

GERMINAÇÃO, DESENVOLVIMENTO INICIAL E EFEITO DA ADUBAÇÃO FOLIAR NOS ASPECTOS MORFOFISIOLÓGICOS DA CASTANHA DO MARANHÃO

GERMINATION, INITIAL DEVELOPMENT AND EFFECT OF FOLIAR FERTILIZATION ON THE MORPHOPHYSIOLOGICAL ASPECTS OF MARANHÃO NUT

 <https://doi.org/10.63330/aurumpub.019-001>

Jonathan dos Santos Viana

Doutor em Agronomia (Ciência do Solo)
UEMASUL/Campus Imperatriz
E-mail: jonathan.viana@uemasul.edu.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4734-9843>

Daniela Souza Ferreira

Doutora em Ciência de Alimentos
UFMA/Campus Bom Jesus
E-mail: eng.dsf@gmail.com

Daniel Duarte Costa

Doutor em Biotecnologia
UFMA/Campus Bom Jesus
E-mail: daniel.dc@ufma.br

Daniel Carlos Machado

Doutorando em Agronomia (Ciência do Solo)
UNESP/Campus Jaboticabal
E-mail: daniel.c.machado@unesp.br

Leanne Teles Pereira

Mestre em Ciências Florestais e Ambientais
UEMASUL/CCA
E-mail: leanne.pereira@uemasul.edu.br

Ruth de Abreu Araújo

Doutora em Produção Vegetal
UEMASUL/CCA
E-mail: rutha.araujo@uemasul.edu.br

Anatercia Ferreira Alves

Doutora em Fitotecnia – Biotecnologia e Melhoramento de Plantas
UEMASUL/Campus Imperatriz
E-mail: anatercia@yahoo.com.br

Patrícia Ferreira Cunha Sousa

Doutora em Agronomia - Genética e Melhoramento de Plantas
UEMASUL/ Campus Imperatriz
E-mail: patricia.sousa@uemasul.edu.br



Wilson Araújo da Silva

Doutor em Agronomia
UEMASUL/Campus Imperatriz
E-mail: wilson@uemasul.edu.br

Cristiane Matos da Silva

Doutora em Ciência e Tecnologia Ambiental
UEMASUL/Campus Imperatriz
E-mail: cristiane.silva@uemasul.edu.br

RESUMO

A castanha-do-Maranhão configura-se como uma espécie nativa com alta viabilidade de uso em diferentes formas. É empregada na arborização da cidade de Imperatriz – MA, na produção de sabão e, mais recentemente, na elaboração de chocolate. Apesar de sua relevância, ainda há poucas informações sobre o início da produção, aspectos morfológicos e a germinação das sementes. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a germinação, o desenvolvimento inicial e a resposta à adubação foliar no cultivo da castanha-do-Maranhão. Foram realizados dois experimentos subsequentes. No primeiro, avaliou-se a germinação de sementes em solo com pH ácido; no segundo, aplicou-se bioestimulante associado à adubação foliar, em delineamento de blocos ao acaso, com 10 repetições. Os resultados indicaram que a germinação iniciou no 8º dia após a semeadura (DAS) e se estabilizou no 10º DAS, alcançando 98% de germinação. As plântulas apresentaram valores médios de altura, comprimento do epicótilo, hipocótilo, raiz, diâmetro do caule e massa fresca total de 11,82 cm, 5,12 mm, 8,50 mm, 6,64 cm, 3,0 mm e 6,4 g, respectivamente. No segundo experimento, observou-se que o tratamento com bioestimulante foi o mais expressivo, promovendo maior ganho em clorofila total, número de folhas e diâmetro do caule em relação à testemunha. Conclui-se que sementes de castanha-do-Maranhão apresentam boa adaptabilidade e germinação em condição de solo ácido. Além disso, a aplicação foliar de bioestimulante associado à presença de aminoácidos essenciais, pode intensificar a atividade fotossintética, favorecendo o acúmulo de massa foliar e o incremento no diâmetro do caule.

Palavras-chave: *Paqira aquática*; Desenvolvimento inicial; Atividade fotossintética.

ABSTRACT

The Brazil nut is a native species with high viability of use in different forms. It is used in the afforestation of the city of Imperatriz – MA, in the production of soap and, more recently, in the elaboration of chocolate. Despite its relevance, there is still little information about the beginning of production, morphological aspects and seed germination. In this context, the present study aimed to evaluate the germination, initial development and response to foliar fertilization in the cultivation of Maranhão nut. Two subsequent experiments were carried out. In the first, seed germination in soil with acidic pH was evaluated; in the second, a biostimulant was applied associated with foliar fertilization, in a randomized block design, with 10 replications. The results indicated that germination started on the 8th day after sowing (DAS) and stabilized on the 10th DAS, reaching 98% germination. The seedlings showed mean values of height, epicotyl length, hypocotyl, root, stem diameter and total fresh mass of 11.82 cm, 5.12 mm, 8.50 mm, 6.64 cm, 3.0 mm and 6.4 g, respectively. In the second experiment, it was observed that the treatment with biostimulant was the most expressive, promoting greater gain in total chlorophyll, number of leaves and stem diameter in relation to the control. It was concluded that Maranhão nut seeds have good adaptability and germination under acidic soil conditions. In addition, the foliar application of a biostimulant associated with the presence of essential amino acids can intensify photosynthetic activity, favoring the accumulation of leaf mass and the increase in stem diameter.

Keywords: *Paqira aquática*; Early development; Photosynthetic activity.



1 INTRODUÇÃO

A *Pachira aquatica* Aubl. é espécie arbórea de utilização múltipla, reconhecida por seu valor ecológico, ornamental e econômico. Sua importância deriva do aproveitamento de suas sementes comestíveis, do óleo de elevado teor extraído delas, de sua madeira leve e aplicação ornamental, bem como de seu papel em sistemas agroflorestais e programas de recuperação de áreas degradadas (Repositorio-Unesp, 2018). Compreender os fatores que influenciam a germinação e o estabelecimento inicial de *P. aquatica* é imprescindível para garantir a produção de mudas vigorosas, com elevado potencial de sobrevivência e desempenho em viveiros e em plantios de campo.

Estudos anteriores demonstram que *P. aquatica* apresenta germinação epígea e fânierocotiledonar, iniciando-se em torno do 8º dia após a semeadura e podendo estender-se até aproximadamente o 15º dia, sob condições adequadas de sementeira (Silva et al., 2012). Em outro estudo, em zona úmida do sudeste mexicano, *P. aquatica* obteve taxas de germinação superiores a 86%, sendo descrita a germinação como criptocotiledonar hipogeal, o que evidencia a variabilidade em função de fatores ambientais e tratamentos (Cabrera-Tórres et al., 2010).

Além disso, sementes de *P. aquatica* são caracterizadas como recalcitrantes, ou seja, com alta umidade inicial e sensibilidade à dessecação, o que impõe desafios ao armazenamento e à manutenção da qualidade fisiológica durante períodos prolongados fora da planta-mãe. Em estudo de dessecação, verificou-se que, após 24 horas de secagem a 35 °C, houve queda no teor de água das sementes, seguida de redução em parâmetros como início de germinação, taxa de germinação e crescimento de plântulas, indicando níveis críticos para perda de viabilidade (Rodrigues et al., 2019).

O desenvolvimento inicial de mudas envolve não apenas características morfológicas (altura, diâmetro do caule, número de folhas, área foliar, massa seca), mas também parâmetros fisiológicos que definem capacidade fotossintética, eficiência no uso da água, conteúdo de clorofila, relações folha/raiz, entre outros, os quais determinam o vigor e a adaptabilidade das plantas em viveiro e no campo. Em *P. aquatica*, foi observado que concentrações de rejeito de mineração de cobre no solo afetam negativamente o desenvolvimento inicial, reduzindo altura, diâmetro, número de folhas e índice de clorofila, bem como massa seca aérea e radicular, em comparação com controle (Costa, 2022).

A adubação foliar é uma prática que pode complementar a nutrição de plantas, especialmente nos estágios iniciais de desenvolvimento, atuando rapidamente sobre deficiências nutricionais e influenciando de modo direto variáveis fisiológicas, como teor foliar de nutrientes, taxas de fotossíntese, eficiência fotossintética e produção de biomassa. No entanto, até onde se sabe, não há estudos publicados específicos investigando os efeitos da adubação foliar em *Pachira aquatica* durante a germinação e estabelecimento inicial, avaliando conjuntamente atributos morfofisiológicos.

Diante disso, este trabalho tem como objetivo avaliar a germinabilidade, o desenvolvimento inicial



e os efeitos da adubação foliar nos aspectos morfofisiológicos de *Pachira aquatica*. Os resultados esperados podem contribuir a preencher lacunas de conhecimento e fornecer subsídios técnicos para uso sustentável da espécie em viveiros, restauração ambiental e programas agroflorestais.

2 METODOLOGIA

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido na Universidade Federal do Maranhão/ UFMA Campus Bom Jesus, em Imperatriz, Maranhão, Brasil, em dois momentos distintos. No primeiro momento foram realizados testes de germinação de sementes de castanha do Maranhão em solo classificado como NEOSSOLO Quartzarênio, com pH de 4,5, e a segunda parte do experimento se deu com a implantação de mudas no campo experimental da UFMA/Imperatriz onde solo onde o solo foi classificado como ARGISSOLO acinzentado, conforme a classificação da Embrapa (1999). O clima da região, segundo a classificação de Koppen, é do tipo Aw, tropical com precipitação média anual de 1.221 mm e temperatura média anual de 27,1 °C.

O solo da área experimental do UFMA Campus Bom Jesus apresentou: pH = 4,5; Ca = 1,2 cmol_c/dm⁻³; Mg = 0,4 cmol_c/dm⁻³; Al = 0,10 cmol_c/dm⁻³; H + Al = 3,1 cmol_c/dm⁻³; CTC = 4,89 cmol_c/dm⁻³; P (mehlich I) = 1,8 cmol_c/dm⁻³; K = 0,191 cmol_c/dm⁻³; S = 5 mg/dm⁻³; Matéria orgânica = 1,5 %; Saturação Al = 5,3%; V% = 36,6 %; Ca/Mg = 3,0 %. A análise física do solo constatou teores de 23; 11 e 66% para argila, silte e areia, respectivamente.

2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

Para avaliações iniciais de germinação e de plântulas foram semeadas 30 sementes de castanha do maranhão em bandeja contendo solo arenoso e elevada acidez, pH 4,5. A germinação das sementes aconteceu quando se observou o rompimento do tegumento e emissão da raiz primária. Esse processo se deu ao 7º dia após semeadura (DAS) e se encerrou no 10º DAS, com as plântulas desenvolvida com caulículo e cotilédones acima do solo. Selecionou-se 14 plântulas para avaliações morfológicas.

Na segunda parte do experimento, utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso, com 4 tratamentos e 10 repetições. Os tratamentos consistiram na aplicação foliar de nutrientes, sendo: T1: Micronutriente Boro; T2: Boro + Bioestimulante Protemax; T3: Testemunha e T4: Bioestimulante.

2.3 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Para realização do experimento I, foram coletadas sementes de castanha do maranhão maduras fisiologicamente na cidade de Imperatriz, Maranhão. A coleta se fez necessária, tendo em vista que na região não existe cultivo comercial dessa cultura, mas por ser bem estrondosa, na cidade de Imperatriz

ainda se tem registros de algumas árvores que foram impostas para arborização do centro da cidade. A rega da bandeja com mudas se deu diariamente, com aplicação de 300 mL de água, afim de evitar lixiviação e encharcamento do solo. Essa primeira etapa encerrou-se ao 10º DAS, quando as plântulas já começaram a apresentar um folíolo verdadeiro.

A segunda etapa do experimento se deu pela delimitação de uma área de 282 m², onde inicialmente coletou-se amostras de solos numa profundidade de 0-0,20 m, para fins de fertilidade e análise física. Além disso, foram feitas covas com dimensões de 40 x 40 x 40 cm para pleno desenvolvimento das mudas. Como o pH do solo encontrava-se ácido fez-se necessária a correção do solo por meio da calagem. Foi aplicado calcário dolomítico com PRNT (Percentual de Relativo de Neutralização Total) de 100%, na dosagem de 674 kg/ha. Para melhor eficiência da correção do solo, a calagem foi feita *in loco*, diretamente na cova de plantio. Após a aplicação do calcário e a correção da acidez do solo, foi aguardado um período de 30 dias antes da implantação das mudas no campo experimental. Esse intervalo permitiu a completa reação do calcário no solo, assegurando condições adequadas para o crescimento das plantas.

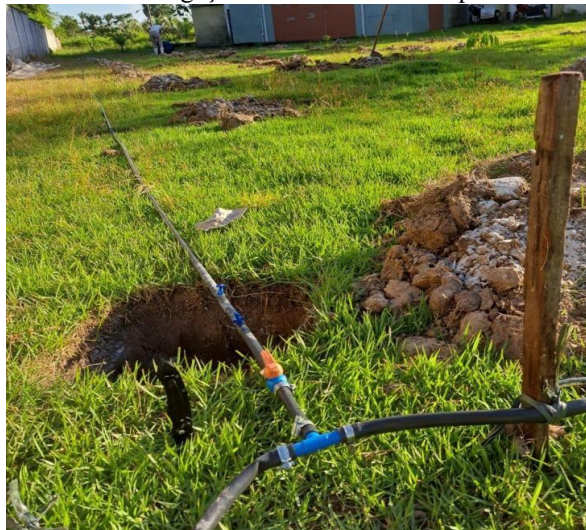
Devido o lençol freático ser próximo a superfície do solo, optou-se pela escolha do sistema de irrigação localizada por gotejamento, visto sua maior eficiência de aplicação de água, bem como menor intensidade, sendo fácil o controle da água aplicada por dia.

Para melhorar o desempenho da irrigação, utilizou-se gotejadores *inline* adicionando-se 2 unidades por planta. A irrigação foi controlada por um temporizador digital (Figura 1), programado para fornecer água por 40 minutos diariamente, no período da manhã e 40 min no período da tarde.

Após a instalação do sistema de irrigação, as mudas foram transplantadas para as covas, acompanhadas da adubação, que incluiu ureia (44% N), superfosfato simples (18% P₂O₅) e cloreto de potássio (60% K₂O). Essa adubação seguiu as Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará (cultura do cacau). Com o objetivo de promover um melhor desenvolvimento radicular, foi aplicada Turfa Gold para estimular o crescimento das raízes.

Após o estabelecimentos das mudas no campo (3 meses após transplântio), foi realizada a aplicação de adubos foliares afim de se determinar o efeito sobre o desempenho agrônômico de plantas de castanha do Maranhão.

Figura 1. Calagem, abertura de cova e irrigação instalada na área experimental de Castanha do Maranhão.



Fonte: Viana (2024)

2.4 VARIÁVEIS ANALISADAS

No décimo dia após a semeadura (10 DAS), as plântulas foram cuidadosamente extraídas do substrato e submetidas à lavagem com água corrente para remoção completa dos resíduos de solo. Posteriormente, foram realizadas avaliações morfológicas detalhadas, incluindo: porcentagem de germinação (%); altura total das plântulas (cm plântula^{-1}); comprimento do epicótilo e do hipocótilo (cm plântula^{-1}); diâmetro do caulículo (mm plântula^{-1}) e massa fresca total (g), com o intuito de caracterizar o desenvolvimento inicial das plantas.

No experimento II Aos 35 dias após a aplicação dos fertilizantes foliares, foram realizadas as avaliações das plantas. As variáveis analisadas incluíram a determinação do teor de clorofila nos terços superior, médio e inferior da planta, o número de folhas e o diâmetro do caule. O teor de clorofila foi realizado por meio da leitura com uso do equipamento SPAD às 15 h em 3 folhas da mesma planta em diferentes posições. O número de folhas foi determinado por meio da contagem total por planta. E diâmetro do caule foi mensurado com uso de paquímetro digital.

Figura 2. Determinação do teor de clorofila total e diâmetro do caule da planta de Castanha do Maranhão.



Fonte: Viana (2024)

Caminhos da Pesquisa Multidisciplinar

GERMINAÇÃO, DESENVOLVIMENTO INICIAL E EFEITO DA ADUBAÇÃO FOLIAR NOS ASPECTOS MORFOFISIOLÓGICOS DA CASTANHA DO MARANHÃO



2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise de variância (ANOVA) foi realizada separadamente, assumindo distribuição normal dos dados, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey (p -valor $< 0,05$), utilizando-se o software Agroestat, versão 1.0 (Barbosa; Maldonado Júnior, 2015).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 EXPERIMENTO I

Os resultados do presente estudo permitiram observar um satisfatório desempenho no desenvolvimento inicial das plântulas de *Pachira aquatica* provenientes do Maranhão. A taxa de germinação da *Pachira aquatica* foi de 98%, demonstrando uma alta viabilidade das sementes usadas, o que expressa de maneira positiva, tanto a qualidade fisiológica do material propagativo, quanto as condições do teste de germinação. Esse valor é superior ao reportado para espécies florestais em geral, as espécies tropicais, muitas vezes, exibem baixas taxas germinativas, em torno de 85%, por causa da dormência ou viabilidade ou da baixa qualidade de sementes ou mesmo de condições deficitárias do ambiente.

Tabela 1. Germinação e desenvolvimento de plântulas de castanha do maranhão em solo ácido.

G (%)	AP (cm)	CR (cm)	CE (cm)	CH (cm)	DC (mm)	MFT (g)
98	11,82	6,64	5,12	8,50	3,00	6,4

G: germinação; AP: altura de plântulas; CR: comprimento de raiz; CE: comprimento do epicótilo; CH: comprimento do hipocótilo; DC: diâmetro do caule; MFT: massa fresca total. Valores médios referente a 14 plântulas de uma amostra total de 30 plântulas.

A altura média das plântulas (AP), de 11,82 cm, indica um desenvolvimento aéreo vigoroso, sendo este um indicador importante da adaptação inicial da planta ao ambiente. Esse valor, aliado ao comprimento do epicótilo (CE = 5,12 cm) e do hipocótilo (CH = 8,50 cm), revela um bom equilíbrio entre as estruturas que sustentam a parte aérea, conferindo estabilidade e favorecendo a fotossíntese nas fases iniciais do crescimento. O hipocótilo, notavelmente mais longo que o epicótilo, pode estar associado à estratégia da planta em elevar rapidamente a plântula acima da superfície do solo, minimizando os efeitos de sombreamento e competição por luz, especialmente em ambientes tropicais úmidos onde a densidade de vegetação é elevada.

O comprimento médio da raiz – CR = 6,64 cm. Isso talvez demonstre um crescimento radicular proporcional ao crescimento da parte aérea e aponte para o equilíbrio dos recursos alocados para os sistemas radiculares e aéreos. É de importância prática para garantir o grau estável da planta e seu alto desempenho funcional no fluxo de absorção de água e nutrientes, o que é extremamente vital para programas de revegetação e restauração ecológica com o uso de espécies nativas.

Figura 3. Plântulas de castanha do maranhão com 10 dias após semeadura.



Fonte: Viana (2024)

O diâmetro do caule, média 3,00 mm, representa um bom desenvolvimento estrutural das plântulas. Um caule de maior diâmetro permite condições mais robustas e resistentes àquele ambiente, aumentando a resistência mecânica ao suporte de sua parte aérea e a seiva condutibilidade eficiente. Em conjunto com a altura da plântula, DI auxilia na análise da qualidade morfológica da muda, além disso, em estudos de diversos autores, relaciona-se com o desempenho em campo (Gonçalves et al., 2020).

A massa fresca total (MFT), com valor médio de 6,4 g, reflete a biomassa acumulada pelas plântulas e pode ser considerada um indicativo do estado fisiológico e do acúmulo de reservas, especialmente relevante para a sobrevivência após o transplante. Valores elevados de massa fresca geralmente estão relacionados a boa hidratação e vigor das estruturas vegetais.

3.2 EXPERIMENTO II

Com base nas observações realizadas em campo, constatou-se um desenvolvimento vegetativo satisfatório das plantas, resultado direto das práticas de manejo adequadas e das técnicas de cultivo empregadas (Figura 2). O crescimento apresentou um padrão linear, evidenciando uma relação diretamente proporcional entre o acúmulo de biomassa verde e o avanço fenológico das plantas.

Sob o ponto de vista fisiológico, verificou-se que o aumento da área foliar exposta à radiação solar, aliado a condições ambientais favoráveis de temperatura e umidade relativa do ar, promove uma

intensificação da atividade fotossintética. De acordo com Taiz et al. (2017), a taxa fotossintética está diretamente relacionada à eficiência na captação de luz e ao status hídrico da planta, sendo estes fatores determinantes para o crescimento e a produtividade vegetal. Esse incremento na fotossíntese estimula a emissão de novos brotos e ramificações, favorecendo o crescimento vegetativo e o acúmulo de biomassa (Larcher, 2004).

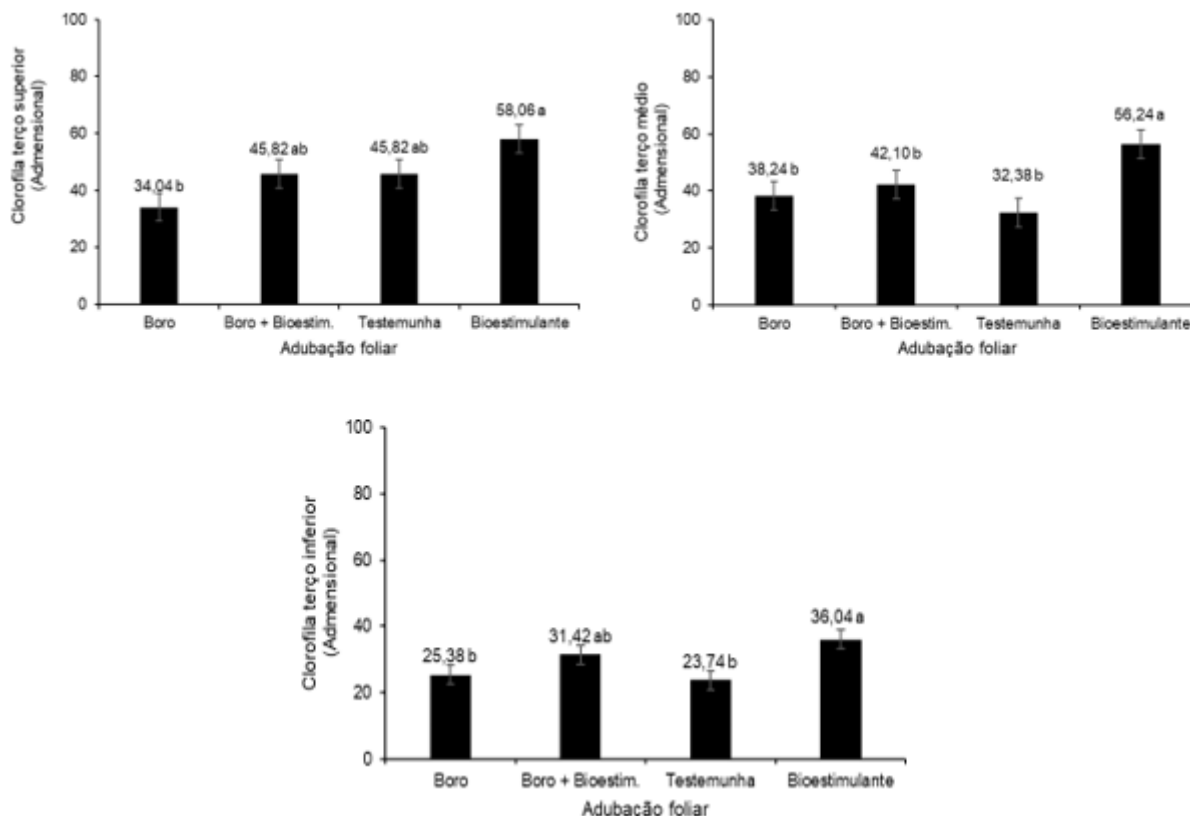
Figura 4 - Demonstração da planta bem desenvolvida.



Fonte: Viana (2024)

A análise de variância (ANOVA) aplicada aos dados de teor de clorofila total nos diferentes estratos da planta (terços superior, médio e inferior) indicou diferenças estatisticamente significativas em função da adubação foliar. Os maiores teores foram registrados no terço superior (58,06), seguido pelo terço médio (56,24), enquanto o terço inferior apresentou os menores valores (36,04), conforme ilustrado na Figura 5. Esses resultados sugerem uma distribuição vertical diferenciada da clorofila na planta, possivelmente associada à maior exposição à radiação solar nas porções superiores da copa, o que favorece a síntese de pigmentos fotossintéticos (Taiz et al., 2017).

Figura 5 – Teor de clorofila total nos terços superior, médio e inferior das folhas de castanha do Maranhão.



Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo Teste de comparação de média de Tukey a 5% de probabilidade.

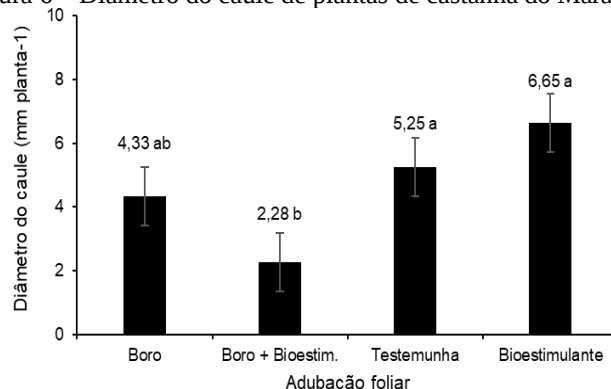
Os teores mais elevados de clorofila total observados no terço superior da planta (58,06), seguidos pelos valores do terço médio (56,24) e inferior (36,04), indicam uma maior capacidade fotossintética nas folhas localizadas nas porções superiores da copa. Esse padrão pode ser atribuído à maior intensidade luminosa incidente sobre essas regiões, uma vez que a clorofila desempenha papel fundamental na captura da luz solar, sendo sua síntese estimulada pela luminosidade adequada. A aplicação da adubação foliar, ao fornecer nutrientes diretamente às folhas, pode potencializar essa resposta, promovendo o acúmulo de pigmentos fotossintéticos (Taiz; Zeiger, 2009).

Adicionalmente, folhas situadas próximas ao ápice da planta tendem a ser morfológicamente mais jovens e fisiologicamente mais ativas, o que favorece a maior concentração de clorofila. Por outro lado, as folhas do terço inferior, geralmente mais antigas e submetidas a sombreamento, apresentam menor demanda fotossintética e, consequentemente, reduzido teor de clorofila, o que justifica os valores inferiores observados nessa região da planta.

Para a variável diâmetro do caule, observou-se diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos avaliados. O menor valor médio foi registrado na adubação com boro associada ao bioestimulante (2,28 mm), enquanto o maior diâmetro foi verificado no tratamento com aplicação foliar contendo exclusivamente o bioestimulante (6,65 mm).

Esses resultados indicam que a utilização isolada do bioestimulante promoveu maior incremento no desenvolvimento estrutural do caule, possivelmente por estimular processos fisiológicos relacionados ao crescimento celular e à divisão meristemática. Por outro lado, a combinação com boro pode ter interferido negativamente na absorção ou utilização dos compostos bioativos, refletindo no menor acúmulo de biomassa nessa variável morfológica.

Figura 6 – Diâmetro do caule de plantas de castanha do Maranhão.



Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo Teste de comparação de média de Tukey a 5% de probabilidade.

A diferença significativa observada no diâmetro do caule entre os tratamentos pode ser atribuída aos distintos efeitos fisiológicos exercidos pelo boro e pelos bioestimulantes sobre o metabolismo vegetal. O boro é um micronutriente essencial, envolvido na integridade da parede celular, na divisão celular e no transporte de açúcares e metabólitos (Goldbach et al., 2001; Barker; Pilbeam, 2007). No entanto, sua associação com bioestimulantes pode induzir efeitos antagônicos, especialmente quando há excesso ou desequilíbrio na dose aplicada. Nessas condições, o boro pode interferir negativamente nos processos fisiológicos, resultando em restrições ao crescimento celular e, conseqüentemente, na redução do diâmetro do caule.

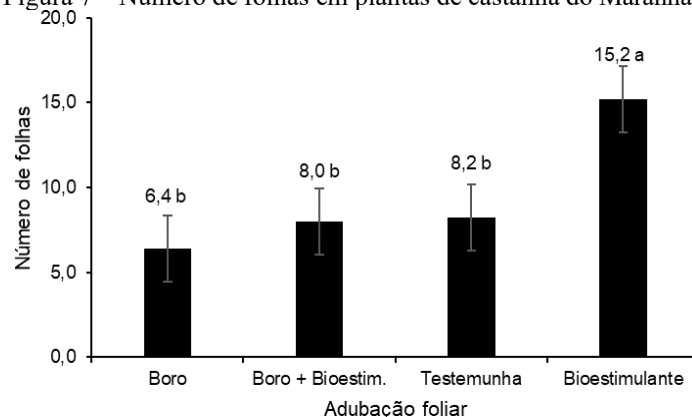
Esse efeito pode estar relacionado à toxicidade induzida ou à alteração no transporte e assimilação de carboidratos, nutrientes e fitohormônios, prejudicando a expansão celular e o acúmulo de biomassa nos tecidos caulinares. Por outro lado, a aplicação isolada do bioestimulante parece ter favorecido a divisão e o alongamento celular, promovendo um maior espessamento do caule.

Por outro lado, a aplicação isolada do bioestimulante favoreceu um crescimento mais vigoroso do caule, refletido no maior diâmetro observado. Esse efeito pode ser atribuído à ação direta dos bioestimulantes sobre o metabolismo vegetal, uma vez que esses produtos são formulados para estimular processos fisiológicos, como a síntese e regulação de fitohormônios — incluindo auxinas, giberelinas e citocininas, os quais desempenham papel fundamental na divisão celular, alongamento e espessamento dos

tecidos caulinares. A ausência de possíveis interações antagônicas com o boro permite que o bioestimulante exerça seus efeitos de forma mais eficiente, resultando em maior desenvolvimento estrutural do caule.

Em relação à variável número de folhas (Figura 7), também foi observada diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos. O tratamento com adubação foliar contendo apenas o bioestimulante apresentou o maior valor médio, com 15,20 folhas por planta. Esse resultado reforça o efeito positivo do bioestimulante sobre o crescimento vegetativo, possivelmente devido à sua influência na ativação de rotas metabólicas associadas à morfogênese e ao desenvolvimento de órgãos aéreos, conforme relatado por Calvo, Nelson e Kloepper (2014).

Figura 7 – Número de folhas em plantas de castanha do Maranhão.



Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo Teste de comparação de média de Tukey a 5% de probabilidade.

Inicialmente, o bioestimulante pode ter promovido um aumento na biossíntese de fitohormônios essenciais, como auxinas e citocininas. As auxinas são amplamente reconhecidas por sua capacidade de estimular a elongação celular e a formação de primórdios foliares, enquanto as citocininas atuam na promoção da divisão celular e da ramificação, processos fundamentais para o desenvolvimento vegetativo (Castro; Vieira, 2001; Silva et al., 2008). O incremento desses hormônios confere à planta maior capacidade de produção e expansão foliar.

Adicionalmente, o bioestimulante pode ter contribuído para a otimização da eficiência fotossintética das folhas. Ao aprimorar a captura e a utilização da radiação luminosa, bem como a assimilação de nutrientes, a planta passa a dispor de maior energia e recursos metabólicos, os quais são indispensáveis para o crescimento e formação de novas folhas. Tal aumento na atividade fotossintética representa um fator determinante para a maior produção foliar observada, corroborando estudos que associam bioestimulantes à melhoria do desempenho fisiológico das plantas (Calvo, Nelson & Kloepper, 2014; Bulgari, Ferrante; Vernieri, 2015).

Outro aspecto relevante refere-se à possível melhoria na absorção e translocação de nutrientes promovida pelo bioestimulante. Ao facilitar a disponibilidade e o transporte de elementos essenciais, o



bioestimulante assegura que as folhas em desenvolvimento recebam os recursos necessários para seu crescimento pleno, contribuindo para o aumento no número de folhas formadas (Du Jardin, 2015; Rouphael; Colla, 2020).

Esses mecanismos integrados demonstram que o uso de bioestimulantes pode ser uma estratégia eficaz para otimizar o crescimento vegetativo, principalmente em condições de estresse ambiental ou solo com baixa disponibilidade de nutrientes, favorecendo o desenvolvimento e a produtividade das plantas.

4 CONCLUSÃO

A castanha-do-Maranhão apresentou elevada taxa de germinação (98%) em solo ácido, demonstrando alta adaptabilidade e vigor inicial. A aplicação foliar de bioestimulante promoveu incremento nos teores de clorofila, no número de folhas e no diâmetro do caule, confirmando seu potencial para otimizar o crescimento vegetativo e a produção de mudas de qualidade, com aplicabilidade em sistemas agroflorestais e programas de restauração ecológica.



REFERÊNCIAS

- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. *AgroEstat: sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos*. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 2015. 396 p.
- BULGARI, R.; FERRANTE, A.; VERNIERI, P. Biostimulants application in horticultural crops under abiotic stress conditions. *Scientia Horticulturae*, v. 196, p. 124–129, 2015.
- CALVO, P.; NELSON, L.; KLOEPPER, J. W. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, v. 383, p. 3–41, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>.
- COSTA, M. A. *Desenvolvimento inicial de Pachira aquatica Aubl. submetida a diferentes concentrações de rejeito de mineração de cobre da mesorregião sudeste paraense*. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Parauapebas, 2022. Disponível em: <https://bdta.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/4121>. Acesso em: 26 set. 2025.
- CASTRO, P.R.C.; VIEIRA, E.L. Aplicações de reguladores vegetais na agricultura tropical. Guaíba: Livraria e editora agropecuária, 2001. 132p.
- DU JARDIN, P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, v. 196, p. 3–14, 2015.
- EMBRAPA. SISTEMA Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, DF: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.
- GONÇALVES, M. S.; ALMEIDA, L. F.; CARVALHO, J. A. Qualidade de mudas florestais: parâmetros morfológicos e sua relação com o desempenho no campo. *Revista Brasileira de Silvicultura*, v. 44, n. 2, p. 145-158, 2020.
- GOLDBACH, H. E.; YU, Q.; WINGENDER, R.; SCHULZ, M.; WIMMER, M.; FINDEKLEE, P.; BALUSKA, F. Rapid response reactions of roots to boron deprivation. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v. 164, p. 173–181, 2001.
- LARCHER, W. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: Rima, 2004.
- MEDEIROS, R. D.; SOUZA, P. H.; LIMA, R. C. Germinação e vigor de sementes de espécies florestais tropicais sob diferentes substratos. *Journal of Seed Science*, v. 40, n. 3, p. 312-320, 2018.
- REPOSITORIO-UNESP. Caracterização do óleo das sementes de *Pachira aquatica* Aubl. para aproveitamento alimentar. UNESP, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/e256a2d6-2aef-41bc-9335-3ba39eb02907/full>. Acesso em: 26 set. 2025.
- RODRIGUES, A. P. D.; SILVA, C. B.; NASCIMENTO, W. M. O. Desiccation of *Pachira aquatica* Aubl. seeds. *Journal of Agricultural Science*, v. 11, n. 4, p. 1-10, 2019. Disponível em: <https://ccsenet.org/journal/index.php/jas/article/view/0/37095>. Acesso em: 26 set. 2025.
- ROUPHAEL, Y.; COLLA, G. *Biostimulants in Horticulture*. Cham: Springer, 2020.



SILVA, K. B.; ALVES, E. U.; MATOS, V. P.; BRUNNO, R.; ALCÂNTARA, R. L. Caracterização morfológica de frutos, sementes e fases de germinação de *Pachira aquatica* Aubl. (Bombacaceae). *Semina: Ciências Agrárias*, v. 33, n. 2, p. 533-540, 2012. Disponível em: https://oasisbr.ibict.br/vufind/Record/UEL-11_1713c6958e6fb24fb1b2a42d801f5687. Acesso em: 26 set. 2025.

SILVA, T. J.; FERREIRA, W. P. M.; NASCIMENTO, R. M. Crescimento inicial de espécies nativas em substratos alternativos: implicações para restauração ecológica. *Revista Árvore*, v. 43, n. 1, p. 1-10, 2019.

SILVA, T. T. A.; PINHO, E. V. R. V.; CARDOSO, D. L.; FERREIRA, C. A.; ALVIM, P. O.; COSTA, A. A. F. Qualidade fisiológica de sementes de milho na presença de bioestimulantes. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 32, n. 3, p. 840-846, 2008.

SOUSA, E. M.; OLIVEIRA, C. G.; NASCIMENTO, M. L. Avaliação da germinação e do desenvolvimento de plântulas de espécies nativas da Amazônia. *Acta Amazônica*, v. 51, n. 4, p. 345-353, 2021.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia Vegetal*. 3ª ed. Porto Alegre: Artmed. 2009.

ZAMORA-CORNELIO, L. F.; OCHOA-GAONA, S.; VARGAS SIMÓN, G.; CASTELLANOS ALBORES, J.; DE JONG, B. H. J. Germinación de semillas y clave para la identificación de plântulas de seis especies arbóreas nativas de humedales del sureste de México. *Revista de Biología Tropical*, v. 58, n. 2, p. 717-732, 2010.