



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

**DEYVID MENDES DOS SANTOS**

**MODELAGEM ALOMÉTRICA PARA ESTIMATIVA NÃO-DESTRUTIVA DE  
ÁREA FOLIAR DO FEIJÃO-CAUPI CULTIVAR BRS MIRANDA**

**SUMÉ – PB**

**2023**

**DEYVID MENDES DOS SANTOS**

**MODELAGEM ALOMÉTRICA PARA ESTIMATIVA NÃO-DESTRUTIVA DE  
ÁREA FOLIAR DO FEIJÃO-CAUPI CULTIVAR BRS MIRANDA**

**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  
Tecnólogo em Agroecologia.**

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

**SUMÉ – PB**

**2023**



S237m Santos, Deyvid Mendes dos.  
Modelagem alométrica para estimativa não-destrutiva de área foliar do feijão-caupi Cultivar BRS Miranda. / Deyvid Mendes dos Santos. - 2023.

36 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. Modelagem alométrica. 3. Foliolos. 4. Regressão linear. 5. Vigna unguiculata (L.). 6. Medição de área foliar. 7. Área foliar - feijão-caupi. 8. Cultivar BRS Miranda. I. Ferraz, Rener Luciano de Souza. II. Título.

CDU: 581.8(043.1)

**Elaboração da Ficha Catalográfica:**

Johnny Rodrigues Barbosa  
Bibliotecário-Documentalista  
CRB-15/626

**DEYVID MENDES DOS SANTOS**

**MODELAGEM ALOMÉTRICA PARA ESTIMATIVA NÃO-DESTRUTIVA DE  
ÁREA FOLIAR DO FEIJÃO-CAUPI CULTIVAR BRS MIRANDA**

**Trabalho de conclusão de curso,  
apresentado ao curso de Tecnologia em  
Agroecologia, do Centro de  
Desenvolvimento Sustentável do Semiárido  
da Universidade Federal de Campina  
Grande, como requisito parcial para a  
obtenção do título de tecnólogo em  
Agroecologia.**

**BANCA EXAMINADORA:**

---

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

---

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

---

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

---

**Professor Dr. Rummenigge de Macêdo Rodrigues  
Examinador III – UATEC/CDSA/UFCG**

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

**SUMÉ – PB  
2023**

A Deus por me proporcionar chegar até aqui. A minha família por todo apoio, carinho e incentivo. A todos que fizeram parte desse processo.

Dedico

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus pelo dom da vida e por me dar ânimo. Aos meus pais, Odair e Rosangila por toda paciência, conselhos, incentivo, e principalmente por me ajudarem nos momentos difíceis. Sou extremamente grato por tudo o que fizeram até chegar aqui.

Aos meus irmãos, Deyvison, Deyviane e Damares, pelas palavras de conforto, pelos momentos prazerosos e por sempre estarem ao meu lado.

Agradeço aos meus avós, Jovelino e Francisca, por todo incentivo, carinho e atenção.

Agradeço a minha namorada, Victoria Geovana, que durante esses últimos meses esteve sempre ao meu lado, me apoiando em toda e qualquer dificuldade.

Agradeço ao meu orientador, Professor Dr. Rener Luciano de Souza Ferraz, por todo apoio, incentivo e dedicação. Além de ser meu professor, é meu amigo. Agradeço pela paciência, pelas longas conversas e conhecimento repassado ao longo desse período. Ensinando-me nos caminhos a serem percorridos para além dessa fase. Também sou grato ao meu amigo e Professor. M.Sc Miguel Avelino, um ser humano de coração ímpar, onde em pouco tempo se esforçou pra me ajudar e se mostrou presente, me ajudando e aconselhando.

Agradeço de coração aos funcionários Paulo, Edilson, Durval que são responsáveis pelo setor da área experimental, setor estes onde pude construir amizades que irei sempre levar em minhas memórias.

Sou grato a referida Banca, por aceitarem meu convite junto ao meu orientador. A referida instituição, por ser um lugar de grandes desafios e oportunidades, lugar esse onde pude me desenvolver em todas as áreas da vida.

Aos meus amigos que fizeram parte da minha graduação, Armando, Jerônimo, Joniedson, Marcelo, Eduardo, Isabela, Ilton, Fernanda, Alícia, Rosana, pessoas que tive o privilégio de compartilhar muitos momentos. Sempre irei levar com carinho cada um.

E a todos que me ajudaram na realização e conclusão deste trabalho.

## RESUMO

Em razão da alta demanda de alimentos e recursos naturais, é necessário o cultivo de espécies com múltiplas utilidades, como o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.)). Embora o feijão-caupi tenha alta relevância para a mesa do brasileiro, modelos de regressão para estimativa de área foliar a partir de folíolos, notadamente, para a cultivar BRS Miranda, ainda não foram desenvolvidos. Assim, com o presente trabalho objetivou-se ajustar e validar modelos alométricos de regressão linear para estimativa não-destrutiva de área foliar do feijão-caupi cultivar BRS Miranda a partir de dimensões lineares de folíolos. Foram coletados 270 folíolos de *V. unguiculata*, nos quais foram realizadas medidas para determinação do comprimento (C), da largura (L) e do produto entre essas medidas (CL), posteriormente foi determinada a área real dos folíolos (AF) por processamento de imagens digitais utilizando-se do software ImageJ®. Os dados de C, L, CL e AF foram submetidos às análises estatísticas descritivas, seguindo-se da criação de classes de tamanhos dos folíolos e ajuste dos modelos. Os modelos alométricos podem ser usados com alto desempenho para estimar a área do folíolo do feijão-caupi cv. BRS Miranda como método não destrutivo a partir de medidas lineares do comprimento e largura do folíolo. A área foliar do feijão-caupi cv. BRS Miranda pode ser estimada pelo modelo  $AFE = - 0,236 + 0,669 \times CL$ , onde AFE é a área foliar estimada e CL é o produto entre comprimento e largura do folíolo.

**Palavras-chave:** *Vigna unguiculata* L., folíolos, regressão linear.

SANTOS, Deyvid Mendes dos. **Allometric modeling for non-destructive estimation of leaf area in cowpea cultivar brs miranda**. 2023. 36f. (Course Completion Work - Monograph), Curso Superior de Tecnologia em Agroecologia, Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Universidade Federal de Campina Grande, Sumé – Paraíba – Brasil, 2023.

## ABSTRACT

Due to the high demand for food and natural resources, it is necessary to cultivate species with multiple uses, such as cowpea (*Vigna unguiculata* (L.)). Although cowpea has high relevance for the Brazilian table, models of regression for estimating leaf area from leaflets, notably for the BRS Miranda cultivar, have not yet been developed. 270 leaflets of *V. unguiculata* were collected from cowpea cultivar BRS Miranda, from which measurements were taken to determine the length (L), width (W) and the product between these measurements (LW), later the real area of the leaflets (LA) was determined by digital image processing using the ImageJ® software. The data from L, W, LW and LA were submitted to descriptive statistical analysis, followed by the creation of leaflet size classes and adjustment of the models. Allometric models can be used with high performance to estimate the leaflet area of cowpea cv. BRS Miranda as a non-destructive method based on linear measurements of leaflet length and width. The leaf area of cowpea cv. BRS Miranda can be estimated using the model  $ELA = - 0.236 + 0.669 \times LW$ , where ELA is the estimated leaf area and LW is the product of leaflet length and width.

**KEYWORDS:** *Vigna unguiculata* L., leaflets, linear regression

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Localização da Fazenda Experimental do CDSA.....	18
<b>Figura 2</b> - Demarcação das parcelas na área experimental (A), Régua graduada para as demarcações na área (B).....	20
<b>Figura 3</b> - Experimento com o sistema de irrigação por gotejamento instalado .....	21
<b>Figura 4</b> - Cobertura morta instalada no experimento (A, B); Controle de plantas daninhas por meio do uso de enxadas (C e D).....	22
<b>Figura 5</b> – cv BRS Miranda digitalizada (A); Processamento dos folíolos através do ImageJ (B); Resultados dos parâmetros de Comprimento, Largura e Área com o auxílio do programa (C).....	23
<b>Figura 6</b> - Relação entre as dimensões lineares e área foliar. A) Comprimento (cm); B) Largura (cm) e C) Produto CL (cm <sup>2</sup> ).....	28

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Caracterização física do solo da área experimental.....	19
<b>Tabela 2</b> - Caracterização química do solo da área experimental .....	19
<b>Tabela 3</b> - Resumo da análise descritiva e estimativa de classes de tamanho a partir das dimensões lineares e área de folíolos do feijão-caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> L. Walp). cultivar BRS Miranda.....	26
<b>Tabela 4</b> - Coeficientes $\pm$ erros padrão, valor F calculado e coeficiente de determinação ajustado dos modelos de regressão entre a área observada dos folíolos e as dimensões lineares dos folíolos do Feijão-caupi ( <i>Vigna unguiculata</i> L. Walp.) cultivar BRS Miranda.....	27

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>13</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>14</b>
3.1 ORIGEM DO FEIJÃO-CAUPI E SUA IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA.....	14
3.2 CARACTERÍSTICAS BOTÂNICAS.....	15
3.3 IMPORTÂNCIA NUTRICIONAL.....	15
3.4 ESTIMATIVA DE ÁREA FOLIAR.....	15
3.5 MÉTODOS DE MEDIÇÃO DE ÁREA FOLIAR.....	16
3.6 ANÁLISE DE IMAGEM.....	17
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>18</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL .....	18
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO CULTIVO DE <i>Vigna unguiculata</i> (L.) .....	19
4.3 COLETAS DAS AMOSTRAS .....	22
4.4 ESTATÍSTICA DESCRITIVA E CLASSIFICAÇÃO DAS FOLHAS.....	23
4.5 AJUSTE DOS MODELOS DE REGRESSÃO PARA ESTIMATIVA DE ÁREA FOLIAR .....	24
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>26</b>
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>29</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>30</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi é uma leguminosa importante no contexto da segurança alimentar e das mudanças climáticas. É empregada na agricultura por ser tolerante a altas temperaturas e alta salinidade, possui a capacidade de reduzir a erosão do solo e fixar o nitrogênio na atmosfera (JAYAWARDHANE *et al.*, 2022). De acordo com Oliveira *et al.* (2023), é uma cultura que contribui para o desenvolvimento social e econômico em regiões áridas e semiáridas.

É possível cultivar essa espécie em diversos agroecossistemas, pois suas características incluem plasticidade fenotípica e ajustes ecofisiológicos para tolerar estresses abióticos, por exemplo, variação de temperatura entre 18° e 34 °C. Apesar de ser resistente em regiões de clima semiárido e ter um ciclo curto, quando submetida a estresses ambientais, como o déficit hídrico prolongado, pode haver ajustes fisiológicos e bioquímicos e isso refletir em perda de rendimento de grãos (QUEIROZ *et al.*, 2021).

O cultivo do feijão-caupi se concentra na região Norte (55.8 mil ha) e na região Nordeste (1,2 milhão ha), seus maiores produtores sendo os estados do Piauí, Ceará e Bahia (DUTRA *et al.*, 2015). Ademais, a cultura na região Nordeste merece destaque, pois, tem se constituído como uma fonte de emprego e renda para os agricultores (ALENCAR, 2019). De acordo com a Conab (2021), a cultura do feijão-caupi atingiu 1,307 milhão de hectares de área cultivada, sendo que o feijão-caupi produziu 712 mil toneladas do grão.

Os modelos alométricos para estimar a área foliar de *V. unguiculata*, sobretudo as novas cultivares melhoradas, e.g., cv. BRS Miranda, são escassos na literatura ou obsoletos. Sabendo disso, torna-se imperativo o desenvolvimento destes modelos, principalmente para a cv. supracitada, visando facilitar o uso da área foliar no monitoramento de processos relacionados à fisiologia, crescimento, estresses bióticos e abióticos e sua produção.

Diversos processos fisiológicos, tais como a fotossíntese e a transpiração são influenciados pela morfologia e área da folha, de modo que a caracterização morfométrica das folhas e a modelagem da área foliar são ferramentas importantes para estimativa de produtividade das culturas em agroecossistemas. Medições de comprimentos e largura e o produto destas dimensões podem ser usados para estimativa da área foliar com métodos não-destrutivos (TEOBALDELLI *et al.*, 2020). A estimativa da área foliar pode ser feita por diferentes métodos, que são classificados em destrutivo e não destrutivo.

Estimativas de área foliar e índice de área foliar por métodos não-destrutivos podem ser realizadas a partir de captura de imagens aéreas, utilizando-se de veículos aéreos não tripulados

equipados com sensores espectrais (HUSSAIN *et al.*, 2020). No entanto, estes métodos podem ser trabalhosos, demorados e ter custo bastante elevado (APOLO-APOLO *et al.*, 2020), justificando assim a criação e disponibilização de modelos que utilizam as dimensões lineares dos folíolos para estimativa de área, principalmente por sua facilidade, praticidade e rapidez para obtenção dos resultados.

Para a criação destes modelos é necessário coletar os folíolos completos das plantas (método destrutivo) para determinação da área destas estruturas por planimetria ou processamento de imagens. No entanto, após sua criação, os modelos poderão ser usados para determinação de área por método não-destrutivo (sem remoção de folhas ou folíolos), uma vez que as medidas lineares podem ser obtidas diretamente das folhas nas plantas (MACÁRIO *et al.*, 2020).

Depois de serem determinados o comprimento e a largura das folhas, deve-se ajustar uma regressão linear entre essas duas variáveis que permite estimar o quociente entre a área real e o produto do comprimento pela largura. A partir desse quociente, chamado de “fator de correção”, pode-se estimar a área de qualquer folha da espécie, a partir do produto de suas dimensões lineares (MACÁRIO *et al.*, 2020).

Diante disso, pode ser utilizado o *software* ImageJ<sup>®</sup> para fazer a determinação e delimitação de estimativa de comprimento, largura e área dos folíolos. O ImageJ<sup>®</sup> é um programa de processamento e análise de imagens de cada folíolo por meio de procedimentos de contraste de cores, calculando a área total real (HOLGUÍN *et al.*, 2019).

Objetivou-se com esta pesquisa caracterizar morfometricamente os folíolos de *V. unguiculata* e ajustar modelos de regressão linear para estimativa não-destrutiva de área foliar de *V. unguiculata* a partir de dimensões lineares de folíolos.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Ajustar modelos de regressão linear para estimativa não-destrutiva de área foliar de *Vigna unguiculata* (L.), cv. BRS Miranda, a partir de dimensões lineares de folíolos.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar em campo as dimensões lineares de folíolos de plantas de *Vigna unguiculata*, cv. BRS Miranda;

Determinar a área real de folhas completas de *Vigna unguiculata* (L.), aplicando o processamento de imagens digitais;

Ajustar modelos de regressão linear a partir de dados de dimensões lineares e área foliar real;

Validar modelos ajustados, utilizando-se por meio de desempenho estatístico, quanto à qualidade, à precisão, exatidão e à performance geral.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 ORIGEM DO FEIJÃO-CAUPI E SUA IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA

Na segunda metade do século XVI, a cultura do feijão-caupi foi introduzida no estado da Bahia por colonizadores portugueses. Há relatos que afirmam que por volta de 1568 já havia uma disseminação muito forte no Brasil (SOUSA *et al.*, 2019; OLIVEIRA *et al.*, 2021). O cultivo do caupi tem sua origem no continente africano, continente este que é um dos maiores produtores mundiais dessa cultura, é responsável por cerca de 96,4% da produção do planeta, tendo a Nigéria (2,6 milhões de toneladas) como o maior produtor mundial, seguida de Níger (2,3 milhões de toneladas) e Burkina Faso (630.965 toneladas) (FAO, 2018; SOUSA *et al.*, 2019; SOUSA, 2020; CNA/SENAR, 2020).

O feijão-caupi é um alimento básico em mais de 65 países e possui aptidão sobre a adaptabilidade e plasticidade em regiões tropicais e subtropicais (FREIRE FILHO, 2011; FREIRE FILHO *et al.*, 2017). De acordo com os dados da FAO (2018), a produção do feijão-caupi ao redor do mundo é estimada em 7,2 milhões de toneladas anualmente e tem uma área cultivada de 12,5 milhões de hectares. Segundo a CNA/SENAR (2020), o feijão-caupi é o segundo feijão mais cultivado no país, sendo que o consumo é feito na forma de grãos secos cozidos e também na forma de grãos verdes (no início da maturidade) cozidos (ROCHA *et al.*, 2009).

Conforme a SEAB (2018), a produção de feijão-caupi concentra-se nas regiões Nordeste (1,2 milhão de hectares) e Norte (55,8 mil hectares). Assim, segundo Filho e Costa (2020), o cultivo do feijão-caupi tornou-se uma fonte de economia e de trabalho formal, suprimindo uma cadeia produtiva que interessa tanto o agricultor familiar como grandes empreendimentos agrícolas, percorrendo por áreas de processamento, comércio atacado e varejo até o consumidor. Embora as comercializações do feijão-caupi se concentrem no mercado interno, sobretudo na região Nordeste do país, já se encontra uma crescente nos últimos anos sobre a exportação dessa cultura, recentemente a cultivar BRS Guariba foi exportada para países como Índia, Turquia, Canadá, Portugal, Israel e Egito, onde teve grande aceitação (SILVA *et al.*, 2016; FACCIOLI *et al.*, 2017).

### 3.2 CARACTERÍSTICAS BOTÂNICAS

O feijão-caupi é descrito botanicamente como uma planta Eudicotyledonea pertencente à família Fabaceae, gênero *Vigna*, espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (ALLANTOSPERMUM, 2016). Segundo Wang *et al.*, (2017), o caupi é uma leguminosa herbácea do tipo C3, autógama e anual. Seu hábito de crescimento é geralmente indeterminado, porte de planta ereto, semi ereto, semi prostrado ou prostrado.

### 3.3 IMPORTÂNCIA NUTRICIONAL

De acordo com pesquisas recentes, mais de um terço de todas as mortes infantis do mundo está relacionada à desnutrição. Em países em desenvolvimento, 54% das mortes de crianças estão associadas à desnutrição infantil. Segundo a FAO (2021), a prevalência de desnutrição (PoU) saltou de 8,0 para 9,3% de 2019 a 2020 e subiu em um ritmo mais lento em 2021 para 9,8%. Face ao exposto, o feijão-caupi tem sido promovido como um constituinte de proteína de alta qualidade da dieta diária, e tem como intuito reduzir a alta prevalência de desnutrição protéica e energética (JAYATHILAKE, *et al.*, 2018).

Ainda segundo o autor, em relação ao indicador nutricional, o feijão-caupi possui um teor relativamente baixo de gordura e alta concentração de proteína total. É considerado um alimento rico em nutrientes, onde o teor de proteína total é aproximadamente duas a quatro vezes maior do que as culturas de cereais e tubérculos. Ainda dispõem de outros componentes, como vitaminas do grupo B, fibras dietéticas solúveis e insolúveis, compostos fenólicos, minerais, aminoácidos e outros compostos funcionais. Com base nas características apresentadas, as sementes possuem proteínas com aproximadamente (17,33 - 18,29%), carboidratos com (64,86 - 68,31%), lipídios com (2,75%), cinzas com (2,07%) umidade com (12,41%) vitaminas e minerais (MARTINS *et al.*, 2016).

### 3.4 ESTIMATIVA DE ÁREA FOLIAR

A folha é o órgão fotossintético mais importante das plantas. (SHI *et al.*, 2019). Wales *et al.*, (2020), afirma que as folhas são importantes para o controle da fotossíntese, respiração, transpiração e outros atributos fisiológicos relacionados a diferentes processos ecossistêmicos.

Na fisiologia vegetal, a área foliar é utilizada para definir a produção primária das

plantas enquanto que na ecologia, as relações de área foliar podem ser utilizadas para explicar a competição intra e interespecífica das espécies.

Segundo Bosco *et al.* (2012); Silva (2020), a estimativa da área foliar baseada em medidas lineares do limbo foliar (comprimento e largura) pode ser realizada por meio de modelos estatísticos, que se constituem em alternativas usuais e não-destrutivas.

No tocante a esse tema, Fonseca e Condé (1994), confirmaram que a partir da estimativa da área foliar é possível chegar a algumas variáveis ecofisiológicas como índice de área foliar, taxa de crescimento foliar relativo, razão de área foliar, área foliar específica, dentre outros.

Assim, temos vários modelos para se fazer a medição de área foliar. Porém, são inadequados por serem destrutivos e por dependerem de aparelhos disponíveis somente em laboratórios, tornando assim de difícil acesso (LUCENA *et al.*, 2011)

Diante disso, na determinação da área foliar podem ser empregados métodos diretos ou indiretos (PANDEY; SING, 2011). Assim, muitos trabalhos vêm mostrando viabilidade de estimar a área foliar a partir de medidas lineares (AQUINO, 2011).

### 3.5 MÉTODOS DE MEDIÇÃO DE ÁREA FOLIAR

Para o modelo de agricultura de subsistência, a medição da área foliar torna-se inviável financeiramente, demorado e destrutivo, dependendo do método a ser utilizado. Assim, diante dos métodos que podem ser empregados na agricultura, os métodos diretos são destrutivos e requerem uso de equipamentos com custos elevados, tais como scanners ou planímetros (ZEIST *et al.*, 2014; TOEBE *et al.*, 2021).

Dentre os métodos não destrutivos (indiretos), destacam-se aqueles obtidos a partir das dimensões das barras foliares, onde apresentam facilidades de uso, baixo custo e podem fornecer estimativas precisas durante o ciclo da planta, pois reduzem a variabilidade associada a procedimentos de amostragem, visto que utilizam apenas medidas de fácil obtenção na planta, tais como comprimento e largura com a geração de modelos matemáticos que permitem a previsão da área foliar. Além disso, tem o potencial de realizar experimentos de fenotipagem de plantas em larga escala e alto rendimento (MALDANER *et al.*, 2009; SOUZA *et al.*, 2014; SILVA, 2020; HATI e SINGH, 2021).

Em concordância com Sousa (2021), os métodos indiretos não destrutivos mais conhecidos e utilizados de estimativa de área foliar, são os caracterizados por relações métricas entre fatores, como área foliar e medições lineares realizadas nas folhas ou folíolos.

### 3.6 ANÁLISE DE IMAGEM

Com o advento da tecnologia, a agricultura vem adotando novas ferramentas baseadas em computação para inúmeras utilidades. Sendo assim, o ramo agrícola passou a utilizar a aplicabilidade da inteligência artificial (IA) e aprendizagem de máquina para identificação e classificação de plantas a partir de suas características intrínsecas, fato este que a cada dia tem ganhado destaque pelo fato de se basear em análises não destrutivas de sementes e dos vegetais no campo (HATI e SINGH, 2021). Coincidentemente, Menezes Neto *et al.* (2021), afirma que na região Semiárida do Nordeste Brasileiro, a IA e o aprendizado de máquina já estão sendo aplicadas na identificação de plantas. Outrossim, sua utilidade tem sido aplicada para relacionar marcadores morfológicos, fisiológicos e moleculares às características a imagens digitais de plantas submetidas a estresses abióticos, para o reconhecimento e identificação de espécies e para a detecção de doenças em folhas de plantas (SOLTABAYEVA *et al.*, 2021; HATI e SINGH, 2021; SUJATHA *et al.*, 2021).

Diante disso, o ImageJ é um software de processamento de imagens, onde a mensuração das características é feita com base na contagem dos pixels na região selecionada, mediante a calibração com base em um objeto de dimensões conhecidas (FERREIRA, RASBAND, 2012; REGO, 2019). Holguín *et al.* (2019), ainda afirma que o ImageJ<sup>®</sup> é um programa de processamento e análise de imagens de cada folheto completo por meio de procedimentos de contraste de cores, calculando a área total real.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido no período de fevereiro à maio de 2022, na Fazenda 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°39'42.9"S; Longitude 36°53'41.8"W W e altitude de 518 m acima do nível do mar. 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



**Fonte:** Google Maps (2022)

A análise de solos foi executada de acordo com os métodos do IITA (1979), de Black (1965), Olsen *et al.* (1954) e Okalebo *et al.* (1993). Foram analisadas as seguintes propriedades: textura do solo, densidade do solo, reação do solo (pH), fósforo disponível, cátions trocáveis do solo (K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>), hidrogênio ativo (H<sup>+</sup>), capacidade de troca catiônica e carbono orgânico total.

**Tabela 1** - Caracterização física do solo da área experimental

Caracterização Física							
Areia	Silte	Argila	CT	DS	DP	UN	AD
				.....g cm <sup>3-1</sup> .....		.....%.....	
68,12	26,46	5,42	FA	1,27	2,69	0,40	8,65

CT: classificação textural; DS: densidade do solo; DP: densidade de partículas; UN: umidade natural; AD: água disponível; AF: Franco Arenoso.

**Tabela 2** - Caracterização química do solo da área experimental

Caracterização Química									
pH	MO	N	P	K	Ca	Mg	Na	H <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>
	.....%.....		mg 100 g <sup>-1</sup>		.....meq 100 g <sup>-1</sup> de solo.....				
7,75	1,34	0,08	3,28	0,68	7,75	5,85	0,38	0,00	0,00

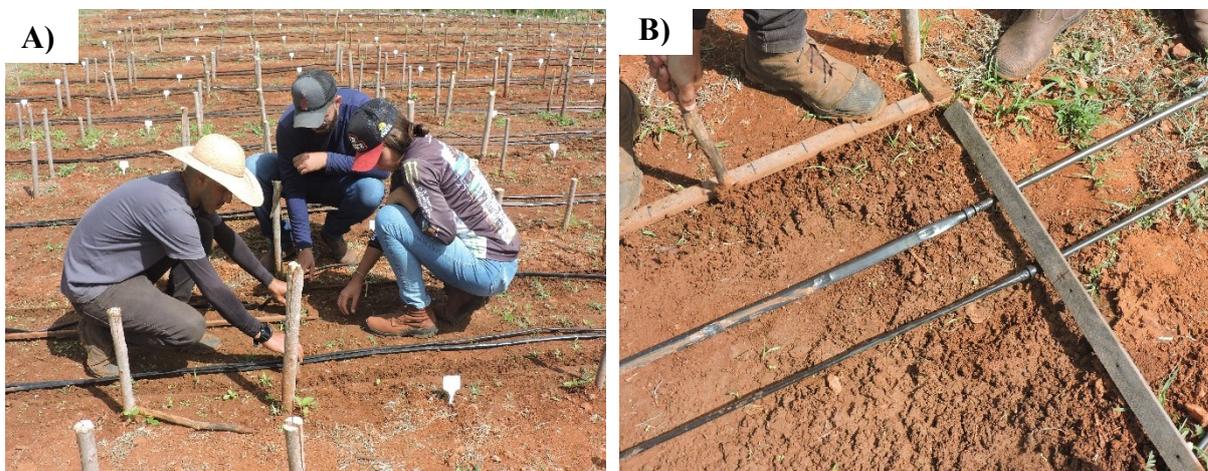
MO: matéria orgânica.

#### 4.2 CARACTERIZAÇÃO DO CULTIVO DE *Vigna unguiculata* (L.)

Foi utilizado no experimento o delineamento inteiramente casualizado, onde tivemos o sorteio dos 16 genótipos de feijão-caupi pra serem inseridos ao campo.

Em relação a sua demarcação, distribuição e semeadura, cada parcela foi 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, resultando em uma densidade de 12 plantas por metro quadrado. O solo da área experimental foi coletado para análises físicas e químicas e posteriormente a determinação de fertilidade e granulometria (Tabelas 1 e 2).

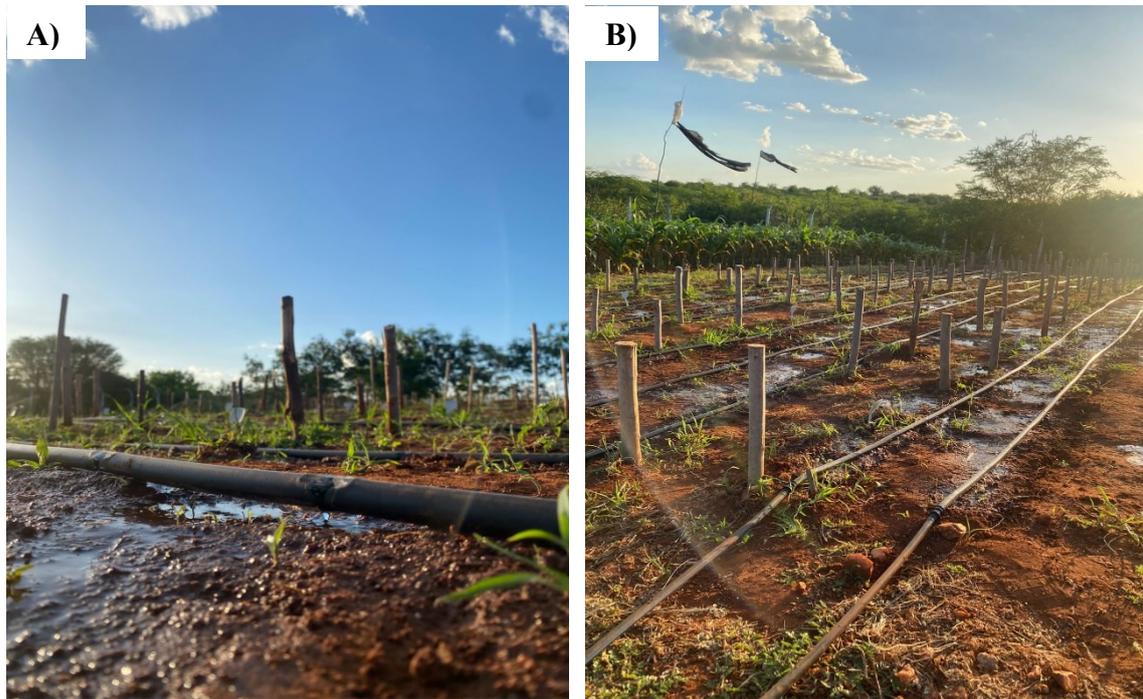
**Figura 2** - Demarcação das parcelas na área experimental (A), Réguas graduadas para as demarcações na área (B).



**Fonte:** Acervo da pesquisa (2023)

Foram utilizadas sementes de feijão-caupi da variedade BRS Miranda oriundas do banco de germoplasma da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Meio-Norte). A semeadura foi executada manualmente do lado direito e esquerdo respectivamente nos dias 24 e 25 de fevereiro de 2022. Sendo 60 sementes distribuídas por parcela, numa distância de 10 cm umas das outras. Quanto à irrigação, foi utilizado sistema de irrigação localizada do tipo gotejamento, o manejo de reposição da demanda hídrica foi realizado diariamente com base no monitoramento climático, pois nem sempre houve necessidade de irrigação devido a ocorrência de chuvas após a semeadura.

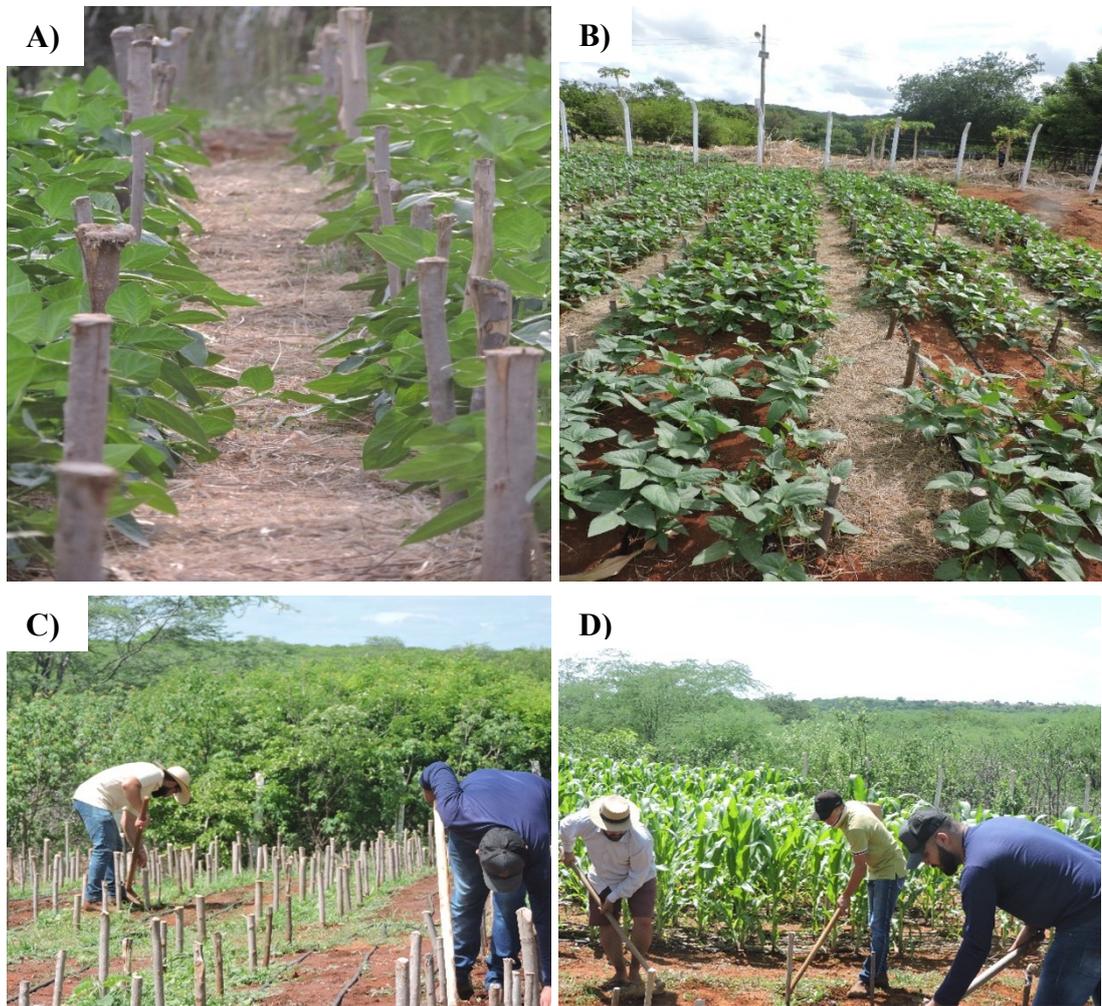
**Figura 3** - Experimento com o sistema de irrigação por gotejamento instalado



**Fonte:** Acervo da pesquisa (2023)

Destacou-se a importância de cobrir o solo com cobertura morta, para incentivar a ciclagem de nutrientes e matéria orgânica e proteger o solo das altas temperaturas causadas pelos raios solares. Utilizou-se como método de controle contra insetos e doenças presentes na cultura, a solução de *Trichoderma*, onde foi preparada na concentração de  $2,0 \times 10^9$  conídios viáveis por ml. Acerca do controle de plantas espontâneas, foi realizado de modo semanal por método mecânico utilizando-se de enxadas.

**Figura 4** - Cobertura morta instalada no experimento (A, B); Controle de plantas daninhas por meio do uso de enxadas (C e D)



**Fonte:** Acervo da pesquisa (2023)

### 4.3 COLETAS DAS AMOSTRAS

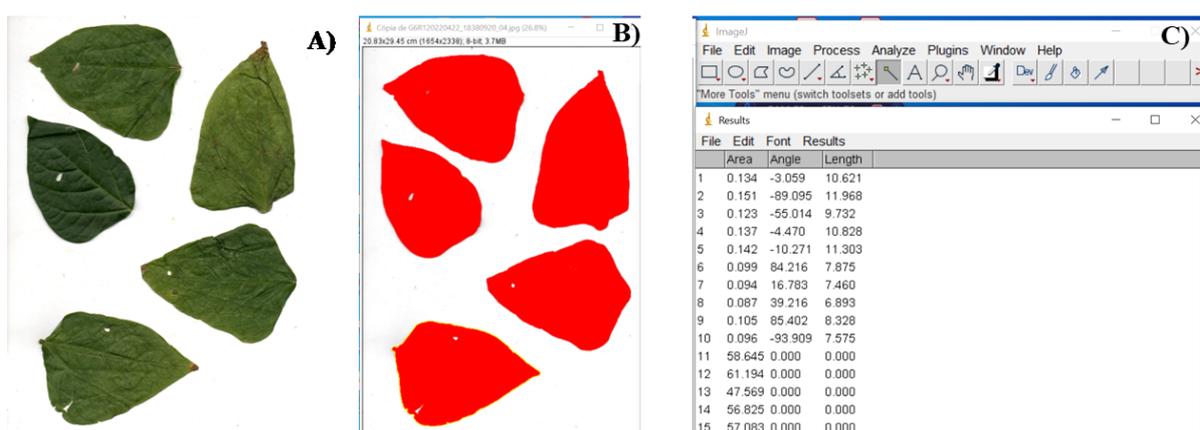
Foram utilizados 332 folíolos de *Vigna unguiculata* (L.), ocorrendo análises morfométricas no intervalo de 20 e 20 dias, retirando os dados a partir de uma amostra da parcela que representou a média de saúde de todas as outras, no intento de determinar os seguintes parâmetros: Comprimento do Ramo Principal (CRP, cm), Número de Folíolos por planta (NFO, und.), Matéria Fresca dos Folíolos (MFF, g), Matéria Fresca do Ramo Principal (MFR, g), Matéria Seca dos Folíolos (MSF, g), Matéria Seca do Ramo Principal (MFR, g). Mediu-se a largura do folíolo considerando a maior distância no sentido perpendicular ao comprimento do folíolo, já o comprimento foi considerado a distância entre a base distal do

pecíolo e a extremidade do terminal.

Para a pesagem foi utilizada uma balança de precisão. Posteriormente o material já separado e pesado foi colocado em sacos de papel, onde o material foi seco em Estufa de Circulação a 60°C entre 48 a 72 horas, e passou pelo processo de pesagem novamente.

Após a coleta das medidas morfométricas, os folíolos foram dispostos em superfície contrastante de coloração branca e escaneados utilizando-se de impresso multifuncional Epson® EcoTank L396, utilizando-se de uma régua graduada em milímetros como referência de medida de imagem. As medidas de área foliar real foram determinadas com o auxílio do software ImageJ®.

**Figura 5** – cv. BRS Miranda digitalizada (A); Processamento dos folíolos através do ImageJ (B); Resultados dos parâmetros de Comprimento, Largura e Área com o auxílio do programa (C)



**Fonte:** Acervo da pesquisa (2023)

#### 4.4 ESTATÍSTICA DESCRITIVA E CLASSIFICAÇÃO DAS FOLHAS

Os dados tabulados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk (SHAPIRO & WILK, 1965), em seguida foram calculadas a média aritmética amostral, desvio padrão amostral e valor máximo. Em seguida, os folíolos foram classificados, de acordo com o comprimento, a largura e a área foliar (em classes pequenas, médias e grandes). Onde as classes pequena e grande foram baseadas no primeiro e terceiro quartis da curva de distribuição normal de frequências de comprimento, largura e área foliar. Os folíolos do qual medidas de

comprimento, largura e área que forem equidistantes entre grandes e pequenas são consideradas como médias (SOUZA *et al.*, 2019). Com esse intento, utilizou-se os softwares Microsoft Excel v. 2016 (WINSTON, 2016) e Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2014).

#### 4.5 AJUSTE DOS MODELOS DE REGRESSÃO PARA ESTIMATIVA DE ÁREA FOLIAR

A fim de diminuir perdas de precisão nas estimativas dos coeficientes de regressão, antecedentemente do ajuste de modelos alométricos entre a área foliar observada e as medidas de comprimento e largura dos folíolos, foi avaliado o grau de multicolinearidade entre as medidas de C e L e contagem de F. Para tanto, foi calculado o fator de inflação da variância (FIV) a partir do método de Marquadt (1970), descrito por Wang *et al.*, (2019), utilizando-se a equação 1.

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

Na qual:

FIV - fator de inflação da variância; e,

r - coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis regressoras C, L e F.

Põe-se em evidência que, se o valor de FIV for maior que 10, isso evidencia que C, L e F possuem multicolinearidade e por essa razão devem ser desconsiderados para ajuste de modelos empíricos para predizer área foliar; caso o valor de FIV for menor que 10, a multicolinearidade entre C, L e F é insignificante, de modo que as medidas dos folíolos podem ser mantidas no ajuste de modelos.

Assumindo que não houve multicolinearidade, foi modelada a relação entre a área foliar com as dimensões lineares de comprimento (C, cm) e largura (L, cm) e número de folíolos (F, unidades por folha) ou o produto entre as variáveis (CL, cm<sup>2</sup>), através dos modelos descritos nas equações 2, 3, e 4.

$$AF = \beta_0 + \beta_1 \times C \quad \text{Eq. 2}$$

$$AF = \beta_0 + \beta_1 \times L \quad \text{Eq. 3}$$

$$AF = \beta_0 + \beta_1 \times CL \quad \text{Eq. 4}$$

No qual:

AF - área foliar observada e representa a variável dependente;

$\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  - parâmetros a serem estimados;

C - variável independente comprimento;

L - variável independente largura;

CL - variável independente representada pelo produto do C pela L da folha;

(MORGADO et al., 2013).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base no resumo das análises descritivas (Tabela 1), verificou-se que os folíolos de feijão-caupi cv. BRS Miranda possuem comprimento médio de  $8,90 \pm 2,94$  cm, com valores variando de 2,27 cm a 15,22 cm e coeficiente de variação percentual de 33,04, de modo que folíolos com comprimento menor ou igual a 6,59 cm são considerados pequenos, aqueles com comprimento maior que 6,59 cm e menor ou igual a 10,90 cm são médios e aqueles com comprimento maior que 10,90 cm são grandes.

**Tabela 3** - Resumo da análise descritiva e estimativa de classes de tamanho a partir das dimensões lineares e área de folíolos do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp). cultivar BRS Miranda.

Parâmetros	Dimensões lineares e área dos folíolos utilizados para ajuste dos modelos			
	Comprimento (cm)	Largura (cm)	CL (cm <sup>2</sup> )	Área (cm <sup>2</sup> )
Média	8,90	5,85	58,38	38,81
Desvio padrão	2,94	2,34	38,52	26,27
Mínimo	2,27	1,12	2,58	1,92
Máximo	15,22	10,98	161,22	110,51
Coefficiente de variação (%)	33,04	39,99	65,99	67,68
Estimativa de classes	Intervalo de classes			
Classe de folíolos pequenos	$\leq 6,59$	$\leq 4,40$	$\leq 42,24$	$\leq 38,12$
Classe de folíolos médios	$> 6,59 \leq 10,90$	$> 4,40 \leq 7,69$	$> 42,24 \leq 81,90$	$> 38,12 \leq 74,32$
Classe de folíolos grandes	$> 10,90$	$> 7,69$	$> 81,90$	$> 74,32$

CL: Produto do comprimento pela largura;

A largura média dos folíolos foi de  $5,85 \pm 2,34$  cm, variando de 1,12 a 10,98 cm, com coeficiente de variação percentual de 39,99, sendo considerados pequenos folíolos com largura menor ou igual a 4,40 cm, aqueles com largura maior que 4,40 cm e menores ou iguais a 7,69 cm foram considerados médios e aqueles com largura maior que 7,69 cm foram considerados grandes (Tabela 1).

Quanto à área dos folíolos, verificou-se que os folíolos mostraram uma área média de  $38,81 \pm 26,27$  cm<sup>2</sup>, com valores variando de 1,98 cm<sup>2</sup> a 110,51 cm<sup>2</sup>, com coeficiente de variação percentual de 67,68. Folíolos com área menor ou igual a 38,12 cm<sup>2</sup> foram classificados como

pequenos, aqueles com área maior que 38,12 cm<sup>2</sup> e menor ou igual a 74,32 cm<sup>2</sup> foram classificados como médios e aqueles com área maior que 74,32 cm<sup>2</sup> foram classificados como considerado grande (Tabela 1).

Os resultados das análises e ajustes dos modelos de regressão da área observada do folíolo e das dimensões lineares do feijão-caupi cv. BRS Miranda são apresentados na tabela 2. Todos os modelos ajustados tiveram um alto coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$  ajustado  $\geq 0,896$ ), o que indica que o comprimento e a largura dos folíolos fornecem uma estimativa satisfatória da área folíolo desta espécie.

**Tabela 4** - Coeficientes  $\pm$  erros padrão, valor F calculado e coeficiente de determinação ajustado dos modelos de regressão entre a área observada dos folíolos e as dimensões lineares dos folíolos do Feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) cultivar BRS Miranda.

Modelos	Coeficientes e estatísticas dos modelos			
	$\beta_0$	$\beta_1$	F <sub>calculado</sub>	R <sup>2</sup> <sub>Ajustado</sub>
AFE = $\beta_0 + \beta_1 \times C$	-35,324 $\pm$ 1,842	8,334 $\pm$ 0,197**	1795,706	0,869
AFE = $\beta_0 + \beta_1 \times L$	-23,944 $\pm$ 1,274	10,726 $\pm$ 0,202**	2813,253	0,912
AFE = $\beta_0 + \beta_1 \times CL$	-0,236 $\pm$ 0,565	0,669 $\pm$ 0,008**	6852,798	0,962

AFE – Área foliar estimada;  $\beta_0$  - coeficiente linear da regressão;  $\beta_1$  - coeficiente angulares da regressão; C - comprimento do folíolo; L - largura do folíolo; F - valores calculados do teste de Fisher; R<sup>2</sup> - coeficiente de determinação ajustado; \*\* - Significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste F.

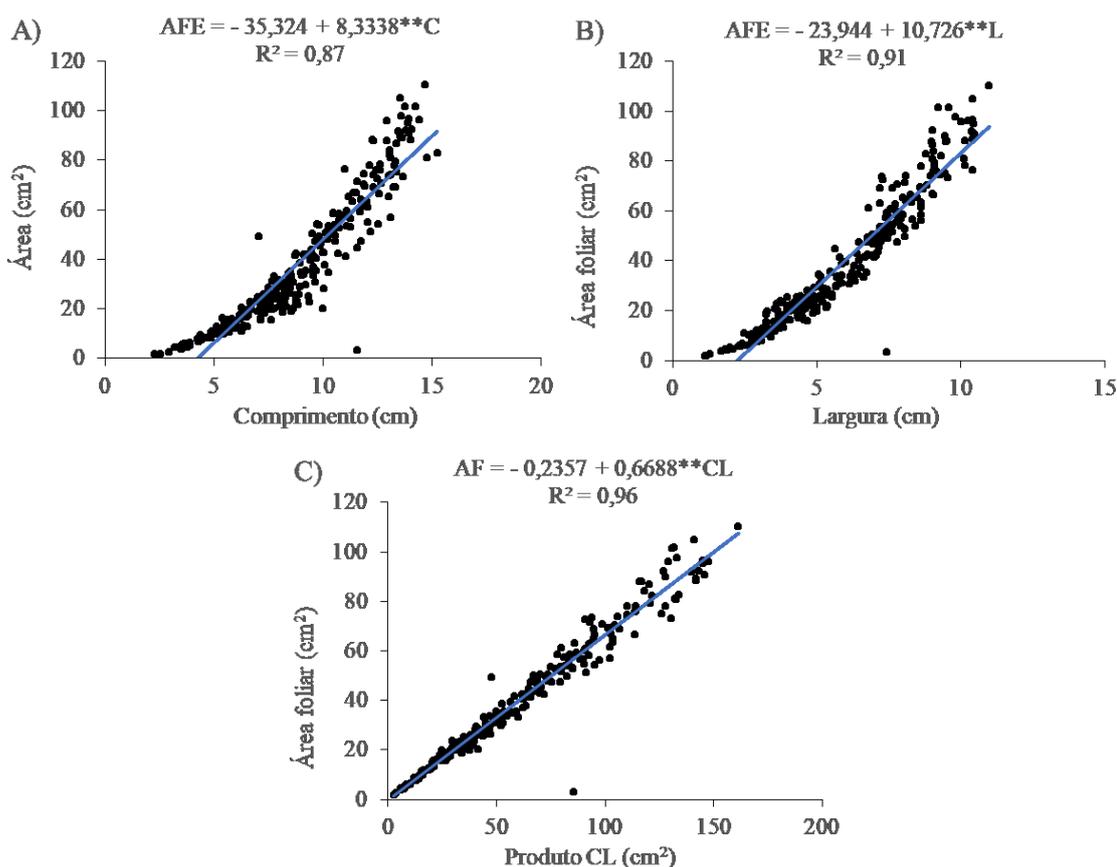
De acordo com a tabela 2, para cada cm de incremento no comprimento do folíolo, há um aumento significativo de 8,334 $\pm$ 0,197 cm<sup>2</sup> na área do folíolo, sendo que o comprimento do folíolo explica 87% da área do folíolo. A largura do folíolo explica 91% da área do folíolo, e cada cm de largura estima uma área de 10,726 $\pm$ 0,202 cm<sup>2</sup>. O produto entre comprimento e largura do folíolo explica 96% da área do folíolo, e para cada cm<sup>2</sup> do produto estima-se uma área de 0,669 $\pm$ 0,008 cm<sup>2</sup>. Esses resultados indicam que o produto entre comprimento e largura do folíolo tem maior capacidade preditiva e menor dispersão, devido ao maior coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$  ajustado = 0,96) e menor desvio padrão estimado.

Esse dado é reconhecido por outros autores (TONDJO *et al.*, 2015; CAI; DI; JIN, *et al.*, 2017) que estudaram esse ajuste de modelo regressão para estimar a área foliar de espécies vegetais a partir de medidas de comprimento e largura foliar. Segundo Wang *et al.* (2019), o produto CL é a melhor variável para prever a área foliar.

Para validação e avaliação do desempenho estatístico dos modelos ajustados, com base nos resultados da análise de regressão, verificou-se que a área de folíolo observada teve

correlação significativa ( $P < 0,01$ ) com a área de folíolo estimada pelos modelos ajustados, o que apresentou alta capacidade preditiva, com valores de  $R^2$  variando de 0,87 a 0,96, sendo este último obtido a partir da estimativa que considera o produto entre comprimento e largura do folíolo

**Figura 6** - Relação entre as dimensões lineares e área foliar. A) Comprimento (cm); B) Largura (cm) e C) Produto CL (cm<sup>2</sup>)



Os resultados significativos associados aos altos coeficientes de determinação indicam que os modelos ajustados podem ser utilizados para estimar a área do folíolo de feijão-caupi cv. BRS Miranda, sendo o modelo que relaciona o produto entre comprimento e largura do folíolo o mais indicado para este fim.

Os modelos ajustados nesta pesquisa configuram um importante avanço técnico-científico para a estimativa da área foliar por método não destrutivo do feijão-caupi cv. BRS Miranda, isso porque, de acordo com Suárez *et al.* (2022), esta técnica é amplamente utilizada em estudos de fisiologia vegetal relacionada à capacidade fotossintética e níveis de fertilização, disponibilidade de água, entre outros. Esses pesquisadores ainda enfatizam que a utilização de métodos destrutivos apresenta uma desvantagem quando o objetivo é avaliar o crescimento, pois o uso de diferentes folhas ao longo do tempo aumenta o erro experimental.

## 6 CONCLUSÃO

Os modelos alométricos podem ser usados com alto desempenho para estimar a área do folíolo do feijão-caupi cv. BRS Miranda como método não destrutivo a partir de medidas lineares do comprimento e largura do folíolo. Os modelos alométricos podem ser usados com alto desempenho para estimar a área do folíolo do feijão-caupi cv. BRS Miranda como método não destrutivo a partir de medidas lineares do comprimento e largura do folíolo. A área foliar do feijão-caupi cv. BRS Miranda pode ser estimada pelo modelo  $AFE = - 0,236 + 0,669 \times CL$ , onde AFE é a área foliar estimada e CL é o produto entre comprimento e largura do folíolo.

## REFERÊNCIAS

ALENCAR, Francisca Reijane Gadelha de. **Recursos genéticos de *Vigna unguiculata*: variabilidade genética e potencial de uso no melhoramento genético**. 2019. 47 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

ALLANTOSPERMUM, A. et al. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society**, London, v. 181, n. 1, p. 1-20, 2016.

APOLO-APOLO, O. E.; PÉREZ-RUIZ, M.; MARTÍNEZ-GUANter, J.; EGEEA, G. A mixed data-based deep neural network to estimate leaf area index in wheat breeding trials. **Agronomy**, v. 10, n. 175, p. 1-21, 2020.

AQUINO, L. A de.; JÚNIOR, V. C dos S.; GUERRA, J. V. S.; COSTA, M.M. Estimativa da área foliar do girassol por método não destrutivo. **Bragantia**, v. 70, p. 832-836, 2011.

AYATHILAKE, C.; VISVANATHAN, R.; DEEN, A.; BANGAMUWAGE, R.; JAYAWARDANA, B.C.; NAMMI, S.; LIYANAGE, R. Cowpea: an overview on its nutritional facts and health benefits. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, n. 13, p. 4793-4806, 2018.

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.

CAI, HY; DI, XY; JIN, GZ Modelos alométricos para previsão de área foliar e massa foliar em diferentes períodos de crescimento do olmo (*Ulmus japonica*). **Journal of Forestry Research**, 28:975-982, 2017.

CNA/SENAR. **Feijão-caupi, a Africa no Nordeste Brasileiro**. 2020.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de

grãos. CONAB, Brasília. 2021.

FACCIOLI, G, G; RAMOS, F, S, de M; SANTANA, F, S; DANTAS, C, K, dos S. Análise das características agronômicas e microbiológicas do feijão-caupi (*Vigna unguiculada* (L.) Walp.) BRS Novaera e BRS Guariba com aplicação de Água residuária tratada. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 11, n. 5, 2017.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Crops: cowpeas**, dry. 2018.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Food security indicators – latest updates and progress towards ending hunger and ensuring food security**, 2022. cap. 2, p. 36.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

FILHO, F.R. F; COSTA, A. F. **Feijão-caupi: classificação botânica e importância**. In: *Cadernos do Semiárido riquezas & oportunidades / Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Pernambuco*, 17(3), 17-20. 2020.

FONSECA, C.E.L.A. & CONDÉ, R.C.A.C. Estimativa da área foliar em mudas de mangabeira (*Hancornia speciosa* Gom.). **Pesquisa Agropecuaria Brasileira** 29(4): p.593-599.1994.

FREIRE FILHO, F. R. et al. A cultura: aspectos socioeconômicos. In: DOVALE, J. C.; BERTINI, C.; BORÉM, A. (Eds.) **Feijão-caupi: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2017. v. 1, cap. 1, p. 9-34.

FREIRE FILHO, F. R. **Feijão-Caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. 1. ed. Teresina, PI: Embrapa Meio-Norte, 2011. 84 p.

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.

HOLGUÍN, V. A.; GRISALES, S. O.; 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.

HUSSAIN, S.; GAO, K.; DIN, M.; GAO, Y.; SHI, Z.; WANG, S. Assessment of UAV-Onboard Multispectral Sensor for non-destructive site-specific rapeseed crop phenotype variable at different phenological stages and resolutions. **Remote Sens**, v. 12, n. 397, p. 2-19, 2020.

LIU, ZL et al. **Área foliar não destrutiva, massa foliar e área foliar específica com base em um modelo linear de efeitos mistos para espécies de folhas largas**. *Indicadores Ecológicos*, 78:340-350, 2017.

LUCENA, R.R.M., BATISTA, T.M.V., DOMBROSKI, J.L.D., LOPES, W.A.R. & RODRIGUES, G.S.O. Medição de área foliar de aceroleira. **Revista Caatinga** 24(2):40-45. 2011.

MACÁRIO, A. P. S.; FERRAZ, R. L de S.; COSTA, P da S.; NETO, J. F de B.; MELO, A. S de.; NETO, J. D. Allometric models for estimating *Moringa oleifera* leaflets area. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 44, n. **Ciência e Agrotecnologia.**, 2020.

MACHADO, C. D. F.; FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; COSTA, D. S. S.; AMORIM, A. F. D. (2007). Herança da inflorescência composta da cultivar de 201 feijão-caupi cacheado. **Ciência e Agrotecnologia**, p.1347-1350. 2007.

MALDANER, IC e Modelos para estimativa de área foliar em girassol. **Ciência Rural**, v.39, p.1356-1361, 2009.

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

MARTINS, A. N. P; SALDANHA, N. M. V. P; ARAÚJO, M. A. da M; ROCHA, M. de M;

SILVA, K. J. D; MOREIRA-ARAÚJO, R. S. dos R. Conteúdo de macronutrientes em cultivares de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. In: **Congresso Nacional de Feijão-caupi**, 2016.

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.

MORGADO, M. A. D.; BRUCKNER, C. H.; ROSADO, L. D. S.; ASSUNÇÃO, W.; SANTOS, C. E. M. Estimação da área foliar por método não destrutivo, utilizando medidas lineares das folhas de espécies de Passiflora. **Revista Ceres**, v. 60, n. 5, p. 662-667, 2013.

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.

OLIVEIRA, A. M. C. de; MELO NETO, B.; ROCHA, M. de M.; SILVA, M. R. da; OLIVEIRA, M. R. de. Produção de alimentos na base do feijão-caupi (*Vigna unguiculata*): importância nutricional e benefícios para a saúde. **Research, Society and Development**, v. 10, n.14, 2021.

OLIVEIRA, A.P.d.S.; Melo, Y.L.; ALENCAR, R.S de.; VIÉGAS, P.R.A.; DIAS, G.F.; FERRAZ, R.L.d.S.; SÁ, F.V.d.S.; DANTAS NETO, J.; MAGALHÃES, I.D.; GHEYI, H.R.; LACERD, C.F.d.; MELO, A.S.d. Osmoregulatory and Antioxidants Modulation by Salicylic Acid and Methionine in Cowpea Plants under the Water Restriction. **Plants**, 2023.

PANDEY, S. K.; SINGH, H. A Simple, Cost-Effective Method for Leaf Area Estimation. **Journal of Botany**, London, v. 2011, p. 1-6, 2011.

QUEIROZ, R. R. de S.; NASCIMENTO DE MENEZES, R. H.; DA ROCHA, D. L.; CUNHA MOREIRA, R. C. Cenário agrícola para o plantio da cultura do feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] no estado do Maranhão baseado em projeções futuras de mudanças climáticas. **Revista Geama**, v. 7, n. 1, p. 4–14, 2021.

REGO, Carlos Henrique Queiroz. **Avaliação da morfologia interna e do vigor de sementes de feijão-caupi por meio de técnicas de análise de imagens**. 2019. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). **Biometrika Trust**, v. 52, p. 591-609, 1965.

SUÁREZ, Juan Carlos; CASANOVES, Fernando; DI RIENZO, Julio. Non-Destructive estimation of the leaf weight and leaf area in common bean. **Agronomy**, v. 12, n. 3, p. 711, 2022.

SILVA, C. C. da, SOUZA, A. P., BOUVIÉ, L., FERNEDA, B. G., LEITE NETO, A., & MONTEIRO, E. B. Modelos alométricos para estimar a área do limbo foliar de teca. *Nativa*, 8(1), 129-136. 2020

SILVA, K. J. D.; ROCHA, M. M.; MENEZES JÚNIOR, J. A. N. Socioeconomia. In: BASTOS, E. A. (org.). **A cultura do feijão-caupi no Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2016. p. 6 12.

SOLTABAYEVA, A.; ONGALTAY, A.; OMONDI, J. O.; SRIVASTAVA, S. Morphological, Physiological and Molecular Markers for Salt-Stressed Plants. **Plants**, v. 10, p. 243, 2021

SOUSA, Willianny Karem de. **Caracterização morfológica e molecular de acessos de feijão-caupi**. 2020.

SOUZA, L. F.; ARAÚJO, M. S.; FERRAZ, R. L. S.; COSTA, P. S.; MEDEIROS, A. S.; MAGALHÃES, I. D. Sementes crioulas de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) para cultivo

agroecológico. **Revista Verde de Agroecologia e desenvolvimento Sustentável**, v. 14, n. 1, p. 33-40, 2019.

SOUSA, Samara Ketely Almeida de. **Estimativa da área foliolar de plantas jovens de açaizeiro por métodos não destrutivos**. 2021. Tese de Doutorado. UFRA/Campus Belém.

SHI, P.; LIU, M.; YU, X.; GIELIS, J.; RATKOWSKY, D. A. Proportional relationship between leaf area and the product of leaf length and width of four types of special leaf shapes. **Forests, Dordrecht**, v.10, n.2, p.178, 2019.

SUJATHA, R.; CHATTERJEE, J. M.; JHANJHI, N.; BROHI, S. N. Performance of deep learning vs machine learning in plant leaf disease detection. **Microprocessors and Microsystems**, v. 80, p. e103615, 2021.

TEOBALDELLI, M.; ROUPHAEL, Y.; GONNELLA, M.; BUTTARO, D.; RIVERA, C. M.; MUGANU, M.; COLLA, G.; BASILE, 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.; FILHO, A. C.; 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.; SOLDATELI, F. J.; SOUZA, R. R de., MELLO, A. C.; SEGATO, A. Leaf area estimation of Burley tobacco. **Ciência Rural**, v. 51, n. Cienc. Rural, 2021 51(1), 2021.

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, n. 4, 2019.

TONDJO, K. et al. **Medição não destrutiva da área foliar e biomassa seca em *Tectona grandis* Trees**, 2015.

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.

WINSTON, W. **Microsoft Excel data analysis and business modeling**. Microsoft press, 2016.

WANG, G.; MCGIFFEN, M.E.; EHLERS, J.D.; MARCHI, E.C.S. Competitive ability of cowpea genotypes with different growth habit. **Weed Science** 54(4):775-778. 2017.

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.

WALES, S. B.; KREIDER, M. R.; ATKINS, J.; HULSHOF, C. M.; FAHEY, R. T.; NAVE, L. M.; NADELHOFFER, K. J.; GOUGH, C. M. Stand age, disturbance History and the temporal stability of forest production. **Forest Ecology and Management**. 2020.

ZEIST, A. R.; OLIVEIRA, J. R. F.; LIMA FILHO, R. B.; SILVA, M. L. S.; RESENDE, J. T. V. Comparação de métodos de estimativa de área foliar em morangueiro. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 20, n.1/2, p. 33–41, 2014.

JAYAWARDHANE, J.; GOYALI, J. C; ZAFARI, S.; IGAMBERDIEV, A. U. The response of cowpea (*Vigna unguiculata*) plants to three abiotic stresses applied with increasing intensity: hypoxia, salinity, and water deficit. **Metabolites**, v.12, p.2-16, 2022.