nos países do Mercosul, o Brasil é um dos principais produtores, seguido pela Argentina, Paraguai e Uruguai (CONAB, 2019). A região Nordeste do Brasil apresenta condições edafoclimáticas favoráveis para o seu desenvolvimento, se destacando como maior produtora e consumidora dessa leguminosa (SILVA et al., 2016), por ser uma planta rústica e tolerante as diferentes condições de solo e clima dessa região (DINIZ, 2019). O feijão-caupi apresenta grande importância tanto para o desenvolvimento rural, quanto nutricional, sendo de fato e notório uma fonte de proteínas, e principalmente consumida pela população de baixo poder aquisitivo, e quando comparado com feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) apresenta propriedades nutricionais superiores a essa outra leguminosa (DUTRA et al., 2007; MARINHO et al., 2001). Visto que, se destaca também por ser uma planta versátil e que pode ser utilizada em diferentes sistemas de cultivo, por apresentar uma ampla variabilidade genética (SOUZA et al., 2015), podendo ser comercializado como: feijão verde (grãos e vagens), grãos secos e sementes (SOUZA, 2016). Sendo consumido nas formas de vagem verde, grão seco e verde, em várias receitas culinárias típicas (ALVES et al., 2009).

## 2.2 MORFOLOGIA E FENOLOGIA DO FEIJÃO-CAUPI

Apresenta-se como uma planta herbácea anual com a arquitetura bastante variada Freire Filho et al. (2011), classificam essa variação da estatura em: porte ereto, semiereto, semiprostado e prostado. Ainda de acordo com Vale et al. (2017), seu hábito de crescimento pode ser determinado ou indeterminado. Sua germinação é do tipo epígea, que ocorre dois a três dias após a semeadura, possuindo uma raiz pivotante principal e ramificações laterais, e o seu caule apresenta formatos variados, angular ou cilíndrico, pode ser liso, estriado, possuindo pelos e pigmentos arroxeados (VALE et al., 2017). A planta apresenta o primeiro par de folhas sésseis e folhas secundárias trifoliadas, ou seja, folhas compostas com três folíolos, dois laterais assimétricos e um terminal simétrico com pecíolo longo (VALE et al., 2017). O caractere forma da folha é bastante usado para diferenciar os genótipos, de acordo com o Instituto Internacional para a Agricultura Tropical (IITA), pode ser classificado em: globosa, subglobosa, lanceolada e sublanceolada (POTTORFF et al., 2012).

Segundo Donça (2012), suas vagens surgem variações quanto ao tamanho, cor, forma e número de sementes, seu tegumento pode ser rugoso ou liso, já os grãos apresentam diferenças quanto a cor, forma e tamanho. O caupi apresenta duas fases fenológicas bem distintas: vegetativa e reprodutiva. A fase vegetativa é constituída pelos estágios: V0 onde ocorre a semeadura, V1 emergência dos cotilédones na superfície do solo, V2 apresenta folhas unifoliadas, V3 a primeira folha composta encontra-se com a unifoliada, V4 e V5 surgem as próximas folhas trifoliadas. E em V7, V8 e V9 as folhas dos ramos secundários começam a abrir, finalizando a fase vegetativa (CAMPOS et al., 2000). Na fase reprodutiva ocorre 5 fases: R1 surgimento dos primeiros botões florais no ramo principal, R2 ocorre a antese da primeira flor, originária do primeiro botão floral, ocorrendo a abertura consecutiva dos botões florais. Após o florescimento as plantas surgem o estágio R3, onde acontece o amadurecimento da primeira vargem. Em R4, 50% das vagens atingem a maturação. Quando a planta completa 90% da maturação das vagens, concluem-se a fase R5 e conseqüentemente encerra-se o ciclo (CAMPOS et al., 2000).

Freire Filho et al. (2011), afirmam ainda que as plantas apresentam ciclos bem similares, que variam de acordo com a variedade. Tornando classificados em: superprecoce, com a maturação em até 60 dias; precoce – com maturidade entre de 61 a 70 dias; médio-precoce – entre 71 a 80 dias após a semeadura; médio-tardio, com a maturidade entre 81 a 90 dias após a semeadura e tardio, a partir dos 91 dias após a semeadura.

### 2.3 IMPORTÂNCIA DAS VARIEDADES CRIOULAS

As sementes crioulas são variedades desenvolvidas, produzidas e adaptadas pelos agricultores familiares, assentados de reforma agrária, quilombolas ou indígenas. Contudo, essas variedades de sementes são passadas de geração para geração, podendo garantir à preservação da biodiversidade, produtividade, qualidade das plantas, e, além disso, o respeito às culturas locais, além de gerar renda e liberdade de escolha da variedade para o consumo familiar. Sendo assim, essas sementes de variedades crioulas, surgem como uma ótima alternativa economicamente viável para os produtores familiares, que podem ser consideradas uma tecnologia livre, ou seja, os pagamentos de royalties para o plantio das sementes são inexistentes.

Tendo em vista, visando assegurar a manutenção e a disponibilidade de sementes, muitos agricultores incrementam estratégias como, aprimorar os conhecimentos sobre as variedades locais, estudar a melhor forma de armazenar, manejar através dos bancos de semente e troca de sementes crioulas. Além disso, o estado vem se aprimorando e trabalhando, visando contribuir no fortalecimento das famílias produtoras, através da eficiência das sementes crioulas. Isso torna possível com programas e políticas públicas de incentivo e fortalecimento (COIMBRA, 2018).

### 2.4 FENOTIPAGEM TRADICIONAL DE FEIJÃO-CAUPI

Tradicionalmente, a fenotipagem de variedades crioulas de feijão-caupi é realizada a partir do levantamento de dados relativos aos caracteres fenológicos, morfológicos e agrônômicos, nos estádios de germinação, plântulas, floração, maturação, colheita e pós-colheita (MARINHO *et al.*, 2001). Nesta perspectiva, os estudos realizados por Freire Filho *et al.* (1981) e Fonseca *et al.* (1986), reportam os principais caracteres a serem levantados para fins de fenotipagem das variedades crioulas, a saber:

Emergência de plântulas, cor do hipocótilo, floração média, cor da flor, porte da planta, pigmentação da haste principal, número de nós da haste principal, comprimento do folíolo central, largura do folíolo central, corda vagem durante a maturação, número de vagens por planta e número de sementes por vagem.

De acordo com Oliveira *et al.* (2015), a fenotipagem clássica de variedades crioulas abrange, primeiramente, classificação segundo o Regulamento Técnico do Feijão, Instrução Normativa Número 12 de 28 de fevereiro de 2008, instituído pelo Ministério da Agricultura,

Pecuária e Abastecimento (MAPA) (BRASIL, 2008), adaptado por Freire Filho *et al.* (2005). Em complemento, também são utilizados os descritores recomendados pelo Biodiversity International (2007), anteriormente conhecido como International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR), considerando a abrangência mundial do documento em relação aos descritores estabelecidos pelo Ato Número 4 de 19 de agosto de 2010, instituído pelo MAPA (BRASIL, 2010).

## 2.5 FENOTIPAGEM E IDENTIFICAÇÃO DE PLANTAS COM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

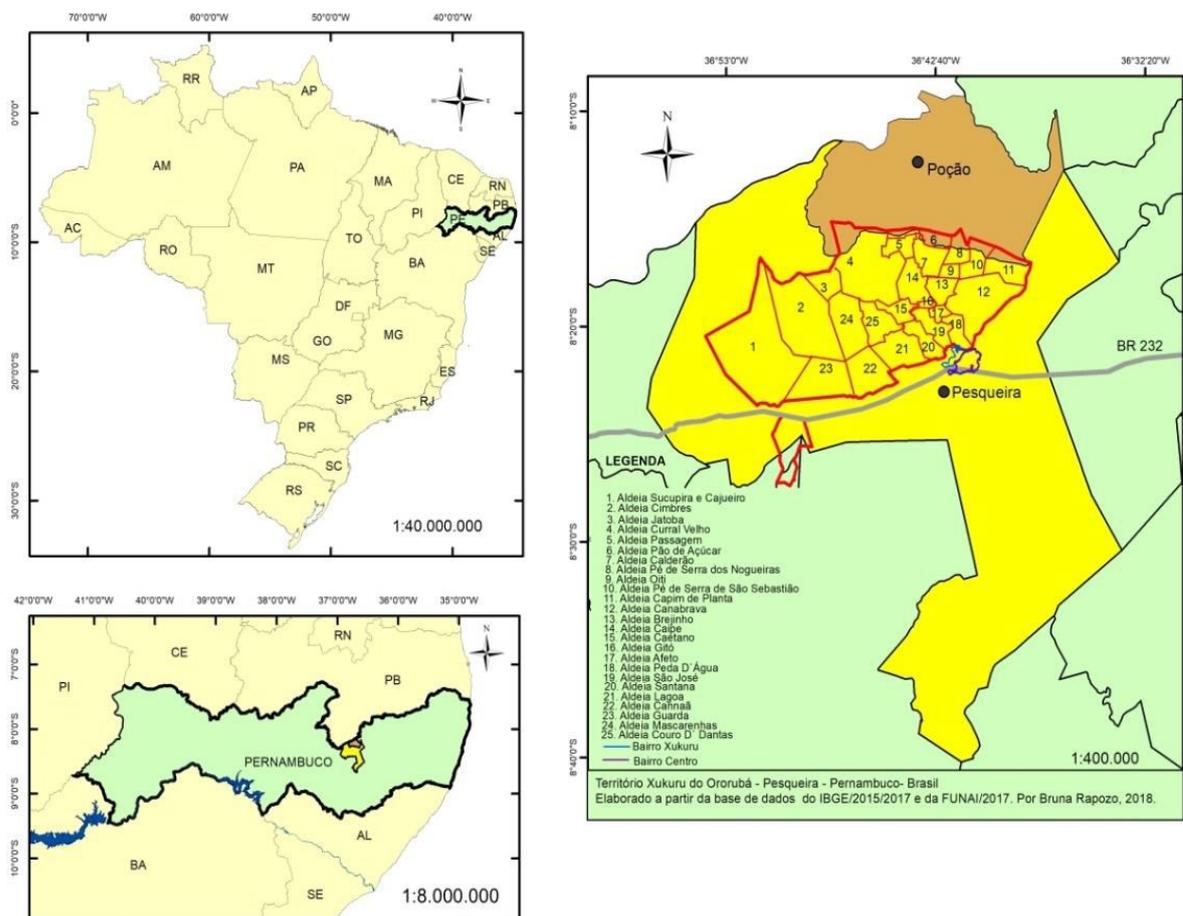
A fenotipagem por inteligência artificial é um processo de fundamental importância para proteção do patrimônio genético de plantas cultivadas por produtores familiares e suporte à agricultura de precisão (SUN *et al.*, 2021). Nos últimos anos, o aprendizado de máquina alcançou avanços significativos no reconhecimento de imagens digitais. Consequentemente, essa tecnologia se torna cada vez mais popular e constitui um ramo importante da agricultura inteligente com aplicação na fenotipagem de plantas de interesse econômico, social e ambiental (XIONG *et al.*, 2021).

A tecnologia de fenotipagem utilizando-se de aprendizagem de máquina tem sido utilizada pela comunidade científica para relacionar marcadores morfológicos, fisiológicos e moleculares às características de imagens digitais de plantas submetidas a estresses abióticos (SOLTABAYEVA *et al.*, 2021); para detecção de doenças em folhas de plantas (SUJATHA *et al.*, 2021); e reconhecimento e identificação de espécies (HATI & SINGH, 2021). Apesar da importância da cultura do feijão-caupi e da inteligência artificial para identificação de plantas no Nordeste do Brasil (MENEZES NETO *et al.*, 2021), ainda não foram realizadas pesquisas para fenotipagem e identificação de variedades crioulas dessa espécie.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

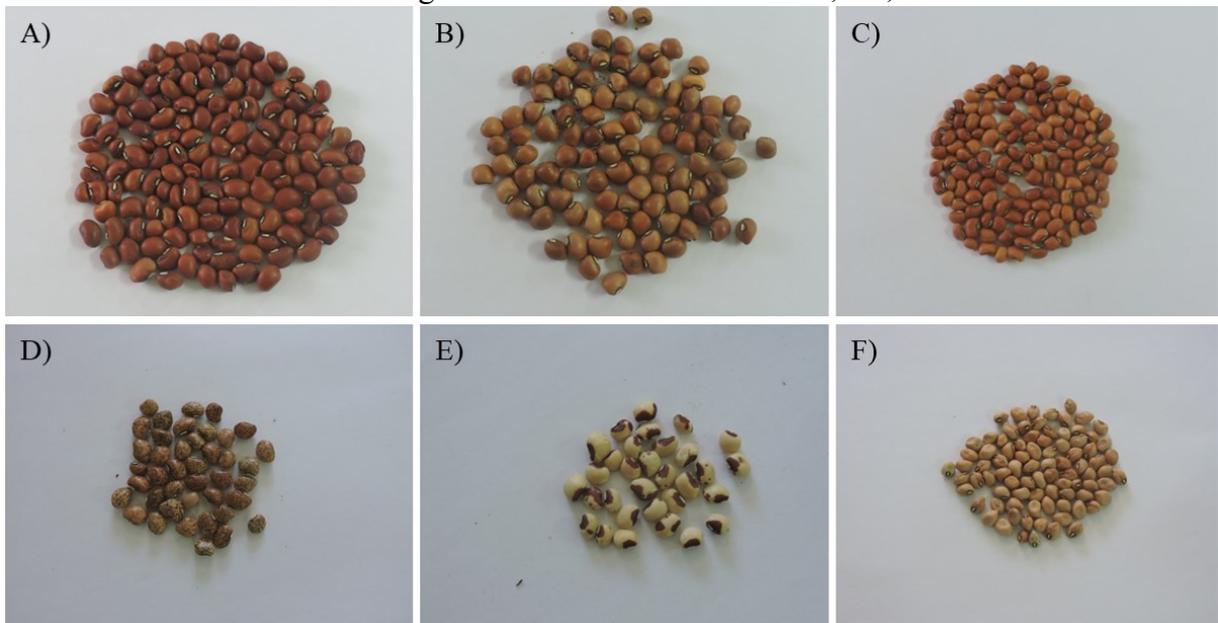
Sementes das variedades crioulas de feijão-caupi foram obtidas de um Banco de Sementes Comunitário do Território Indígena Xukuru do Ororubá, na cidade de Pesqueira-PE (Figura 1). Nesta localidade foram obtidas sementes das variedades crioulas: VAR Sempre-verde, VAR Paulistinha, VAR Bola-de-coco, VAR Corujinha e VAR Pintado, colhidas na safra de 2021 e cedidas pelo Agricultor Adelson Xukuru (Figura 2). Também foram obtidas sementes da Comunidade Rural Sítio Saco, na cidade de Sumé-PB. Nesta localidade foram obtidas sementes da variedade crioula VAR Rabo-de-tatú, colhidas na safra de 2021 e cedidas pelo Agricultor Edilson Pedro Xavier.

**Figura 1** - Território Xukuru do Ororubá, de Pesqueira – PE. Sumé, PB, 2022.



Fonte: Rapozo e Oliveira (2018).

**Figura 2** - Sementes crioulas das variedades Sempre-Verde (A), Bola de Coco (B), Paulistinha (C), Corujinha (D), Pintado (E) e Rabo de Tatu (F) obtidas do Território Indígena Xukuru do Ororubá. Sumé, PB, 2022.



**Fonte:** Acervo da equipe de pesquisa. Sumé, PB, 2022

O cultivo das variedades crioulas de feijão-caupi foi realizado no Campo Experimental do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido (CDSA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), localizado no município de Sumé – PB, nas coordenadas de Latitude 7° 40' 18" S; Longitude 36° 52' 54" W e altitude de 518 m acima do nível do mar (Figura 3).

**Figura 3** - Localização da Fazenda Experimental do CDSA, com destaque para a área onde foi realizado o cultivo das variedades crioulas de feijão-caupi. Sumé, PB, 2022.



**Fonte:** Google Maps. Sumé, PB, 2022.

O clima local, segundo a classificação de Köppen-Geiger, é do tipo Bsh' (semiárido quente), com temperatura média anual de 26 °C e precipitação pluviométrica média anual de 600 mm (VITAL et al., 2020). Durante o cultivo, dados meteorológicos foram coletados de uma estação agrometeorológica automática instalada próximo da área, cujos resultados médios diários estão descritos a seguir: precipitação total 2,31 mm; temperatura máxima 31,22 °C; temperatura média 24,95 °C; temperatura mínima 19,63 °C; umidade relativa do ar 73,05%; umidade relativa do ar mínima 70,39%; e velocidade do vento 1,91 m s<sup>-1</sup>.

Antes do início do cultivo, foram realizadas amostras de solo representativas da área, na profundidade de 20 cm, para determinação das propriedades físico-químicas do solo. As amostras foram analisadas de acordo com os métodos do IITA (1979), de Black (1965), Olsen et al. (1954) e Okalebo et al. (1993), cujos resultados físicos foram: granulometria – areia 68,12%, silte 26,46% e argila 5,42%; classificação textural franco arenoso; densidade do solo 1,27 g cm<sup>-3</sup>; densidade de partículas 2,69 g cm<sup>-3</sup>; porosidade 52,79%; umidade – natural 0,40%, 0,33 atm 14,51% e 15,00 atm 5,86%; e água disponível 8,65.

Os resultados químicos foram: cálcio 7,75 meq 100 g<sup>-1</sup> de solo; magnésio 5,85 meq 100 g<sup>-1</sup> de solo; sódio 0,38 meq 100 g<sup>-1</sup> de solo; potássio 0,68 meq 100 g<sup>-1</sup> de solo; enxofre 14,66 meq 100 g<sup>-1</sup> de solo; hidrogênio 0,00 meq 100 g<sup>-1</sup> de solo; alumínio 0,00 meq 100 g<sup>-1</sup> de solo; T 14,66 meq 100 g<sup>-1</sup> de solo; carbonato de cálcio qualitativo – ausência; carbono orgânico 0,78%; matéria orgânica 1,34%; nitrogênio 0,08%; fósforo assimilável meq 3,28 100 g<sup>-1</sup> de solo; pH H<sub>2</sub>O (1:2,5) 7,81; pH KCl (1:2,5) – não quantificado; condutividade elétrica (suspensão Solo-Água) 0,49 mmhos cm<sup>-1</sup>; pH (extrato de saturação) 7,75; condutividade elétrica (extrato de saturação) 0,70 mmhos cm<sup>-1</sup>; cloreto 3,75 meq L<sup>-1</sup>; carbonato 0,00 meq L<sup>-1</sup>; bicarbonato 2,10 meq L<sup>-1</sup>; sulfato – ausência; cálcio 2,25 meq L<sup>-1</sup>; magnésio 3,87 meq L<sup>-1</sup>; potássio 0,56 meq L<sup>-1</sup>; sódio 3,39 meq L<sup>-1</sup>; saturação 33,33%; relação de adsorção de sódio 1,94; PSI 2,59; salinidade – não salino; e classe do solo – normal. Com base nos resultados, foi realizada adubação de cobertura para a cultura do feijão-caupi, conforme descrito por Sá et al. (2021).

Para cada variedade crioula, foram implantadas cinco parcelas, cada uma formada por três linhas de 2,0 m de comprimento, espaçadas de 0,5 m, com área da parcela de 5 m<sup>2</sup> e total de 25 m<sup>2</sup>. A semeadura foi realizada utilizando-se de uma semente por cova, sendo espaçadas em 0,5 m entre linhas x 0,1 m entre plantas, resultado em uma densidade de 12 plantas por metro quadrado.

O manejo de irrigação foi realizado diariamente com base no monitoramento climático, por meio de dados obtidos da estação agrometeorológica. A evapotranspiração de

referência (ET<sub>o</sub>) foi calculada pelo método de Penman-Monteith – FAO (ALLEN et al., 1998) e a evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) calculada com base no coeficiente da cultura (K<sub>c</sub>) em cada estágio fenológico (MENDONÇA et al., 2015). A reposição da água evapotranspirada foi realizada utilizando-se do método de irrigação localizada e um sistema de irrigação tipo gotejamento (Figura 4).

**Figura 4** - Manejo de irrigação utilizando-se do método de irrigação localizada. Fonte: Acervo da equipe de pesquisa. Sumé, PB, 2022.



**Fonte:** Acervo da equipe de pesquisa. Sumé, PB, 2022.

O manejo de plantas espontâneas foi realizado semanalmente por método mecânico utilizando-se de enxadas e arranquio manual nas proximidades das plantas. Para o controle de insetos praga, foi utilizado o óleo e extrato vegetal de nim (*Azadirachta indica* A. Juss), conforme recomendação de Silva et al. (2011) para a cultura do feijão-caupi.

Foram obtidas imagens digitais (n = 125) das plantas de cada variedade crioula de feijão-caupi nos estádios fenológicos descritos por Mendonça et al. (2015), a saber: (V1) segundo nó do ramo principal com folíolos completamente abertos; (V2) terceiro nó do ramo principal com folíolos completamente abertos; (V3) quarto nó do ramo principal com folíolos completamente abertos; e (V4) quinto nó do ramo principal com folíolos completamente abertos (Figura 5).

**Figura 5** - Coleta do solo (A), instalação do sistema de irrigação (B), demarcação das parcelas para semeadura (C), emergência das plântulas (D), obtenção de fotos (E) e visão parcial da área experimental (F). Sumé, PB, 2022.



**Fonte:** Acervo da equipe de pesquisa. Sumé, PB, 2022.

As imagens foram obtidas utilizando-se de câmera digital da marca Nikon, modelo COOLPIX P530 V1.0, configurada para ISO de 400 e resolução de 16 MB e dimensões da imagem de 4608 x 3456 de comprimento e largura, respectivamente e 300 DPI (*Dots Per Inch* ou pontos por polegadas). As imagens foram capturadas no modo RGB de 8 bits e salvas no formato .jpeg. Das 125 imagens, 25 foram obtidas na posição relativa ao ângulo de 90° em relação ao solo, 25 na posição relativa ao ângulo de 45° na direção Norte, 25 na posição relativa ao ângulo de 45° na direção Sul, 25 na posição relativa ao ângulo de 45° na direção Leste e 25 na posição relativa ao ângulo de 45° na direção Oeste, todas a 1 m de distância.

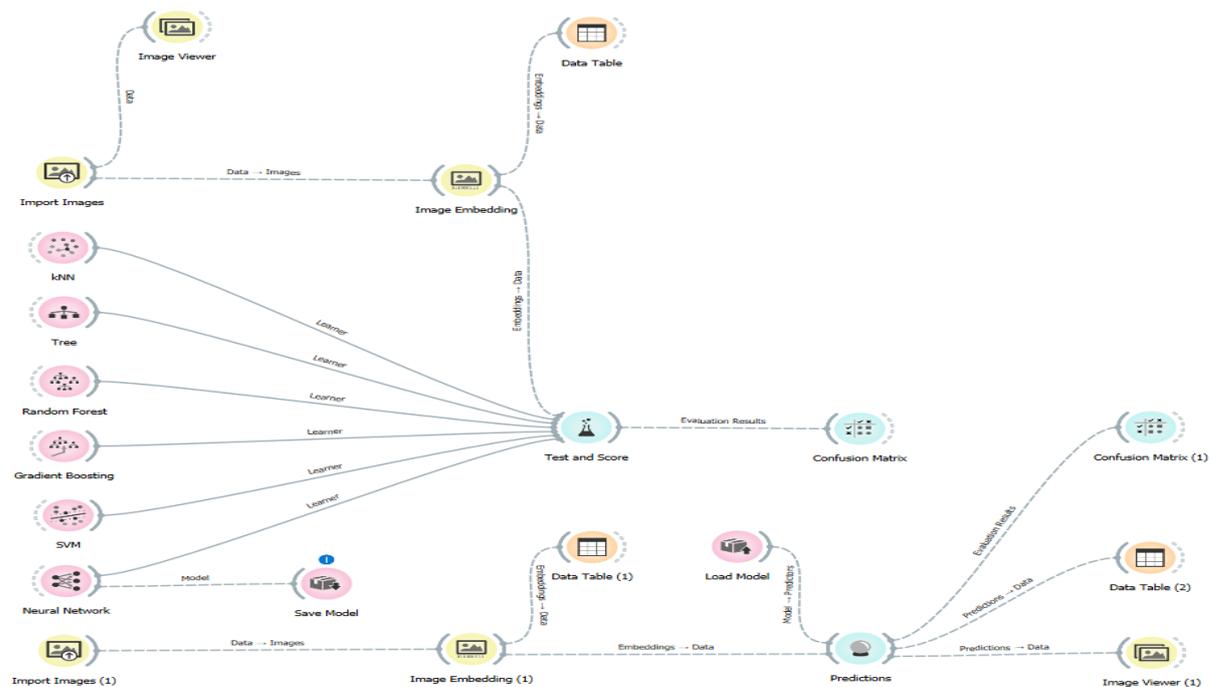
Para processamento das imagens foi utilizado *software Orange Data Mining* v. 3.29.3. Inicialmente, das 125 imagens obtidas, 100 foram importadas utilizando-se do *widget* “Import Images” contido no *add-on* “Image Analytics”. Posteriormente, as imagens foram processadas e vetorizadas utilizando-se do *widget* “Image Embedding”. A vetorização das imagens foi realizada utilizando-se dos “Embedders” InceptionV3, SqueezeNet, VGG16 e VGG19 (GODEC et al., 2019).

Para ajuste dos modelos de fenotipagem das variedades crioulas de feijão-caupi, foram testados algoritmos de aprendizagem de máquina e suas respectivas variações até que melhores valores de performance foram obtidos para cada modelo, a saber: K-Vizinhos mais Próximos (KNN - Number of Nearest Neighbors), Arvore de Decisão (Tree), Floresta Aleatória (RF - Random Forest), Aumento de Gradiente (GB - Gradient Boosting), Máquina de Vetores de Suporte (SVM - Support Vector Machines) e Rede Neural Artificial (MLP - Multi-Layer Perceptron).

A performance dos modelos foi testada utilizando-se o método de amostragem do *Orange Data Mining* validação cruzada (Cross-validation).

Tanto para a avaliação da performance quanto para a validação, foram utilizadas estatísticas de desempenho. Para modelos de classificação foram utilizadas: a área sob a curva ROC de operação do receptor (Area under ROC), precisão da classificação (Classification accuracy), média harmônica ponderada de precisão e recall (F-1), precisão (Precision), recordação (Recall), especificidade (Specificity), perda de entropia cruzada (LogLoss), tempo de treinamento (Train time) e tempo de teste (Test time) (Figura 6).

**Figura 6** - Resumo do fluxo de trabalho do processamento de imagens e ajuste de modelos de aprendizagem de máquina para fenotipagem de variedades crioulas de feijão-caupi nos estádios fenológicos. Sumé, PB, 2022.



**Fonte:** Elaboração da equipe de pesquisa.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

É possível observar, na Tabela 1, o resumo das estatísticas de desempenho dos *Embedders*, algoritmos de inteligência artificial, função de ativação, solver e variação do tipo de *Kernel* na etapa de ajuste de modelos para fenotipagem de feijão-caupi por imagens digitais nos estádios fenológicos V1, V3, V4 e V5. Exceto para o estágio fenológico V1, cujo melhor modelo foi uma Máquina de suporte de Vetores, a rede Neural Artificial teve melhor performance para fenotipagem das variedades crioulas e feijão-caupi.

**Tabela 1.** Estatísticas de desempenho dos Embedder na etapa de modelagem para fenotipagem de feijão-caupi nos estádios fenológicos. Sumé, PB, 2022.

Modelos de IA	Train time	Test time	AUC	CA	F1	Precision	Recall	LogLoss	Specificity
<b>Estádio fenológico V1 - Embedder VGG 19, Kernel Rbf</b>									
SVM	20,061	7,288	0,994	0,937	0,935	0,936	0,937	0,206	0,988
<b>Estádio fenológico V3 – Embedder InceptionV3, ReLu, L-BFGS-B</b>									
Neural Network	8,919	2,702	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,005	1,000
<b>Estádio fenológico V4 – Embedder VGG 16, ReLu, L-BFGS-B</b>									
Neural Network	17,001	5,788	1,000	0,998	0,998	0,998	0,998	0,010	0,999
<b>Estádio fenológico V5 – Embedder VGG 19, Tam hiperbólica, Adam</b>									
Neural Network	22,730	5,545	0,996	0,970	0,970	0,970	0,970	0,114	0,985

IA: inteligência artificial; Train time: tempo de treinamento; Test time: tempo de teste; AUC: área sob a curva ROC de operação do receptor; CA: precisão da classificação; F1: média harmônica ponderada de precisão e recall; Precision: precisão; Recall: recordação; LogLoss: perda de entropia cruzada; Specificity: especificidade.

**Fonte:** Elaboração da equipe de pesquisa.

Verificou-se que, no estágio fenológico V1, a Máquina de Suporte de Vetores (SVM) operando com o tipo de Kernel Rbf classificou as imagens das plantas das variedades Corujinha e Rabo de tatu com 100% de acerto, enquanto que para a variedade Pintado a taxa de acerto foi de 98% e para as variedades Bola coco, Paulistinha e Sempre verde as taxas de acerto foram de 55%, 89% e 78%, respectivamente (Tabela 2).

**Tabela 2** - Matriz de confusão para a performance da Máquina de Suporte de Vetores com o tipo de Kernel Rbf para fenotipagem de feijão-caupi no estádio fenológico V1. Sumé, PB, 2022.

Variedades Crioulas		Valores preditos pelo modelo					$\Sigma$	
		Bola coco	Corujinha	Paulistinha	Pintado	Rabo de tatu		Sempre verde
Valor real	Bola coco	22	0	18	0	0	0	40
	Corujinha	0	100	0	0	0	0	100
	Paulistinha	8	0	89	0	0	3	100
	Pintado	0	0	2	98	0	0	100
	Rabo de tatu	0	0	0	0	100	0	100
	Sempre verde	0	0	2	0	0	78	80
	$\Sigma$	30	100	111	98	100	81	520

**Fonte:** Elaboração da equipe de pesquisa.

A Rede Neural artificial operando com a função de ativação ReLu e o solver L-BFGS-B classificou corretamente 100% das amostras de imagens das plantas de feijão-caupi das variedades crioulas Bola coco, Paulistinha, Rabo de tatu e Sempre verde no estádio fenológico V3 (Tabela 3).

**Tabela 3** - Matriz de confusão para a performance da Rede Neural Artificial com a função de ativação ReLu e solver L-BFGS-B para fenotipagem de feijão-caupi no estádio fenológico V3. Sumé, PB, 2022.

Variedades Crioulas		Valores preditos pelo modelo				$\Sigma$
		Bola coco	Paulistinha	Rabo de tatu	Sempre verde	
Valor real	Bola coco	72	0	0	0	72
	Paulistinha	0	24	0	0	24
	Rabo de tatu	0	0	100	0	100
	Sempre verde	0	0	0	24	24
$\Sigma$	72	24	100	24	220	

**Fonte:** Elaboração da equipe de pesquisa.

É possível observar, na Tabela 4, que no estádio fenológico V4, a Rede Neural Artificial utilizando-se da função de ativação ReLu e o solver L-BFGS-B classificou

corretamente 100% das amostras de imagens de plantas das variedades crioulas, Bola coco, Corujinha, Paulistinha e Pintado, enquanto para a variedade Sempre verde a taxa de acerto foi de 99%.

**Tabela 4** - Matriz de confusão para a performance da Rede Neural Artificial com a função de ativação ReLu e solver L-BFGS-B para fenotipagem de feijão-caupi no estádio fenológico V4. Sumé, PB, 2022.

Variedades Crioulas	Valores preditos pelo modelo					$\Sigma$
	Bola coco	Corujinha	Paulistinha	Pintado	Sempre verde	
Bola coco	40	0	0	0	0	40
Corujinha	0	100	0	0	0	100
<b>Valor real</b> Paulistinha	0	0	84	0	0	84
Pintado	0	0	0	100	0	100
Sempre verde	0	0	1	0	79	80
$\Sigma$	40	100	85	100	79	404

**Fonte:** Elaboração da equipe de pesquisa.

No estádio fenológico V5, verificou-se que a Rede Neural Artificial com a função de ativação Tan hiperbólica e o solver Adam, classificou a variedade crioula Bola coco de forma correta em 99% dos casos, Paulistinha em 97% e Sempre verde 95% (Tabela 5).

**Tabela 5** - Matriz de confusão para a performance da Rede Neural Artificial com a função de ativação Tan Hiperbólica e solver Adam para fenotipagem de feijão-caupi no estádio fenológico V5. Sumé, PB, 2022.

Variedades Crioulas	Valores preditos pelo modelo			$\Sigma$
	Bola coco	Paulistinha	Sempre verde	
Bola coco	99	1	0	100
<b>Valor real</b> Paulistinha	0	97	3	100
Sempre verde	0	5	95	100
$\Sigma$	99	103	98	300

**Fonte:** Elaboração da equipe de pesquisa.

Com base nos resultados desses processamentos, pode-se inferir que a elevada acurácia dos algoritmos de inteligência artificial para diferenciar cada genótipo de feijão-caupi a partir de imagens digitais esteja relacionada às características físicas particulares que cada variedade crioula apresentou em cada estágio fenológico. De fato, isso toma sustentação no catálogo de cultivares de feijão-caupi da Embrapa (2021), onde são apresentadas diversas características comuns às cultivares, porém com grandezas diferentes em função da cultivar.

Sendo assim, a inteligência artificial surge como um artefato que apresenta grande potencial na identificação rápida de plantas de feijão-caupi no campo, ratificando os achados de Menezes Neto et al. (2021) com sua pesquisa visando identificação de plantas com inteligência artificial como uma estratégia inovadoras para o ensino da biodiversidade alimentar.

Nesta conjectura, os resultados de nossa pesquisa evidenciam um passo importante para a incorporação de tecnologia na cadeia produtiva do feijão-caupi. Realmente, no futuro, esses modelos de tecnologias podem ser incorporados em aplicativos e equiparem dispositivos móveis. Um exemplo de inteligência artificial como marcador importante e eficiente, onde foram capazes de diferenciar plantas alimentícias não convencionais em hortas, surgiu na Universidade Federal do Rio Grande do Norte vinculado ao Departamento de Nutrição do Centro de Ciências da Saúde (CCS), no laboratório Horta Comunitárias Nutrir (LabNutri). Desse modo, tudo isso nos permite mostrar a praticidade da inteligência artificial na identificação rápida dessas variedades crioulas e os melhores resultados em se trabalhar com essa tecnologia (CCS/UFRN, 2021).

## **5 CONCLUSÃO**

Algoritmos de aprendizagem de máquina do tipo Rede Neural Artificial e Máquina de Suporte de Vetores têm elevado desempenho para fenotipagem de variedade crioulas de feijão-caupi em diferentes estádios fenológicos a partir do processamento de imagens digitais.

## REFERÊNCIAS

- AIDA, B.; SIHEM, T.; INES, B.; HATEM, L. Biochemical variability and functional properties of cowpea landraces grown in Hoggar: the Algerian arid region. **Journal of Food Measurement and Characterization**, 2021.
- ALVES, J. M. A.; ARAÚJO, N. P.; UCHÔA, S. C. P.; ALBUQUERQUE, J. A. A.; SILVA, A. J.; RODRIGUES, G. S.; SILVA, D. C. O. Avaliação agroeconômica da produção de cultivares de feijão-caupi em consórcio com cultivares de mandioca em Roraima. *Revista Agroambiente, Boa vista, RR*, v. 3, n. 1, p. 15-30, 2009.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 300p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- BLACK, C. A. **Methods of soil analysis**. Part 1. Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling, 9.1. Madison: American Society of Agronomy, 1965. 770p.
- BUONO, D. D. Can biostimulants be used to mitigate the effect of anthropogenic climate change on agriculture? It is time to respond. **Science of The Total Environment**, v.751, p.e141763, 2021.
- CCS/UFRN. **Robô ajuda identificar plantas alimentícias não convencionais**. CCS, 15 de abril de 2021. Disponível em: <https://ufrn.br/imprensa/noticias/46225/robo-ajuda-identificar-plantas-alimenticias-nao-convencionais>. Acesso em: 22 mar. 2023.
- COINTER PDVAgro 2020**, Virtual. V Congresso Internacional das Ciências Agrárias. Disponível em: <https://cointer.institutoidv.org/smart/2020/pdvagro/uploads/3541.pdf>. Acesso em: 20 de Janeiro de 2023.
- CONAB, Campanha Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grão. v. 6 Safra 2018/2019, Brasília, p.1-126, set. 2019. Disponível em: . Acesso em: 01 nov. 2020.
- DINIZ, L. R. **Caracterização morfoagronômica e molecular de variedades crioulas e cultivares de feijão-caupi em cultivo orgânico**. 2019, 109 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande, 2019.

DUTRA, A. S. TEÓFILO, E. MEDEIROS FILHO, S. DIAS, F. T. C. Qualidade fisiológica de sementes de feijão-caupi em quatro regiões do estado do Ceará. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, vol. 29, nº 2, p.111-116, 2007.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Catálogo de cultivares de feijão-caupi**. Embrapa Meio-Norte, 2021. 23p.

FASUAN, T. O.; CHUKWU, C. T.; OLAGUNJU, T. M.; ADIAMO, O. Q.; FAWALE, S. O. Biocontrol of insect-pests bruchid in postharvest storage of *Vigna unguiculata* grains: Process modeling, optimization, and characterization. **Crop Protection**, v.146, p.e105689, 2021.

FAOSTAT. FAO Statistics Division 2012. Disponível em: . Acesso em: 10 set. 2020.

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE TAQUARITINGA(FATEC-TQ)**. Importância das sementes crioulas na agricultura familiar: Estratégia de incentivo, resgate e conservação.

Disponível em:

[https://www.uniara.com.br/legado/nupedor/nupedor\\_2018/6B/2\\_Caroline\\_Coimbra.pdf](https://www.uniara.com.br/legado/nupedor/nupedor_2018/6B/2_Caroline_Coimbra.pdf).

Acesso em: 20 de Janeiro de 2023.

GODEC, P.; PANČUR, M.; ILENIČ, N.; ČOPAR, A.; STRAŽAR, M.; ERJAVEC, A.; PRETNAR, A.; DEMŠAR, J.; STARIČ, A.; TOPLAK, M.; ŽAGAR, L.; HARTMAN, J.; WANG, H.; BELLAZZI, R.; PETROVIČ, U.; GARAGNA, S.; ZUCCOTTI, M.; PARK, D.; SHAULSKY, G.; ZUPAN, B. Democratized image analytics by visual programming through integration of deep models and small-scale machine learning. **Nat Commun**, v.10, p.e4551, 2019.

HATI, A. J.; SINGH, R. R. Artificial Intelligence in Smart Farms: Plant Phenotyping for Species Recognition and Health Condition Identification Using Deep Learning. **AI**, v.2, p.274-289, 2021.

IITA - INTERNATIONAL INSTITUTE OF TROPICAL AGRICULTURE. **Selected methods for soil and plant analysis**. Ibadan: IITA Manual Services, 1979. 57p.

MARINHO, J.T. de S.; PEREIRA, R. de C. A.; COSTA, J.G. da. Caracterização de cultivares de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), em plantios no Acre. Rio Branco: Embrapa Acre, 2001. 13 p. (Embrapa Acre. Boletim de Pesquisa, 31).

MENDONÇA, C. A.; BARROSO NETO, A. M.; BERTINI, C. H. C. M.; AMORIM, M. Q.; ARAÚJO, L. B. R. Caracterização fenológica associada a graus-dia em genótipos de feijão-caupi para produção de grãos verdes. **Enciclopédia Biosfera**, v.11, p.485-493, 2015.

MENEZES NETO, E. J.; LIMA, D. G.; FEITOSA, I. S.; GOMES, S. M.; JACOB, M. C. M. Plant Identification Using Artificial Intelligence: Innovative Strategies for Teaching Food Biodiversity. IN: JACOB, M. C. M.; ALBUQUERQUE, U. P. (Eds.). **Local Food Plants of Brazil**. Springer, 2021.

NARAYANA, M.; ANGAMUTHU, M. Cowpea. IN: PRATAP, A.; GUPTA, S. (Eds.). **The Beans and the Peas: From Orphan to Mainstream Crops**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2021.

OKALEBO, J. R.; GATHUA, K. W.; WOOMER, P. L. **Laboratory methods of plant and soil analysis: a working manual**. Nairobi: Tropical Soil Biology and Fertility Programme, 1993. 88p.

OLSEN, S. R.; COLE, C. V.; WATANABLE, F. S.; DEAN, L. A. **Estimation of available phosphorous in soils by extraction with Sodium bicarbonate**. Washington: United State Department of Agriculture, 1954. 22p.

PASQUET, R. S. Estudo morfológico de cultivares de feijão-caupi *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Importância do número de óvulos e definição de cv gr Melanophthalmus. *Agronomie*, v. SOCIEDADE 5.0: EDUCAÇÃO, CIÊNCIA, TECNOLOGIA E AMOR. RECIFE. V COINTER PDVAgro 2020 OLIVEIRA, et al. [13] 18, p. 61-70, 1998. Disponível em: . Acesso em: 01 nov. 2020.

RAPOZO, B. M. S.; OLIVEIRA, M. R. C. Povo Xukuru do Ororubá: lutas, resistências e insurgências no espaço agrário pernambucano. **Revista de Geografia**, v.35, p.154-169, 2018.

SÁ, F. V. S.; SILVA, I. E.; FERREIRA NETO, M.; LIMA, Y. B.; PAIVA, E. P.; GHEYI, H. R. Phosphorus doses alter the ionic homeostasis of cowpea irrigated with saline water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.25, p.372-379, 2021.

SILVA, D. C. O.; ALVES, J. M. A.; ALBUQUERQUE, J. A. A.; LIMA, A. C. S.; VELOSO, M. E. S.; SILVA, L. S. Controle de insetos-praga do feijão-caupi na savana de Roraima. **Revista Agro@ambiente On-line**, v.5, p.212-219, 2011.

SILVA, R. G. G.; VASCONCELOS, I. M.; MARTINS, T. F.; VARELA, A. L. N.; SOUZA, P. F. N.; LOBO, A. K. M.; SILVA, F. D. A.; SILVEIRA, J. A. G.; OLIVEIRA, J. T. A. Drought increases cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) susceptibility to cowpea severe mosaic virus (CPSMV) at early stage of infection, *Plant Physiology et Biochemistry*, 2016.

SOUZA, S. M. S. Variabilidade morfoagronômica de variedades tradicionais de feijão-caupi do Acre. 2016, 69 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Acre. Rio Branco, 2016

TAVARES, D. S.; FERNANDES, T. E. K.; RITA, Y. L.; ROCHA, D. C.; SANT'ANNA-SANTOS, B. F.; GOMES, M. P. Germinative metabolism and seedling growth of cowpea (*Vigna unguiculata*) under salt and osmotic stress. **South African Journal of Botany**, v.139, p.399-408, 2021.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE(UFRN)**. Robô ajuda identificar plantas alimentícias não convencionais. Disponível em:

<https://ufrn.br/imprensa/noticias/46225/robo-ajuda-identificar-plantas-alimenticias-nao-convencionais>. Acesso em: 21 de Março de 2023.

VITAL, A. F. M.; SOUZA, T.; SILVA, L. J. R.; SANTOS, R. V.; SILVA, S. I. A.; NASCIMENTO, G. S.; SANTOS, D. Biomass production and macronutrient content in *Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown as affected by organic fertilization and irrigation. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.15, p.e8576, 2020.