



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

MARIA FERNANDA GUENES DA SILVA

**MODELAGEM E DESENVOLVIMENTO DE APLICAÇÃO TECNOLÓGICA
MOBILE PARA ESTIMATIVA NÃO-DESTRUTIVA DE ÁREA FOLIAR DE
FEIJÃO-CAUPI**

**SUMÉ - PB
2023**

MARIA FERNANDA GUENES DA SILVA

**MODELAGEM E DESENVOLVIMENTO DE APLICAÇÃO TECNOLÓGICA
MOBILE PARA ESTIMATIVA NÃO-DESTRUTIVA DE ÁREA FOLIAR DE
FEIJÃO-CAUPI**

Monografia apresentada ao Curso Superior 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 Tecnóloga em Agroecologia.

Orientador: Professor Dr. Rummenigge de Macêdo Rodrigues.

**SUMÉ - PB
2023**



S536m Silva, Maria Fernanda Guenes da.
Modelagem e desenvolvimento de aplicação tecnológica mobile para estimativa não-destrutiva de área foliar de feijão-caupi. / Maria Fernanda Guenes da Silva. - 2023.

41 f.

Orientador: Professor Dr. Rummenigge de Macêdo Rodrigues.

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

1. Feijão-caupi. 2. Desenvolvimento de aplicação mobile. 3. Agrotecnologia. 4. Agricultura digital. 5. Vigna unguiculata. 6. Modelos alométricos. 7. Inovação agrícola. 8. Modelagem alométrica. I. Rodrigues, José Rummenigge de Macedo. II Título.

CDU: 581.8(043.1)

Elaboração da Ficha Catalográfica:

Johnny Rodrigues Barbosa
Bibliotecário-Documentalista
CRB-15/626

MARIA FERNANDA GUENES DA SILVA

**MODELAGEM E DESENVOLVIMENTO DE APLICAÇÃO TECNOLÓGICA
MOBILE PARA ESTIMATIVA NÃO-DESTRUTIVA DE ÁREA FOLIAR DE
FEIJÃO-CAUPI**

Monografia apresentada ao Curso Superior 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 Tecnóloga em Agroecologia.

BANCA EXAMINADORA:

**Professor Dr. Rummenigge de Macêdo Rodrigues.
Orientador - UATEC/CDSA/UFCG**

**Professor Dr. Rener Luciano de Souza Ferraz.
Examinador Externo I - PPGCA/PRPGP/UEPB**

**Professor Dr. Ronierison de Souza Maciel.
Examinador Externo II - CIn/CCEN/UFPE**

**Professor Me. Miguel Avelino Barbosa Neto.
Examinador Externo III – CCA/UFPB**

Trabalho aprovado em: 01 de dezembro de 2023.

SUMÉ - PB

Dedico a Deus, por ter me guiado até aqui, por me dar forças e me sustentado nos dias mais difíceis.

A mim, por ter suportado todo o processo árduo e não ter desistido do sonho de ser formada numa graduação.

A minha mãe, Adenilda Guenes da Silva e ao meu pai, José Adilson da Silva, por ter estado ao meu lado nessa longa caminhada.

Ao meu tio e padrinho, Airon Cirilo Guenes (*in memoriam*), por ser exemplo de coragem e afeto.

A todos que fizeram parte desse processo.

“Tudo posso naquele que me fortalece.”

(Filipenses 4:13)

AGRADECIMENTOS

Expresso primeiramente toda minha gratidão ao ser digno de todo reconhecimento, Deus. Obrigada por me dar o dom da vida, por me amar incondicionalmente, escolher o melhor pra mim e me mostrar que posso ir além das adversidades contigo ao meu lado.

A minha mãe, Adenilda Guenes, és o ser mais precioso que eu tenho em minha vida, minha inspiração, a ela devo tudo o que eu fiz de bom até os dias de hoje, e também os dias que virão, sou muito grata por tudo, pela dedicação e limites impostos a mim que acabaram formando meus princípios e meu caráter. Agradeço imensamente por ter me educado e por ter feito todos os sacrifícios possíveis para me fazer chegar até aqui, sei que não foi fácil, mais sempre fomos fortes e tivemos fé, e por isso conseguimos.

Ao meu Pai, José Adilson, obrigada por ter acreditado, por me ajudar e principalmente confiado em mim, espero um dia poder retribuir tudo o que o senhor fez.

Ao meu irmão, José Matheus Guenes da Silva, que sempre esteve comigo.

Aos meus avós paternos, Manuel Benedito da Siva (*in memória*), Olindrina Gregória da Conceição, exemplo de humildade.

Aos meus avôs maternos, Iracema Cordeiro Guenes (*in memória*), Moacir Cirilo Guenes, obrigada por fazerem parte desse processo.

A toda minha família, tios, tias, primos e primas, agradeço por todo o incentivo e o apoio.

A minha Tia, Aldemira Guenes de Araújo, obrigada por sempre se fazer presente em todos os momentos da minha vida, ao seu esposo, Carlos Henrique de Araújo, obrigada pela amizade e consideração, as suas filhas, Maria Alice Guenes de Araújo, Maria Sofia Guenes de Araújo e Maria Cecília Guenes de Araújo, sou grata por poder fazer parte da criação de vocês desde o berço até os dias de hoje, afirmo com toda certeza, que toda essa fase de cuidado, disciplina, amor e carinho, me fez aprender e amadurecer, me tornando assim uma pessoa melhor. Sempre irei guardar vocês em meu coração.

A minha Tia, Aldinete Guenes Vieira, agradeço todo o carinho e admiração.

A minha Madrinha, Rosimere Cecília Silva Cirilo Guenes, pela qual tenho enorme carinho, respeito e admiração, é exemplo de força, coragem, superação e determinação, aos seus filhos e meus primos, Airon Cirilo Guenes Filho, Maria Cecília Silva Cirilo Guenes e Arthur Romero Silva Cirilo Guenes, pelas vivências, companheirismo e afeto.

A minha Tia, Nelita Guenes Lins e sua filha, Fernanda Cavalcante Lins, por todo o apoio e carinho.

A José Lucas Jácome de Moura, por estar sempre ao meu lado, ser meu refúgio em todos os momentos. Agradeço por todo apoio, amor, carinho e compreensão.

Agradeço a minha banca examinadora, ao Prof. Dr. Rener Luciano de Souza Ferraz, ao Prof. Dr. Ronierison de Souza Maciel e ao Prof. Me. Miguel Avelino Barbosa Neto, obrigada por se fazerem presente e dar contribuições que ajudarão na melhoria deste trabalho.

Aos amigos que fiz na cidade de Sumé-PB, todos aqueles que se tornaram família, me acolheram em suas casas e me deixaram viver um pouco de seu dia a dia, ganhei mãe, irmãs e irmãos, amigos de muito valor, gratidão a todos e gratidão a essa cidade que me proporcionou tanto crescimento pessoal e profissional.

A Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) - Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido (CDSA), meu eterno agradecimento a todos que fazem do centro acadêmico, agradeço imensamente a todos os meus professores, vocês que foram meus exemplos. Aos técnicos-administrativos e funcionários terceirizados.

Aos funcionários responsáveis pelo setor da área experimental, Durval, Edilson, Marlon, Paulo e Tácio, setor este onde pude construir amizades que guardarei em minha memória, agradeço por todo apoio durante a condução do experimento.

Ao Professor Dr. Rummenigge de Macêdo Rodrigues, por ter aceito o convite de ser meu orientador, obrigada pelo apoio e confiança.

Ao professor e orientador, Professor Dr. Luciano de Souza Ferraz, pelos grandes ensinamentos, pela dedicação, por todos os conselhos valiosos e por ter trilhado esse caminho junto comigo. Gratidão por todas as oportunidades que você pode me oferecer para o crescimento no decorrer da graduação e por nunca ter me deixado desistir. Ferraz é exemplo de força, determinação e profissionalismo.

A Guilherme Felix e Ibrahim Bonou por terem sido essenciais na obtenção dos dados do experimento e a todas as pessoas que fazem parte do EcoLab.

Ao Me. Miguel Avelino Barbosa Neto, pelos diálogos, afeto e companheirismo, além da importante função realizada em toda a execução e condução do experimento.

Aos meus amigos (as), Maria Islane e Maria Iasmim, por toda afetividade e apoio, a Júlia Nosbel, pela amizade e o carinho, a Luís Carlos, pela amizade, a Amaro Cassiano, pelo apoio.

Aos meus amigos e amigas de caminhada ao longo da graduação, a Rosana Araújo, Gabriel Azevedo, Deyvid Mendes, Joniedson Marcos, Jerônimo Santos, Marcelo Eduardo,

Ana Clara, Davi Jesus, Heloisa Dantas, Maicon Miguel, Armando Henrique, obrigada pela parceria, amizade e trocas de conhecimentos, a Dayane Silva, Paloma Silva, Douglas Henrique e Bianca Ferreira, pelo companheirismo e amizade.

Por fim, a cada pessoa que contribuiu na minha formação, muito obrigada.

“A natureza em seus caprichos e mistérios, condensa em pequenas coisas o poder de dirigir as grandes, nas sutis a potência de dominar as mais grosseiras, nas coisas simples a capacidade de reger as complexas”

(Ana Maria Primavesi)

RESUMO

O feijão-caupi é uma cultura de importância mundial, motivo pelo qual muitas variedades crioulas e cultivares melhoradas são exploradas. As folhas desses materiais genéticos possuem características intrínsecas que os distinguem. Assim, objetivou-se ajustar modelos de regressão linear e implementá-los em aplicações tecnológicas *mobile* para auxílio na estimativa não-destrutiva de área foliar de variedades crioulas e cultivares melhoradas de feijão-caupi. O cultivo foi realizado no Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande. Foram coletados folíolos de feijão-caupi, nos quais foram realizadas medidas de dimensões foliares e em seguida, ajustados modelos de regressão para estimativa não-destrutiva de área foliar. Foi realizada avaliação do desempenho e validação dos modelos. Com base nos resultados, recomenda-se a utilização dos modelos baseados no produto do comprimento e da largura para estimativa de área foliar da Paulistinha ($y = 0,6926x + 1,8475$ $R^2 = 0,9527$), BRS Novaera ($y = 0,6914x - 0,0977$ $R^2 = 0,9794$), BRS Pajeú ($y = 0,6752x - 0,0682$ $R^2 = 0,9852$), BRS Miranda ($y = 0,6688x - 0,2357$ $R^2 = 0,9622$), BRS Pujante ($y = 0,6624x + 0,642$ $R^2 = 0,9846$) e BRS Tapahium ($y = 0,6738x + 0,8833$ $R^2 = 0,9922$). Em que x representa o produto ($C * L$). Modelos alométricos podem ser usados com alto desempenho para estimativa não destrutiva de área foliar de variedade crioula e cultivares melhoradas de feijão-caupi a partir de medidas de dimensões lineares. A aplicação tecnológica *mobile* LAMA – *Leaf Area Measurement Assistant* (Assistente para medição de área foliar) é uma ferramenta eficiente e aplicável em situação de campo para estimativa não destrutiva da área foliar do feijão-caupi e poderá ser obtida gratuitamente para *download* na *Play Store* da Google (Após o registro).

Palavra-Chave: Agrotecnologia; *Vigna unguiculata*;; agricultura digital, modelos alométricos; inovação agrícola.

SILVA, Maria Fernanda Guenes da. **Modelagem e desenvolvimento de aplicação tecnológica *mobile* para estimativa não-destrutiva de área foliar de feijão-caupi**. 2023. 40p. Monografia (Graduação em Tecnologia em Agroecologia). Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Universidade Federal de Campina Grande – Campus de Sumé – Paraíba – Brazil, 2023.

ABSTRACT

Cowpea is a crop of global importance, which is why many landraces and improved cultivars are explored. The leaves of these genetic materials have intrinsic characteristics that distinguish them. Thus, the objective was to adjust linear regression models and implement them in mobile technological applications to assist in the non-destructive estimation of leaf area of landraces and improved cultivars of cowpea. The cultivation was carried out at the Semiarid Sustainable Development Center of the Federal University of Campina Grande. Cowpea leaflets were collected, on which leaf dimensions were measured and then regression models were adjusted for non-destructive estimation of leaf area. Performance evaluation and validation of the models were carried out. Based on the results, it is recommended to use models based on the product of length and width to estimate the leaf area of Paulistinha ($y = 0.6926x + 1.8475$ $R^2 = 0.9527$), BRS Novaera ($y = 0.6914x - 0.0977$ $R^2 = 0.9794$), BRS Pajeú ($y = 0.6752x - 0.0682$ $R^2 = 0.9852$), BRS Miranda ($y = 0.6688x - 0.2357$ $R^2 = 0.9622$), BRS Pujante ($y = 0.6624x + 0.642$ $R^2 = 0.9846$) and BRS Tapahium ($y = 0.6738x + 0.8833$ $R^2 = 0.9922$). Where x represents the product (C * L). Allometric models can be used with high performance for non-destructive estimation of leaf area of landraces and improved cowpea cultivars based on linear dimension measurements. The mobile technological application LAMA – Leaf Area Measurement Assistant is an efficient and applicable tool in the field for non-destructive estimation of cowpea leaf area and can be downloaded for free from the Play Store. Google (After registration).

Keywords: Agrotechnology; *Vigna unguiculata*; digital agriculture; allometric models; agricultural innovation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Localização da Fazenda Experimental do CDSA, com destaque para área onde foi realizado o cultivo.....	19
Figura 2 -	Terrotório Xukuru do Ororubá, de Pesqueira-PE.....	20
Figura 3 -	Variedade Paulistinha.....	20
Figura 4 -	Instituto Agrônômico de Pernambuco (IPA).....	21
Figura 5 -	BRS Novaera (A), BRS Pajeú (B), BRS Miranda (C), BRS Pujante (D), e BRS Tapahium (E).....	21
Figura 6 -	Coleta das amostras de solo em diferentes pontos de área (A e B).....	22
Figura 7 -	Modelo ilustrativo do delineamento experimental.....	23
Figura 8 -	Demarcação das parcelas para semeadura (A), utilização de piquetes para delimitar a área (B) e semeadura sendo realizada (C).....	23
Figura 9 -	Parafuso Micrométrico utilizado para medir o nível d'água no tanque classe A (A), tanque classe B (B) e orientações sobre como obter a evapotranspiração de referência (C).....	24
Figura 10 -	Montagem do sistema de irrigação: instalação do filtro para limpeza de impurezas presentes na água (A), instalação de colares de tomada e conectores aranha para distribuição de água (B), instalação das mangueiras para a irrigação (C), instalação das fitas gotejadoras (D), utilização de manômetros para regular e controlar a pressão do sistema (E), fitas de gotejo prontas para a irrigação (F) e sistema de irrigação funcionando (G).....	25
Figura 11 -	Manejo de plantas espontâneas (A) e aplicação do óleo de nem para o controle de insetos e pragas (B).....	26
Figura 12 -	Coleta foliar no campo (A), análise foliar em laboratório: separação das folhas (B) e escaneamento das folhas na impressora multifuncional Epson EcoTank L396 (C e D).....	27
Figura 13 -	Processamento das imagens para determinação das dimensões e da área real dos folíolos.....	27
Figura 14 -	Modelos de regressão linear ajustados entre as medidas alométricas de comprimento, largura e área foliar real, respectivamente, das folhas de feijão-caupi variedade Paulistinha (A, B e C), cultivar BRS Novaera (D, E e F) e cultivar BRS Pajeú (G, H e I).....	32
Figura 15 -	Modelos de regressão linear ajustados entre as medidas alométricas de comprimento, largura e área foliar real, respectivamente, das folhas de feijão-caupi cultivar BRS Miranda (A, B e C), cultivar BRS Pujante (D, E e F) e cultivar BRS Tapahium (G, H e I).....	33
Figura 16 -	Visualização prévia da interface gráfica do aplicativo LAMA que será utilizado para estimativa não-destrutiva de área foliar de <i>V. unguiculata</i> . Sumé, PB, 2023.....	35

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVOS.....	15
2.1	OBJETIVO GERAL.....	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
3.1	A CULTURA DO FEIJÃO-CAUPI.....	16
3.1.1	Aspectos Botânicos.....	16
3.1.2	Importância Socioeconômica.....	16
3.1.3	Modelagem e Aplicações <i>MOBILE</i> com feijão-caupi.....	17
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	19
4.1	LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	19
4.2	OBTENÇÃO DAS SEMENTES.....	19
4.3	ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DO SOLO.....	21
4.4	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	22
4.5	SEMEADURA.....	23
4.6	MANEJO DA IRRIGAÇÃO.....	23
4.7	CONTROLE DE PLANTAS INVASORAS, PRAGAS E DOENÇAS.....	25
4.8	COLETA DE FOLÍOLOS.....	26
4.9	DETERMINAÇÃO DE MEDIDAS ALOMÉTRICAS E ÁREA FOLIAR REAL.....	27
4.10	AJUSTE DE MODELOS ALOMÉTRICOS DE REGRESSÃO.....	28
4.11	AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE E VALIDAÇÃO DOS MODELOS.....	29
4.12	DESENVOLVIMENTO DE APLICAÇÃO <i>MOBILE</i>	30
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
6	CONCLUSÕES.....	36
	REFERÊNCIAS.....	37

1 INTRODUÇÃO

A demanda mundial por água, alimentos e energia é influenciada pelo aumento populacional, urbanização, desenvolvimento econômico, avanço tecnológico e mudanças climáticas (Ravar *et al.*, 2020; Jung *et al.*, 2021; Anjos *et al.*, 2022; Costa *et al.*, 2024). Nesta perspectiva, é importante destacar que o Brasil é um dos principais produtores e exportadores de alimentos do mundo, fato que tem intensificado a agricultura e acarretado aumento das mudanças climáticas e isso torna necessária a diversificação de culturas para produção de alimentos, com foco em espécies adaptadas aos agroecossistemas de cultivo e uso de tecnologia na agricultura (Ferraz *et al.*, 2020a, b; Melo *et al.*, 2022).

A cultura do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), também conhecido como feijão-de-corda ou macassar, tem grande importância no mundo, principalmente em regiões áridas e semiáridas onde a espécie constitui uma das principais fontes nutricionais. Por esse motivo, muitos genótipos, variedades, linhagens e cultivares são exploradas nos agroecossistemas (Martey *et al.*, 2021; Tavares *et al.*, 2021; Marinho *et al.*, 2021; Narayana & Angamuthu, 2021; Santos *et al.*, 2022). A espécie se destaca pela produção de grãos alimentícios este atributo não apenas proporciona maior rentabilidade ao produtor agrícola, mas também se revela como um fator determinante na melhoria substancial da qualidade de vida dos produtores (Gomes *et al.*, 2020). Sua produção, considerada baixa pode ser limitada em decorrência de estresses abióticos (Andrade *et al.*, 2020). A implementação de estratégias avançadas de melhoramento genético emerge como uma abordagem promissora para a engenharia de cultivares de feijão-caupi dotadas de maior tolerância aos diversos estresses ambientais, com melhorias no acúmulo de nutrientes, pigmentos, enzimas antioxidantes e aumento de produção, havendo necessidade de estudos para compreensão desses processos nos genótipos melhorados (Horn & Shimelis, 2020; Silva *et al.*, 2020).

Tendo em vista a existência de diversidade genética da espécie, considerando desde variedades crioulas, até cultivares melhoradas, pode-se inferir a ocorrência de diferenças marcantes nas características das folhas desses materiais. De fato, conforme observado no Catálogo de cultivares de feijão-caupi da Embrapa Meio Norte, as folhas possuem variações expressivas nos aspectos de cor, forma, tamanho, massa e área, características que lhes confere identidade (Embrapa, 2021). Por esse motivo, deve-se atentar para o fato de que os modelos de regressão para estimativa não-destrutiva de área foliar de feijão-caupi podem

apresentar significativas discrepâncias de resultados caso não sejam utilizados para a mesma variedade/cultivar para a qual foram desenvolvidos.

Com base no exposto, embora existam modelos para estimativa não-destrutiva de área foliar da espécie (Souza *et al.*, 2014; Oliveira *et al.*, 2015; Oliveira *et al.*, 2016), existe a necessidade de desenvolvimento de modelos específicos para os genótipos que ainda não os possuem, isso porque ao longo do tempo outras variedades passaram a ser exploradas e novas cultivares melhoradas foram lançadas no mercado.

Vários processos fisiológicos fundamentais, como fotossíntese e transpiração são influenciados pela morfologia foliar, de modo que a caracterização morfométrica das folhas e modelagem da área foliar são ferramentas importantes para estimativa de produtividade das culturas em agroecossistemas (Teobaldelli *et al.*, 2020a). Medições de comprimento e largura e o produto destas dimensões podem ser usados para estimativa da área foliar com métodos não-destrutivos (Teobaldelli *et al.*, 2020b). Para tanto, deve-se ajustar modelos matemáticos que permitem estimar o quociente entre a área real e o produto do comprimento pela largura. A partir desse quociente pode-se estimar a área de qualquer outra folha da espécie (Macário *et al.*, 2020).

Com base no exposto, salienta-se que, com o avanço tecnológico, a agricultura tem incorporado novas ferramentas baseadas em computação para diversas finalidades. Com isso, o setor agrícola passou a contar com o uso de aplicações *mobile* para otimizar processos que antes eram realizados de forma manual e que demandam muito recurso pessoal e tempo (Bosco *et al.*, 2021; Sales *et al.*, 2021; Aragão & Silva, 2022). Apesar da importância do feijão-caupi e da necessidade de ajuste de modelos para estimativa da área de suas folhas, ainda são escassos modelos específicos para muitos genótipos e inexistem aplicações *mobile* que utilizem esses modelos alométricos (aqueles já criados) para auxiliarem na obtenção de dados de área foliar da espécie.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Ajustar e validar modelos alométricos de regressão linear e implementá-los em aplicação tecnológica *mobile* para auxílio na estimativa não-destrutiva de área foliar de variedades crioulas e cultivares melhoradas de feijão-caupi.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar o cultivo de campo de variedade crioula e cultivares melhoradas de feijão-caupi promissoras para o Semiárido brasileiro.

Obter medidas alométricas de comprimento e largura e determinar a área real de folhas da variedade crioula e cultivares melhoradas de feijão-caupi.

Ajustar modelos de regressão linear entre as medidas alométricas e a área real das folhas da variedade crioula e cultivares melhoradas de feijão-caupi.

Avaliar a performance e validar os modelos para estimativa não-destrutiva de área foliar de variedade crioula e cultivares melhoradas de feijão-caupi.

Desenvolver uma aplicação *mobile* implementada com os modelos validados para auxílio na estimativa não-destrutiva de área foliar de variedade crioula e cultivares melhoradas de feijão-caupi.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A CULTURA DO FEIJÃO-CAUPI

3.1.1 Aspectos Botânicos

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma planta leguminosa com ampla distribuição mundial, cultivado principalmente nas regiões tropicais. De acordo com a classificação botânica, o feijão-caupi é uma planta Dicotyledonea, da ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae, tribo Phaseoleae, subtribo Phaseolineae, gênero *Vigna*, subgênero *Vigna*, seção Catyang, espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. e subespécie *unguiculata*, subdividida em quatro cultigrupos *Unguiculata*, *Sesquipedalis*, *Biflora* e *Textilis* (Freire Filho *et al.*, 2011; Gonçalves, 2020).

O feijão-caupi (*V. unguiculata*) possui um caule caracterizado pela haste principal de crescimento determinado ou indeterminado. O primeiro par de folhas é simples e oposta; as folhas secundárias são trifolioladas e opostas. É uma planta autocompatível, mas com uma pequena taxa de alogamia que pode ocorrer em até 30 m de distância.

Assim como as espécies do gênero *Phaseolus*, possui uma flor papilionada e completa. O cálice possui cinco sépalas; a corola é composta por cinco pétalas, sendo a mais externa e maior, o estandarte; lateralmente duas asas e duas pétalas fusionadas chamadas de quilha. As corolas e pétalas podem ser brancas, amarelas ou violetas. É composta por 10 estames, onde nove são ligados e o décimo é livre.

As flores se abrem nas primeiras horas da manhã, fechando-se por volta do meio-dia. O legume pode ser visto após 24 horas da antese floral; legume com 11-22 sementes. O tegumento pode ser liso ou rugoso. Germinação epígea. A espécie caracteriza-se por seus caules e folhas glabos, estípulas prolongadas e pétalas da quilha planas (Araújo *et al.*, 1984; Beyra & Artiles, 2004; Snak *et al.*, 2011; Suso *et al.*, 2015; Braga, 2020).

3.1.2 Importância Socioeconômica

No Nordeste o feijão-caupi representa uma das principais alternativas sociais e econômica, por suprir parte das necessidades alimentares e especificamente aos produtores de pequeno porte que se empenham à cultura (TÁVORA & DINIZ, 2016). Segundo a Campanha Nacional de Abastecimento (CONAB, 2020), o grão faz parte do hábito alimentar dos Nordestinos e isso impacta diretamente na expressiva destinação de área para o cultivo, em

comparação as demais regiões brasileiras. Na segunda safra, foram aproximadamente 691,8 mil hectares plantados com a cultura, representando mais de 81% da área nacional.

O feijão-caupi é responsável pela geração de empregos, contribuindo para melhorar a vida do homem no campo, e pelo seu valor nutritivo, tornou-se o alimento básico para as populações rurais e urbanas, de renda mais baixa, da região Nordeste (Frota *et al.*, 2000; Jales Filho *et al.*, 2023).

Além disso, em razão da sua ampla adaptabilidade às condições tropicais e ao baixo custo de produção, e em decorrência do intenso trabalho de melhoramento aplicado a cultura nos últimos 20 anos, hoje, o feijão-caupi é incorporado aos arranjos produtivos como safrinha após as culturas da soja e do arroz, e, em alguns locais, como cultura principal, o que vem acarretando rápida expansão de seu cultivo por produtores de médio e grande porte de outras regiões do país, como as regiões de Cerrado, deixando de ser uma cultura voltada apenas para pequenos agricultores familiares, principalmente nas regiões Norte e Nordeste (Zilli *et al.*, 2006; Freitas, 2020).

O Nordeste representa aproximadamente 63,3 % da produção nacional do feijão-caupi. A Paraíba tem representação de aproximadamente 4,1 % da produção nacional do feijão-caupi, sendo a produção na segunda safra (Conab, 2020; Gonçalves, 2020).

Essa leguminosa é produzida em quase todos os estados brasileiros, sob diferentes condições climáticas e do solo, épocas de semeadura (chuvosa, seca e inverno) e sistemas de cultivo, desde agricultura de subsistência, com baixo uso de tecnologia, até agricultura de alta tecnologia (Pereira *et al.*, 2017) e por isso, o Brasil está entre os maiores produtores mundiais do grão (Braga, 2020). Acrescente-se a isso que o feijão-caupi contribui no âmbito socioeconômico, também, devido ao fato de fixar nitrogênio da atmosfera e, conseqüentemente, reduzir os custos com fertilizantes sintéticos e conferindo aumento da renda e melhoria da qualidade de vida dos produtores (Castro-Guerrero *et al.*, 2016; Calles *et al.*, 2019., Wilker *et al.*, 2019).

3.1.3 Modelagem e Aplicações *mobile* com feijão-caupi

Atualmente, existem muitas variedades crioulas e cultivares melhoradas de feijão-caupi identificadas pelos agricultores familiares e lançadas pelos programas de melhoramento genético (Gomes *et al.*, 2021; Marinho *et al.*, 2021; Narayana & Angamuthu, 2021). Esses materiais são cultivados de forma experimental em diversos agroecossistemas e submetidos a variados sistemas de manejo, sobretudo para aumento de rendimento em condições de estresses bióticos e abióticos (Sá *et al.*, 2021; Toyinbo *et al.*, 2021; Melo *et al.*, 2022).

De fato, muitas pesquisas são desenvolvidas com feijão-caupi (Abdou, 2022; Santos et al., 2022; Srivastava & Sahoo, 2022), por exemplo, fazendo a descrição fenotípica (Gerrano et al., 2022), utilizando doses de fósforo para homeostase iônica sob estresse salino (Sá et al., 2021), avaliando respostas da cultura à fertilização orgânica e mineral (Sánchez-Navarro et al., 2021), respostas ecofisiológicas à deficiência hídrica (Ferreira et al., 2021), biofortificação agronômica de genótipos (Barbosa et al., 2021; Silva et al., 2021) e ajuste de modelos alométricos para estimativa não-destrutiva de área foliar (Souza et al., 2014; Oliveira et al., 2015; Oliveira et al., 2016). Contudo, o estado da arte não contempla um banco de modelos alométricos de regressão linear implementado em aplicações *mobile* para estimativa não-destrutiva de área foliar de variedades crioulas e cultivares melhoradas de feijão-caupi.

Com relação ao estado da técnica, embora existam modelos alométricos de regressão linear para estimativa não-destrutiva de área foliar de algumas variedades e cultivares de feijão-caupi, esses modelos não foram implementados em aplicações *mobile*. Ressalta-se, ainda, que para algumas variedades e cultivares esses modelos ainda não foram criados. Assim, conforme o que preconiza a Lei Nº 9.279, de 14 de maio de 1996, que regula direitos e obrigações relativos à propriedade industrial, o estado da técnica não é caracterizado para a propositura do desenvolvimento de uma aplicação *mobile* implementada com os novos modelos a serem criados para estimativa não-destrutiva de área foliar de feijão-caupi.

O não enquadramento deste trabalho no estado da técnica é justificado por não haver nenhum material gerado a partir desta pesquisa acessível ao público antes da data de depósito do pedido de registro, por descrição escrita ou oral, por uso ou qualquer outro meio, no Brasil ou no exterior, ressalvado o disposto nos arts. 12, 16 e 17. Ainda, há de se considerar que, conforme a Lei Nº 9.279 (Artigo 10), por se tratar de um programa de computador, a aplicação *mobile* gerada não se enquadra nos itens patenteáveis, de modo que será protegida junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI). Não foram encontradas patentes e nem registros utilizando “Aplicativo para estimativa de área foliar de feijão-caupi” ou “Application for estimating the leaf area of cowpea” no campo de busca avançada por título do banco de patentes Instituto Nacional da Propriedade Industrial e da Espacenet Patent search.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O cultivo dos genótipos 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 $7^{\circ} 40' 18''$ S; Longitude $36^{\circ} 52' 54''$ W e altitude de 518 m acima do nível do mar (Figura 5). 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).

Figura 1 - Localização da Fazenda Experimental do CDSA, com destaque para a área onde foi realizado o cultivo.

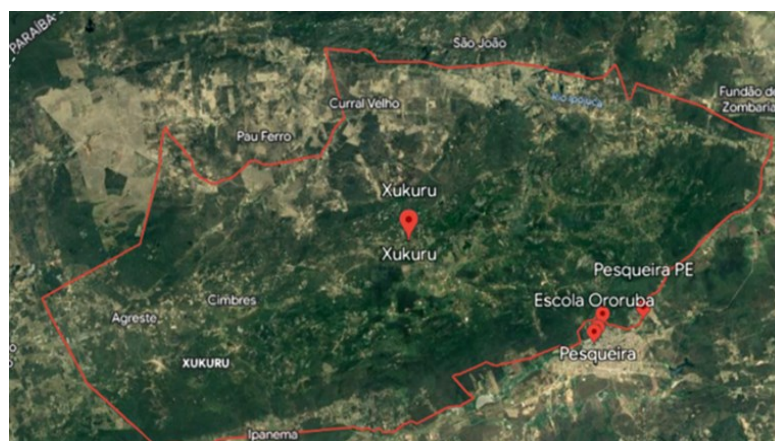


Fonte: Google Maps.

4.2 OBTENÇÃO DAS SEMENTES

As sementes da variedade crioula de feijão-caupi foram obtidas de um Banco de Sementes Comunitário do Território Indígena Xukuru do Ororubá, nas coordenadas de $8^{\circ}19'17.1''\text{S}$ $36^{\circ}45'58.7''\text{W}$, na cidade de Pesqueira-PE (Figura 2).

Figura 2 - Território Xukuru do Ororubá, de Pesqueira – PE.



Fonte: Google Earth.

Nesta localidade foram obtidas sementes da variedade crioula: VAR Paulistinha, colhidas na safra de 2021 e cedidas pelo Agricultor Adelson Xukuru (Figura 3).

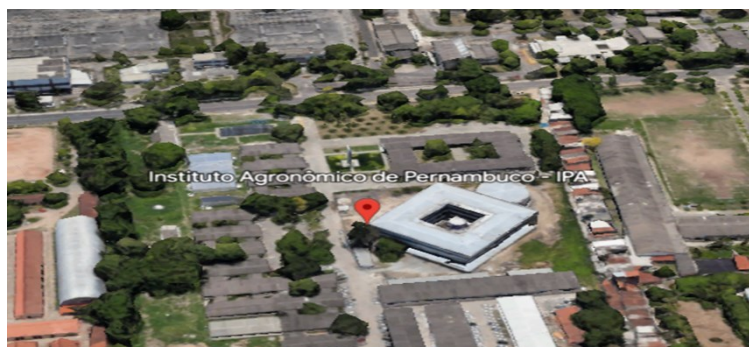
Figura 3 - Variedade Paulistinha.



Fonte: Acervo da equipe de pesquisa, Sumé, PB, 2023.

As sementes das cultivares melhoradas de feijão-caupi foram obtidas do banco de germoplasma do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), nas coordenadas de 8°03'48" S 34°55'31" W (Figura 4).

Figura 4 - Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA).



Fonte: Google Earth

Foram utilizados os genótipos da subclasse comercial branco rugoso (BRS Novaera), subclasse comercial cores – mulato (BRS Pajeú, BRS Miranda, BRS Pujante), subclasse comercial preto-brilhoso (BRS Tapahium) (Figura 5).

Figura 5 - BRS Novaera (A), BRS Pajeú (B), BRS Miranda (C), BRS Pujante (D) e BRS Tapahium (E).



Fonte: Acervo da equipe de pesquisa, Sumé, PB, 2023.

4.3 ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DO SOLO

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 (Figura 6).

Figura 6 - Coleta das amostras de solo em diferentes pontos da área (A e B).



Fonte: Acervo da equipe de pesquisa, Sumé, PB, 2023.

Foram coletadas dez amostras simples submetidas ao processo de homogeneização, obtendo-se ao final uma amostra composta. As amostras foram analisadas de acordo com os métodos do IITA (1979), de Black (1965), Olsen *et al.* (1954) e Okalebo *et al.* (1993).

Os resultados das amostras foram: pH em H₂O = 7,81; P = 3,28 mg g⁻¹; K = 0,68 mmol_c dm⁻³; Na = 0,38 mmol_c dm⁻³; Ca = 7,75 mmol_c dm⁻³; Mg = 5,85 mmol_c dm⁻³; Al = 0,0 mmol_c dm⁻³; H + Al = 0,0 mmol_c dm⁻³; T = 14,66 mmol_c dm⁻³; V = 33,33%; M.O. = 1,34%; CE (Extrato de saturação) = 0,70; areia = 68,12%; silte = 26,46%; argila = 5,42%; densidade do solo = 1,27 g cm⁻³; densidade de partículas = 2,69 g cm⁻³; porosidade = 52,79%; umidade natural = 0,40%; água disponível = 8,65% e classe textural = franco arenoso.

4.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

A variedade crioula e cada cultivar melhorada, foram cultivadas em quatro blocos inteiramente casualizados, cada um formado por três linhas de 1,0 m de comprimento, espaçadas de 0,4 m, com área do bloco de 4 m², área de 64 m² por variedade e área experimental total de 768 m² (Figura 7).

Figura 7 - Modelo ilustrativo do delineamento experimental.

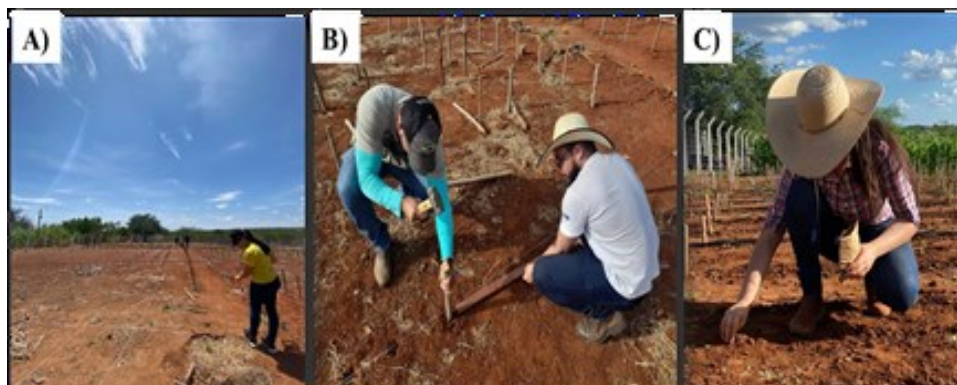


Fonte: Acervo da equipe de pesquisa, Sumé, PB, 2023.

4.5 SEMEADURA

A semeadura foi realizada no dia 12 de dezembro de 2022, utilizando-se de uma semente por cova, com espaçamento de 0,1 m e profundidade aproximada de 3 cm (Figura 8). Aos 15 dias após a emergência (DAE) das plântulas, foi realizado o desbaste, escolhendo-se as plântulas mais vigorosas e eliminando-se as demais. Após o desbaste, cada parcela foi composta por 15 plantas.

Figura 8 - Demarcação das parcelas para semeadura (A), utilização de piquetes para delimitar a área (B) e semeadura sendo realizada (C).



Fonte: Acervo da equipe de pesquisa, Sumé, PB, 2023.

4.6 MANEJO DA IRRIGAÇÃO

O manejo de irrigação foi realizado diariamente, conforme metodologia descrita por Lucena (2023). Para tanto tomou-se com base na evapotranspiração de referência (ET_o),

obtida por meio da evaporação do Tanque Classe A (ECA), instalado próximo da área experimental, e no coeficiente do tanque (K_p), conforme a equação (1).

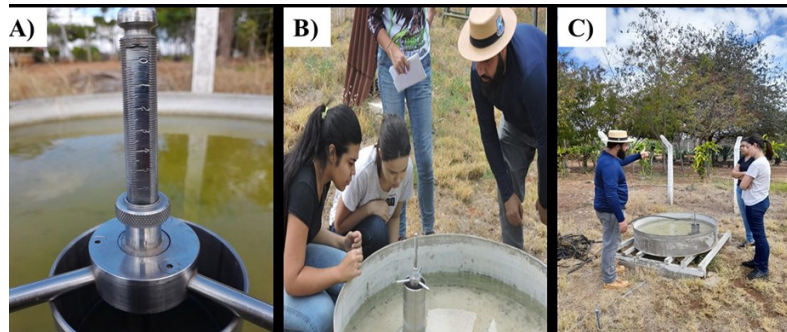
$$ET_o = K_p \times ECA \quad \text{Eq. (1)}$$

A evapotranspiração da cultura (ET_c) foi calculada com base na ET_o e no coeficiente da cultura (K_c) em cada estágio fenológico (MENDONÇA et al., 2015), conforme a equação (2).

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad \text{Eq. (2)}$$

A reposição da água perdida por evapotranspiração da cultura foi realizada através da lâmina bruta (LB , mm) no período (t_f-t_i), em dias, entre irrigações consecutivas, utilizando-se do K_c , coeficiente de localização da aplicação de água pelo emissor (KL), da precipitação pluvial ocorrida no período (Pe , mm), considerando-se eficiência de irrigação (E_f) de 85%, conforme a equação (3) (Figura 9).

Figura 9 - Parafuso Micrométrico utilizado para medir o nível d'água no tanque classe A (A), tanque classe A (B) e orientações sobre como obter a evapotranspiração de referência (C).

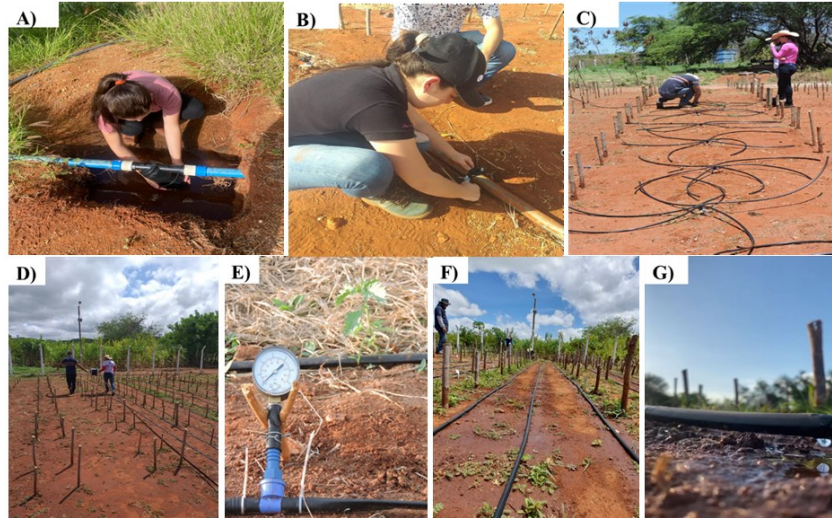


Fonte: Acervo da equipe de pesquisa, Sumé, PB, 2023.

$$LB = \frac{ET_o K_c KL - Pe}{E_f}; \text{ se } LB \leq 0; LB=0 \quad \text{Eq. (3)}$$

Foi utilizado o método de irrigação localizada, sendo a água aplicada através de um sistema de irrigação tipo gotejamento. O sistema foi constituído de um conjunto motobomba com potência de 1 CV, operando com pressão de 1 bar, monitorada com a utilização de manômetros. As linhas laterais foram constituídas de fitas gotejadoras com emissores espaçados a cada 0,1 m e vazão de $2,1 \text{ L h}^{-1}$. Para determinação do regime hídrico de 50% da ET_c , os valores de LB foram multiplicados pelo fator 0,50 (Figura 10).

Figura 10. Montagem do sistema de irrigação: instalação do filtro para a limpeza de impurezas presentes na água (A), instalação de colares de tomada e conectores aranha para distribuição de água (B), instalação das mangueiras para a irrigação (C), instalação das fitas gotejadoras (D), utilização de manômetros para regular e controlar a pressão do sistema (E), fitas de gotejo prontas para a irrigação (F) e sistema de irrigação funcionando (G).



Fonte: Acervo da equipe de pesquisa, Sumé, PB, 2023.

A intensidade de aplicação de água (I_a , mm h^{-1}) foi calculada utilizando-se do número de emissores por planta (n), da vazão do emissor (v , L h^{-1}) e da área ocupada pela planta (ec , m^2), utilizando-se da equação (4), proposta por Mantovani *et al.* (2006).

$$I_a = \frac{n \times v}{ec} \quad \text{Eq. (4)}$$

O tempo de irrigação diário (T_i) foi calculado com base na LB e I_a utilizando-se da equação (5), proposta por Mantovani *et al.* (2006).

$$T_i = \frac{LB}{I_a} \quad \text{Eq. (5)}$$

4.7 CONTROLE DE PLANTAS INVASORAS, PRAGAS E DOENÇAS

O controle de pragas e doenças foi realizado por intervenção química e natural, sempre que o nível de infestação e acometimento foi igual ao nível limiar de dano econômico. Para tanto, foram realizadas uma aplicação do inseticida Lannate (i.a. Metomil 215 g L^{-1}) na dose $0,5 \text{ L ha}^{-1}$, cinco aplicações do inseticida Decis (i.a. Deltametrina 25 g L^{-1}) na dose $0,2 \text{ L ha}^{-1}$, conforme recomendação do fabricante, e cinco aplicações de extrato aquoso de neem (*Azadirachta indica* A. Juss) na concentração de 10% (v/v), conforme recomendação de Silva

et al. (2011) para a cultura do feijão-caupi. Para fabricação do extrato de neem, foram utilizados 1 kg de folhas com sementes e 1 L de água, os quais foram processados em liquidificador industrial, em seguida coado, adicionado 0,5 L de detergente neutro e 3,5 L água, mantido em tonel de 5 L fechados hermeticamente para fermentação. Após 24h os toneis foram abertos e, posteriormente, fechados. Esse processo foi repetido até que não houvesse mais produção de gás dentro dos toneis. O manejo de plantas espontâneas aconteceu pelo método mecânico fazendo uso de enxadas e arranquio manual nas proximidades das plantas (Lucena, 2023) (Figura 11).

Figura 11 - Manejo de plantas espontâneas (A) e aplicação do óleo de neem para o controle de insetos praga (B).



Fonte: Acervo da equipe de pesquisa, Sumé, PB, 2023.

4.8 COLETA DE FOLÍOLOS

Folíolos da variedade crioula e das cultivares melhoradas de feijão-caupi foram coletados de plantas em fase vegetativa, aos 20, 34 e 55 dias após a semeadura (DAS). O material vegetal foi levado ao Laboratório de Fitossanidade – LAFISA/CDSA/UFCG, para análise foliar e separação, acondicionado em sacos plásticos e conduzido à sala 03 do Ambiente de Professores do CDSA/UFCG a qual foi mantida com temperatura de 20 °C. Em seguida as folhas foram escaneadas utilizando-se de um *scanner* multifuncional Epson® EcoTank L396 (Figura 12).

Figura 12 - Coleta foliar no campo (A), análise foliar em laboratório: separação das folhas (B) e escaneamento das folhas na impressora multifuncional Epson® EcoTank L396 (C e D).

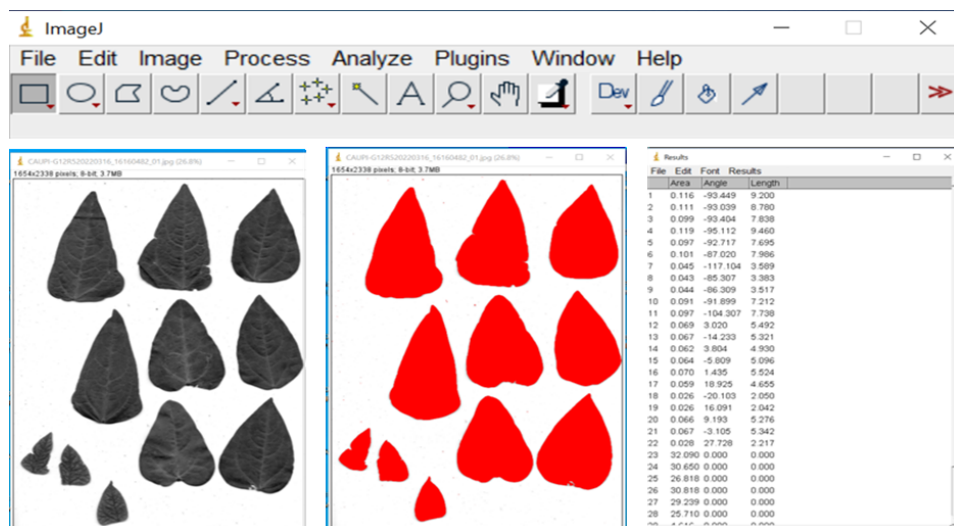


Fonte: Acervo da equipe de pesquisa, Sumé, PB, 2023.

4.9 DETERMINAÇÃO DE MEDIDAS ALOMÉTRICAS E ÁREA FOLIAR REAL

Os folíolos de feijão-caupi coletados foram caracterizados quanto às suas dimensões lineares comprimento (C) e largura (L). Em seguida a área real da superfície do limbo dos folíolos foi determinada utilizando-se do *software* ImageJ® (Figura 13). Com base nos dados de comprimento, largura e área, os folíolos foram classificados em pequenos, médios e grandes (Holguín *et al.*, 2019; Macário *et al.*, 2020).

Figura 13 - Processamento das imagens para determinação das dimensões e da área real dos folíolos.



Fonte: Acervo da equipe de pesquisa, Sumé, PB, 2023.

4.10 AJUSTE DE MODELOS ALOMÉTRICOS DE REGRESSÃO

Os dados de comprimento, largura e área foliar real (tamanho da amostra $n = 1.856$) foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk (SHAPIRO & WILK, 1965) e análises estatísticas descritivas. Para tanto, foram utilizados os *softwares* Microsoft Excel v. 2016 (Winston, 2016) e Sisvar 5.6 (Ferreira, 2014).

Das 1.856 amostras de folíolos, 1.536 foram utilizadas para ajustes de modelos e 320 foram utilizadas para validação. Para a variedade crioula Paulistinha foram utilizados 264 folíolos para ajuste e 70 para validação dos modelos. Para as cultivares melhoradas BRS Novaera, BRS Pajeú, BRS Pujante e BRS Tapahium, foram utilizados 250 folíolos para ajuste e 50 para validação dos modelos.

Para ajuste dos modelos de regressão linear (RL) entre as medidas alométricas de comprimento e largura de folíolos (variáveis independentes regressoras - X_i) e as medidas de área foliar real (variável dependente regredida - Y_i), inicialmente foi avaliado o grau de multicolinearidade entre as variáveis X_i . Para tanto, foi calculado o fator de inflação da variância (FIV) pelo método de Marquardt (1970), descrito por Wang *et al.* (2019), utilizando-se da Eq. 1, a saber:

$$\mathbf{FIV} = \frac{1}{1-r^2} \quad \mathbf{Eq. 1}$$

Em que r é coeficiente de correlação de Pearson entre as medidas das variáveis independentes regressoras - X_i .

Valor de FIV maior que 10 indica que as variáveis X_i possuem multicolinearidade e, portanto, devem ser desconsiderados para ajuste de modelos empíricos para prever teores de nutrientes, pigmentos e área foliar; se o valor FIV for menor que 10, a multicolinearidade entre X_i é insignificante, de modo que estas variáveis poderão ser mantidas no ajuste dos modelos.

Atendido os pressupostos de normalidade e de não haver multicolinearidade, foi modelada a relação entre as variáveis X_i e os valores de área foliar real, por meio dos modelos sugeridos por Macário *et al.* (2020), representados na Eq. 6, a saber:

$$\mathbf{Y_i = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \dots + \beta_nX_n + \epsilon} \quad \mathbf{Eq. 2}$$

Em que Y_i é a área foliar real a ser estimada, β_0 , β_1 , β_2 e β_n são parâmetros do modelo a serem estimados; e X_1 , X_2 e X_n são as variáveis independentes regressoras - X_i .

4.11 AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE E VALIDAÇÃO DOS MODELOS

Dados de 320 amostras de folíolos foram utilizados para avaliação do desempenho e validação dos modelos alométricos de regressão linear ajustados. Para tanto, valores de comprimento e largura de folíolos (variáveis independentes regressoras - X_i) foram utilizados nos modelos ajustados para estimativa de área foliar (variável dependente regredida - Y_i). Posteriormente, os valores de X_i reais foram submetidos às análises de regressão e de resíduos, sendo os valores de Y_i considerados variáveis dependentes e os valores de X_i reais considerados variáveis independentes.

O desempenho estatístico dos modelos ajustados foi avaliado com base na qualidade, medida pelo coeficiente de determinação ajustado “ $R^2_{ajustado}$ ”;

na precisão, medida pelo coeficiente de correlação de Pearson “ r ”; na exatidão, medida pelo índice de concordância de Willmott “ d ” e de confiança “ c ”; e na performance geral do modelo, medida pelo erro médio quadrático “RMSE”, sendo estas medidas estimadas utilizando-se das equações 3, 4, 5, 6, 7 e 8 (Toebe *et al.*, 2012; Toebe *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2019; Macário *et al.*, 2020), a saber:

$$R^2_{ajustado} = 1 - \left(\frac{N-1}{N-2} \right) \left(- \frac{(\sum_{i=1}^N (S_i - \bar{S}) M_i)^2}{\sum_{i=1}^N (S_i - \bar{S})^2 \sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})^2} \right) \quad \text{Eq. 3}$$

$$r = \frac{\sum S_i M_i - \frac{\sum S_i \sum M_i}{N}}{(N-1) S_{S_i} S_{M_i}} \quad \text{Eq. 4}$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (S_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|S_i| + |M_i|)^2} \right] \quad \text{Eq. 5}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S_i - M_i)^2} \quad \text{Eq. 6}$$

$$c = \left[\frac{\sum S_i M_i - \frac{\sum S_i \sum M_i}{N}}{(N-1) S_{S_i} S_{M_i}} \right] * \left\{ 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (S_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|S_i| + |M_i|)^2} \right] \right\} \quad \text{Eq. 7}$$

$$DP = (S_i - M_i) * \frac{100}{M_i} \quad \text{Eq. 8}$$

Em que S_i são os valores estimados pelos modelos, M_i são valores reais medidos e N é número de observações para todos os índices estatísticos.

4.12 DESENVOLVIMENTO DE APLICAÇÃO *MOBILE*

Após avaliação do desempenho e validação dos modelos de regressão, aqueles com melhor desempenho foram implementados em aplicativo (App) desenvolvido para smartphones operando em sistema operacional Android. O App foi desenvolvido utilizando-se de linguagem de programação visual (LPV) em blocos por meio da interface gráfica da plataforma MIT App Inventor. O *software* é uma aplicação de código aberto originalmente criada pela Google, e atualmente mantida pelo Massachusetts Institute of Technology – MIT (Mir & Lluca, 2020).

Com a LPV do MIT App Inventor foi realizada a manipulação de elementos gráficos ao invés de usar linhas de código de programação textual. Isso permitiu a programação em arranjos espaciais utilizando-se de componentes visuais, como blocos contendo expressões, texto e símbolos gráficos. Os componentes foram dimensionados e organizados para criação de interface gráfica ajustável à tela de smartphones. Posteriormente, os blocos de códigos foram conectados aos componentes da interface para executar os comandos do usuário no aplicativo instalado (Amer & Chouikhi, 2020).

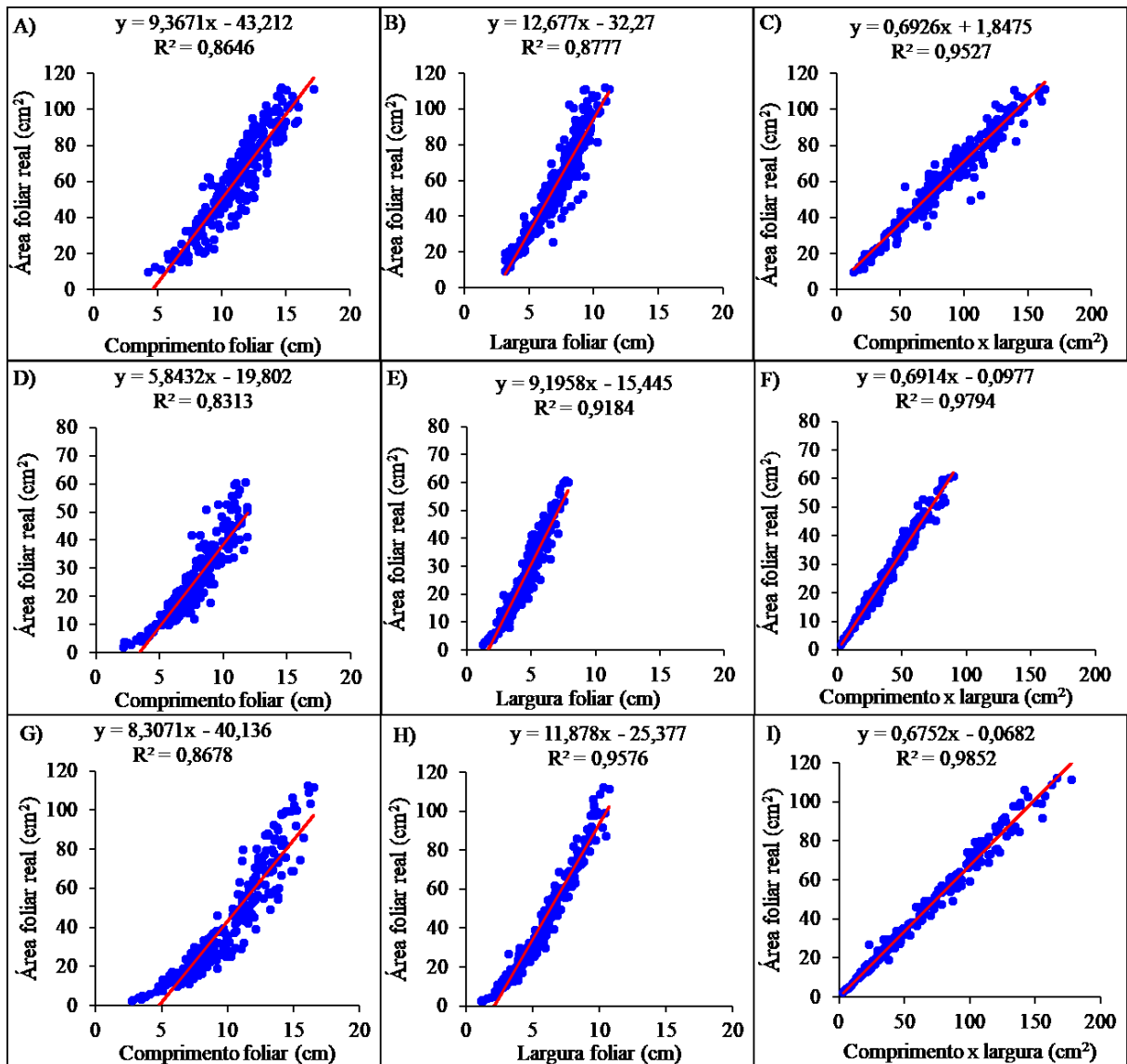
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a variedade crioula Paulistinha, observou-se que, para cada cm de incremento no comprimento do folíolo, há um aumento significativo de $9,37 \text{ cm}^2$ na área foliar real, e o comprimento do folíolo explica 86,46% da área foliar real (Figura 14 A). A largura do folíolo explica 87,77% da área foliar real, e cada centímetro de largura estima uma área de $12,68 \text{ cm}^2$ (Figura 14 B). O produto entre o comprimento e a largura do folíolo explica 95,27% da área foliar real, e para cada cm^2 do produto uma área de $0,69 \text{ cm}^2$ é estimada (Figura 14 C).

Já para a cultivar BRS Novaera, observou-se que, para cada cm de incremento no comprimento do folíolo, há um aumento significativo de $5,84 \text{ cm}^2$ na área foliar real, e o comprimento do folíolo explica 83,13% da área foliar real (Figura 14 D). A largura do folíolo explica 91,84% da área foliar real, e cada centímetro de largura estima uma área de $9,19 \text{ cm}^2$ (Figura 14 E). O produto entre o comprimento e a largura do folíolo explica 97,94% da área foliar real, e para cada cm^2 do produto uma área de $0,69 \text{ cm}^2$ é estimada (Figura 14 F).

Para a cultivar BRS Pajéu, observou-se que, para cada cm de incremento no comprimento do folíolo, há um aumento significativo de $8,30 \text{ cm}^2$ na área foliar real, e o comprimento do folíolo explica 86,78% da área foliar real (Figura 14 G). A largura do folíolo explica 95,76% da área foliar real, e cada centímetro de largura estima uma área de $11,87 \text{ cm}^2$ (Figura 14 H). O produto entre o comprimento e a largura do folíolo explica 98,52% da área foliar real, e para cada cm^2 do produto uma área de $0,67 \text{ cm}^2$ é estimada (Figura 14 I).

Figura 14 - Modelos de regressão linear ajustados entre as medidas alométricas de comprimento, largura e área foliar real, respectivamente, das folhas de feijão-caupi variedade Paulistinha (A, B e C), cultivar BRS Novaera (D, E e F) e cultivar BRS Pajeú (G, H e I).



Fonte: Elaboração dos próprios autores, Sumé, PB, 2023.

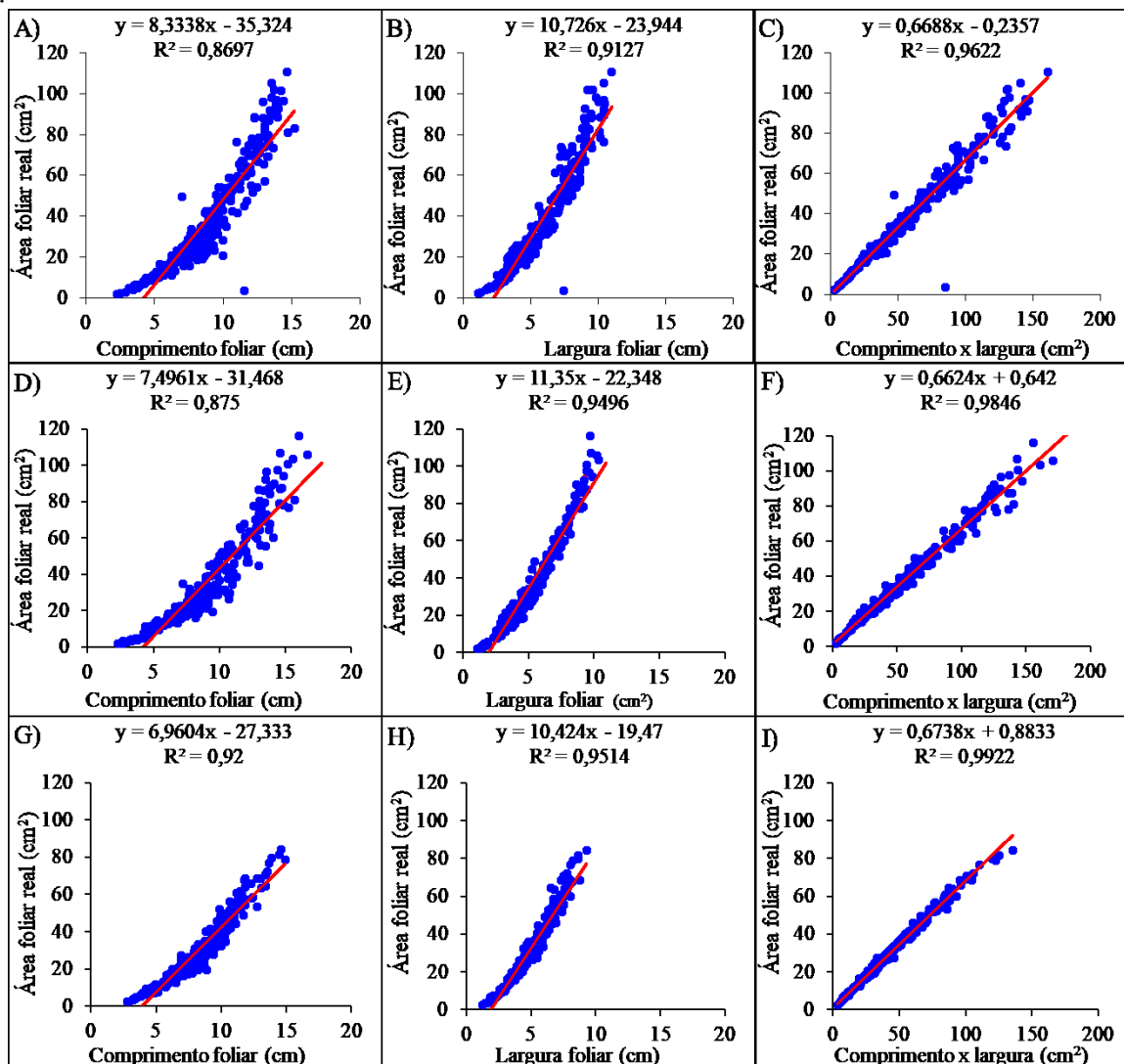
Para cultivar BRS Miranda, observou-se que, para cada cm de incremento no comprimento do folíolo, há um aumento significativo de 8,33 cm² na área foliar real, e o comprimento do folíolo explica 86,97% da área foliar real (Figura 15 A). A largura do folíolo explica 91,27% da área foliar real, e cada centímetro de largura estima uma área de 10,72 cm² (Figura 15 B). O produto entre o comprimento e a largura do folíolo explica 96,22% da área foliar real, e para cada cm² do produto uma área de 0,66 cm² é estimada (Figura 15 C).

Para a cultivar BRS Pujante observou-se que, para cada cm de incremento no comprimento do folíolo, há um aumento significativo de 7,49 cm² na área foliar real, e o comprimento do folíolo explica 87,5% da área foliar real (Figura 15 D). A largura do folíolo

explica 94,96% da área foliar real, e cada centímetro de largura estima uma área de $11,35 \text{ cm}^2$ (Figura 15 E). O produto entre o comprimento e a largura do fíoliolo explica 98,46% da área foliar real, e para cada cm^2 do produto uma área de $0,66 \text{ cm}^2$ é estimada (Figura 15 F).

Para a cultivar melhorada BRS Tapahium, observou-se que, para cada cm de incremento no comprimento do fíoliolo, há um aumento significativo de $6,96 \text{ cm}^2$ na área foliar real, e o comprimento do fíoliolo explica 92% da área foliar real (Figura 15 G). A largura do fíoliolo explica 95,14% da área foliar real, e cada centímetro de largura estima uma área de $10,42 \text{ cm}^2$ (Figura 15 H). O produto entre o comprimento e a largura do fíoliolo explica 99,22% da área foliar real, e para cada cm^2 do produto uma área de $0,67 \text{ cm}^2$ é estimada (Figura 15 I).

Figura 15 - Modelos de regressão linear ajustados entre as medidas alométricas de comprimento, largura e área foliar real, respectivamente, das folhas de feijão-caupi cultivar BRS Miranda (A, B e C), cultivar BRS Pujante (D, E e F) e cultivar BRS Tapahium (G, H e I).



Fonte: Elaboração dos próprios autores, Sumé, PB, 2023.

Após avaliação do desempenho dos modelos de regressão, aqueles com melhor desempenho foram implementados em aplicativo (App) desenvolvido para smartphones operando em sistema operacional Android. Denominado de LAMA – Leaf Area Measurement Assistant (Assistente para medição de área foliar), este App será utilizado para estimativa não-destrutiva da área do limbo foliar a partir das dimensões lineares comprimento (C) e largura (L) de folíolos de *V. unguiculata* (Figura 16).

Os resultados obtidos nesta pesquisa ratificam a literatura vigente sobre modelagem alométrica para estimativa não destrutiva de área foliar, isso porque, majoritariamente, a comunidade científica tem indicado o produto entre o comprimento e a largura do folíolo como a medida de maior capacidade preditiva e menor dispersão, devido ao maior coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado). De fato, diversos autores (Keramatlou *et al.*, 2015; Tondjoet *et al.*, 2015; Cai; Di; Jin, 2017; Liu *et al.*, 2017) que estudaram o ajuste de modelos de regressão para estimar a área foliar de espécies vegetais a partir de medidas de comprimento e largura foliar relataram que o produto entre comprimento e largura é o melhor estimador de área foliar.

Em complemento às informações anteriores, Macario *et al.* (2020) destacaram que aspectos como idade, matéria seca e histórico de vida da planta podem influenciar o desempenho dos modelos. Contudo, nesta pesquisa foram coletados folíolos de plantas de idades (20, 34 e 55 dias após a semeadura), tamanhos, massas e estado de sanidade diferentes, de modo que os modelos ajustados conseguem prever a área de folíolos pequenos, médios e grandes.

Em síntese, a área foliar é um importante parâmetro para o crescimento e desenvolvimento das plantas, geralmente determinado por métodos diretos e destrutivos (RIBEIRO *et al.*, 2023), motivo pelo qual esta pesquisa traz expressiva contribuição para o estado da arte quanto a disponibilidade de ferramenta útil para manejo do feijão-caupi no campo.

Figura 16 - Visualização prévia da interface gráfica do aplicativo LAMA que será utilizado para estimativa não-destrutiva de área foliar de *V. unguiculata*. Sumé, PB, 2023.



Fonte: Elaboração dos próprios autores, Sumé, PB, 2023.

O App está em processo de registro junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) e será disponibilizado de forma gratuita para *download* pelos usuários na *Google Play Store*. Na página do Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola da UFCG e do Programa de Pós Graduação em Ciências Agrárias da UEPB, instituições parceiras, serão disponibilizados materiais instrucionais sobre uso do aplicativo, bem como as publicações de atualizações das versões.

Com base no exposto, pode-se inferir que a modelagem alométrica e o desenvolvimento de aplicações *mobile* configura importante papel social, ambiental e econômico principalmente pela fixação de mão-de-obra qualificada no campo devido à atratividade que o uso de tecnologias possui entre pesquisadores consagrados e jovens cientistas, pela não destruição das plantas e pela redução de custos devido o acesso gratuito a partir dos projetos das instituições de pesquisa (Menezes Neto et al., 2021).

6 CONCLUSÕES

Modelos alométricos podem ser usados com alto desempenho para estimativa não destrutiva de área foliar de variedade crioula e cultivares melhoradas de feijão-caupi a partir de medidas de dimensões lineares.

Recomenda-se a utilização dos modelos baseados no produto do comprimento e da largura para estimativa de área foliar da Paulistinha ($y = 0,6926x + 1,8475$ $R^2 = 0,9527$), BRS Novaera ($y = 0,6914x - 0,0977$ $R^2 = 0,9794$), BRS Pajeú ($y = 0,6752x - 0,0682$ $R^2 = 0,9852$), BRS Miranda ($y = 0,6688x - 0,2357$ $R^2 = 0,9622$), BRS Pujante ($y = 0,6624x + 0,642$ $R^2 = 0,9846$) e BRS Tapahium ($y = 0,6738x + 0,8833$ $R^2 = 0,9922$). Em que x representa o produto (C * L).

A aplicação tecnológica *mobile* LAMA – *Leaf Area Measurement Assistant* (Assistente para medição de área foliar) é uma ferramenta eficiente e aplicável em situação de campo para estimativa não destrutiva da área foliar do feijão-caupi.

REFERÊNCIAS

- ABDOU, S. Evaluation of cowpea [*Vigna unguiculata* (L) Walp.] lines for high grain and fodder yields in the dry season of Niger republic. **Heliyon**, v. 8, p. e09147, 2022.
- AMER, B. M. A.; CHOUIKHI, H. Smartphone application using a visual programming language to compute drying/solar drying characteristics of agricultural products. **Sustainability**, v. 12, p. e8148, 2020.
- ANDRADE, W. L.; MELO, A. S.; MELO, Y. L.; SÁ, F. V. S.; ROCHA, M. M.; OLIVEIRA, A. P. S.; FERNANDES JÚNIOR, P. I. *Bradyrhizobium* inoculation plus foliar application of salicylic acid mitigates water deficit effects on cowpea. **Journal of Plant Growth Regulation**, 2020.
- ANJOS, F. A.; FERRAZ, R. L. S.; AZEVEDO, C. A. V.; COSTA, P. S.; MELO, A. S.; RAMALHO, V. R. R. A. R. Relationship between physiology and production of maize under different water replacements in the Brazilian semi-arid. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, p. 21-27, 2022.
- ARAGÃO, C. C. S.; SILVA, L. B. Aplicativo de pesquisa sobre moscas-das-frutas. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**, v. 3, p. e351301, 2022.
- BARBOSA, E. P. A.; SODRÉ, D. N.; BRAUN, H.; VIEIRA, R. F. Seeds enriched with molybdenum improve cowpea yield in sub-humid tropical regions of Brazil. *Agronomy Journal*, v. 113, p. 2044-2052, 2021.
- BOSCO, L. C.; STRECK, N. A.; UHLMANN, L. O.; SOUZA, A. G.; ROSSATO, O. B.; BONATTO, M. I.; SILVA, L. F.; BENEDETTI, R. P. Agricultura 4.0 aplicada à floricultura - PhenoGlad Mobile SC. **Agropecuária Catarinense**, v. 34, p. 12-15, 2021.
- 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.
- COSTA, P. S.; FERRAZ, R. L. S.; DANTAS-NETO, J.; MARTINS, V. D.; VIÉGAS, P. R. A.; MEIRA, K. S.; NDHLALA, A. R.; AZEVEDO, C. A. V.; MELO, A. S. Seed priming with light quality and *Cyperus rotundus* L. extract modulate the germination and initial growth of *Moringa oleifera* Lam. seedlings. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, p. e255836, 2024.
- DE FEIJÃO, GENÓTIPOS. 4.1 CAPÍTULO 2 CARACTERIZAÇÃO FENOLÓGICA E VIABILIDADE POLÍNICA DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO. **Caracterização morfoagronômica, fenológica e viabilidade polínica de genótipos de feijão**, p. 67, 2020.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Catálogo de cultivares de feijão-caupi**. Embrapa Meio-Norte, 2021. 23p.
- FERRAZ, R. L. S.; DANTAS NETO, J.; COSTA, P. S.; LIMA, A. S.; SILVA, P. F.; MATOS, R. M. Composição mineral da palma forrageira variedade baiana sob níveis de

reposição de água no solo. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 5, p. 319-328, 2020a.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, p. 109-112, 2014.

FERREIRA, D. P.; SOUSA, D. P.; NUNES, H. G. G. C.; PINTO, J. V. N.; FARIAS, V. D. S.; COSTA, D. L. P.; MOURA, V. B.; TEIXEIRA, E.; SOUSA, A. M. L.; PINHEIRO, H. A.; SOUZA, P. J. O. P. Cowpea Ecophysiological Responses to Accumulated Water Deficiency during the Reproductive Phase in Northeastern Pará, Brazil. **Horticulturae**, v. 7, p. 116, 2021.

FREITAS, S. Q. de. Caracterização agrônômica de acessos de feijão-caupi coletados em Municípios do Estado do Rio Grande do Norte. 2020.

GERRANO, A. S.; THUNGO, Z. G.; MAVENGAHAMA, S. Phenotypic description of elite cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) genotypes grown in drought-prone environments using agronomic traits. **Heliyon**, v. 8, p. e08855, 2022.

GOMES, A. M. F.; DRAPER, D.; NHANTUMBO, N.; MASSINGA, R.; RAMALHO, J. C.; MARQUES, I.; RIBEIRO-BARROS, A. I. Diversity of Cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] Landraces in Mozambique: New Opportunities for Crop Improvement and Future Breeding Programs. **Agronomy**, v. 11, p. 991, 2021.

GOMES, A. M. F.; RODRIGUES, A. P.; ANTÓNIO, C.; RODRIGUES, A. M.; LEITÃO, A. E.; BATISTA-SANTOS, P.; NHANTUMBO, N.; MASSINGA, R.; RIBEIRO-BARROSA, A. I.; RAMALHO, J. C. Drought response of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) landraces at leaf physiological and metabolite profile levels. **Environmental and Experimental Botany**, v. 175, p. e104060, 2020.

GONÇALVES, Samuel Brilhante et al. Avaliação de produtos alternativos no controle de pragas e doenças em feijão-caupi. 2020.

HOLGUÍN, V. A.; ORTIZ, S.; DÍAZ, G.; MORA-DELGADO, J. Estimation of leaf area of *Tithonia diversifolia* using allometric equations. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 22, p. 231-238, 2019.

HORN, L. N.; SHIMELIS, H. Production constraints and breeding approaches for cowpea improvement for drought prone agro-ecologies in Sub-Saharan Africa. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 65, p. 83-91, 2020.

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

JUNG, J.; MAEDA, M.; CHANG, A.; BHANDARI, M.; ASHAPURE, A.; LANDIVAR-BOWLES, J. The potential of remote sensing and artificial intelligence as tools to improve the resilience of agriculture production systems. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 70, p. 15-22, 2021.

JALES FILHO, R. C.; MELO, Y. L.; VIÉGAS, P. R. A.; OLIVEIRA, A. P. da S.; ALMEIDA NETO V. E. de.; FERRAZ, R. L. de S.; GHEYI, H. R.; CAROL, P.; LACERDA, C. F. de.; MELO, A. S. de. Ácido salicílico e prolina modulam tolerância ao estresse hídrico em variedade tradicional de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 27, n. 1, p. 18-25, jan. 2023. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/5xGxffYVGpKfdCcdJKdSDbd/?lang=en#>. Acesso em: 25 nov. 2023.

LUCENA, R. A. M. Prospecção de fenótipos de feijão-caupi resilientes à seca no Cariri Ocidental Paraibano. 2023. 32f. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia), Curso de Engenharia de Biosistemas, Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Universidade Federal de Campina Grande - Sumé - Paraíba - Brasil, 2023. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/29522>.

MACÁRIO, A. P. S.; FERRAZ, R. L. S.; COSTA, P. S.; BRITO NETO, J. F.; MELO, A. S.; DANTAS NETO, J. Allometric models for estimating *Moringa oleifera* leaflets area. **Ciência e Agrotecnologia**, Campina Grande, v. 44, p. e005220, 2020. jun. 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/4vJLXHfCbGNXrhyXrPdvtSS/?lang=en>. Acesso em: 20 nov. 2023.

MARINHO, J. T. S.; LESSA, L. S.; COSTA, C. R. Agronomic performance of cowpea genotypes in southwestern Brazilian Amazon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 56, p. e02046, 2021.

MARQUARDT, D. W. Generalized inverse, ridge regression and biased linear estimation. **Technometrics**, v. 12, p. 591-612, 1970.

MARTEY, E.; ETWIRE, P. M.; ADOGOBA, D. S.; TENGEY, T. K. Farmers' preferences for climate-smart cowpea varieties: implications for crop breeding programmes. **Climate and Development**, 2021.

MELO, A. S.; MELO, Y. L.; LACERDA, C. L.; VIÉGAS, P. R. A.; FERRAZ, R. L. S.; GHEYI, H. R. Water restriction in cowpea plants [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]: Metabolic changes and tolerance induction. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, p. 190-197, 2022.

MIR, S. B.; LLUECA, G. F. Introduction to programming using mobile phones and MIT App Inventor. **Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje**, v. 15, p. 192-201, 2020.

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

OLIVEIRA, R. L. L.; LIMA, L. G. S.; MOREIRA, A. R.; SOUZA, L. C.; COSTA, A. V. A.; SILVA, R. T. L. Modelos de determinação de área foliar em feijão caupi. **Nucleus**, v. 13, p. 25-40, 2016.

OLIVEIRA, R. L. L.; MOREIRA, A. R.; COSTA, A. V. A.; SOUZA, L. C.; LIMA, L. G. S.; SILVA, R. T. L. Modelos de determinação não destrutiva de área foliar de feijão caupi *Vigna unguiculata* (L.). **Global Science and Technology**, v. 8, p. 17-27, 2015.

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.

RAVAR, Z.; ZAHRAIE, B.; SHARIFINEJAD, A.; GOZINI, H.; JAFARI, S. System dynamics modeling for assessment of water–food–energy resources security and nexus in Gavkhuni basin in Iran. **Ecological Indicators**, v. 108, p. e105682, 2020.

RIBEIRO, J. E. da. S.; SILVA, A. G. C. da.; COELHO, E. dos. S.; LIMA, J. V. L.; BARROS JÚNIOR, A. P.; SILVEIRA, L. M. da. Um método não destrutivo para prever a área do folíolo de *Cassia fistula* L.: uma abordagem para modelos de regressão. **Revista Sul-Africana de Botânica**, Mossoró, v. 163, páginas 30-36, dez. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S025462992300618X>. Acesso em: 23 nov. 2023.

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.

SALES, G. A. S. G.; SILVA JÚNIOR, E. A.; CARDOSO, A. M. S. TheBug: software mobile para identificação de insetos. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, p. 5255-5264, 2021.

SÁNCHEZ-NAVARRO, V.; ZORNOZA, R.; FAZ, A.; FERNÁNDEZ, J. A. Cowpea Crop Response to Mineral and Organic Fertilization in SE Spain. **Processes**, v. 9, p. 822, 2021.

SANTOS, A. R.; MELO, Y. L.; OLIVEIRA, L. F.; CAVALCANTE, I. E.; FERRAZ, R. L. S.; SÁ, F. V. S.; LACERDA, C. F.; MELO, A. S. Exogenous silicon and proline modulate osmoprotection and antioxidant activity in cowpea under drought stress. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, 2022.

SILVA, V. M.; NARDELI, A. J.; MENDES, N. A. C.; ROCHA, M. M.; WILSON, L.; YOUNG, S. D.; BROADLEY, M. R.; WHITE, P. J.; REIS, A. R. Agronomic biofortification of cowpea with zinc: Variation in primary metabolism responses and grain nutritional quality among 29 diverse genotypes. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 162, p. 378-387, 2021.

SILVA, V. M.; TAVANTI, R. F. R.; GRATÃO, P. L.; ALCOCK, T. D.; REIS, A. R. Selenate and selenite affect photosynthetic pigments and ROS scavenging through distinct mechanisms in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) walp) plants. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 201, p. e110777, 2020.

SOUZA, L. C.; COSTA, A. V. A.; MOREIRA, A. R.; LIMA, L. G. S.; OLIVEIRA, R. L. L.; SILVA, R. T. L. Modelos matemáticos para estimativa de área foliar de feijão caupi cultivar sempre verde. In: Agroenergia: Matérias Primas, 8., 2014. **Anais [...]**, 2014. p. 1-6.

SRIVASTAVA, R.; SAHOO, L. Genome-wide analysis of cowpea NAC transcription factor family elucidating the genetic & molecular relationships that interface stress and growth regulatory signals. **Plant Gene**, v. 31, p. e100363, 2022.

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.

TEOBALDELLI, M.; BASILE, B.; GIUFFRIDA, F.; ROMANO, D.; TOSCANO, S.; LEONARDI, C.; RIVERA, C. M.; COLLA, G.; ROUPHAEL, Y. Analysis of cultivar-specific variability in size-related leaf traits and modeling of single leaf area in three medicinal and aromatic plants: *Ocimum basilicum* L., *Mentha* Spp., and *Salvia* Spp. **Plants**, v. 9, p. 1-21, 2020b.

TEOBALDELLI, M.; ROUPHAEL, Y.; GONNELLA, M.; BUTTARO, D.; RIVERA, C. M.; MUGANU, M.; COLLA, G.; BASILEA, B. Developing a fast and accurate model to estimate allometrically the total shoot leaf area in grapevines. **Scientia Horticulturae**, v. 259, p. e108794, 2020a.

TOEBE, M.; CARGNELUTTI FILHO, A.; LOOSE, L. H.; HELDWEIN, A. B.; ZANON, A. J. Área foliar de feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) de acordo com as dimensões foliares. **Semina Ciências Agrárias**, v. 33, p. 2491-2500, 2012.

TOEBE, M.; SOUZA, R. R.; MELLO, A. C.; MELO, P. J.; SEGATTO, A.; CASTANHA, A. C. Leaf area estimation of squash 'Brasileirinha' by leaf dimensions. **Ciência Rural**, v. 49, p. e20180932, 2019.

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.

WANG, Y.; JIN, G.; SHI, B.; LIU, Z. Empirical models for measuring the leaf area and leaf mass across growing periods in broadleaf species with two life histories. **Ecological Indicators**, v. 102, p. 289-301, 2019.

WINSTON, W. **Microsoft Excel data analysis and business modeling**. 5 Ed. Microsoft press, 2016. 864p.