

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS

LOREANE KETLIN CAMARGO

**VARIAÇÕES MORFOLÓGICAS DE *ALDINA HETEROPHYLLA*
SPRUCE EX BENTH. (FABACEAE)**

MANAUS
2025

LOREANE KETLIN CAMARGO

Variações morfológicas de *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth. (Fabaceae)

Dissertação apresentada Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do (PPG-CIFA/UFAM) como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais.

Orientadora: Profa. Dra. Veridiana Vizoni Scudeller

MANAUS
2025

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

-
- C172v Camargo, Loreane Ketlin
 Variações morfológicas de *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth.
(Fabaceae) / Loreane Ketlin Camargo. - 2025.
 58 f. : il., color. ; 31 cm.
- Orientador(a): Veridiana Vizoni Scudeller.
 Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Amazonas, Programa
de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Manaus, 2025.
1. Macucu. 2. Plasticidade foliar. 3. Campinarana. 4. Amazônia. 5.
Luminosidade. I. Scudeller, Veridiana Vizoni. II. Universidade Federal do
Amazonas. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e
Ambientais. III. Título
-

LOREANE KETLIN CAMARGO

**VARIAÇÕES MORFOLÓGICAS DE *ALDINA HETEROPHYLLA*
SPRUCE EX BENTH. (FABACEAE)**

Dissertação apresentada Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do (PPG-CIFA/UFAM) como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais.

Aprovada em: 01/08/2025

BANCA EXAMINADORA

Profª Drª Veridiana Vizoni Scudeller

Presidente da banca

Universidade Federal do Amazonas

Drª Tereza Cristina Torres dos Santos

Barbosa (Membro Externo - ICB

UFAM)

Membro Titular

Drª Rosana Barbosa de Castro Lopes

(UFAM)

Membro Titular

Dedico esta dissertação a Deus, sem ele nada seria possível, a minha família e aos amigos que estiveram ao meu lado me apoiando e incentivando a não desistir.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Amazonas (UFAM) pela oportunidade para realizar o mestrado, através da Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais (PPG-CIFA)

Agradeço a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pelo valioso apoio financeiro.

Em particular agradeço a Professora Dra. Veridiana Scudeller, pela orientação, por não apenas compartilharam seu vasto conhecimento e experiência comigo, mas também me inspirara a buscar a excelência em cada passo do caminho. Com paciência e compreensão, ela me ensinou as complexidades do meu campo de estudo e me ajudaram a desenvolver habilidades críticas.

A Engenheira Florestal Thayane Matos nas análises estatísticas, fundamentais para o sucesso desse estudo.

A minha amiga e colega Juliana Sousa de Holanda, por todo apoio e motivação no decorrer deste trabalho

Agradecer a Bióloga MSc. Sinandra Santos pelo apoio e incentivo a entrar e concluir o mestrado, assim como as orientações na escrita da dissertação.

A gratidão é um sentimento poderoso, e hoje quero expressar o meu. Saibam que cada gesto de bondade, cada palavra encorajadora e cada ato de apoio não passaram despercebidos. Em um mundo muitas vezes agitado e desafiador, é importante lembrar o valor da gratidão e da conexão humana.

Agradeço a minha família, amigos, mentores e colegas de trabalho, enfim a todos que de uma forma ou de outra participaram e contribuíram direta ou indiretamente para a finalização deste trabalho.

“Assim como uma pequena planta deve enfrentar muitos obstáculos antes de se transformar numa árvore, nós precisamos experimentar muitas dificuldades no caminho da felicidade absoluta”.

Nitiren Daishonin (1222 – 1282)

RESUMO

A pesquisa teve como tema a análise das variações morfológicas da espécie *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth. (Fabaceae), com enfoque na plasticidade fenotípica foliar em ambientes de campinarana amazônica. O estudo foi desenvolvido no estado do Amazonas, em duas fitofisionomias de campinarana: campinarana arbustiva (área do CEPLAC) e florestada (campus da UFAM), ambas em Manaus - AM. O objetivo geral foi avaliar as variações nas características morfológicas das folhas sob diferentes condições de luminosidade (sol e sombra), utilizando como indicadores a espessura foliar, a área da folha e a área do folíolo. Foram coletadas dez folhas de cada um dos indivíduos amostrados de ambas as campinaranas, sendo cinco folhas da copa (a pleno sol) e cinco abaixo da copa onde há menor incidência luminosa (sombreado). O delineamento adotado foi do tipo observacional e comparativo, com coletas em cinco indivíduos adultos por ambiente/condições de luminosidade. A metodologia incluiu medições morfológicas e análises estatísticas com o auxílio de ANOVA Two-Way e teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Os resultados indicaram que a espessura foliar foi maior nas amostras da campinarana florestada, especialmente sob sombra, enquanto a área dos folíolos foi 51% maior na campinarana arbustiva, sob maior incidência solar. A área foliar total variou significativamente em função do local de coleta, sugerindo influência dos fatores edafoclimáticos. A interação entre ambiente e fitofisionomia também afetou os padrões morfológicos foliares. A discussão aponta que a espécie apresenta alta plasticidade fenotípica, adaptando sua morfologia em resposta à luminosidade. Por fim, conclui-se que *A. heterophylla* pode ser utilizada em estratégias de conservação e reflorestamento em ecossistemas amazônicos, especialmente nas campinaranas, dada sua capacidade de resposta morfológica às variações ambientais. O estudo contribui para o entendimento da adaptação das espécies vegetais da Amazônia e reforça a importância da conservação de habitats endêmicos e ecologicamente frágeis.

Palavras-chave: Macucu; plasticidade foliar; campinarana; Amazônia; luminosidade.

ABSTRACT

This research focused on analyzing the morphological variations of *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth. (Fabaceae), focusing on leaf phenotypic plasticity in Amazonian campinarana environments. The study was conducted in the state of Amazonas, in two campinarana phytophysionomies: a shrubby campinarana (CEPLAC area) and a forested campinarana (UFAM campus), both in Manaus, Amazonas. The main objective was to evaluate variations in leaf morphological traits under different light conditions (full sun and shade), using leaf thickness, leaf area, and leaflet area as indicators. Ten leaves were collected from each of the sampled individuals in both campinaranas: five leaves from the canopy (in full sun) and five from below the canopy where there is less light (in shade). The study design was observational and comparative, with collections of five adult individuals per environment/lighting condition. The methodology included morphological measurements and statistical analyses using two-way ANOVA and the Shapiro-Wilk normality test. The results indicated that leaf thickness was greater in samples from the forested campinarana, especially under shade, while leaflet area was 51% larger in the shrubby campinarana, under greater sunlight. Total leaf area varied significantly depending on the collection site, suggesting the influence of soil and climate factors. The interaction between environment and phytophysionomy also affected leaf morphological patterns. Discussion highlights that the species exhibits high phenotypic plasticity, adapting its morphology in response to light. Finally, we conclude that *A. heterophylla* can be used in conservation and reforestation strategies in Amazonian ecosystems, especially in campinaranas, given its morphological responsiveness to environmental variations. The study contributes to the understanding of the adaptation of Amazonian plant species and reinforces the importance of conserving endemic and ecologically fragile habitats.

Keywords: Macucu; leaf phenotypic plasticity; campinarana; Amazon; light intensity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização das áreas de estudo, Manaus, Amazonas - Brasil.	35
Figura 2 - Esquema das partes onde as folhas foram coletadas.	36
Figura 3 - Box-plot da espessura foliar para árvores da espécie <i>Aldina heterophylla</i> Spruce ex Benth (Macucu) em duas fitofisionomias no Amazonas.	39
Figura 4 - Histograma da espessura das folhas para árvores da espécie <i>Aldina heterophylla</i> Spruce ex Benth (Macucu) no Teste Shapiro-Wilk.	40
Figura 5 - Box-plot da área do folíolo para árvores da espécie <i>Aldina heterophylla</i> Spruce ex Benth (Macucu) em dois ambientes no Amazonas.	42
Figura 6 - Box-plot da área do folíolo para árvores da espécie <i>Aldina heterophylla</i> Spruce ex Benth (Macucu) em relação a incidência solar.	43
Figura 7 - Histograma da área folíolo para árvores da espécie <i>Aldina heterophylla</i> Spruce ex Benth (Macucu) no Teste Shapiro-Wilk.	44
Figura 8 - Histograma da área da folha para árvores da espécie <i>Aldina heterophylla</i> Spruce ex Benth (Macucu) no Teste Shapiro-Wilk.	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Valores (média $\pm$ desvio padrão) das características foliares de acordo com o local e ambiente para a espécie *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth (Macucu). 38

Quadro 2 - Significância (P-valor) da ANOVA-two-way para o efeito do local, ambiente e interação nas características foliares de *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth (Macucu). 46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AM – Amazonas

ANOVA – Análise de Variância

APA – Área de Proteção Ambiental

BR – Brasil

CEPLAC – Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira

DAP – Diâmetro à altura do peito

FAPEAM – Fundação de Amparo à Pesquisa do estado do Amazonas

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INPA – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia

MAPA – Ministério da Agricultura e Pecuária

UFAM – Universidade Federal do Amazonas

SUMÁRIO

PREÂMBULO	14
2 OBJETIVOS	17
2.1 OBJETIVO GERAL	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3 REVISÃO DA LITERATURA	18
3.1 CAMPINARANAS	17
3.2 ENDEMISMO DAS ESPÉCIES	19
3.3 <i>ALDINA HETEROPHYLLA</i> SPRUCE EX BENTH	20
3.4 DETERMINISMO AMBIENTAL	21
REFERÊNCIAS	23
CAPÍTULO ÚNICO	29
RESUMO	29
1 INTRODUÇÃO	31
2.MATERIAL E MÉTODOS	33
2.1 ÁREA DE ESTUDO	33
2.3 ANÁLISE DOS DADOS	37
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
3.1 ESPESSURA DA FOLHA	37
3.2 ÁREA FOLIOLAR	42
3.3 ÁREA FOLIAR	45
CONCLUSÕES	49
AGRADECIMENTOS	50
REFERÊNCIAS	50
CONSIDERAÇÕES FINAIS	55

PREÂMBULO

A Amazônia abriga uma diversidade de ecossistemas únicos, entre eles as campinaranas, formações vegetais que se desenvolvem sobre solos arenosos, pobres em nutrientes e sujeitos a condições hídricas extremas (Prance, 1990; Vasconcelos; Williamson, 2014). Essas áreas representam cerca de 7% da região amazônica, com mais de 480.000 km², e possuem flora adaptada a ambientes altamente estressantes (Junk *et al.*, 2011). Estão dispostas desde o alto Rio Negro, ao Norte do Brasil a regiões da Colômbia e sul da Venezuela, possuindo áreas abrangentes nas proximidades do Rio Madeira ao Alto Tapajós, com pequenos fragmentos de enclaves de vegetação ao sudoeste amazônico (Poletto e Aleixo, 2005). Ocorrem em disjunções ecológicas, determinadas pelos sistemas hídricos e solos arenosos, encontrados em meio à floresta, como formações de “ilhas”, caracterizada por alta quantidade de areia, baixa quantidade de nutrientes, e a ocorrência de alagamentos sazonais imprevisíveis em virtude da flutuação dos lençóis freáticos (Prance, 1992; Vicentini, 2004; Ferreira, 2009).

A vegetação das campinaranas constitui um ecossistema singular na Amazônia, caracterizada por seus solos arenosos, baixa disponibilidade de nutrientes e regimes hídricos instáveis, o que impõe importantes desafios fisiológicos e morfológicos às plantas ali presentes (Prance, 1990; Vasconcelos e Williamson, 2014).

Embora se tenha uma quantidade pequena de estudos sobre a florística das campinaranas da Amazônia, ainda são mais escassas as pesquisas sobre como se originou esta fitofisionomia vegetal (Ferreira, 1997). Segundo Veloso *et al.* (1991), as campinaranas são divididas em três subgrupos sendo eles; campinarana densa ou florestada; campinarana arbórea ou arborizada, e aberta ou gramíneo-lenhosa.

Dentre as espécies que se destacam nesses ambientes está *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth. (Fabaceae: Papilionoideae) popularmente chamada de “macucu”, endêmica da região amazônica (Irlanda 2005, Costa 2012; Forzza *et al.*, 2014).. Uma árvore endêmica e ecologicamente importante por seu papel como forófito para epífitas, especialmente orquídeas e briófitas (Kromer *et al.*, 2007; Mari *et al.*, 2016). Estudos indicam que essa espécie apresenta variações morfológicas significativas em função dos diferentes regimes de luminosidade e das características edáficas do ambiente, sugerindo a ocorrência de plasticidade fenotípica (Prance e Silva, 1994; Sultan, 2000; Nicotra *et al.*, 2010; Valladares *et al.*, 2007). Compreender essas variações morfológicas é essencial para elucidar mecanismos de adaptação da flora amazônica

e para contribuir com estratégias de conservação e manejo de ecossistemas tão singulares quanto as campinaranas.

Essa espécie desenvolve um tronco sinuoso, que variam em tamanho (de 5 a 30m de altura), com casca grosseira com muita facilidade de absorção de água e sais minerais, suas folhas são compostas, variando o número de folíolos (1-5), flores hermafroditas; cálice gamossépalo; corola dialipétala; com pétalas na coloração branca; muitos estames; ovário súpero e estigma simples. Sendo uma espécie com um papel ecológico extremamente importante e de arquitetura dos ramos singular. As propriedades existentes em sua casca favorecem a instalação de líquens e hepáticas e musgos, trazendo para esta espécie uma aparência distinta no meio das demais (Gentry, 1993).

Contudo os indivíduos de *A. heterophylla* apresentam variações em sua morfologia, o qual motivou este estudo. Hay *et al.* (2000) destacam que ocorrem divergências nas suas características morfológicas, a qual os autores acreditam estar relacionada ao meio ambiente, com isso a espécie apresenta grandes variações no seu porte, em diversas campinaranas.

Espécies arbóreas de campinaranas se encontram, em situações estressantes em resposta de condições do solo e do seu meio o que afeta seu desenvolvimento e crescimento (Boeger e Gluzezak, 2006). Essas respostas são atribuídas ao conceito de plasticidade fenotípica, que se trata da capacidade que o indivíduo de um mesmo genótipo tem de produzir diferentes fenótipos, para que o organismo seja capaz de se desenvolver e adaptar-se ao seu meio (Sultan, 2000, Gratani, 2014). O padrão morfológico de agrupamento dos recursos utilizados para apontar o sucesso de uma espécie, está ligado a disponibilidade de recursos abaixo e acima do solo (Soriano *et al.*, 2013).

Bächtold e Melo Junior (2015) observaram em seu projeto de plasticidade morfológica de *Calophyllum brasiliense* Cambess. (Calophyllaceae), em formações de restinga, que fatores ambientais podem promover modificações ambientais quanto a estrutura dos organismos. Contudo os mesmos autores, observaram diferenças significativas para parâmetros de área foliar, massa seca e um índice de condutividade entre as populações. Com isso os autores concluíram que indivíduos de restinga arbustiva estão mais sombreados, e possuem mais acúmulo de biomassa, enquanto em seu outro sítio de coleta que se trata da floresta de transição a espécie demonstrou um investimento maior em desenvolvimento do caule, altura e diâmetro.

Podemos observar no trabalho de Rodrigues (2009) que fez um levantamento ecofisiológico de *Aldina heterophylla*, em campinarana aberta, arbustiva e floresta de terra firme, nas quais ele coletou folhas para análise laboratoriais, onde verificou nutrientes,

pigmentação, condições do ambiente, dentre outros fatores, que porventura, pudessem alterar a ecofisiologia desta espécie. Seus resultados mostraram que, a disponibilidade de água e nutrientes são fatores que implicam na Ecofisiologia desta espécie, notou fatos como a pigmentação de cloroplastídicos, por exemplo, está ligada à alta irradiância que foi observado em folhas oriundas da campinarana aberta, quando equiparadas a folhas de floresta de terra firme.

Além disso, Rodrigues (2009) conclui que diferenças na estatura das árvores de *A. heterophylla* pode ser resultado das taxas respiratórias, que são maiores na campinarana aberta (que o autor denomina de campina) e implicam em menor acúmulo de biomassa e inversamente este raciocínio serve para a floresta de terra firme (maior acúmulo de biomassa), portanto os indivíduos com menores disponibilidade hídrica (“campina”), utilizam mais eficientemente esse recurso. Por fim, o autor relata que os indivíduos de *A. heterophylla* investem mais em plasticidade fisiológica que morfológica, quando relacionado à utilização da água e sugere que as características morfológicas possivelmente foram moduladas por variações microclimáticas e edáficas. No entanto, é relatado por Araujo e Mendonça (1998) que, nas campinas amazônicas o fator limitante não é apenas a água no desenvolvimento vegetal, levando em consideração os fatores ambientais que influenciam a estrutura foliar, tais como a disponibilidade de luz, temperatura e até mesmo o tipo de solo.

Segundo Bungard *et al.* (2000), em ambientes com baixa concentração de nitrogênio e com alta irradiância solar em floresta tropical, as espécies tendem a estar mais vulneráveis ao foto-dano e, portanto, necessitam de estratégias diversificadas para evitar o mesmo. Considerando a complexidade ecológica das campinaranas amazônicas e os desafios impostos por suas condições edáficas e de luminosidade, surge a necessidade de compreender como espécies vegetais se adaptam morfolologicamente a esses ambientes. Dentre elas, *Aldina heterophylla* destaca-se por apresentar ampla distribuição e importância ecológica nesses ecossistemas.

Nesse contexto, a pesquisa propõe-se a investigar a seguinte questão: quais são as variações morfológicas das folhas de *Aldina heterophylla* em resposta às diferentes condições de luminosidade (sol pleno e sombra) nas fitofisionomias de campinaranas arbustiva e florestada na Amazônia Central? A partir dessa indagação, busca-se compreender de que maneira fatores abióticos influenciam características foliares como espessura e área, fornecendo subsídios para a compreensão da plasticidade fenotípica dessa espécie e seu papel adaptativo em ambientes extremos.

Portanto, compreender a influência de fatores abióticos — especialmente a intensidade luminosa — sobre atributos como espessura e área foliolar e foliar dessa espécie é crucial para entender seus mecanismos de adaptação e para subsidiar estratégias de conservação das campinaranas (Sultan, 2000; Nicotra *et al.*, 2010). Estudos internacionais enfatizam que a plasticidade fenotípica permite que plantas ajustem morfologia e fisiologia em resposta a variações ambientais, aumentando sua eficiência na captação de recursos em condições heterogêneas (Sultan, 2000; Valladares *et al.*, 2007). Assim, esta pesquisa justifica-se pela necessidade de aprofundar o entendimento sobre a relação entre variações ambientais e adaptações morfológicas de espécies-chave para as campinaranas amazônicas, *A. heterophylla*, contribuindo para o conhecimento ecológico e para o manejo e conservação desses ecossistemas frágeis.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste estudo foi avaliar as variações morfológicas das folhas de *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth. (Fabaceae) nas condições de luminosidade distintas (pleno sol e sombra), associadas, respectivamente, aos ambientes de campinarana arbustiva e florestada localizados em duas áreas no município de Manaus-Amazonas, Brasil, utilizando as características morfológicas de espessura e área foliar como indicadores de produção de massa verde foliar.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar a variação morfológica das folhas de *Aldina heterophylla* em duas fitofisionomias de campinaranas (arbustiva e florestada) na Amazônia Central;
- Verificar se existe correlação entre as variações morfológicas de *Aldina heterophylla* como espessura, tamanho da área foliar, tamanho da área do folíolo em duas fitofisionomias de campinarana;
- Verificar se existe correlação entre as variações morfológicas de *Aldina heterophylla* como tamanho da área foliar e tamanho da área do folíolo em relação a incidência solar (sol e sombra).

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 CAMPINARANAS

O termo Campinarana é usualmente aplicado a um tipo de vegetação que se desenvolve sobre solos arenosos de grande pobreza nutricional (oligotróficos), geralmente hidromórficos, e ricos em ácido húmico. Porém o termo engloba um complexo mosaico de formações não florestais, porém não savânicas, com ocorrência espalhada, com frequência em todo o território Amazônico (Pires, 1974; Pires e Prance, 1985; Richards, 1996).

Prance (1987) desenvolveu um sistema para classificar os tipos de vegetação que se desenvolvem sobre a areia branca, demonstram formações distintas fisionômicas agrupadas, por conta de sua semelhança florística. Para este autor, essas formações demonstram um lençol freático mais elevado, o que se limita a penetração das raízes no solo. Em seu sistema de classificação, a vegetação que se desenvolve sobre areia branca está assim distribuída da seguinte maneira: campina aberta [campinarana gramíneo lenhosa] e campina arbustiva [campinarana arborizadas]. Segundo os técnicos do IBGE (1992), as formações não florestais da Amazônia, que se desenvolvem sobre solo Podzol Hidromórfico, foram denominadas campinaranas (falsa campina), e divididas nos seguintes tipos: campinaranas florestadas, campinaranas arborizadas e campinaranas gramíneo lenhosas.

A vegetação de campinarana representa um ecossistema altamente especializado, cuja ocorrência está condicionada por restrições edáficas severas, como baixa fertilidade, acidez elevada e saturação hídrica periódica. Estudos recentes, como o de Adeney *et al.* (2016), indicam que os ecossistemas de areia branca amazônicos, onde as campinaranas se inserem, abrigam espécies endêmicas adaptadas a estas condições limitantes, contribuindo para a diversidade beta da região. Essas formações vegetacionais se destacam também por apresentarem padrões distintos de biomassa, produtividade primária líquida e funcionamento ecossistêmico em comparação com as florestas de terra firme (Fine *et al.*, 2010). Apesar de sua aparência empobrecida, trata-se de um ambiente funcionalmente complexo, que desempenha papel importante na ciclagem de nutrientes e na manutenção de espécies adaptadas a nichos oligotróficos.

As campinaranas apresentam sub-bosque de porte baixo e regularmente aberto, densidade mais elevada com árvores pequenas com caules mais afinados, quase nada de árvores emergentes, abundância de lianas e epífitas, alta quantidade de elementos com esclerofília pronunciada, folhas esclerófilas perenes e pequenas, com aparência xeromórfica, e valores baixos de diversidade (Anderson, 1981; Medina *et al.*, 1990; Richards, 1996).

O nome Campina, foi empregado por Lindman (1906), para determinar os “Campos do Rio Grande do Sul”, que foram subdivididos em “campo sujo e campo limpo”, de acordo com a quantidade de plantas raquíticas lenhosas que brotavam nos campos mencionados. Portanto, esta terminologia não deve ser empregada para denominar uma vegetação amazônica. Egler (1960) foi o fitogeógrafo pioneiro a utilizar corretamente o termo Campinarana para a Amazônia. Takeuchi (1960) usou a denominação Campina, após Ducke (1938) e (Sampaio 1940, 1944). Kuhlmann (1977) estabeleceu esse tipo de vegetação como um enclave de mata mais rala na Hileia. No entanto, pelas fisionomias que demonstradas, trata-se de uma região ecológica ou outro tipo de vegetação predominantemente campestre, mas com seu clímax edáfico florestado e estágios subsequentes, arbustivo, gramíneo-lenhoso e arbóreo.

Recentemente, Barbosa *et al.* (2021) reforçaram a necessidade de reconhecimento da singularidade florística das campinaranas, ressaltando que mesmo sob condições ambientais tão limitantes, essas formações vegetais abrigam táxons endêmicos e morfologicamente especializados, especialmente entre as famílias Melastomataceae, Rubiaceae e Orchidaceae. As espécies presentes nesses ambientes apresentam, em sua maioria, características xeromórficas, como folhas coriáceas, pilosidade densa e metabolismo CAM em algumas epífitas, como adaptação à limitação hídrica sazonal e à baixa disponibilidade de nutrientes. Além disso, há um alto grau de especialização micorrízica e adaptações na estrutura do sistema radicular, que favorecem a absorção de nutrientes em horizontes mais superficiais e pobres.

Do ponto de vista da conservação, as campinaranas enfrentam ameaças crescentes devido à expansão de atividades extrativistas e ao avanço da fronteira agropecuária, especialmente nos estados do Amazonas, Roraima e Amapá. Segundo Oliveira *et al.* (2020), grande parte dessas formações ainda não está contemplada em unidades de conservação, o que as torna altamente vulneráveis. Para Campos-Silva e Peres (2015) a ausência de políticas específicas de proteção aliada à baixa resiliência desses ambientes frente a distúrbios antrópicos destaca a urgência de ações de manejo e proteção. Além disso, as campinaranas são ainda sub-representadas em inventários florísticos e estudos ecológicos regionais, o que compromete o entendimento pleno de sua dinâmica ecológica e de sua importância na biogeografia amazônica.

3.2 ENDEMISMO DAS ESPÉCIES

As campinaranas amazônicas são habitats que reúnem características edáficas e climáticas tão peculiares que propiciam o surgimento de uma flora altamente especializada. A limitação de nutrientes, a acidez do solo e a presença recorrente de lençóis freáticos rasos

constituem filtros ecológicos que selecionam espécies capazes de tolerar estresses fisiológicos intensos (Anderson, 1981; Vasconcelos; Williamson, 2014). Como resultado, esses ambientes abrigam elevados índices de endemismo e raridade florística. Estudos florísticos realizados por Fine *et al.* (2010) evidenciam que muitas espécies vegetais que ocorrem nas campinaranas não são encontradas fora desse ecossistema, o que indica que essas formações atuam como “ilhas evolutivas”, favorecendo processos de especiação alopátrica.

O endemismo em campinaranas não é restrito a espécies herbáceas ou arbustivas. Diversos táxons arbóreos como *Aldina heterophylla*, *Macairea radula* (Melastomataceae) e *Pagamea duckei* (Rubiaceae) são frequentemente registrados apenas em áreas de solos arenosos da Amazônia Central (Prance, 1996; Zappi *et al.*, 2011). A heterogeneidade desses ambientes e o histórico de estabilidade ambiental ao longo do tempo geológico podem ter contribuído para a persistência de linhagens antigas e para a radiação adaptativa de novas espécies (Hoorn *et al.*, 2010). Além disso, a presença de microhabitats distintos dentro das próprias campinaranas, como clareiras, bordas úmidas e platôs secos, promove uma diversidade estrutural que permite a coexistência de espécies com diferentes estratégias adaptativas.

A disposição dessa vegetação geralmente varia de áreas abertas caracterizada por plantas herbáceas e florestas altas, por exemplo e são determinadas por alta esclerofilia, baixa diversidade quando comparadas às florestas de terra firme e elevado grau de endemismo de espécies, gêneros e família (Anderson, 1981; Huber 1988a, 1988b; Kubitzki, 1989;1990; Prance 1996).

Nas áreas de campinaranas, apesar de se ter uma variedade de espécies que fornecerem suporte à epífitas, *Aldina heterophylla* é um forófito excepcional, com inúmeras características benéficas para a evolução das epífitas, como a elevada ramificação de sua copa (Storti, 2007) e o progresso horizontal de seus ramos, além de se obter uma filtragem de luz solar menor comparada a outras espécies das campinaranas (Lisbôa, 1976).

É importante ressaltar que o endemismo florístico das campinaranas está também relacionado aos baixos níveis de competição interespecífica, em função da escassez de recursos disponíveis e da lentidão do crescimento vegetal, o que reduz a dominância de poucas espécies e favorece a coexistência de táxons especializados (Fine; Daly, 2004). Adicionalmente, a variabilidade microclimática — especialmente os gradientes de luminosidade e umidade — influencia diretamente na distribuição das espécies endêmicas, condicionando morfologia, anatomia foliar e estratégias fisiológicas específicas (Valladares *et al.*, 2007). Tais adaptações

são observadas em famílias como Fabaceae, Melastomataceae e Myrtaceae, que possuem representantes com elevada especificidade ecológica às campinaranas.

Contudo, apesar de sua relevância biológica, as campinaranas permanecem como um dos ecossistemas menos estudados e mais vulneráveis da Amazônia. A pressão por mudanças no uso do solo, o avanço da agricultura e a expansão de empreendimentos de infraestrutura têm ameaçado sua integridade ecológica (Miranda *et al.*, 2014). A conservação desses ambientes depende do reconhecimento de seu valor como centros de endemismo e como bancos genéticos de linhagens únicas. Assim, estudos voltados à caracterização florística, funcional e genética das espécies presentes nesses habitats são urgentes, não apenas para ampliar o conhecimento científico, mas também para subsidiar políticas públicas de preservação.

3.3 *ALDINA HETEROPHYLLA* SPRUCE EX BENTH

A espécie deste estudo trata-se de uma Fabaceae, que segundo Lewis *et al.* (2005) apresenta 727 gêneros e 19.327 espécies. *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth. pertencente ao grupo Swartziaee e subfamília Papilionidae (Lewes *et al* 2005. Mari *et al* 2016), conhecida popularmente por “macucu”, mas há quem o conheça por “angelim da campina”, frequentemente encontrada nas campinaranas amazônicas (Maguire *et al.*, 1953).

O macucu tem grande importância ecológica no seu habitat, por possuir troncos ramificados na horizontal é um contribuinte principalmente para a manutenção de Orchidaceae que, são epífitas endêmicas que recobrem os troncos desta espécie, sem contar que não se nota este tipo de colonização em outras espécies, de acordo com Ferreira (1997).

Em campinarana arbustiva, a *Aldina heterophylla* se desenvolve sob solo pobre, de areia lavada, com luz solar intensa, com alta temperatura, atingindo até 7-9 metros de altura, estabelecendo um estrato superior do seu meio, ramificando-se nas proximidades basais do caule e seus ramos estendem-se horizontalmente sob o solo, ocupando boa parte do ambiente, fazendo com que apenas uma árvore tenha a capacidade de formar uma "ilha" de vegetação, se discrepando com o solo empobrecido e arenoso (Araújo e Mendonça, 1988).

Segundo Vasconcelos e Williamson (2014), em campinarana florestada, são encontradas sob uma superfície de solo arenoso e solo argilo-arenoso, se desenvolvendo com condições climáticas semelhantes à floresta de mata densa, apesar de estarem inseridas em ambiente de floresta de mata rala. Neste meio, os indivíduos possuem um porte maior, atingindo 22 a 30 metros de altura aproximadamente, seu caule chega a alcançar mais de um metro de diâmetro e alguns indivíduos desenvolvem raízes tabulares. Sua copa atinge o dossel, apresenta-

se rala, com ramificações primárias bastante espessas e tortuosas, com uma elevação de aproximadamente 17 metros do chão, dependendo da altura da árvore (Mendonça, 2013), cada uma sob condições diferentes de temperatura, irradiação solar e condições de solo diversificadas. Ela se encontra nestas condições devido a ocorrência de um microclima existente sob sua copa, a maior umidade do solo, por ser uma Fabaceae apresenta interações distróficas, o que auxilia para a fixação de nitrogênio no solo Sprent (2007).

3.4 DETERMINISMO AMBIENTAL

A morfologia vegetal, influenciada diretamente por fatores ambientais, desempenha um papel fundamental na adaptação das espécies ao meio em que vivem. Alterações nas formas foliares, arquitetura da copa e desenvolvimento radicular estão entre as respostas morfológicas mais evidentes frente às pressões ambientais. Estudos como o de Valladares e Niinemets (2008) demonstram que a variação na forma e no tamanho das folhas, por exemplo, pode otimizar a captação de luz em ambientes sombreados, ou minimizar a perda de água em locais áridos. Dessa maneira, a morfologia se configura não apenas como um produto da genética da planta, mas como uma expressão fenotípica modulada pelas condições do ambiente.

No contexto brasileiro, trabalhos como o de Oliveira e Joly (2010) reforçam a importância da morfologia adaptativa em espécies da Mata Atlântica, onde gradientes ambientais são expressivos. Nestes ambientes, observam-se alterações morfoanatômicas que permitem, por exemplo, a persistência de espécies em solos pobres ou sob diferentes regimes hídricos. Isso indica que a plasticidade morfológica é uma estratégia eficaz frente à heterogeneidade ambiental, sobretudo em biomas megadiversos como os encontrados no Brasil. Tais características são decisivas para a sobrevivência, principalmente em tempos de alterações climáticas aceleradas.

Segundo Grime e Mackey (2002), o ambiente pode ser um grande influenciador na variação morfológica de indivíduos expostos em seu meio. Contudo a variação da fisiológica ou morfológica que a espécie desenvolve em seu meio como resposta das condições do seu âmbito é chamada de plasticidade (Valadares *et al.*, 2006). Essa diversidade ambiental causada nos indivíduos arbóreos está diretamente ligada a condições abióticos tais como, solo, quantidade de luz em que a planta tem exposição, precipitação, e a sua altitude que vai a frente com as respostas de adaptação dos indivíduos (Larcher, 2000).

A interação entre fatores bióticos e abióticos, aliada à morfologia, também afeta profundamente a dinâmica das populações vegetais. Conforme afirmado por Nicotra *et al.*

(2010), a plasticidade fenotípica permite não apenas a permanência das espécies em um local, mas também sua expansão para novos habitats. Isso ocorre porque a capacidade de modular características como espessura foliar, densidade estomática ou anatomia do lenho confere maior resistência ao estresse ambiental, promovendo maior sucesso reprodutivo e colonização. Assim, o determinismo ambiental não age de forma absoluta, mas interage com a capacidade plástica da planta em ajustar-se funcionalmente.

Além disso, o estudo de características morfológicas adaptativas tem ganhado destaque em pesquisas voltadas à conservação e restauração ecológica. De acordo com Souza *et al.* (2016), compreender como determinadas espécies se adaptam morfológicamente a diferentes microclimas pode orientar a escolha de espécies mais resilientes para projetos de recuperação ambiental. Essa abordagem favorece o uso de espécies nativas com maior capacidade de tolerar estresses, o que garante maior eficiência ecológica nas estratégias de recomposição da vegetação e manutenção dos serviços ecossistêmicos.

Sabendo-se que esses agentes ambientais estão em constante mutação de acordo com o tempo e o espaço, podendo ser restritivos ocasionando limitações na formação e desenvolvimento estabelecimento e crescimento das plantas (Boeger *et al.*, 2004), fazendo com que as espécies desenvolvam características anatômicas e fisiológicas especiais para a sobrevivência a ambientes tão extremos e variados as quais elas estão expostas (Schlichting; Smith, 2002). Com isso as plantas com potencial mais elevado que as demais, são propícias na adaptação e reprodução a espaços vulneráveis, fazendo com que ela tenha uma maior tolerância de sobrevivência no ambiente (Via *et al.*, 1995; Sultan, 2000). A capacidade plástica que algumas plantas apresentam é significativo ecologicamente, devido a sua proporção em testar diferentes ambientes com nichos mais valorados com melhores recursos, para aumentar sua distribuição geográfica (Sultan, 2000; Bradshaw, 2006).

É essencial considerar que o determinismo ambiental atua de maneira sinérgica com o potencial genético das espécies. Como destacado por Pigliucci (2005), não se trata apenas de uma imposição do ambiente, mas de uma complexa interação entre genótipo e fatores externos. Essa visão integradora permite entender que a evolução da morfologia vegetal é um processo contínuo de feedback entre planta e meio, o que reforça a importância dos estudos ecológicos, fisiológicos e genéticos na compreensão da biodiversidade vegetal e de sua resiliência frente às mudanças ambientais globais.

REFERÊNCIAS

- ADENEY, J. M.; CHRISTENSEN, N. L.; VENTICINQUE, E. M.; BRINKS, T. The white sand forests of Peru: A neglected ecosystem for conservation. **Biotropica**, Washington, v. 48, n. 1, p. 74–84, 2016.
- ANDERSON, A. B. **Aspectos florísticos e fitogeográficos de Campinas e Campinaranas, na Amazônia Central, 1978**. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - INPA-FU, Manaus. Anderson, A. B. White-sand Vegetation of Brazilian Amazonia. **Biotropica**, Flórida, v. 13, n. 3, p. 199-210, 1981.
- ANDERSON, A. B. White-sand vegetation of Brazilian Amazonia. **Biotropica**, v. 13, n. 3, p. 199–210, 1981.
- ARAUJO, M. G. P. ; MENDONÇA, M. S. . Escleromorfismo foliar em *Aldina heterophylla* (Leguminosae: Papilionoidea) em tres campinas da Amazonia Central. **Acta Amazonica**, v. 28, n.4, p. 353-371, 1998.
- BARBOSA, R. I. et al. Sandbank vegetation of the northern Amazon: A review on structure, flora and environmental factors. **Acta Botanica Brasilica**, Feira de Santana, v. 35, n. 2, p. 319–333, 2021.
- BARROSO, G.M.; MORIM, M.P.; PEIXOTO, A.L. & ICHASO, C.L.F. **Frutos e sementes: morfologia aplicada à sistemática de dicotiledôneas**. Vol. 2. Imprensa Universitária, Viçosa. 377p. 1999
- BENTHAM, G. Revision of suborder Mimoseae. **Transactions of the Linnaean Society** 30: 335-664. 1875
- BOEGER MRT, ALVES LC, NEGRELLE RRB. Leaf morphology of 89 tree species from a lowland tropical rainforest (Atlantic forest) in South Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. 47; (6)2004.
- BOEGER, M. R. T. et al. Variações morfoanatômicas em folhas de plantas do sub-bosque e seu significado ecológico. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 27, n. 4, p. 571–586, 2004.
- BOEGER, M.R.T. & GLUZEZAK, R.M. Adaptações estruturais de sete espécies de plantas para as condições ambientais da área de dunas de Santa Catarina, Brasil. **Iheringia**. Série Botânica 61:73-82.2006
- BRADSHAW, A. D. Unravelling phenotypic plasticity: why should we bother? **New Phytologist**, Oxford, v. 170, n. 4, p. 644–648, 2006.
- CAMPOS-SILVA, J. V.; PERES, C. A. Policy reversals do not bode well for conservation in Brazilian Amazonia. **Natureza e Conservação**, v. 13, n. 2, p. 193–195, 2015.
- CAVALCANTE KÁTIA VIANA, CARVALHO, ALBERTINO DE S., PINHEIRO, EDUARDO DA SILVA, GORDO, MARCELO, FRAXE, THEREZINHA. Universidade Federal do Amazonas. **Gestão Ambiental: Zoneamento Ambiental do Campus da UFAM**. V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Belo 2104.

COSTA, F. M. **Ilhas de Campinarana na Amazonia Central: A estrutura de paisagem determina a riqueza e a composicao de especies de plantas?** Master Thesis: INPA, Manaus. pp. 82. 2012.

DUCKE, A. A flora do Curicuriari, afluente do rio Negro, observada em viagens com a Comissão Demarcadora das Fronteiras do Setor Oeste. In: **reunião sul-Americana de botânica**, 1., Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Jardim Botânico, 1938. v. 3, p. 389-398.1938.

ENGLE, A.; PRANTL, K. Die Natürlichen Pflanzenfamilien. Leipzig [Alemanha]: W. Engelmann. 32 v.1887-1909.

FERREIRA, C.A.C. **Variação florística e fisionômica da vegetação de transição Campina, Campinarana e floresta de terra firme na Amazônia central. Manaus (AM).** Dissertação de mestrado. Universidade Rural de Pernambuco, Recife.1997

FINE, P. V. A. et al. The contribution of edaphic heterogeneity to the evolution and diversity of Burseraceae trees in the western Amazon. **Evolutionary Ecology**, v. 24, n. 5, p. 1041–1060, 2010.

FINE, P. V. A.; DALY, D. C. Strength of species–environment relationships influences the biogeography of Amazonian tree communities. **Ecology**, v. 85, n. 6, p. 1541–1553, 2004.

FORZZA, R. C.; BAUMGRATZ, J. F.; COSTA, A.; HOPKINS, M.; LEITMAN, P.M.; LOHMANN, L. G.; MARTINELLI, G.; MORIM, M. P.; COELHO, M. A. N.; PEIXOTO, A. I.; PIRANI, J. R.; QUEIROZ, L. P.; STEHMANN, J. R.; WALTER, B. M. T. & ZAPPI, D. **Introdução as Angiospermas do Brasil. Catálogo de plantas e fungos do Brasil [online].** Rio de Janeiro. Recuperado de <http://reflora.jbrj.gov.br/downloads/vol1.pdf>.2014.

GENTRY, A. H. 1993. **Papilionoideae. In. A field guide to the families and genera of woody plants of Northwest South America** (Colombia, Ecuador, Peru) with supplementary notes on herbaceous Gentry, A. H. 1993.

GRATANI, L., Plant phenotypic plasticity in response to environmental factors. **Advances in Botany** 313:1-17.2014.

GRIME JP, MACKEY JML. The role of plasticity in resource capture by plants. **Evolutionary Ecology**,16(3):299-307.2002.

HOORN, C. et al. Amazonia through time: Andean uplift, climate change, landscape evolution, and biodiversity. **Science**, v. 330, n. 6006, p. 927–931, 2010.

HUBER, O. Geographical and physical features. p.1-51. In: P. E. BERRY, B. K. HOLST E K. Yatskievych (eds.) flora of the venezuelan guayana. **Timber Press**, portland.1995.

HUTCHINGS, M.J. Structure of plant population. In Plant Ecology (M.J. Crawley, ed.). **Blackwell Scientific Publications**, Oxford, p.325-358.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Geociências. **Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais.** Projeto Sistematização das Informações Sobre Recursos Naturais. 2000.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. **Série Manuais Técnicos em Geociências**, nº 1, Rio de Janeiro. 92p.1992.

IRELAND, H. E. Tribe swartzieae. In G. Lewis, B. Schrire, B. Mackinder, and M. Lock (Eds.), *Legumes of the world*, p. 215–225. **Royal Botanic Gardens**, Kew. 2005.

JUNK, W. J. et al. A classification of major naturally-occurring Amazonian lowland wetlands. **Wetlands**, v. 31, n. 4, p. 623–640, 2011.

KROMER, T. et al. Diversity patterns of vascular epiphytes along an elevational gradient in the Andes. **Journal of Biogeography**, v. 34, p. 179–191, 2007.

KUBITZKI, K. Amazonian lowland and Guyana highland: historical and ecological aspects of their floristic development. **Revista Colomb. Cienc.** 17(65):271-276.1989.

KUBITZKI, K. The psammophilous flora of northern south america. **Memoirs of the New York Botanical Garden** 64:248-253.

KUHLMANN, M. **Como herborizar material arbóreo**. São Paulo: Instituto de Botânica, 1947. 39 p.1990.

LARCHER W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima Artes e Textos; 531 p.2000.

LEWIS, G.; SCHRIRE, B.; MARKINDER, B.; LOCK, M. *Legumes of the world*. **The Royall Botanic Garden**, Kew, London. 592p.2005.

LINDMAN, C. A. M. **A vegetação no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Liv. Universal. 356 p.1906.

LISBOA, P. L. Estudo sobre a vegetação das Campinas Amazônicas III - Observações gerais e bibliografia sobre as Campinas Amazônicas de areia branca. **Acta Amazonica** 3: 221 – 223.1975

LISBOA. P. L. Estudos sobre a vegetação das campinas amazônicas VI – Aspectos ecológicos de Glycoxylon inophyllum (Mart. Ex Miq.) Ducke. **Acta Amazonica**. 6 (2), p. 193 – 211.1976.

MAGUIRE, B.; COWAN, R. S.; WURDACK, J. J. The Botany of the Guayana Highland. A Report of the Kunhardt, the Phelps, and the New York Botanical Garden Venezuelan Expeditions. Memoir of M Y. **Botanical Garden**, 8(2):109-110.1953.

MARI, M. L. et al. Orchidaceae in Brazilian white-sand vegetation: richness, endemism and conservation. **Rodriguésia**, v. 67, n. 4, p. 1107–1117, 2016.

MARÍ, M.L.G.; TOLEDO, J.J.; NASCIMENTO, H.E.M.; ZARTMAN, C.E. Regional and Fine Scale Variation of Holoepiphyte Community Structure in Central Amazonian **WhiteSand Forests**. **Biotropica**, v. 48, n,1 p.70-80, 2016.

MENDONÇA, A. F. M; SIMAS, S. N. B; SHAEFER, C. E. G. R; FILHO, E. I. F; JÓNIOR, J. F. V; MENDONÇA, J. V. F. Podzolized soils and paleoenvironmental implications of white-sand vegetation (Campinarana) in the Viruá National Park, Brazil. **Geoderma Regional**, v.2, n.3, p.9-20, 2014.

MENDONÇA, B. A. F. D., FERNANDES FILHO, E. I., SCHAEFER, C. E. G. R., SIMAS, F.

N. B., VALE JUNIOR, J. F. D., LISBOA, B. D. A. R., & MENDONÇA, J. G. F. D. Solos e geoambientes do Parque Nacional do Viruá e entorno, Roraima: visão integrada da paisagem e serviço ambiental. **Ciência Florestal**, v. 23, p. 427-442, 2013.

MENDONÇA, B.F. DE; FERNANDES FILHO, E. I.; SCHAEFER, C. E . R.; MENDONÇA, J. G. DE; VASCONCELOS, B. N. F. Soil-vegetation relationships and community structure in a “terra-firme”-whitesand vegetation gradient in Viruá National Park, northern Amazon, 69 Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 89, n. 2, pp. 1269-1293. 2017.

MENDONÇA, M. S. de. **Aspectos anatômicos e distribuição de vasos laticíferos de algumas espécies de Manihot (manipóba)**. Tese. CNPq/INPA. 187pp.1980.

MIRANDA, I. S. et al. Florística e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea em campinaranas na Amazônia Oriental, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 44, n. 1, p. 1–12, 2014.

NICOTRA, A. B. et al. Plant phenotypic plasticity in a changing climate. **Trends in Plant Science**, Amsterdam, v. 15, n. 12, p. 684–692, 2010.

OLIVEIRA, A. A.; JOLY, C. A. Dynamics of tree species in Atlantic rain forest fragments in southeastern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 70, n. 3, p. 659–671, 2010.

OLIVEIRA, M. A. M. et al. Vegetação sobre Areias Brancas na Amazônia: estrutura, florística e ameaças à conservação. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 13, n. 3, p. 1093–1112, 2020.

PIGLIUCCI, M. Evolution of phenotypic plasticity: where are we going now? **Trends in Ecology & Evolution**, Amsterdam, v. 20, n. 9, p. 481–486, 2005.

POLETO, F.; ALEIXO, A. Implicações biogeográficas de novos registros ornitológicos em um enclave de vegetação de campina no sudoeste da Amazônia brasileira. **Revista Brasileira de Zoologia**. v. 22, p. 1196-1200, 2005.

PRANCE G. T. Islands in Amazonia. Phil. Trans. **Of The Royal Society Of London B Biol. Sci.** 351(1341):823-833.1996.

PRANCE, G. T. Amazonian white-sand forests and their endemics: an overview. **Biotropica**, v. 28, n. 1, p. 3–14, 1996.

PRANCE, G. T. Historical roots of the concepts of Amazonian white-sand forests. **Acta Amazonica**, v. 20, n. 4, p. 395–400, 1990.

PRANCE, G. T.; SILVA, M. F. C. The white-sand vegetation of Amazonia: a review of the terminology. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 54, n. 4, p. 879–889, 1994.

PRANCE, G.T. 1992 New species and new records of neotropical Chrysobalanaccae. **Kew Bull.** 47, 633-646.

RADAMBRASIL. Projeto Radambrasil. Folha No. 19. Pico da Neblina. v.11. **Levantamento de Recursos Naturais**. IBGE, Brasil.1978.

SAMPAIO, A. J. **Fitogeografia**. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro: IBGE, ano 2, n. 1, p. 59-78, jan. 1940. Disponível em: . Acesso em: out. 2012.

SANTOS, R. D. DOS; SANTOS, H. G. DOS; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. DOS; SHIMIZY, S. H. Manual de descrição e coleta de solos no campo. 7. ed. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciências do Solo**, ISBN: 978-85-8650-403-7.2015.

SCHLICHTING, C. D.; SMITH, H. Phenotypic plasticity: linking molecular mechanisms with evolutionary outcomes. **Evolutionary Ecology**, Dordrecht, v. 16, p. 189–211, 2002.

SORIANO, D., HUANTE, P., GAMBOA-DE BUEN, A., OROZCO-SEGOVIA, A., Seed reserve translocation and early seedling growth of eight tree species in a tropical deciduous forest in Mexico. **Plant Ecology**. 214, 1361-1375.2013.

SOUSA, H. C. de et al. Estratégias funcionais e morfoanatômicas de espécies lenhosas para restauração ecológica em Cerrado sensu stricto. **Cerne**, Lavras, v. 22, n. 3, p. 343–350, 2016.

SPRENT, J. I. Legume nodulation: a global perspective. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, n. 5, p. 1959–1969, 2007.

STORTI, E. F. **Dinâmica populacional e biologia reprodutiva de Cattleya eldorado Linden (Orchidaceae)**. Tese (doutorado) Universidade Federal do Amazonas - UFAM / Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, Manaus. 131p.2007.

SULTAN, S. E. Phenotypic plasticity for plant development, function and life history. **Trends in Plant Science**, Amsterdam, v. 5, n. 12, p. 537–542, 2000.

TAKEUCHI, M. A estrutura da vegetação na Amazônia. II. As savanas do norte da Amazônia. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. **Nova Série Botânica**, Belém, n. 7, p. 1-14, jul. 1960a.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

VALADARES, R. T. et al. Plasticidade fenotípica em plantas. **Oecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p. 1–13, 2006.

VALLADARES, F. et al. The plasticity of plant functional traits: structural and functional responses to variation in light environment. **New Phytologist**, v. 176, n. 4, p. 749–763, 2007.

VALLADARES, F.; NIINEMETS, Ü. Shade tolerance, a key plant feature of complex nature and consequences. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, Palo Alto, v. 39, p. 237–257, 2008.

VASCONCELOS, H. L.; WILLIAMSON, G. B. Campinaranas: white-sand forests of the Amazon Basin. **Biotropica**, v. 46, n. 3, p. 590–598, 2014.

VELOSO, H.P.; RANGEL-FILHO, A.L.R.; LIMA, J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 124p.1991.

VIA S, GOMULKIEWICZ R, JONG G, SCHEINER SM, SCHLICHTING CD, TIENDEREN PHV. Adaptive phenotypic plasticity: consensus and controversy. **Trends in Ecology and Evolution**.;19(1):212-217.1995.

VIA, S. et al. Adaptive phenotypic plasticity: consensus and controversy. **Trends in Ecology & Evolution**, Amsterdam, v. 10, n. 5, p. 212–217, 1995.

VICENTINI, ALBERTO. **A vegetação ao longo de um gradiente edificado no Parque Nacional do Jaú. Janelas para a biodiversidade no Parque Nacional do Jaú: uma estratégia para o estudo da biodiversidade na Amazônia** (SH Borges, S. Iwanaga, CC Durigan & MR Pinheiro, eds.). Fundação Vitória Amazônica/WWF/IBAMA, Manaus, p. 117-143, 2004.

VIEIRA, L .S. & OLIVEIRA FILHO, J.P. DOS SANTOS;- As Caatingas do rio Negro . **Bol. Técn do Inst. Agron, do Norte**, Be.1962.

ZAPPI, D. C. et al. **Plantas raras do Brasil**. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2011.

CAPÍTULO ÚNICO

Artigo Submetido
Revista Delos - B2
Data: Julho 2025

Variação morfológica da folha de *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth. (Fabaceae)
Morphological variation of the leaf of *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth. (Fabaceae)
Variación morfológica de la hoja de *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth. (Fabaceae)

Loreane Camargo Correia
mestranda no PPGCIFA UFAM
E-mail: lorecamargo.bio0497@gmail.com

Veridiana Vizoni Scudeller
Doutora em Biologia Vegetal
Instituição: Universidade Federal do Amazonas
Endereço: Manaus – Amazonas, Brasil
E-mail: vscudeller@ufam.edu.br

Zilza Thayane Matos Guimarães
Doutora em Ciências de Florestas Tropicais
Instituição: Instituto Nacional de Pesquisa na Amazônia
Endereço: Manaus – Amazonas, Brasil
E-mail: thayanematos91@gmail.com

Sinandra Carvalho dos Santos Fernandes
Doutoranda em Biodiversidade e Biotecnologia
Instituição: Universidade Estadual do Maranhão
Endereço: Parauapebas – Pará, Brasil
E-mail: sinandra.fernandes@uepa.br

RESUMO

A família Fabaceae abriga espécies com alta plasticidade morfológica, como *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth., presente nas campinaranas amazônicas. Este estudo teve como objetivo avaliar as variações morfológicas foliares desta espécie em diferentes condições de luminosidade (sol e sombra), comparando indivíduos em campinarana arbustiva (área da CEPLAC) e florestada (campus da UFAM), ambas em Manaus-AM. A metodologia incluiu coleta de folhas expostas ao sol e à sombra em cinco indivíduos adultos por área. Qtas folhas de cada? Foram analisadas espessura, área total da folha e área dos folíolos, com suporte de software estatístico (ANOVA Two-Way) e testes de normalidade (Shapiro-Wilk). Os resultados mostraram que a espessura foliar foi maior na campinarana florestada, especialmente em condições de sombra, enquanto a área dos folíolos foi 51% maior na campinarana arbustiva, onde há maior exposição solar. A área foliar total variou principalmente em função do local, sugerindo influência dos fatores edafoclimáticos regionais. A interação entre ambiente e

fitofisionomia também afetou significativamente os traços morfológicos. Conclui-se que *A. heterophylla* apresenta elevada plasticidade foliar como estratégia adaptativa à variação de luz e habitat, sendo sua morfologia um indicativo funcional de resposta ambiental. Os dados fortalecem seu potencial como espécie indicadora ecológica e sua aplicabilidade em programas de conservação e reflorestamento em ecossistemas amazônicos.

Palavras-chave: intensidade luminosa. campinarana. folíolo

ABSTRACT

The Fabaceae family includes species with high morphological plasticity, such as *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth., found in Amazonian campinarana ecosystems. This study aimed to evaluate the leaf morphological variation of the species under different light conditions (full sun and shade), comparing individuals from shrubland (CEPLAC) and forested (UFAM) campinaranas, both located in Manaus, Brazil. The methodology involved collecting sun- and shade-exposed leaves from five adult individuals per site. Leaf thickness, total leaf area, and leaflet area were analyzed using statistical software (Two-Way ANOVA) and normality tests (Shapiro-Wilk). Results showed that leaf thickness was higher in the forested campinarana, especially under shaded conditions, while leaflet area was 51% larger in the shrubland campinarana, where sunlight is more intense. Total leaf area varied mainly due to location, suggesting the influence of regional edaphoclimatic factors. The interaction between environment and vegetation type also significantly affected morphological traits. It is concluded that *A. heterophylla* exhibits high foliar plasticity as an adaptive strategy to light and habitat variation, with its leaf morphology serving as a functional indicator of environmental response. The findings reinforce the species' potential as an ecological indicator and its applicability in conservation and reforestation programs in Amazonian forest ecosystems.

Keywords: light intensity. campinarana. leaflet

RESUMEN

La familia Fabaceae incluye especies con alta plasticidad morfológica, como *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth., presente en los ecosistemas de campinarana amazónicos. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la variación morfológica foliar de la especie bajo diferentes condiciones de luminosidad (sol pleno y sombra), comparando individuos en campinaranas arbustivas (CEPLAC) y boscosas (UFAM), ambas ubicadas en Manaus, Brasil. La metodología incluyó la recolección de hojas expuestas al sol y a la sombra de cinco individuos adultos por sitio. Se analizaron el grosor foliar, el área foliar total y el área de los folíolos mediante software estadístico (ANOVA de dos vías) y pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk). Los resultados mostraron que el grosor foliar fue mayor en la campinarana boscosa, especialmente en condiciones de sombra, mientras que el área de los folíolos fue un 51% mayor en la campinarana arbustiva, donde la exposición solar es más intensa. El área foliar total varió principalmente en función del sitio, lo que sugiere la influencia de factores edafoclimáticos regionales. La interacción entre el ambiente y el tipo de vegetación también afectó significativamente los rasgos morfológicos. Se concluye que *A. heterophylla* presenta una alta plasticidad foliar como estrategia adaptativa a la variación de luz y hábitat, siendo su morfología un indicador funcional de respuesta ambiental. Los datos refuerzan su potencial como especie indicadora ecológica y su aplicabilidad en programas de conservación y reforestación en ecosistemas amazónicos.

Palabras clave: intensidad de la luz. campinarana. prospecto

1 INTRODUÇÃO

A família Fabaceae, uma das mais diversas e ecologicamente significativas no reino vegetal, abrange uma grande variedade de gêneros e espécies que desempenham papéis essenciais em diversos ecossistemas. Dentro desta família, *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth., uma espécie tropical pertencente ao gênero *Aldina*, se destaca por sua singularidade morfológica, fisiológica e ecológica (Rodrigues, 2009). O estudo desta espécie oferece importantes insights sobre os mecanismos de adaptação e sobrevivência das plantas tropicais, especialmente no que tange à sua morfologia foliar, processos fotossintéticos e a interação com o ambiente em que se desenvolvem. Neste contexto, a análise das características morfológicas, incluindo a área foliar e a espessura das folhas, surge como um elemento crucial para compreender a produção de massa foliar e os processos de crescimento das plantas (Kenzo *et al.*, 2010; Mota *et al.*, 2014).

Aldina heterophylla é uma planta de grande porte, com uma morfologia que inclui folhas compostas e alternadas, cujas características variam de acordo com as condições ambientais. Suas folhas, típicas das Fabaceae, apresentam uma estrutura adaptativa que permite maior eficiência fotossintética, especialmente em ambientes de baixa luminosidade. Estudos realizados por Mendes *et al.* (2019) indicam que a morfologia foliar das Fabaceae, incluindo o tamanho e a espessura das folhas, pode ser um indicador direto da produção de massa foliar e da capacidade fotossintética das plantas. A espessura foliar, por exemplo, tem sido associada a estratégias de adaptação a diferentes regimes de luz, refletindo a resposta da planta às condições ambientais de sua distribuição geográfica.

Informações sobre *A. heterophylla* exibem uma capacidade notável de adaptação a diferentes níveis de luz, que influencia diretamente a fotossíntese. Em condições de sombra, as folhas tendem a apresentar uma espessura maior, como uma adaptação para maximizar a captura de luz. Por outro lado, em locais de maior incidência solar, observa-se uma redução na espessura foliar, otimizando a dissipação de calor e evitando o estresse térmico (Silva *et al.*, 2018). Essa variação na morfologia foliar, correlacionada com o tipo de iluminação, é um exemplo claro de como as plantas dessa família respondem aos estímulos ambientais para maximizar seu crescimento e desenvolvimento. Além disso, estudos de Gallo *et al.* (2021) sobre a influência da incidência solar nas Fabaceae revelam que a exposição à luz intensa pode modificar o processo fotossintético, aumentando a eficiência do uso da luz e, consequentemente, a produção de biomassa.

De acordo com Klein (2018), *A. heterophylla* ocorre e, ecossistemas de campina, ocupa áreas florestais tropicais, geralmente associada a solos bem drenados e com alta taxa de umidade. Sua distribuição geográfica abrange regiões da América do Sul, incluindo a Amazônia, onde a interação com outros componentes da vegetação tropical é fundamental para seu ciclo de vida. Nessas formações, a espécie desenvolve-se em colaboração ecológica com epífitas e outros componentes da vegetação tropical, influenciando seu ciclo de vida e sucessão local (Klein, 2018). A espécie é frequentemente encontrada em áreas que variam entre zonas de pleno sol e sombra, o que proporciona uma compreensão mais profunda sobre as estratégias adaptativas do gênero *Aldina* em ambientes heterogêneos. Para Valadares *et al.* (2015) e Silva (2010) a plasticidade ecológica desta planta, no que diz respeito à tolerância a diferentes regimes de luz, também é um ponto de grande interesse para a biologia da conservação, pois permite que a espécie se adapte a diversas condições microclimáticas, o que pode ser crucial em um cenário de mudanças climáticas (Valadares *et al.*, 2015).

Outra questão é o crescimento e desenvolvimento da *A. heterophylla* estão intimamente ligados à sua capacidade de captar e utilizar a luz solar, um processo fundamental para a fotossíntese e, por conseguinte, para o aumento da biomassa e da produtividade. De acordo com Lima *et al.* (2019), as plantas que recebem maior incidência de luz apresentam um crescimento mais acelerado, com maior acúmulo de biomassa foliar, o que pode ser observado em *Aldina* em áreas mais abertas e iluminadas. No entanto, em locais mais sombreados, o crescimento pode ser mais lento, mas a planta mantém uma taxa fotossintética eficiente devido à adaptação morfológica das folhas.

Um estudo conduzido por Wright *et al.*, (2004) sobre a morfologia foliar vai além da simples descrição anatômica das plantas. Importância dos estudos de morfologia foliar vai além da simples descrição anatômica das plantas. A área foliar e a espessura das folhas são representadas pela LMA (*Leaf Mass per Area*) que são indicadores preciosos da capacidade fotossintética e da produção de massa foliar, refletindo diretamente na saúde e sustentabilidade das populações vegetais. Estudos recentes indicam que esses parâmetros são vitais para o entendimento dos mecanismos de adaptação das plantas tropicais e suas respostas ao ambiente (Oliveira *et al.*, 2022). No caso da *Aldina heterophylla*, a análise morfológica das folhas pode revelar informações cruciais para a conservação da espécie, principalmente em cenários de degradação ambiental, onde o monitoramento das mudanças morfológicas pode servir como um alerta precoce para a saúde do ecossistema.

Conforme Pinto *et al.*, (2025), compreender como *A. heterophylla* e outras espécies de Fabaceae respondem às condições ambientais, especialmente por meio de alterações em traços foliares funcionais, é essencial para a implementação de estratégias de preservação e manejo sustentável, uma vez que essas respostas podem indicar resiliência ou vulnerabilidade a mudanças climáticas e alterações no uso da terra. As variações na incidência solar, somadas às adaptações morfológicas e fisiológicas, são fundamentais para o desenvolvimento de estratégias de restauração florestal e conservação da biodiversidade. Assim, a combinação de dados morfológicos, fisiológicos e ecológicos não só enriquece o conhecimento sobre a biologia da espécie, mas também contribui para a construção de práticas de manejo mais eficazes e para a preservação das florestas tropicais (Costa *et. al.*, 2005; Almeida *et. al.*, 2014).

O objetivo deste estudo foi avaliar as variações morfológicas das folhas de *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth. (Fabaceae) nas condições de luminosidade distintas (pleno sol e sombra), associadas, respectivamente, aos ambientes de campinarana aberta e florestada localizados em duas áreas no município de Manaus-Amazonas, Brasil, utilizando as características morfológicas de espessura e área foliar como indicadores de produção de massa verde foliar. Os dados obtidos acerca dessa espécie endêmica das campinaranas amazônicas, poderão ainda contribuir na avaliação da viabilidade de utilização da espécie estudada em reflorestamento, fomentando ações de recuperação e recomposição do sub-bosque nativo ou iniciativas de manejo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

Foram selecionadas duas fitofisionomias de campinarana na região metropolitana de Manaus, estado do Amazonas, para a execução deste estudo (Figura 1), a saber: a campinarana do fragmento florestal do campus da Universidade Federal do Amazonas (UFAM – Figura 1A), classificada como campinarana florestada, na cidade de Manaus e a segunda área de campinarana arbustiva na área da CEPLAC (Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira – Figura 1B), no km 42 da BR 174.

Em relação ao clima a região de Manaus (3°06' S, 60°00' W) possui clima tropical monçônico (Am) segundo a classificação de Köppen-Geiger, com temperatura média anual de cerca de 26,7 °C e precipitação anual em torno de 2 300 mm (Cohen, 2017; Da Silva *et al.*, 2019). A estação chuvosa se estende de dezembro a junho, com picos de precipitação em março (~335 mm), enquanto o período mais seco ocorre entre julho e agosto (~50 mm/mês), refletindo

alta variabilidade sazonal (Cohen, 2017; Da Silva *et al.*, 2019). As temperaturas variam pouco ao longo do ano, com máximas de 33 °C (agosto/setembro) e mínimas entre 23 °C e 24 °C (junho/fevereiro), mantendo um padrão térmico extremamente estável na Amazônia central (INMET, 2021).

O período chuvoso estende-se desde novembro até o mês de maio, e nos meses restantes ocorre uma queda sensível nas precipitações, notadamente nos meses de agosto e setembro Marques Filho *et al.*, (1981). Para este estudo foram selecionados dois sítios de coleta, um localizado na área de fragmento florestal na Universidade Federal do Amazonas (UFAM) com fitofisionomia de campinarana florestada e o segundo sítio de coleta dentro da área da Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC), com fitofisionomia de campinarana arbustiva, ambos localizados na Amazônia Central.

O fragmento florestal da UFAM é o terceiro maior fragmento de floresta em área urbana do país e do mundo, o que auxiliou para a criação da APA MANAÓS (Área de Proteção Ambiental). Atualmente o fragmento florestal do campus da UFAM é de 6,7 milhões de metros quadrados, com um perímetro 16,9 km de terreno.

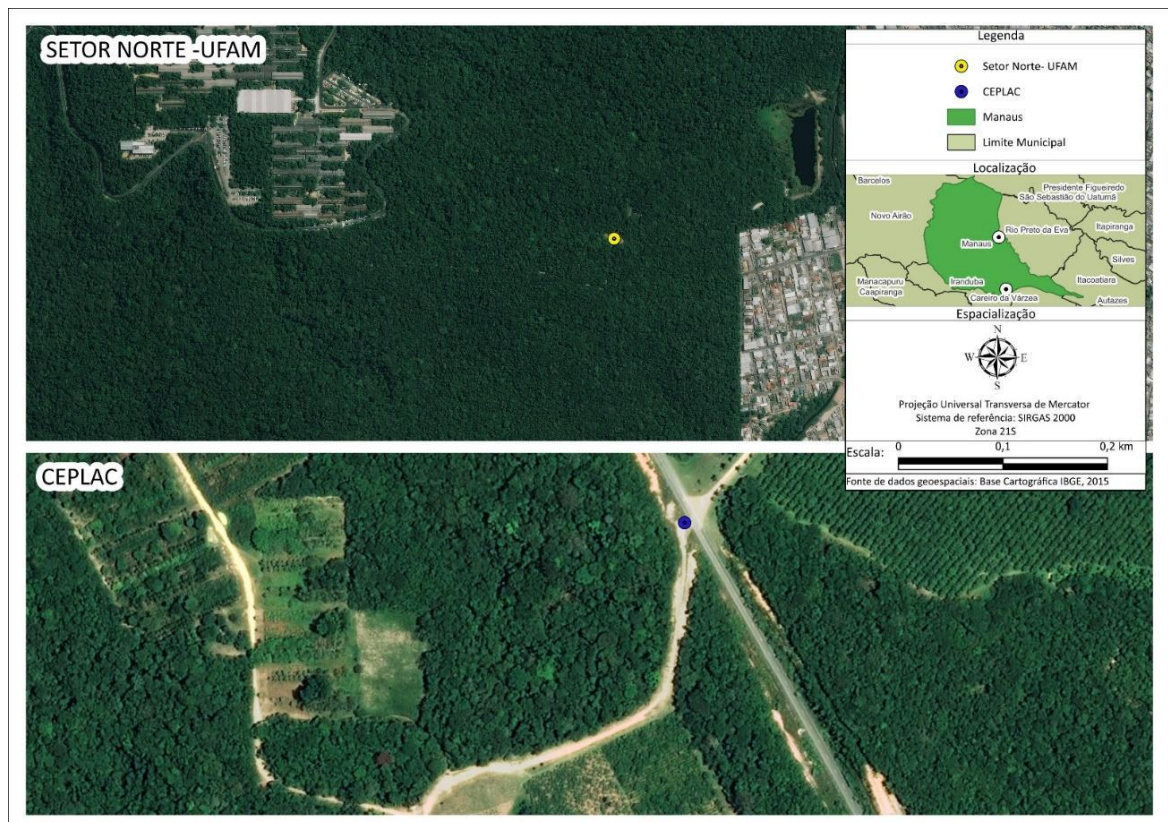
Estudos realizados por Serafini (2007) analisaram a estrutura de dez fragmentos florestais urbanos em Manaus, incluindo o da UFAM, destacando sua importância para a conservação da biodiversidade local. A pesquisa revelou que o fragmento da UFAM apresenta uma área basal estimada em 12,27 m²/ha, com uma rica composição florística composta por 256 espécies distribuídas em 51 famílias botânicas. Além disso, o Índice de Shannon calculado foi de 4,53, indicando alta diversidade biológica.

Para Mazon *et al.* (2019) a vegetação do fragmento da UFAM é composta por uma variedade de espécies arbóreas, incluindo representantes das famílias Arecaceae, Euphorbiaceae e Mimosaceae [=Fabaceae]. A regeneração natural é observada em diferentes estágios, desde áreas em regeneração inicial até zonas com vegetação madura, refletindo a dinâmica ecológica do local. Estudos sobre a regeneração natural indicam que o fragmento apresenta uma diversidade de espécies em diferentes estágios de desenvolvimento, o que é essencial para a manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos prestados pela área.

O segundo sítio de coleta, uma área de campinarana arbustiva, com dossel em torno de 7m, pertencente a área do CEPLAC (está localizada no km 42 da rodovia BR-174). No trecho de campo localizado no km 42 da BR-174, dentro da área da CEPLAC, caracteriza-se uma campinarana arbustiva com dossel médio de cerca de 7 m, típica das formações de solo arenoso

e de baixa fertilidade da Amazônia central. Segundo Santos (2024), em suas investigações no baixo Rio Negro, esse tipo de campinarana apresenta composição florística diversificada, variando de 219 espécies em 52 famílias, mostrando distinções marcantes entre fisionomias primárias e regeneradas em função da profundidade do lençol freático e textura do solo (Santos, 2024) Complementando essa perspectiva, Demarchi *et al.* (2018) demonstraram que parâmetros edáficos mínimos, mesmo em variações sutis, influenciam significativamente a estrutura arbórea e a riqueza florística dessas áreas, reforçando a ideia de que pequenas mudanças no ambiente físico moldam a vegetação em campinaranas (Demarchi *et al.* , 2018).

Figura 1 - Mapa de localização das áreas de estudo, Manaus, Amazonas - Brasil.



Fonte: Adaptado por Holanda, 2025.

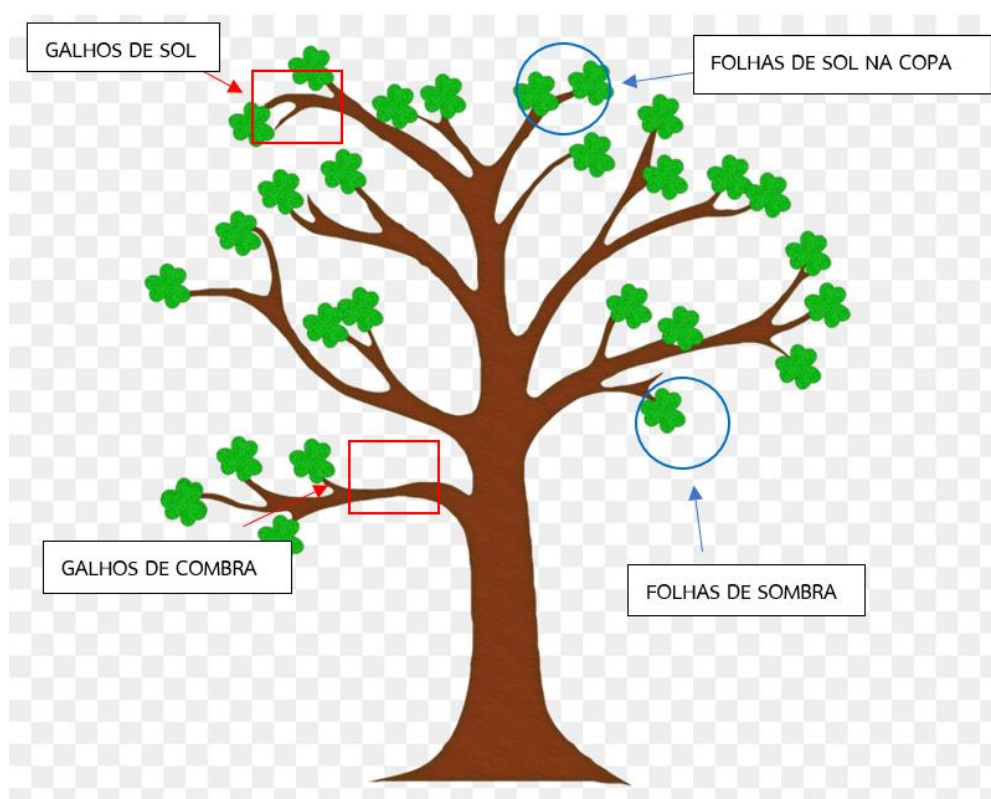
2.2 COLETA DE DADOS BIOLÓGICOS

Foram selecionados cinco indivíduos aleatoriamente de *Aldina heterophylla* da classe adulta (PAP>15 – perímetro a altura do peito) em cada sítio de coleta. De cada indivíduo foram coletados 5 folhas expostas ao sol e 5 folhas à sombra (na região do interior da copa nos ramos mais próximos ao solo). Todas as amostras vegetais foram armazenadas em sacos plásticos

preto e acondicionadas em caixas térmicas e posteriormente analisadas no laboratório de Taxonomia Vegetal da UFAM, Manaus – AM.

Os ramos foram coletados com o apoio de um podão de alta poda, tanto os a pleno sol e ramos no interior da copa. De cada região amostrada foram selecionamos um total de 25 folhas, já totalmente expandidas a partir do 3^o nó e 3 fitômeros (regiões entre 2 nós do caule), ou seja, tanto para galhos a pleno sol quanto para galhos do interior da copa, a partir da primeira ramificação, como demonstra o esquema abaixo (Figura 2). Repetindo o mesmo processo de coleta em cada um dos cinco indivíduos de amostrados.

Figura 2 - Esquema das partes onde as folhas foram coletadas.



Fonte: Elaborada pelas próprias autoras, 2025.

As folhas foram fotografadas para cálculo de área foliar, obtido como apoio do software Image J e minuciosamente mensuradas a espessura (considerado o valor médio de todos os folíolos por folha), com auxílio de um paquímetro digital e comparadas entre si para verificar se houve variação relevante quanto ao tamanho e espessura e entre os tipos de campinaranas (Farias *et al.*, 2020).

Também foram descritos o comprimento e largura foliar total, assim como o comprimento e largura média de todos os folíolos da folha fresca. Nesse processo, foi medido o comprimento de cada folíolo seco individualmente, com o auxílio de uma régua; em seguida

foram mensurados a largura de cada folíolo em sua parte mais extensa. Para obter-se a largura média do conjunto de folíolos secos, foi efetuada a soma de todas as larguras, que em seguida foi dividida pelo número total de folíolos. As folhas foram colocadas em estufa a 65 °C até atingirem massa constante, possibilitando o posterior cálculo da área foliar específica (Farias *et al.*, 2020).

Para o cálculo da área foliar específica foi utilizada a razão da área foliar pela massa foliar seca, a partir de discos foliares de área conhecida, sendo utilizados 30 discos por repetição (Garnier *et al.*, 2001; Evans *et al.*, 2001).

2.3 ANÁLISE DOS DADOS

A análise do teste de Shapiro-Wilk avaliou a hipótese nula de que os dados seguem uma distribuição normal. Os dados foram ordenados e, em seguida, foram verificados os pressupostos de normalidade e homogeneidade de variâncias.

Quando os dados não atenderam aos pressupostos (como no caso da área do folíolo), foi realizada a transformação logarítmica. Em seguida, foi realizada uma análise de variância (ANOVA) Two-Way para verificar o efeito da fitofisionomia (campinarana arbustiva – CEPLAC – e campinarana florestada – UFAM), da incidência solar (exposta ao sol e sombra) e da interação entre esses fatores sobre a espessura foliar, a área foliar da folha inteira e a área foliar do folíolo (Santos, 2020). Quando os efeitos foram significativos, aplicou-se o teste post hoc de Tukey com nível de significância de 5%. Para as análises estatísticas foi utilizado o software Statistica 9.0 e para a elaboração dos gráficos o software SigmaPlot 12.0.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ESPESSURA DA FOLHA

Para a espessura da folha houve diferença significativa entre os tratamentos de sol e sombra de ambas as campinaranas citadas neste estudo nem para as fitofisionomias (arbustiva - CEPLAC e florestada - UFAM). No Teste de Tukey HDS os valores médios das espessuras das folhas foram significativamente menores no grupamento de sombra na campinarana arbustiva (CEPLAC) e no sol na campinarana florestada UFAM (Figura 3), quando agrupados T-tests por ambiente a espessura na sombra apresentou maior espessura (Mean sol = 2.8607; Mean sombra = 2.8707).

O quadro 1, apresenta os valores médios obtidos para cada variável analisada. Observa-se que a área foliar total apresentou maiores amplitudes em indivíduos localizados em ambientes mais sombreados, enquanto a espessura foliar foi ligeiramente superior em plantas expostas ao sol, sugerindo uma possível adaptação anatômica à radiação solar.

Quadro 1 - Valores (média $\pm$ desvio padrão) das características foliares de acordo com o local e ambiente para a espécie *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth (Macucu).

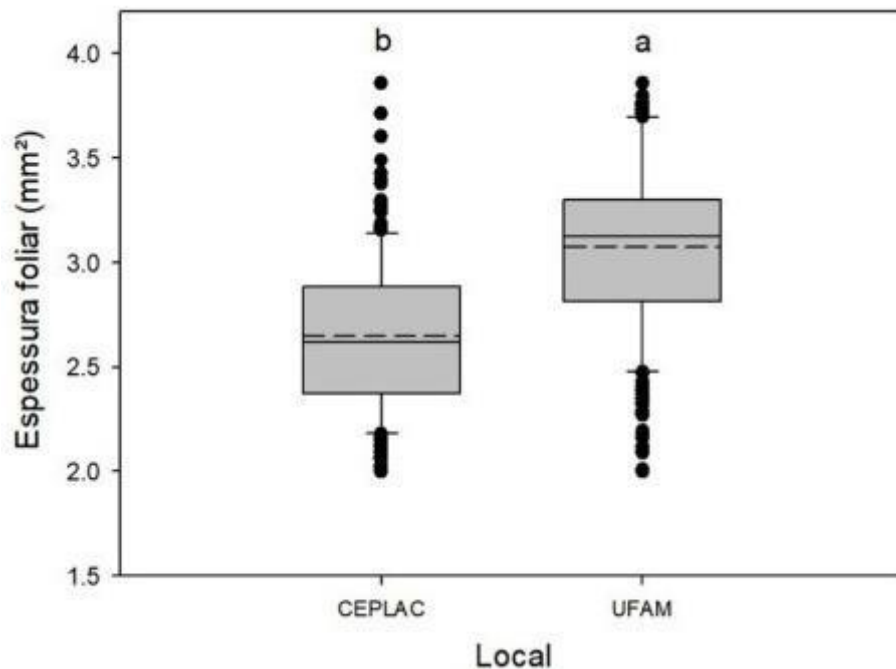
Característica	Local		Ambiente	
	CEPLAC	UFAM	Sol	sombra
Espessura(mm)	2,65 $\pm$ 0,36	3,07 $\pm$ 0,41	2,86 $\pm$ 0,43	2,87 $\pm$ 0,46
Area foliar (mm ²)	22,37 $\pm$ 2,58	25,01 $\pm$ 1,34	22,09 $\pm$ 11,95	22,48 $\pm$ 18,98
Area do folíolo (mm ²)	73,29 $\pm$ 25,01	48,68 $\pm$ 13,46	64,57 $\pm$ 26,77	57,57 $\pm$ 18,05

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Foi possível verificar que os valores das espessuras das folhas dos espécimes avaliados na campinarana florestada (UFAM) foram 15% maiores que as da área da campinarana arbustiva (CEPLAC) (Figura 3). Além disso, a espessura foliar mostrou-se ligeiramente maior em ambientes de sombra, especialmente nas campinaranas florestadas, evidenciando uma resposta adaptativa à menor disponibilidade de luz. Já as folhas expostas ao sol apresentaram menor espessura, favorecendo a dissipação de calor e a proteção contra estresse térmico.

De acordo com os dados obtidos, foi possível verificar que os valores médios de espessura foliar dos espécimes avaliados na campinarana florestada (UFAM) foram aproximadamente 15% superiores aos observados na campinarana arbustiva (CEPLAC) (Figura 4). Esse padrão pode estar relacionado a diferenças nas condições ambientais entre os locais, como disponibilidade de luz, nutrientes e umidade do solo, que influenciam diretamente a morfologia foliar das plantas. Estudos como o de Niinemets (2001) destacam que ambientes mais sombreados, como os encontrados em florestas densas, tendem a favorecer o desenvolvimento de folhas mais espessas, como uma adaptação para otimizar a captação de luz e melhorar a eficiência fotossintética. Esses resultados reforçam a importância das características ambientais locais na modulação de traços funcionais das plantas.

Figura 3 - Box-plot da espessura foliar para árvores da espécie *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth (Macucu) em duas fitofisionomias no Amazonas.



Fonte: Elaborada pelas autoras, 2025.

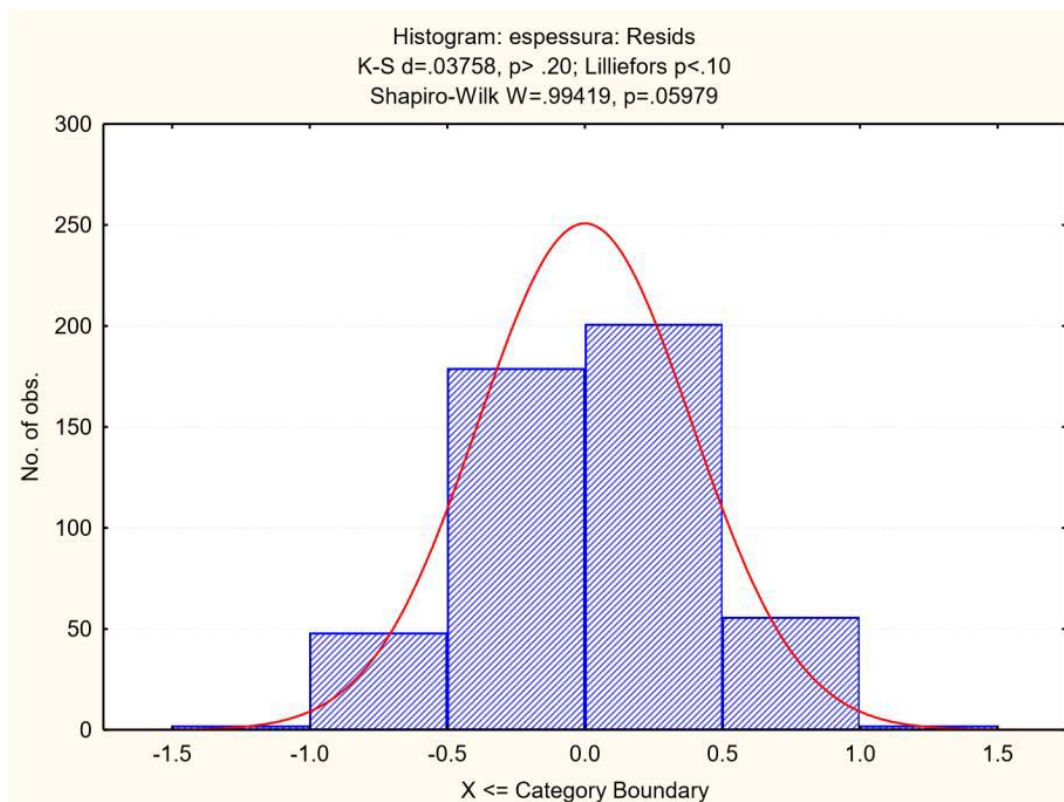
Foi observado que a espessura das folhas é moderada, refletindo uma estrutura eficiente para a fotossíntese e a troca gasosa, enquanto a disposição das folhas ao longo dos ramos maximiza a exposição à luz e minimiza o sombreamento mútuo (Lorenzi, 2002; Gentry, 1993).

A espessura das folhas vegetais é uma característica morfológica fundamental que desempenha um papel crucial na adaptação das plantas aos diferentes ambientes em que ocorrem. Folhas mais espessas geralmente estão associadas a uma maior capacidade de retenção de água e proteção contra a perda excessiva de água, especialmente em espécies que habitam ambientes áridos ou com alta radiação solar (Zhang *et al.*, 2019). Além disso, a espessura das folhas pode influenciar a eficiência fotossintética, uma vez que a densidade celular e a quantidade de tecido parenquimatoso na folha afetam a troca gasosa e a captação de luz (Mott *et al.*, 2020).

O histograma apresentado na figura 4, refere-se à distribuição dos resíduos da variável espessura das folhas de *Aldina heterophylla* utilizado como parte da verificação dos pressupostos de normalidade para análise estatística. No gráfico, observa-se uma distribuição simétrica, com formato aproximadamente em sino, compatível com a distribuição normal teórica (curva vermelha). O Teste de Shapiro-Wilk, aplicado para avaliar a normalidade dos dados, apresentou valor de $W = 0,99419$ e $p = 0,05979$, indicando que não há evidências estatísticas para rejeitar a hipótese nula de normalidade ao nível de 5% de significância. Isso

significa que os resíduos da espessura foliar seguem uma distribuição normal, validando a aplicação de testes paramétricos, como a ANOVA, utilizados na análise dos efeitos da fitofisionomia e da incidência solar sobre essa característica morfológica. Resultados semelhantes foram encontrados por Zhang *et al.* (2019), ao analisarem a espessura foliar de espécies arbóreas tropicais e verificarem que essa variável também apresentava distribuição normal, sendo adequada para inferências estatísticas robustas.

Figura 4 - Histograma da espessura das folhas para árvores da espécie *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth (Macucu) no Teste Shapiro-Wilk.



Fonte: Elaborada pelas autoras, 2025.

A espessura também está relacionada à resistência mecânica das folhas, ajudando a proteger as células contra danos físicos, como rasgos ou desidratação, e pode ser um indicativo de resistência a herbívoros (Givnish, 2019). Em um contexto evolutivo, a espessura foliar se correlaciona com os padrões de crescimento das plantas, sendo uma característica que reflete a adaptação morfológica ao ambiente específico em que a planta se encontra.

Quanto a fitofisionomia vegetal estudada a Campinarana Florestada (UFAM) apresentou maior média em espessura que a as folhas coletadas da Campinarana Arbustiva (CEPLAC) como apresentado na figura 4. A vegetação de campinaranas é caracterizada pela presença de uma diversidade de espécies arbóreas, mas com uma biomassa total relativamente baixa, quando comparada a outros tipos de floresta amazônica. A estrutura da vegetação pode

variar consideravelmente em função da altura das árvores, com a formação de campinaranas abertas, onde as árvores são mais esparsas e com alturas reduzidas, contrastando com áreas de campinaranas fechadas, em que as árvores atingem alturas mais elevadas e a densidade de indivíduos arbóreos é maior. De acordo com estudos realizados por Oliveira *et al.* (2022), a variação na densidade de espécies arbóreas e na biomassa da vegetação de campinaranas está intimamente ligada às características edáficas e às variações no regime hidrológico, refletindo a adaptação das plantas às condições ambientais específicas dessas regiões.

As diferenças estruturais entre campinaranas arbustivas e florestadas influenciam diretamente processos ecológicos cruciais, como competição por luz e nutrientes, regeneração natural e ritmo de crescimento das árvores. Em campinaranas mais abertas, caracterizadas por dossel mais baixo e solos arenosos oligotróficos, a vegetação tende a ser rala, com menor densidade de indivíduos e domínio de poucos táxons — característica descrita por Mendonça (2011), que identificou uma biomassa significativamente reduzida e menor densidade de espécies nesses ambientes, em comparação com campinaranas florestadas.

Além disso, Nogueira (2014), demonstrou que a disponibilidade de água no solo, influenciada pela proporção entre areia fina e grossa (proxy do status hídrico), molda grupos funcionais distintos, o que reforça a ideia de que a estrutura física dos substratos determina a composição e fisionomia da vegetação

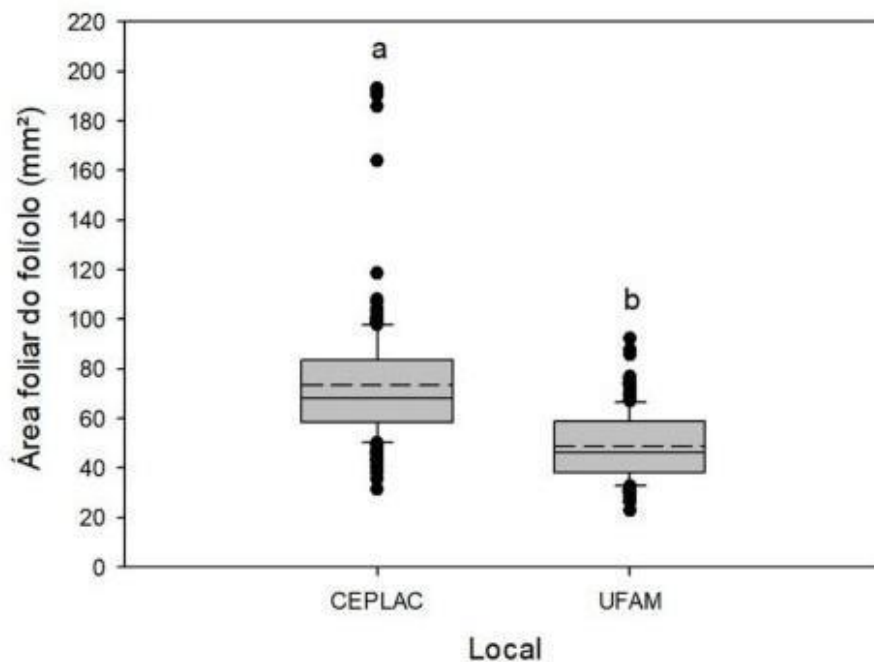
Em contrapartida, nas campinaranas fechadas, as árvores mais altas formam um dossel mais denso, o que promove uma maior competitividade entre as espécies para a captura de luz e recursos. Estudos como o de Costa *et al.* (2005), destacam que a análise da biomassa e da densidade das espécies arbóreas é fundamental para entender as dinâmicas de crescimento e os padrões de distribuição espacial das espécies nessas formações vegetais, além de fornecer subsídios para a conservação de ecossistemas florestais com características únicas, como as campinaranas.

A anatomia foliar de *A. heterophylla* é uma adaptação às condições de alta umidade e estabilidade térmica do seu habitat nativo, conferindo-lhe uma capacidade de resistir a variações ambientais sem comprometer sua função fotossintética (Lorenzi, 2002; Gentry, 1993).

Foi observado os valores da área do folíolo para as árvores encontradas na vegetação de campinarana aberta (CEPLAC) apresentaram-se 51% maiores que as da campinarana florestada (UFAM), conforme apresentado na figura 5. Apresenta que a área foliar dos folíolos das árvores da campinarana arbustiva (CEPLAC) foi significativamente maior do que a da campinarana florestada (UFAM), com um aumento médio de aproximadamente 51%. Esse resultado sugere

que as plantas em ambientes mais abertos tendem a desenvolver folhas com maior área, como uma estratégia adaptativa para maximizar a interceptação de luz solar, essencial para a fotossíntese. Em contrapartida, em ambientes florestados, como na UFAM, onde a luz é mais limitada devido à cobertura vegetal mais densa, as folhas menores podem representar uma vantagem ao reduzir a perda de água e evitar o sombreamento entre as folhas da própria planta.

Figura 5 - Box-plot da área do folíolo para árvores da espécie *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth (Macucu) em dois ambientes no Amazonas.



Fonte: Elaborada pelas autoras, 2025.

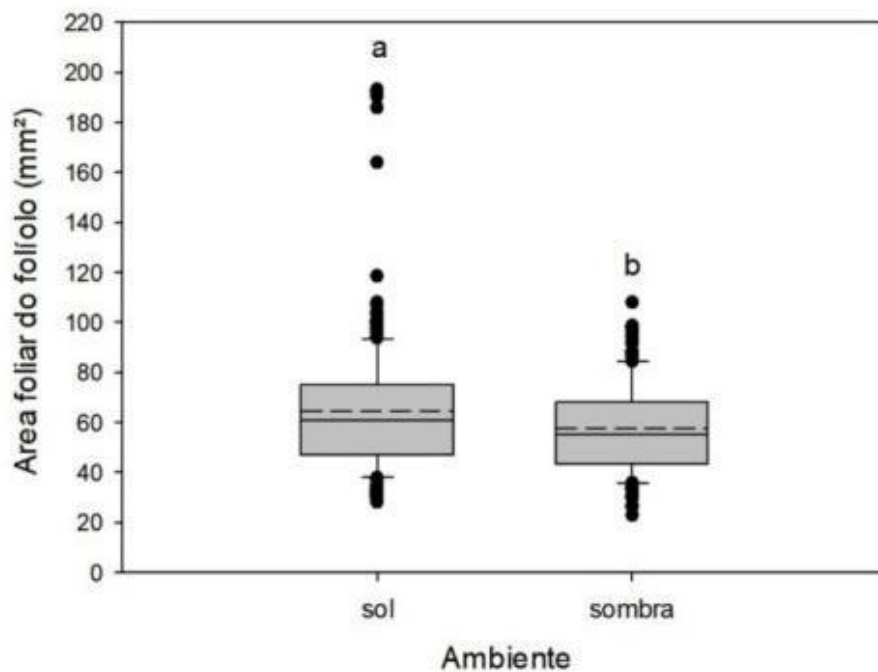
Essa tendência é corroborada por estudos recentes, como o de Wright *et al.* (2004), que destacam como as características funcionais das folhas — incluindo sua área — são altamente influenciadas por gradientes ambientais, especialmente de luz, umidade e disponibilidade de nutrientes.

3.2 ÁREA FOLIOLAR

O folíolo, unidade morfológica das folhas compostas, desempenha um papel fundamental na fisiologia das plantas, especialmente na captação de luz solar e na maximização dos processos fotossintéticos. Com sua forma e estrutura adaptativas, o folíolo contribui para a eficiência da fotossíntese ao proporcionar uma maior área foliar exposta à luz, o que favorece a troca gasosa e a produção de compostos orgânicos essenciais para o crescimento e desenvolvimento da planta, Souza *et al.* (2023).

Para a área do folíolo das árvores da espécie *A. heterophylla* em relação a incidência solar, os valores médios dos folíolos ao sol foram 12% maiores que os folíolos na sombra (Figura 6).

Figura 6 - Box-plot da área do folíolo para árvores da espécie *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth (Macucu) em relação a incidência solar.

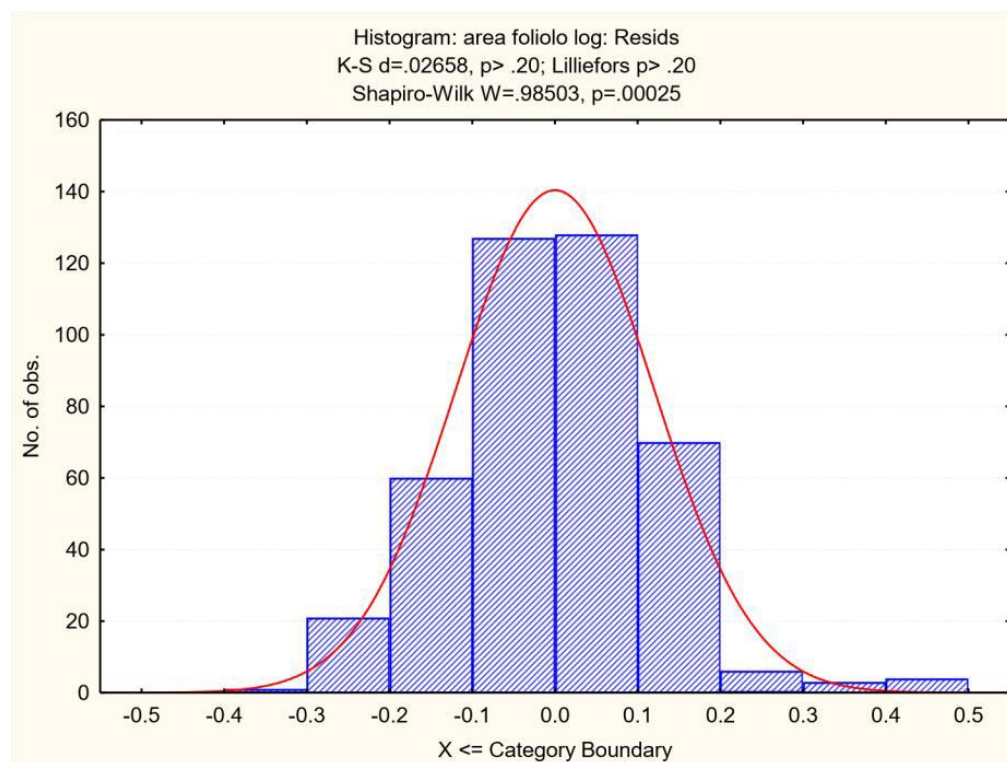


Além disso, a disposição dos folíolos, como observado em espécies de *Fabaceae*, pode variar de acordo com o ambiente, apresentando diferentes estratégias morfológicas, como o arranjo alternado ou oposto, que otimizam a interceptação de luz em condições de sombra ou sol intenso (Souza *et al.*, 2020). Fisiologicamente, a espessura da lâmina foliar e a densidade estomática nos folíolos são cruciais para a regulação da transpiração e do equilíbrio hídrico da planta, sendo determinantes para a eficiência do uso da água. Dessa forma, a estratégia apresentada pela *A. heterophylla* Spruce ex Benth (Macucu) onde o folíolo não apenas atua como um órgão fotossintético primário, mas também como um elemento essencial na adaptação da planta a diferentes condições ambientais, refletindo diretamente em sua capacidade de produção de biomassa e em sua resistência a estresses bióticos e abióticos. Estudos como o de Souza *et al.* (2023) mostram que a morfologia foliar, incluindo a área e a espessura dos folíolos, é um indicador importante da adaptação das plantas tropicais a variações climáticas e edáficas.

O gráfico apresentado na figura 7, apresenta o histograma dos resíduos da variável área do folíolo de *A. heterophylla* Spruce ex Benth., após transformação logarítmica, com o objetivo

de atender aos pressupostos de normalidade exigidos para análises estatísticas paramétricas. A distribuição dos dados revela uma aproximação satisfatória à curva de distribuição normal (linha vermelha), com simetria e pouca dispersão. O Teste de Shapiro-Wilk, utilizado para verificar a normalidade dos resíduos, resultou em $W = 0,98503$ e $p = 0,0025$, indicando uma rejeição da hipótese nula de normalidade ao nível de 5% de significância, mesmo com a transformação. Apesar disso, a visualização gráfica e os demais testes (como Kolmogorov-Smirnov e Lilliefors) com $p > 0,20$ indicam uma tendência de normalidade suficiente para manter a aplicação da ANOVA, especialmente considerando o tamanho da amostra. Resultados semelhantes foram encontrados por Evans e Poorter (2001), ao analisarem características morfológicas foliares em espécies tropicais e observarem que, embora algumas variáveis necessitassem de transformação, os resíduos ainda apresentavam comportamento próximo à normalidade, permitindo o uso de testes paramétricos.

Figura 7 - Histograma da área folíolo para árvores da espécie *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth (Macucu) no Teste Shapiro-Wilk.



Fonte: Elaborada pelas autoras, 2025.

As folhas de *A. heterophylla* apresentam uma morfologia distinta, adaptada ao ambiente de floresta tropical densa. As folhas são compostas, com folíolos opostos, exibindo uma forma elíptica a lanceolada, com margens inteiras e uma textura coriácea que confere resistência à perda de água. Anatomicamente, a nervura central é bem pronunciada, com nervuras

secundárias dispostas de maneira pinnada, evidenciando um padrão de vascularização eficiente. A superfície da lâmina foliar é brilhante, com uma coloração verde intensa, característica de espécies adaptadas a captar maximamente a luz sob as condições de sombra parcial típicas da floresta tropical (Lorenzi, 2002; Gentry, 1993).

Segundo Poorter, L., e Kitajima, K. (2021) a radiação solar desempenha um papel crucial na determinação do tamanho da área foliar e da área dos folíolos em plantas da família Fabaceae, influenciando diretamente os processos fotossintéticos e a eficiência no uso de recursos.

Rodrigues e Gonçalves (2014), apresentaram resultados semelhantes quando investigaram a Ecofisiologia de *Aldina heterophylla* ao longo de um gradiente de vegetação na Amazônia (campina → campinarana → floresta ombrófila). Eles observaram que em ambientes de alta irradiância (campinas), as folhas apresentavam maior área foliar, folíolos mais longos e finos, adaptação típica para otimizar a captura de luz em condições de alto estresse luminoso

Além disso, o estudo de Park *et al.* (2023) sobre espécies arbóreas tropicais expostas a diferentes níveis de luz mostrou claramente que a densidade de massa foliar por área (LMA) aumenta em ambientes abertos, enquanto a flexibilidade e comprimento foliar também se elevam, estratégias semelhantes às descritas para *A. heterophylla*.

Em ambientes sombreados, as plantas ajustam sua morfologia foliar, desenvolvendo folhas maiores, mais espessas e folíolos mais largos para otimizar a eficiência fotossintética sob baixa luminosidade. Esse ajuste adaptativo é mediado por redes hormonais complexas envolvendo auxinas, giberelinas e citocininas, que regulam o crescimento expansivo e a alocação de biomassa foliar em resposta à disponibilidade de luz (Li *et al.*, 2021). Complementando essas evidências, estudos recentes indicam que folhas sombreadas apresentam menor massa foliar por área (LMA) e maior conteúdo relativo de clorofila, como observado por Sancho-Knapik *et al.* (2025), reforçando a capacidade adaptativa das plantas frente à luz reduzida.

Esse ajuste morfológico é mediado por processos hormonais e regulatórios que permitem às plantas maximizarem sua produtividade em diferentes condições de luz, refletindo uma resposta adaptativa à radiação solar disponível.

De acordo com os trabalhos de Gallo *et al.* (2021), a análise da morfologia foliar em função da radiação solar tem sido um campo importante de estudo para entender as estratégias de adaptação das plantas tropicais e a variação na biomassa da *A. heterophylla*.

3.3 ÁREA FOLIAR

Com base nos dados apresentados no quadro 2, observa-se que a resposta morfológica foliar da espécie *Aldina heterophylla* varia significativamente de acordo com o local e, em alguns casos, com o tipo de ambiente (sol ou sombra). Para a espessura foliar, apenas o fator local apresentou efeito estatisticamente significativo ($p < 0,001$), indicando que as diferenças geográficas entre CEPLAC e UFAM influenciam diretamente essa característica, independentemente da condição de luz. Já para a área foliar total, o local também foi significativo ($p = 0,043$), enquanto os fatores ambientes e a interação entre local e ambiente não apresentaram significância estatística, sugerindo que essa característica é mais influenciada por aspectos edafoclimáticos regionais do que pela disponibilidade de luz direta. Em contraste, a área do folíolo demonstrou sensibilidade tanto ao local ($p < 0,001$) quanto ao ambiente ($p < 0,001$), revelando que essa variável é altamente plástica e responde tanto a variações geográficas quanto às condições de luz.

Esses resultados reforçam a ideia de que *A. heterophylla* apresenta estratégias adaptativas diferenciadas em resposta ao ambiente, com características morfológicas foliares fortemente moduladas por fatores locais e microambientais, em consonância com estudos sobre plasticidade funcional em espécies arbóreas tropicais (Fonseca *et al.*, 2022; Valladares; Niinemets, 2008).

Quadro 2 - Significância (P-valor) da ANOVA-two-way para o efeito do local, ambiente e interação nas características foliares de *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth (Macucu).

	Local	Ambiente	Local x ambiente
Espessura(mm)	< 0,001	0,716	0,418
Area foliar(m ²)	0,043	0,780	0,063
Area do folíolo(m ²)	<0,001	<0,001	0,774

Fonte: Elaborada pelas autoras, 2025.

A área foliar é uma característica morfológica essencial para a compreensão das adaptações das plantas ao ambiente, especialmente em espécies arbóreas tropicais como *Aldina heterophylla*. Essa variável está diretamente relacionada à capacidade da planta de captar luz para a fotossíntese, ao mesmo tempo em que influencia processos como transpiração e troca gasosa. Em ambientes com diferentes regimes de luminosidade, como aqueles encontrados nas campinaranas abertas e florestadas, a área foliar pode variar como uma estratégia adaptativa para otimizar a eficiência fotossintética e minimizar o estresse hídrico (Valladares; Niinemets, 2008). Para *A. heterophylla*, as diferenças observadas na área do folíolo entre indivíduos em

ambientes de sol pleno e sombra indicam plasticidade morfológica que permite a maximização do desempenho fisiológico em condições ambientais contrastantes.

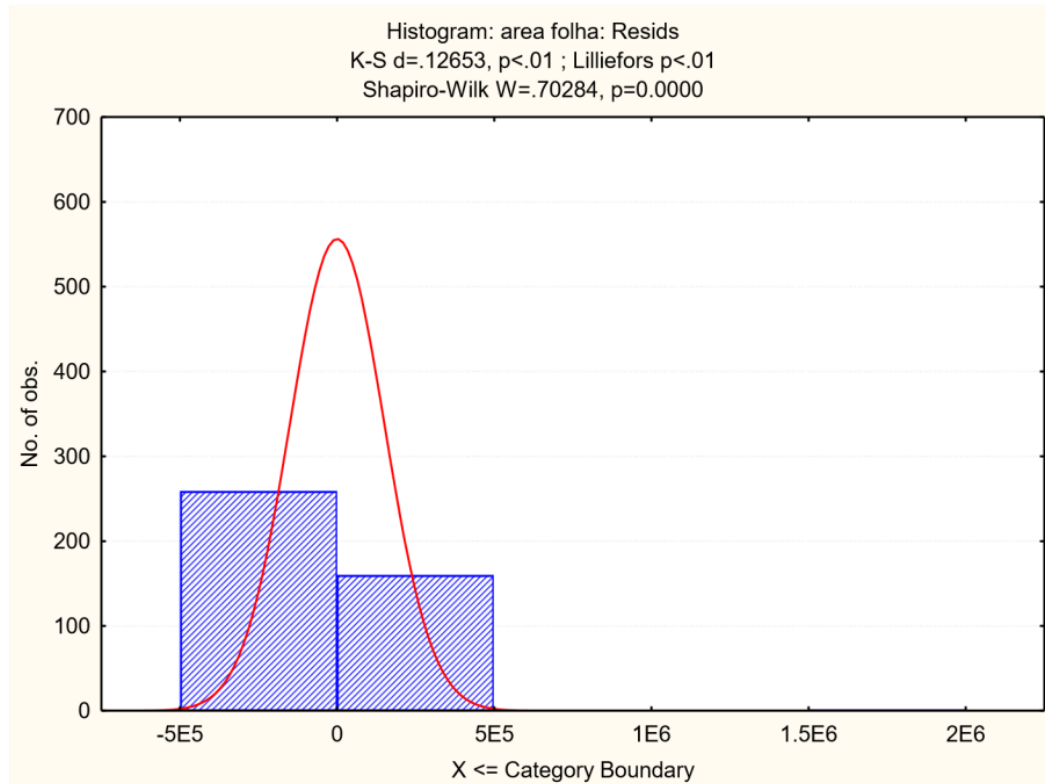
Em condições de alta irradiância, como nas campinaranas abertas, o aumento da área foliar permite uma maior captação de luz, favorecendo o crescimento e o acúmulo de biomassa. Contudo, folhas muito grandes também podem aumentar a perda de água por transpiração, o que exige um balanço fino entre captação de luz e conservação hídrica. Por outro lado, em ambientes sombreados, folhas menores e mais espessas são vantajosas para reduzir a interceptação excessiva de luz e evitar danos por fotossíntese saturada, além de promover melhor retenção de água (Wright *et al.*, 2004; Rosado *et al.*, 2017). Esses padrões sugerem que *Aldina heterophylla* ajusta sua área foliar conforme o ambiente local para manter a eficiência fotossintética e a homeostase hídrica, demonstrando alta plasticidade fenotípica.

Essa capacidade de modulação morfológica da área foliar em resposta a variações ambientais é corroborada por estudos realizados em espécies arbóreas amazônicas, que destacam a importância da plasticidade foliar para a sobrevivência e adaptação em ecossistemas heterogêneos (Fonseca *et al.*, 2020; Pimentel *et al.*, 2019). A análise dos dados indicados pela ANOVA two-way reforça essa ideia, evidenciando que tanto o local quanto o ambiente exercem influência significativa sobre a área do folíolo de *A. heterophylla*. Assim, compreender as variações na área foliar é fundamental para elucidar os mecanismos adaptativos dessa espécie em diferentes fitofisionomias da Amazônia, contribuindo para estratégias de conservação e manejo florestal que considerem a diversidade funcional das plantas.

A figura 8, apresenta o histograma dos resíduos da área foliar de indivíduos da espécie *A. heterophylla*, com base no teste de normalidade Shapiro-Wilk. O valor de W obtido foi 0,70284 com $p=0,0000$, A forte rejeição da hipótese nula de normalidade na distribuição da área foliar indica uma elevada variabilidade morfológica entre os indivíduos, possivelmente modulada por condições ambientais heterogêneas — como intensidade de luz, disponibilidade de água ou estágio de desenvolvimento foliar. Em concordância, Huang *et al.* (2023), encontraram desvio significativo da normalidade em plantas tolerantes à seca ao avaliar desigualdades na área foliar, sugerindo a presença de assimetria e caudas longas na distribuição. Similarmente, Puglielli (2024), demonstrou que, em 21 grupos de pesquisa ao longo de vários habitats, as distribuições de LA e LMA rejeitam a normalidade, refletindo forte heterogeneidade intraespecífica vinculada ao ambiente. Portanto a não normalidade pode também estar ligada a fatores ecológicos como a heterogeneidade de luz, disponibilidade hídrica ou estágio de

desenvolvimento das folhas, sendo um dado relevante para interpretações ecológicas e funcionais da espécie.

Figura 8 - Histograma da área da folha para árvores da espécie *Aldina heterophylla* Spruce ex Benth (Macucu) no Teste Shapiro-Wilk.



Fonte: Elaborada pelas próprias autoras, 2025.

A área foliar é um atributo funcional crítico para a adaptação das plantas ao ambiente, especialmente em relação à interceptação de luz e trocas gasosas. Estudos como os de Niinemets (2001) e Valladares *et al.* (2000) demonstram que espécies arbóreas adaptadas a ambientes com alta intensidade luminosa, como clareiras ou bordas de floresta, tendem a apresentar folhas menores, mais espessas e com menor área foliar, como resposta à alta irradiância e à maior demanda por controle da perda hídrica. No caso de *Aldina heterophylla*, frequentemente encontrada em campinaranas amazônicas, ambientes caracterizados por solos arenosos e irradiância variável, essa plasticidade morfológica foliar pode representar uma estratégia adaptativa. Segundo Dias *et al.* (2021), a variação na área da folha é um indicativo importante da estratégia ecológica da planta, sendo fundamental para compreender o desempenho fotossintético e a tolerância ao estresse ambiental. Assim, a análise da área foliar

não apenas descreve variações morfológicas, mas também subsidia interpretações sobre a ecologia funcional e a adaptabilidade da espécie ao ambiente amazônico.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos para as características morfológicas foliares de *Aldina heterophylla* evidenciam uma notável plasticidade adaptativa, especialmente quanto à área do folíolo, que apresentou sensibilidade tanto ao local quanto às condições de luminosidade. O estudo evidenciou que tanto a espessura quanto a área foliar apresentaram respostas distintas em ambientes de sol pleno e sombra, reforçando o papel da morfologia foliar como um indicador funcional da adaptação das plantas às condições ambientais. Esses achados reforçam que a espessura da folha está diretamente relacionada às estratégias ecológicas de eficiência no uso da luz e da água, além de influenciar a resistência a condições abióticas adversas, como alta radiação e seca.

Em relação à área dos folíolos, observou-se que os indivíduos localizados na campinarana arbustiva apresentaram valores superiores em comparação aos da campinarana florestada, indicando que a planta utiliza estratégias distintas conforme o ambiente. Folíolos maiores em áreas abertas refletem uma tentativa da planta de captar mais luz difusa, enquanto folíolos menores e mais espessos em áreas sombreadas otimizam a absorção da radiação disponível com menor perda hídrica. Essa plasticidade foliar demonstra a adaptabilidade fisiológica e anatômica da espécie, característica relevante para sua sobrevivência em diferentes microclimas amazônicos.

A significância estatística observada para os fatores geográficos reforça a influência dos contextos edafoclimáticos regionais sobre a morfologia foliar, enquanto a resposta ao ambiente de luz indica uma estratégia funcional flexível, voltada à otimização da captação de recursos e à manutenção da homeostase hídrica. A rejeição da normalidade na distribuição da área foliar (Teste de Shapiro-Wilk) corrobora essa variabilidade morfológica, indicando que os indivíduos da espécie respondem de maneira diferenciada às condições ambientais, o que pode estar relacionado à heterogeneidade dos micro-habitats das campinaranas amazônicas. Assim, a análise da área foliar se mostra uma ferramenta essencial para a compreensão das estratégias ecológicas de *A. heterophylla*, contribuindo para o entendimento de sua adaptabilidade em ambientes tropicais dinâmicos e fornecendo subsídios valiosos para ações de conservação e manejo de ecossistemas florestais.

A análise estatística dos dados (ANOVA Two-Way) demonstrou que a interação entre fitofisionomia e incidência solar afeta significativamente os parâmetros morfológicos avaliados. Tais resultados confirmam que a morfologia foliar da *A. heterophylla* pode ser utilizada como um marcador funcional para estudos de ecologia vegetal, conservação e manejo

florestal. Além disso, os dados obtidos oferecem suporte científico para a aplicação da espécie em projetos de reflorestamento, especialmente em áreas de sub-bosque nativo, dada sua capacidade de adaptação a diferentes regimes de luz.

Por fim, o estudo cumpre seu objetivo ao demonstrar que as características foliares de *A. heterophylla* respondem diretamente às condições ambientais, revelando padrões morfológicos coerentes com estratégias adaptativas típicas de plantas tropicais. Tais informações são fundamentais para ampliar o conhecimento ecológico da espécie, fornecer subsídios para ações de recuperação ambiental e fomentar práticas de conservação e manejo sustentável. Considerando os efeitos das mudanças climáticas e da degradação dos ecossistemas, compreender a plasticidade morfológica da vegetação nativa se torna essencial para garantir a resiliência e funcionalidade dos ecossistemas amazônicos.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais o apoio logístico, à FAPEAM pela concessão de bolsa de mestrado a primeira autora, à Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira - CEPLAN pelo apoio nas coletas do projeto.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, ANA A. F.; GOMES, FELIPE P.; ARAÚJO, ROSIVALDO P.; VALLE, RICARDO R. Leaf gas exchange in species of the *Theobroma* genus. **Photosynthetica**, v. 52, p. 16–21, 2014
- COHEN, D. **Climate patterns in Manaus: precipitation and temperature analysis**. Manaus: Instituto de Meteorologia, 2017.
- COSTA, F. R., SILVA, E. M., E SANTOS, A. F. Estrutura e dinâmica de vegetação em campinaranas da Amazônia: Um estudo de biomassa e diversidade. **Revista Brasileira de Ecologia**, 45(3), 113-125. 2021
- COSTA, Fábio R. C.; MAGNUSSON, William E.; LUIZÃO, Rony C. Mesoscale distribution patterns of Amazonian understory herbs in relation to topography, soil and watersheds. **Journal of Ecology**, v. 93, p. 863–878, 2005.
- DA SILVA, João Carlos et al. Climatologia da Amazônia Central: foco em Manaus. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 34, n. 2, p. 123–136, 2019.
- DEMARCHI, LAYON ORESTE; SCUDELLER, VERIDIANA VIZONI; MOURA, LÍVIA CARVALHO; et al. Composição florística, estrutura e relação solo-vegetação em três áreas de campinarana na Amazônia central. **Acta Amazonica**, v. 48, n. 1, p. 46–56, 2018.

DIAS, C. J. C. et al. Plasticidade foliar em plantas de cerrado: morfologia como resposta à luz. **Acta Botanica Brasilica**, v. 35, e2021, 2021.

EVANS, J. R.; POORTER, H. Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. **Plant, Cell & Environment**, v. 24, n. 8, p. 755–767, 2001.

FARIAS, C. B. M. et al. Morphological evaluation of *Bertholletia excelsa* comparing different methods. **Scientific Electronic Archives**, v. 2020, 2020.

FARIAS, C. B. M.; CORREA, A. S. A. S.; SILVA, M. C. M.; SOUZA, S. A. M. Estimation of the foliar area of jambolão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) by different methods. **Scientific Electronic Archives**, 2020.

FONSECA, R. G.; KOBAYASHI, A. K.; MORAES, P. L. R. Plasticidade fenotípica de espécies arbóreas amazônicas em resposta ao gradiente de luminosidade. **Acta Botanica Brasilica**, Brasília, DF, v. 36, p. 1–11, 2022.

GALLO, L. A., SILVA, J. A., & ALMEIDA, C. (2021). Influência da luz na fotossíntese e crescimento de espécies de Fabaceae em ambientes tropicais. **Revista Brasileira de Botânica**, 44(3), 267-279.

GARNIER, Eric; SHIPLEY, Bill; ROUMET, Catherine; LAURENT, Gérard. A standardized protocol for the determination of specific leaf area and leaf dry matter content. **Functional Ecology**, v. 15, n. 5, p. 688–695, 2001. DOI: 10.1046/j.0269-8463.2001.00563.x.

GENTRY, Alwyn H. **A field guide to the trees of Panama**. Princeton: Princeton University Press, 1993.

GIVNISH, Thomas J. **Ecology of plant leaves**. Cambridge: Cambridge University Press, 2019.

HUANG, LICHAO; RATKOWSKY, DAVID A.; HUI, CANG; GIELIS, JOHAN; LIAN, MENG; YAO, WEIHAO; LI, QIYING; ZHANG, LIUYUE; SHI, PEIJIAN. Inequality measure of leaf area distribution for a drought-tolerant landscape plant. **Plants**, Basel, v. 12, n. 17, p. 3143, 2023.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Tabelas climatológicas de Manaus** (1991–2021). Brasília: INMET, 2021.

KENZO, K. et al. Physiological and anatomical responses of *Acacia koa* seedlings to varying light and drought conditions. **Environmental and Experimental Botany**, v. 69, p. 205–213, 2010.

KLEIN, Viviane Pagnussat. **Orchidaceae em ecossistemas de campinaranas: relações entre os padrões de distribuição e composição de espécies epífitas com características de *Aldina heterophylla***. 2018. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2018.

LI, GAOJIE; HU, SHIQI; ZHAO, XUYAO; KUMAR, SUNJEET; LI, YIXIAN; YANG, JINGJING; HOU, HONGWEI. Mechanisms of the morphological plasticity induced by phytohormones and the environment in plants. **International Journal of Molecular Sciences**, Basel, v. 22, n. 2, p. 765, 2021. DOI: 10.3390/ijms22020765.

LIMA, S. A., SOUZA, D. P., & COSTA, M. C. (2019). Crescimento e produtividade de *Aldina heterophylla* em diferentes regimes de luz. **Journal of Tropical Ecology**, 35(5), 689-701.

LORENZI, Harri. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 4. ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2002.

MARQUES FILHO, A. et al. **Clima de Manaus: Características e variações sazonais**. Manaus: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), 1981.

MAZON, JOELMIR AUGUSTINHO; RODRIGUES SILVA, RICHELIEL ALBERT; WATZLAWICK, LUCIANO FARINHA. **Estrutura e composição da regeneração natural em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista secundária**. Pesquisa Florestal Brasileira, v. 39, n. 1, 2019. Disponível em: [HTTPS://PFB.SEDE.EMBRAPA.BR/PFB/ARTICLE/VIEW/1698](https://pfb.sede.embrapa.br/pfb/article/view/1698). ACESSO EM: 10 JUN. 2025.

MENDES, KEILA RÊGO BENTO; MARENCO, MARCOS; ANTONIO, RICARDO. Photosynthetic traits of canopy leaves of *Dinizia excelsa* (Fabaceae). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 43, n. 4, p. 1-12, 2019.

MENDONÇA, BRUNO ARAUJO FURTADO DE. **Campinaranas amazônicas: pedogênese e relações solo-vegetação**. 2011. 122 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

MOTA, C. S.; LEITE, H. G.; CANO, M. A. O. Equações para estimar área foliar de folíolos de *Acrocomia aculeata*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 79, p. 217–224, 2014.

Mott, K. A., et al. Leaf anatomy and the control of photosynthesis. **Plant Physiology**, 123(1), 34-45. 2020.

NIINEMETS, Ülo. Global-scale climatic controls of leaf dry mass per area, density, and thickness in trees and shrubs. **Ecology**, v. 82, n. 2, p. 453–469, 2001.

NOGUEIRA, Carla Luciane Bentes. **Ecologia funcional de Campinaranas**. 2014. 100 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

Oliveira, T. L., Araújo, A. P., & Santos, R. M. (2022). Morfologia foliar como indicador de adaptação de plantas tropicais. **Revista de Ciências Ambientais**, 28(2), 147-158.

Oliveira, T. L., Araujo, M. A., & Carvalho, R. S. (2022). Dinâmica de crescimento e regeneração natural em campinaranas da Amazônia. **Journal of Tropical Forest Ecology**, 39(6), 562-578.

PARK et al. Photosynthetic and morphological acclimation to high and low light environments in *Petasites japonicus* subsp. *giganteus*. **Forests** [ou MDPI/Frontiers], 2023.

PIMENTEL, M. M. et al. Variação morfológica foliar em espécies arbóreas da Amazônia: implicações para ecologia funcional. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 42, n. 2, p. 313–324, 2019.

PINTO, JÉSSICA DA SILVA SOUSA; NEGRÃO-RODRIGUES, TAILANE SILVA; PACHECO, VANESSA; et al. Variation in leaf functional trait and ecological strategies in two

seedling species in disturbed forest fragments in Eastern Amazonia. **Acta Botanica Brasilica**, v. 39, 2025.

PUGLIELLI, GIANLUCA. Intraspecific variability of leaf form and function across habitat types. **Ecology Letters**, 2024.

REICH, P. B. et al. Global patterns of plant leaf N and P in relation to temperature and latitude. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 104, n. 14, p. 5926–5931, 2007.

RODRIGUES, JOÃO V. F.; GONÇALVES, JOSÉ F. Leaf gas exchange, photon capture and light harvest in *Aldina heterophylla* along a vegetation gradient in the Amazon Rainforest. **American Journal of Plant Sciences**, v. 5, n. 10, p. 1477–1488, 2014. DOI: 10.4236/ajps.2014.510163.

RODRIGUES, João Victor Figueiredo Cardoso. *Ecofisiologia de Aldina heterophylla Spruce ex Benth. em um gradiente vegetacional na Amazônia Central*. 2009. 150 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2009.

ROSADO, B. H. P. et al. Leaf traits are related to nutrient availability and growth strategies of tree species in a Brazilian tropical forest. *Functional Ecology*, v. 31, n. 6, p. 1322–1331, 2017.

SANCHO-KNAPIK, AGNIESZKA; et al. Leaf dry mass per unit area and leaf pigments underlying the higher stomatal conductance of deciduous species relative to evergreen species in Dendrobium. **Botanical Studies**, Taipei, v. 66, n. 1, p. 1–12, 2025.

SANTOS, S. N. dos et al. Análise comparativa de métodos de determinação de área foliar em genótipos de cacau. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 36, n. 1, p. 1–9, 2020.

SANTOS, Sabrina Lima dos. **Estrutura da flora arbórea em áreas de campinaranas (prístinas e em regeneração) do baixo Rio Negro**. 2024. 49 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2024.

SERAFINI, Rodrigo Tacioli. *Estrutura de fragmentos florestais urbanos de Manaus-AM: implicações para seu manejo e conservação*. 2007. Disponível em: <https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/5006>. Acesso em: 10 jun. 2025.

SILVA, LETÍCIA DOS ANJOS. **Plasticidade e aclimação foliar à irradiância em espécies da Floresta Atlântica**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Botânica, Universidade Federal de Viçosa, 2010.

SILVA, M. F., COSTA, E. R., & PEREIRA, R. S. (2018). Respostas fisiológicas de plantas de Fabaceae em diferentes condições de luz. **Ecologia Brasileira**, 23(1), 34–45.

SOUZA, D. P., OLIVEIRA, F. A., & LIMA, E. R. (2023). Morfologia e fisiologia das folhas compostas: A importância dos folíolos na fotossíntese e adaptação ambiental. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, 36(2), 142–157.

SOUZA, F. S., CARVALHO, E. A., & LIMA, J. S. (2020). Características morfológicas das folhas de *Fabaceae* e sua relação com a eficiência fotossintética. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, 32(4), 421–429.

VALLADARES, F.; NIINEMETS, Ü. Shade tolerance, a key plant feature of complex nature and consequences. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, Palo Alto, v. 39, p. 237–257, 2008.

VALLADARES, F.; WRIGHT, S.J.; LASSO, E.; KITAJIMA, K.; PEARCY, R.W. Plastic phenotypic response to light of 16 congeneric shrubs from a Panamanian rainforest. **Ecology**, v. 81, n. 7, p. 1925–1936, 2000.

VALLADARES, FERNANDO; et al. Understanding the importance of intrapopulation functional variability and phenotypic plasticity in *Quercus suber*. **Tree Genetics & Genomes**, v. 11, n. 1, p. 1-11, 2015.

WRIGHT, I. J. et al. The worldwide leaf economics spectrum. **Nature**, London, v. 428, p. 821–827, 2004.

ZHANG, X., et al. (2019). Leaf structural traits and their ecological significance in dry environments. **Journal of Arid Environments**, 169, 1-12.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises morfofuncionais conduzidas nesta pesquisa evidenciam a plasticidade fenotípica da *Aldina heterophylla* em resposta a diferentes condições de luminosidade nas campinaranas arbustiva (CEPLAC) e florestada (UFAM). Essa plasticidade foi demonstrada por meio da variação significativa de atributos como espessura da lâmina foliar e área do folíolo, o que revela estratégias adaptativas distintas da planta frente à heterogeneidade ambiental. Tais resultados dialogam com a literatura contemporânea sobre ecologia funcional de espécies tropicais, que aponta a morfologia foliar como um componente chave na manutenção da eficiência fotossintética em contextos de elevada variabilidade ambiental.

A investigação dos objetivos específicos confirmou que a variação morfológica das folhas entre as fitofisionomias é marcada: indivíduos da campinarana arbustiva, expostos a maior luminosidade, apresentaram folíolos com maior área média, enquanto aqueles da campinarana florestada, sob sombreamento mais intenso, desenvolveram folhas mais espessas. Esta diferença corrobora o papel da luz como fator de modulação morfológica, bem como a influência de características regionais do solo e do microclima. A correlação identificada entre espessura, área foliar e ambiente evidencia que a espécie adota diferentes mecanismos estruturais conforme a disponibilidade de recursos, o que representa um indicativo da sua robustez adaptativa.

O estudo também demonstrou que a área foliar total e, principalmente, a área do folíolo, são atributos altamente responsivos ao gradiente de luz e à localização geográfica. Tais variações não são meramente estruturais, mas refletem a capacidade da planta de otimizar processos fisiológicos como a transpiração, a troca gasosa e a fotossíntese. Assim, *A. heterophylla* não apenas sobrevive, mas prospera em ambientes marcados por instabilidade hídrica, acentuada acidez do solo e baixa fertilidade – características típicas das campinaranas amazônicas.

Conclui-se, portanto, que *Aldina heterophylla* constitui uma espécie modelo para estudos sobre adaptabilidade ecológica em florestas tropicais. A constatação de sua expressiva plasticidade foliar diante de condições ambientais contrastantes a credencia como potencial indicadora ecológica, com aplicações relevantes em programas de monitoramento e restauração ecológica. Os resultados alcançados respondem satisfatoriamente aos objetivos específicos propostos e contribuem para o entendimento dos mecanismos adaptativos das espécies lenhosas

da Amazônia, além de reforçar a urgência na conservação dos ambientes de campinarana, que figuram entre os ecossistemas mais singulares e vulneráveis do bioma amazônico.