



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ALTAMIRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E
CONSERVAÇÃO**

ANA PAULA CERQUEIRA SANTOS

**AUMENTO DO CRESCIMENTO E QUALIDADE DE MUDAS DE *Chamaecrista
xinguensis* (Ducke) TRATADAS COM 24-EPIBRASSINOLIDEO**

ALTAMIRA

2024



ANA PAULA CERQUEIRA SANTOS

AUMENTO DO CRESCIMENTO E QUALIDADE DE MUDAS DE *Chamaecrista xinguensis* (Ducke) TRATADAS COM 24-EPIBRASSINOLIDEO

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Pará, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Conservação para obtenção do título de Mestre em Biodiversidade e Conservação.

Orientador(a): Prof(a). Dr(a). Emil José Hernandez Ruz

ALTAMIRA

2024

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

S237a Santos, Ana Paula Cerqueira.
Aumento do crescimento e qualidade de mudas de
Chamaecrista xinguensis (Ducke) tratadas com 24-epibrassinolideo
/ Ana Paula Cerqueira Santos. — 2024.
35 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Emil José Hernandez Ruz
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Campus Universitário de Altamira, Programa de Pós-Graduação
em Biodiversidade e Conservação, Altamira, 2024.

1. Regulador de crescimento. 2. Brassinosteroides. 3.
Espécie florestal. I. Título.

CDD 581.5

ANA PAULA CERQUEIRA SANTOS

AUMENTO DO CRESCIMENTO E QUALIDADE DE MUDAS DE *Chamaecrista xinguensis* (Ducke) TRATADAS COM 24-EPIBRASSINOLIDEO

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Pará, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Conservação para obtenção do título de Mestre em Biodiversidade e Conservação.

Data da aprovação: ____/____/____

Banca Examinadora:

Nome com titulação

Examinador interno/externo - Instituição a que pertence

Nome com titulação

Examinador interno/externo - Instituição a que pertence

Nome com titulação

Examinador interno/externo - Instituição a que pertence

DEDICATÓRIA

Dedico

À DEUS

Toda honra e toda glória.

AGRADECIMENTOS

À Deus, acima de todos, tudo e por tudo,

À Universidade Federal do Pará – UFPA,

Ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação – PPGBC,

À empresa Norte Energia e Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, pelo financiamento desta pesquisa:

- Este estudo foi elaborado a partir do projeto PD-07427-0622/2022.

À Fundação de Amparo e Desenvolvimento da Pesquisa - FADESP,

Aos laboratórios de Zoologia (FCB) e Ecologia (FEF),

À Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA e

Ao Instituto de desenvolvimento Florestal e da Biodiversidade do Estado do Pará – Ideflor-Bio.

EPÍGRAFE

*“O sucesso deve ser medido não pela
posição que uma pessoa alcançou na vida,
mas pelos obstáculos que ela superou”.*

Booker T. Washington

RESUMO GERAL

A velocidade com que o desmatamento avança sobre as áreas de proteção é bastante acelerado, levando uma floresta em poucas horas a se tornar uma área devastada, porém o tempo de recomposição é muitas vezes mais lento. Com isso, diversas instituições vêm atuando na busca por alternativas que tornem o processo de produção de mudas mais promissor no crescimento e desenvolvimento das mesmas. Diante disso, o objetivo desta pesquisa é avaliar o efeito no crescimento e qualidade de mudas de *Chamaecrista xinguensis* (Ducke) tratadas com o regulador vegetal de crescimento Brassinosteróides (BRs). A pesquisa foi realizada nos viveiros do Campus da Universidade Federal do Pará, no município de Altamira. Ao todo foram testadas quatro doses do análogo de brassinosteróides (24-epibrassinolideo) em comparação com plantas do grupo controle, sendo avaliados no total cinco tratamentos com quatro repetições. Para a avaliação do crescimento, as plantas foram mensuradas quanto à altura, diâmetro, número de folhas, biomassa (massa seca das raízes, caule e folhas) e clorofilas *a* e *b*. Para a avaliação da qualidade das mudas, foi utilizado o cálculo do Índice de Qualidade de Dickson (IQD). Diferenças significativas foram observadas pelo teste de Dunn a 0,05% na concentração 10 nM para as variáveis altura e diâmetro. A aplicação foliar de 24-epibrassinolideo (24-epiBL) promoveu aumento na biomassa das plantas em diferentes concentrações, resultando em diferentes respostas quanto aos resultados obtidos. O IQD também foi significativo para todas as concentrações de 24-epiBL, no entanto, a concentração 30 nM, apesar de menor valor dentre as demais concentrações, foi a que melhor relacionou positivo e significativamente todos os parâmetros empregados no cálculo do IQD, fato este observado na correlação de Spearman e comprovado na análise de componentes principais. As diferentes respostas que os BRs foram capazes de promover nas plantas de *C. xinguensis* foram dependentes das concentrações testadas. Este estudo mostrou que é possível acelerar o crescimento de plantas tornando a compreensão da avaliação de crescimento e qualidade das mudas indispensáveis na produção, voltadas aos plantios florestais.

Palavras-chave: Regulador de crescimento. Brassinosteroides. Espécie florestal.

ABSTRACT

The speed with which deforestation is advancing over protected areas is very fast, leading a forest to become a devastated area in just a few hours, but the time it takes to recover is many times slower. As a result, various institutions have been working to find alternatives that make the process of producing seedlings more promising in terms of their growth and development. The aim of this study was to evaluate the effect on growth and quality of *Chamaecrista xinguensis* (Ducke) seedlings treated with the plant growth regulator Brassinosteroids (BRs). The research was carried out in the nurseries of the Campus of the Federal University of Pará, in the municipality of Altamira. A total of four doses of the brassinosteroid analog (24-epibrassinolide) were tested in comparison with plants in the control group, with a total of five treatments with four replications being evaluated. To assess growth, the plants were measured for height, diameter, number of leaves and biomass (dry mass of roots, stem and leaves). To assess the quality of the seedlings, the Dickson Quality Index (IQD) was calculated. Significant differences were observed by Dunn's test at 0.05% at the 10 nM concentration for the height and diameter variables. Foliar application of 24-epibrassinolide (24-epiBL) promoted an increase in plant biomass at different concentrations, resulting in different responses to the results obtained. The IQD was also significant for all concentrations of 24-epiBL; however, the 30 nM concentration, despite being the lowest among the other concentrations, was the one that best positively and significantly correlated all the parameters used to calculate the IQD, a fact observed in Spearman's correlation and confirmed in the principal component analysis. The different responses that the BRs were able to promote in *C. xinguensis* plants depended on the concentrations tested. This study showed that it is possible to accelerate plant growth, making an understanding of the assessment of growth and seedling quality indispensable in the production of forest plantations.

Keywords: Growth regulator. Brassinosteroids. Forest species.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	10
1.1. Produção de mudas e espécies pioneiras	10
1.2. Regulador de crescimento Brassinosteróides (BRs)	11
1.3. Mensuração dos parâmetros morfológicos	11
2. OBJETIVO GERAL	12
2.1. Objetivos específicos	12
3. REFERÊNCIAS	13
Aumento do crescimento e qualidade de mudas de <i>Chamaecrista xinguensis</i> (Ducke) tratadas com 24-epibrassinolideo	15
RESUMO	16
1. INTRODUÇÃO	16
2. MATERIAL E MÉTODOS	18
2.1. Informações da área e das plantas	18
2.2. Implantação do experimento	18
2.3. Variáveis de crescimento, clorofila e biomassa	18
2.4. Análise estatística dos dados	19
3. RESULTADOS	19
3.1 Efeito da aplicação do 24-epiBL nas variáveis crescimento, biomassa e índice de qualidade de Dickson	19
3.2. Análise de correlação de Spearman	23
3.3. Análise de componentes principais (ACP)	25
4. DISCUSSÃO	26
4.1. Desempenho de crescimento, biomassa, clorofila e qualidade das mudas	26
4.2. Correlação das variáveis morfológicas sob tratamentos com 24-epiBL e agrupamento dos componentes principais	29
5. CONCLUSÃO	30
REFERÊNCIA	30

1. INTRODUÇÃO GERAL

1.1. *Recuperação de áreas degradadas*

A biodiversidade da flora e fauna no Brasil, vem há tempos sendo comprometida com atividades antrópicas que provocam degradação dos recursos naturais (FEARNSIDE, 2006). Quando estas atividades são desenvolvidas sem a preocupação com a sustentabilidade, faz-se necessário pensar em medidas capazes de mitigar estes efeitos em prol da preservação e conservação da biodiversidade.

Para recompor a biodiversidade de áreas degradadas, a produção de mudas está entre as alternativas viáveis que mais se intensificaram nos últimos tempos (MORENO-CASASOLA, 2022). O sucesso na produção de mudas para recuperação de áreas requer cuidados na fase inicial que são capazes de promover características desejadas às plantas para que se estendam do viveiro até a fase de campo.

Um dos primeiros passos a ser dado para a restauração de áreas por meio do reflorestamento é o planejamento da produção de mudas, que requer atenção com a escolha das espécies, levando-se em consideração a preferência pelas espécies dos três grupos ecológicos (pioneiras, intermediárias e clímax). As espécies pioneiras são definidas como engenheiras (JONES; LAWTON; SHACHAK, 1994) e enfermeiras (PADILLA; PUGNAIRE, 2006), são espécies de crescimento rápido e também as primeiras a surgirem em um ambiente em fase de sucessão primária e secundária preparando o terreno e garantindo condições favoráveis ao desenvolvimento das demais espécies (CHAZDON, 2014). Pesquisas que melhoram a qualidade na produção de mudas das espécies pioneiras, são de extrema importância, pois estas espécies auxiliam na rápida cobertura do solo através da deposição de matéria morta, inibindo a presença de plantas invasoras e melhorando as características dos solos, evitando também o escoamento superficial da água das chuvas e proporcionando proteção contra o sol para as espécies de grupos sucessionais de crescimento lento que necessitam de sombra para seu desenvolvimento (CHAZDON et al., 2022).

A falta de conhecimento em técnicas e inovações na produção de mudas de espécies florestais pode ser fator limitante no sucesso da recuperação de áreas, uma vez que, a produção de mudas também requer técnicas que garantam a sobrevivência e o melhor desenvolvimento das espécies no campo, visando que as plantas obtenham

ganhos em crescimento, biomassa, resistência às intempéries do clima, a estresses bióticos e abióticos, proteção contra pragas e doenças.

1.2. Regulador de crescimento Brassinosteróides (BRs)

Uma estratégia comumente utilizada na produção de mudas para melhorar o desempenho de crescimento das plantas, é o uso de reguladores de crescimento, como por exemplo, os Brassinosteróides (BRs). Foi através de estudos em pólen de mostarda (*Brassica napus* L.) que os BRs foram isolados pela primeira vez (GARCIA, 2006). Estudos comprovam que os BRs são onipresentes e já foram identificados aproximadamente mais de 70 compostos (GHOSH; TARAI; AHLAWAT, 2022), sendo os três mais ativos biologicamente e mais amplamente utilizados em pesquisas: o brassinolídeo (primeiro a ser descoberto), o 24-epibrassinolide e 28-homobrassinolide (DAVIES, 2010).

Além do crescimento e mitigação do estresse, os BRs vêm sendo testado no controle de diversos estresses abióticos causados por salinidade (YUE et al., 2018), cádmio (ALAM et al., 2020), estresse hídrico (VIEIRA et al., 2022), variações de temperatura no ambiente (NIU et al., 2023) entre outros. Pertencente à classe dos esteroides polihidroxilados (CLOUSE; SASSE, 1998), a biossíntese dos BRs ocorre através de seus precursores que promovem reações de redução e oxidação. Inicialmente o BRs é sintetizado a partir dos esteróides campesterol e silosterol, onde o campesterol é convertido à campestanol, através de duas rotas, este é convertido em catasterona e, por fim, em brassinolídeo (KIM; WANG, 2010; TAIZ et al., 2017).

Estudos e técnicas com aplicação exógena de BRs que garantem eficiência e eficácia na produção de mudas podem potencializar ainda mais todas estas características já pertencentes às espécies pioneiras, a partir da produção de mudas de qualidade na fase inicial de um projeto, buscando-se produzir mudas com rápido crescimento, qualidade e maiores rendimentos em biomassa em um curto espaço de tempo, além de reduzir tempo de permanência das plantas no viveiro, custos com mão de obra, gastos de água com irrigação e redução da necessidade de replantios.

1.3. Mensuração dos parâmetros morfológicos

Aliado ao uso de reguladores de crescimento, pesquisas que visam melhorar a qualidade na produção de mudas são de extrema importância, pois refletem em resultados mais eficazes na qualidade final das mudas. Plantios florestais requerem

mudas de qualidade, resistentes às adversidades do campo, com plantios mais homogêneos e conseqüentemente redução nas taxas de mortalidade (CARGNELUTTI FILHO et al., 2017). A mensuração dos parâmetros de crescimento pode fornecer boas respostas sobre a qualidade das mudas, além de ser o método mais empregado para esta finalidade.

Os principais parâmetros mensurados na avaliação da qualidade das mudas podem ser baseados em características morfológicas e fisiológicas das plantas, como altura, diâmetro do coleto, matéria seca, crescimento de raízes, área foliar, fotossíntese, entre outros. Um dos métodos empregados na avaliação da qualidade de mudas florestais é o Índice de Qualidade de Dickson, proposto por Dickson e colaboradores em 1960 (DICKSON; LEAF; HOSNER, 1960) e bastante utilizado até os dias atuais. Como vantagem deste método em relação à mensuração individual dos parâmetros, tem-se o emprego das variáveis de crescimento como altura e diâmetro em conjunto com o aporte de biomassa, tornando assim o cálculo mais robusto, no entanto, como desvantagem, este método requer análise destrutiva das plantas.

2. OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito do 24-epibrassinolideo nos parâmetros morfofisiológicos e qualidade de *Chamaecrista xinguensis* (Ducke) H. S. Irwin & Barneby.

2.1. Objetivos específicos

- I. Avaliar a influência do 24-epiBL no crescimento e clorofila aos 150 dias;
- II. Determinar o rendimento da biomassa em função dos diferentes tratamentos;
- III. Avaliar a qualidade das mudas através do Índice de Qualidade de Dickson.

3. REFERÊNCIAS

- ALAM, P. et al. Foliar Application of 24-Epibrassinolide Improves Growth, Ascorbate-Glutathione Cycle, and Glyoxalase System in Brown Mustard (*Brassica juncea* (L.) Czern.) under Cadmium Toxicity. **Plants**, v. 9, n. 11, p. 1487, 4 nov. 2020.
- CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Dimensionamento Amostral para Avaliação de Altura e Diâmetro de Plantas de Timbaúva. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 1, 11 dez. 2017.
- CHAZDON, R. L. **Second Growth: The Promise of Tropical Forest Regeneration in an Age of Deforestation**. [s.l.] University of Chicago Press, 2014.
- CHAZDON, R. L. et al. Experiências de governança da restauração de ecossistemas e paisagens no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 36, n. 106, p. 221–237, dez. 2022.
- CLOUSE, S. D.; SASSE, J. M. BRASSINOSTEROIDS: Essential Regulators of Plant Growth and Development. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 49, n. 1, p. 427–451, jun. 1998.
- GARCÍA, Danahe Mariela Coll. Novedades acerca del mecanismo de reconocimiento y transducción de la señal brasinoesteroide. **Revista CENIC Ciencias Biológicas**, v. 37, n. 2, p. 067-062, 2006.
- DAVIES, P. J. (ED.). **Plant Hormones**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2010.
- DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. QUALITY APPRAISAL OF WHITE SPRUCE AND WHITE PINE SEEDLING STOCK IN NURSERIES. **The Forestry Chronicle**, v. 36, n. 1, p. 10–13, 1 mar. 1960.
- FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. **Acta Amazonica**, v. 36, n. 3, p. 395–400, 2006.
- GHOSH, S. N.; TARAI, R. K.; AHLAWAT, T. R. **Plant growth regulators in tropical and sub-tropical fruit crops**. Abingdon, Oxon, Boca Raton, FL: CRC Press ; Narendra Publishing House, 2022.
- JONES, C. G.; LAWTON, J. H.; SHACHAK, M. Organisms as Ecosystem Engineers. **Oikos**, v. 69, n. 3, p. 373, abr. 1994.
- KIM, T.-W.; WANG, Z.-Y. Brassinosteroid Signal Transduction from Receptor Kinases to Transcription Factors. **Annual Review of Plant Biology**, v. 61, n. 1, p. 681–704, 2 jun. 2010.
- MORENO-CASASOLA, P. The challenge of participatory restoration in rural areas. **Botanical Sciences**, v. 100, n. Special, p. S218–S244, 31 ago. 2022.
- NIU, K. et al. 24-epibrassinolide improves cadmium tolerance and lateral root growth associated with regulating endogenous auxin and ethylene in Kentucky bluegrass. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 249, p. 114460, jan. 2023.
- PADILLA, F. M.; PUGNAIRE, F. I. The role of nurse plants in the restoration of degraded environments. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 4, n. 4, p. 196–202, maio 2006.
- TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6ª Edição. p. 888. Artmed, 2017.

VIEIRA, D. A. et al. Do brassinosteroids alleviate water stress in seedlings of *HANDROANTHUS SERRATIFOLIUS* ? **Annals of Applied Biology**, v. 180, n. 1, p. 151–162, jan. 2022.

YUE, J. et al. The Positive Effect of Different 24-epiBL Pretreatments on Salinity Tolerance in *Robinia pseudoacacia* L. Seedlings. **Forests**, v. 10, n. 1, p. 4, 20 dez. 2018.

Este capítulo está formatado nas normas da revista *Forests*, disponível em:
<https://www.mdpi.com/journal/forests/instructions>

Artigo

**AUMENTO DO CRESCIMENTO E QUALIDADE DE MUDAS DE *Chamaecrista*
xinguensis (Ducke) TRATADAS COM 24-EPIBRASSINOLIDEO**



1 Artigo

2 **Aumento do crescimento e qualidade de mudas de**
3 ***Chamaecrista xinguensis* (Ducke) tratadas com 24-**
4 **epibrassinolideo**

5
6 **Resumo:** A produção de mudas de espécies florestais requer cuidados que garantam o
7 melhor desenvolvimento e qualidade de produção ainda em fase de viveiro. Esta
8 pesquisa investiga o efeito da aplicação exógena do 24-epibrassinolideo (24-epiBL) no
9 desenvolvimento morfofisiológico e qualidade de mudas da espécie *Chamaecrista*
10 *xinguensis* (Ducke). As mudas foram avaliadas aos 150 dias após a aplicação do
11 hormônio, sob cinco tratamentos nas concentrações de 0, 10, 20, 30 e 40 nM, sendo
12 arranjadas em viveiro com delineamento em blocos casualizados e quatro repetições.
13 Os resultados demonstram que a aplicação exógena proporcionou melhores
14 resultados no crescimento em altura e diâmetro na concentração 10 nM, enquanto que
15 as diferentes concentrações tiveram um impacto promotor no aumento da massa seca
16 e no Índice de Qualidade de Dickson em relação ao grupo controle. A concentração 30
17 nM promoveu correlação positiva para todas as variáveis do IQD e para boa parte das
18 demais variáveis estudadas, o que também pode ser constatado através da análise de
19 componentes principais. Este estudo mostrou que diferentes respostas podem ser
20 promovidas com a aplicação do hormônio 24-epiBL na produção de mudas de *C.*
21 *Xinguensis*.

22
23 **Palavras-chave:** brassinosteróides; produção de mudas florestais; crescimento de
24 plantas; parâmetros morfofisiológicos.
25

26 **1. INTRODUÇÃO**

27 À medida que atividades antrópicas avançam sobre áreas de floresta,
28 cresce a necessidade da produção de mudas, sendo esta uma das alternativas
29 que mais se intensificaram nos últimos anos para mitigação dos problemas
30 relacionados ao desmatamento [1]. A escolha das espécies para regeneração
31 aliada às inovações técnicas de aceleração de crescimento de plantas pode
32 trazer inúmeras vantagens para a produção de mudas.

33 A *Chamaecrista xinguensis* (Ducke) H. S. Irwin & Barneby, conhecida
34 popularmente como sucupirinha, pituruna ou balaio de cutia, é uma espécie
35 pioneira nativa da Amazônia brasileira, chegando a medir de 5 a 15 metros
36 de altura, sua ocorrência natural se dá nos estados do Pará e Maranhão [2].
37 Esta espécie possui potencial para a recuperação de áreas degradadas por ser
38 facilmente encontrada em áreas de regeneração de florestas primárias e
39 secundárias em função de sua alta capacidade em adaptação a ambientes
40 diversos [3], se adaptando muito bem em solos de baixa fertilidade em função
41 da sua rusticidade e proporcionando aos mesmos melhores condições, uma

42 vez que é capaz de fixar nitrogênio atmosférico em simbiose com bactérias do
43 gênero *Rhizobium* [4].

44 Apesar do potencial da *C. xinguensis* em adaptação a solos de baixa
45 fertilidade, pouco se conhece na literatura sobre a produção de mudas desta
46 espécie. Vale ressaltar que a produção de mudas para recomposição florestal,
47 requer também atenção e cuidados para uma produção de alta qualidade, a
48 fim de que se possa evitar problemas como tombamento (acamamento),
49 competição com ervas daninhas, ataques de pragas, doenças e
50 conseqüentemente morte das plantas, que resultam em necessidade de
51 replantios causados pela baixa qualidade das mudas e onerando assim, o
52 custo da produção [5].

53 Com o intuito de promover crescimento, melhor desenvolvimento e
54 qualidade em mudas destinadas à recomposição florestal ainda em fase de
55 viveiro, o uso de hormônios podem auxiliar neste processo, pois são capazes
56 de desempenhar diversas reações na fisiologia e bioquímica das plantas
57 quando aplicados exogenamente [6,7], como os brassinosteróides (24-
58 epibrassinolídeo), pertencentes à classe dos esteroides e que tem sido
59 estudado em diversas espécies de plantas para produção de mudas, como por
60 exemplo: *Jatropha curcas* L. [8]; *Handroanthus serratifolius* (Vahl) S. Grose [9];
61 *Oryza sativa* L. [10]; *Melia azedarach* L. [11] entre outros.

62 Os brassinosteróides participam na mudança da composição de
63 aminoácidos, aumento na capacidade de síntese de polissacarídeos,
64 crescimento do tubo polínico, trabalham em sinergia com as auxinas e
65 giberelinas na indução de etileno, além de se difundirem com mais facilidade
66 nas células, bem como sua capacidade de interagirem com outros hormônios,
67 como o ácido abscísico, ácido jasmônico, etileno, ácido salicílico e
68 estrigolactonas [6,12]. Pesquisas comprovam que os brassinosteróides
69 promovem o aumento nas atividades de crescimento da parte aérea [13],
70 absorção de nutrientes [14], resistência à salinidade [15], aumento de
71 biomassa [16], proteção contra estresse hídrico [9], solos com metais pesados
72 [17], entre outros.

73 Aliado às técnicas que visa potencializar a produção de mudas, como o
74 uso de hormônio, a análise de qualidade por meio de parâmetros
75 morfológicos, podem ser um bom indicador na avaliação de
76 desenvolvimentos das mudas. A qualidade das plantas pode ser medida por
77 meio de índices desenvolvidos com o intuito de expressar o real potencial de
78 desempenho das mudas ainda na fase de viveiro [18]. O índice de qualidade
79 de Dickson (IQD) foi proposto por Dickson et al. em 1960 [19], como
80 ferramenta capaz de mensurar a qualidade de mudas de espécies florestais e
81 vem sendo amplamente empregado em pesquisas florestais [20,21] além de
82 muito recomendado como método eficaz na predição da qualidade de mudas
83 [22,23]. Compreender a melhor técnica utilizada na produção de mudas pode
84 se tornar uma alternativa viável em promover a eficiência da produção.

85 Apesar das inúmeras vantagens do uso de BRs e dos índices de avaliação
86 da qualidade de plantas, ainda não há pesquisas que testem seus efeitos na
87 produção de mudas da espécie *C. xinguensis*. Diante disso, é levantada a
88 hipótese de que a aplicação exógena de BRs sob diferentes concentrações
89 pode resultar em diferentes respostas no aumento do crescimento e
90 qualidade desta espécie. O objetivo desta pesquisa foi analisar o efeito de
91 diferentes concentrações do 24-epibrassinolídeo (24-epiBL) no crescimento e
92 desempenho da qualidade de mudas da espécie *C. xinguensis* em fase final de
93 viveiro. Os resultados desta pesquisa podem contribuir para indicar o melhor

94 tratamento com BRs na produção de mudas voltados para projetos de
95 reflorestamento.

96

97 2. MATERIAL E MÉTODOS

98 2. 1. Informações da área e das plantas

99 O experimento foi conduzido entre os meses de maio a outubro de 2023,
100 no viveiro do Campus da Universidade Federal do Pará (UFPA) localizada
101 no município de Altamira, com coordenadas geográficas 3°11'41" latitude Sul
102 e 52°12'33" de longitude a Oeste de Greenwich, com altitude de 96 m,
103 precipitação anual média de 1680 mm, o clima é do tipo Monção classificação
104 climática de Köppen-Geiger: Am e Aw [24].

105 As plantas de *C. xinguensis* foram adquiridas do viveiro de mudas do
106 Centro de Estudos Ambientais - CEA, localizada na estrada do km 27,
107 município de Vitória do Xingu – PA e doadas pela empresa Norte Energia,
108 com média aproximada de 10 cm de altura. Após chegada das mudas no
109 Campus da universidade, as mesmas foram transplantadas para sacos
110 plásticos de polietileno (17x30 cm), com substrato adubado à base de fibra de
111 coco e argila, contendo torta de mamona (1kg), osmocote (½ kg), Yorin
112 Master (½ kg), farinha de osso (1 kg) e calcário (½ kg). As mudas
113 permaneceram em viveiro coberto com material fabricado em polietileno
114 (sombrite®) com passagem de 50% de luz, por período de 150 dias.

115

116 2. 2. Implantação do experimento

117 Para a aplicação do hormônio foi utilizado um análogo de
118 brassinosteróides 24-epibrassinolideo (24-epiBL) do laboratório Phytotech da
119 marca SIGMA®. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos
120 casualizados, (5x4), com cinco concentrações do 24-epiBL (0, 10, 20, 30 e 40
121 nM), quatro repetições e 15 plantas por parcelas, com total de 300 plantas.

122 A aplicação do hormônio foi realizada apenas uma única vez com
123 pulverizador costal munido com bico do tipo leque e vazão de 200
124 ml/segundo, ao final do dia para evitar a evaporação da solução e
125 queimaduras nas plantas. Cada planta recebeu aproximadamente 10 ml da
126 solução, aplicado de maneira uniforme para que todas as plantas recebessem
127 a mesma quantidade do produto. Para o tratamento controle, as plantas
128 receberam apenas água durante todo o período do experimento por irrigação
129 do tipo aspersão duas vezes ao dia.

130 2. 3. Variáveis de crescimento, clorofila e biomassa

131 Aos 150 dias após a aplicação do 24-epiBL, as plantas foram analisadas
132 morfológicamente para as variáveis altura da planta (H), mensurada da
133 superfície do substrato até o ápice do broto terminal com régua graduada em
134 cm; diâmetro (D) medido com paquímetro digital (mm) na transição do caule
135 com a raiz e número de folhas (NF) por meio de contagem manual.

136 Ao final do experimento, para a determinação dos teores de clorofilas *a* e
137 *b* foi utilizado um aparelho portátil ClorofiLOG® do modelo CFL 1030, com o
138 qual foram efetuados três medidas na região mediana da folha e da planta
139 [25].

140 Após a mensuração das variáveis biométricas e de clorofila, as plantas
141 foram lavadas em água corrente para a retirada do substrato e submetidas à
142 análise destrutiva para a obtenção do comprimento das raízes (CR) medido
143 com régua graduada em centímetro e para biomassa das plantas em que
144 foram obtidas a massa seca das folhas (MSF), massa seca do caule (MSC),
145 massa seca das raízes (MSR) e massa seca total das plantas (MST). Para a
146 determinação de massa seca da parte aérea e raízes, ambas foram secas
147 separadamente em sacos de papel e colocados em estufa com circulação
148 forçada de ar à 72°C e pesadas em balança analítica de precisão até atingirem
149 peso constante.

150 Para a avaliação do quociente de robustez e qualidade das mudas
151 efetuou-se o cálculo para a determinação da relação altura/diâmetro do coleto
152 (HD) e do Índice de Qualidade de Dickson (IQD) respectivamente. O IQD
153 proposto por Dickson et al. (1960) [18], é analisado mediante a fórmula: $IQD = (H/DC) + (MSPA/MSR)/MST$.
154

155

156 2. 4. *Análise estatística dos dados*

157 Os testes de Shapiro-Willk e Bartlett foram utilizados para a verificação
158 quanto à normalidade e homogeneidade de variâncias, respectivamente. A
159 fim de testar o efeito dos tratamentos sobre cada variável, os dados foram
160 analisados individualmente pelo teste estatístico não paramétrico Kruskal-
161 Wallis ($p < 0,05$), uma vez que os pressupostos não puderam ser assumidos
162 através dos métodos de transformação (log e box cox). As diferenças foram
163 testadas comparando pares de tratamento e quando significativos, foi
164 aplicado o teste post-hoc (Dunn), com ajuste no valor de p pelo método de
165 Bonferroni. Foi realizada uma análise de correlação de Spearman e análise de
166 componentes principais (ACP) para melhor interpretação de
167 acompanhamento dos dados de qualidade das mudas. Os dados foram
168 analisados por meio do software estatístico Rstudio versão 4.3.3 (2023).

169

170 3. RESULTADOS

171 3.1. *Efeito da aplicação do 24-epiBL nas variáveis crescimento, biomassa e índice de* 172 *qualidade de Dickson*

173 Aos 150 dias após a aplicação do 24-epiBL, os resultados mostraram
174 que os BRs proporcionou diferença significativa estatisticamente para as
175 variáveis altura da planta (H), diâmetro (D), massa seca das folhas (MSF),
176 massa seca do caule (MSC), massa seca das raízes (MSR), massa seca total
177 (MST) e índice de qualidade de Dickson (IQD), não sendo afetado
178 significativamente para as demais variáveis, número de folhas (NF),
179 comprimento de raiz (CR), quociente de robustez (HD), clorofila *a* (CLO_a),
180 clorofila *b* (CLO_b) e clorofila total (CLO_(a+b)).

181 Para a variável altura (H), observou-se diferença significativa para as
182 plantas que foram tratadas na concentração 10 nM (Figura 01). No entanto,
183 analisando os resultados, foram observadas variações nos valores para o
184 crescimento em altura na concentração de 30 nM, representando o menor
185 valor (20 cm) em relação as plantas do grupo controle e demais tratamentos.
186 Em particular, constatou-se que comparando as concentrações de 24-epiBL, as
187 doses menores proporcionaram maiores valores, enquanto as doses maiores

188 exibiram os menores valores, indicando assim, menores taxas de crescimento
189 em função do aumento das concentrações.

190

191

192

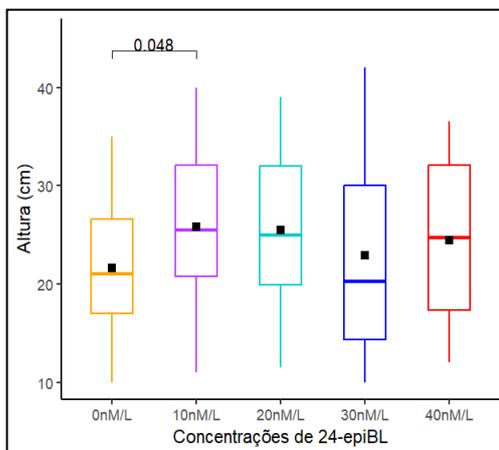
193

194

195

196

197



198

199

Figura 01: Crescimento em altura das plantas sob aplicação de 24-epiBL.

200

201

202

203

204

205

O crescimento do diâmetro foi influenciado estatisticamente com a aplicação do hormônio, encontrando-se diferenças significativas entre os pares de tratamentos testados. Em comparação ao grupo controle houve diferença significativa apenas para a concentração 10 nM (p valor 0,024) e esta por sua vez diferiu estatisticamente do tratamento na concentração 30 nM com p valor de 0,038 (Figura 02).

206

207

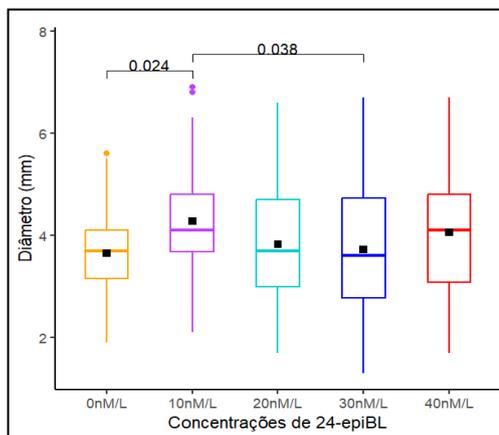
208

209

210

211

212



213

214

Figura 02: Crescimento em diâmetro das plantas sob aplicação de 24-epiBL.

215

216

217

218

219

220

221

222

O comprimento das raízes não foi afetado com diferença estatística significativa para nenhum dos tratamentos nesta pesquisa, porém observou-se uma oscilação nos dados entre os tratamentos estudados, com um maior coeficiente de variação para o tratamento na concentração 20 nM. O quociente de robustez das plantas representado pela relação altura/diâmetro (HD) embora não tenha sido afetado estatisticamente, exibiu maior valor do quociente para a concentração de 20 nM quando comparado aos demais tratamentos. No geral, esse parâmetro indica o coeficiente de esbeltez das

223 plantas e nesta pesquisa o menor e o maior valor foram de 5,86 e 6,89
 224 respectivamente (Tabela 01).

225 Na avaliação do número de folhas, não se obteve diferença significativa
 226 entre os diferentes tratamentos estudados. Nota-se que o resultado do
 227 quantitativo de folhas pouco variou em comparação às diferentes
 228 concentrações, no entanto, o grupo controle apresentou um coeficiente de
 229 variação de 71,87% dentre os demais tratamentos (Tabela 01).

230 **Tabela 01:** Dados de mediana, média, desvio padrão (dp) e coeficiente de
 231 variação (cv%) para as variáveis: comprimento de raiz (CR), quociente de
 232 robustez (HDC) e número de folhas (NF) da espécie *C. xinguensis*.

Tratamento	CR			HD			NF		
	Mediana	Media ± dp	Cv%	Mediana	Media ± dp	Cv%	Mediana	Media ± dp	Cv%
0 nM	26.00 a	25.6 ± 6.91	26.99	5.86 a	5.97 ± 1.27	21.27	14.00 a	16.00 ± 11.50	71.87
10 nM	27.00 a	25.5 ± 5.87	23.01	5.94 a	6.08 ± 1.32	21.71	15.00 a	16.00 ± 09.22	57.62
20 nM	26.00 a	27.0 ± 7.67	28.40	6.89 a	6.72 ± 1.41	20.98	15.00 a	18.20 ± 11.60	63.73
30 nM	25.00 a	24.4 ± 6.08	24.91	6.24 a	6.32 ± 2.13	33.70	14.00 a	17.40 ± 12.00	68.96
40 nM	26.80 a	25.6 ± 6.25	24.41	6.02 a	6.61 ± 3.01	45.53	14.50 a	15.90 ± 10.00	62.89

233 Nota: Letras iguais não diferem entre si à 0,05 de significância pelo teste de
 234 Dunn.

235
 236 Os teores de clorofila *a* e *b* não resultaram em diferenças estatísticas
 237 quando comparados aos teores de clorofilas das plantas do grupo controle,
 238 também não havendo diferenças entre as concentrações. Porém, para a CLO_a,
 239 a concentração que apresentou um ligeiro aumento no teor de pigmentos foi
 240 de 28,1 para o tratamento na concentração de 20 nM em relação aos demais
 241 grupos. Para a clorofila *b*, mesmo que não tenha havido diferenças
 242 significativas, o maior valor foi observado para o grupo de plantas que
 243 receberam a concentração de 30 nM. As plantas que apresentaram maiores
 244 teores de clorofila total (CLO (*a+b*)), foram nas concentrações de 20 nM e 30
 245 nM, embora também não tenha diferido estatisticamente, o menor valor
 246 observado no teor de clorofila foi de 29,8 na concentração de 40nM (5,09%)
 247 em relação às plantas que não receberam doses de 24-epiBL, conforme
 248 indicado na Tabela 02.

249 **Tabela 02:** Dados de mediana, média, desvio padrão (dp) e coeficiente de
 250 variação (cv%) para o conteúdo de clorofila *a* (CLO_a), clorofila *b* (CLO_b) e
 251 clorofila total (CLO (*a+b*)).

Tratamento	CLO _a			CLO _b			CLO(<i>a+b</i>)		
	Mediana	Media ± dp	Cv%	Mediana	Media ± dp	Cv%	Mediana	Media ± dp	Cv%
0 nM	24.6 a	25.7 ± 1.10	43.19	6.30 a	7.95 ± 4.93	62.01	31.4 a	33.6 ± 14.1	41.96
10 nM	24.1 a	25.1 ± 8.28	32.98	6.95 a	7.83 ± 4.62	59.00	31.6 a	33.1 ± 12.7	38.36
20 nM	28.1 a	26.1 ± 8.73	33.44	6.70 a	8.35 ± 5.55	66.46	32.4 a	34.3 ± 13.3	38.77
30 nM	25.2 a	25.7 ± 8.92	34.70	7.20 a	8.57 ± 4.68	54.60	32.4 a	34.3 ± 12.5	36.44
40 nM	23.2 a	24.4 ± 11.6	47.54	7.05 a	7.43 ± 4.55	61.23	29.9 a	31.8 ± 14.4	45.28

252 Nota: Letras iguais não diferem entre si a 0,05 de significância pelo teste de
 253 Dunn.
 254

255

256 Diferenças significativas foram observados para a biomassa das plantas
257 de *C. xinguensis*, comparando-se o grupo controle e as dosagens de 24-epiBL,
258 sendo possível observar também diferenças entre as concentrações. A matéria
259 seca das raízes diferiu estatisticamente para as concentrações de 10, 20 e 40
260 nM quando comparados ao grupo controle (Figura 03 a).

261 A massa seca das folhas foi afetada significativamente na comparação
262 entre o grupo controle e as diferentes doses de 24-epiBL, havendo também,
263 diferenças entre as concentrações (Figura 03 b). As diferenças estatísticas
264 foram observadas para as concentrações de 20, 30 e 40 nM em relação ao
265 grupo controle. A MSC apresentou maior peso na concentração 20 nM (4,74
266 g), diferindo estatisticamente do grupo controle (3,63 g) e da concentração 40
267 nM (3,74 g) (Figura 03 c).

268

269

270

271

272

273

274

275

276

277

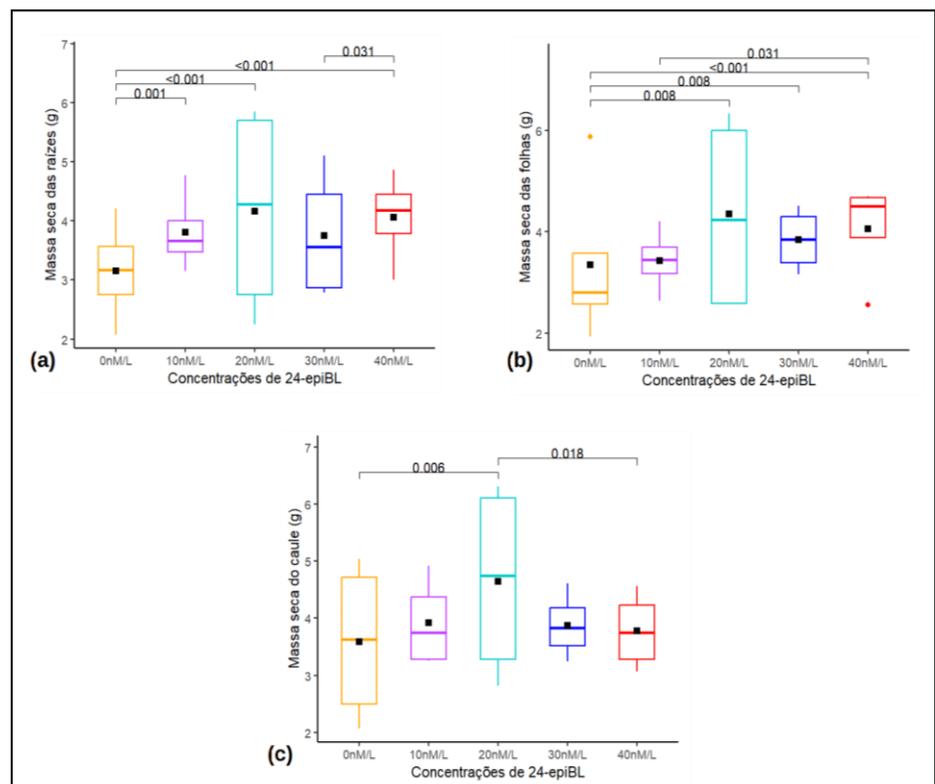
278

279

280

281

282



283

284

Figura 03: Efeito da aplicação de 24-epiBL nos tratamentos sob a massa seca das raízes (MSR), massa seca das folhas (MSF) e massa seca do caule (MSC).

285

286

287

288

289

290

291

292

293

294

295

A MST diferiu estatisticamente para as concentrações de 24-epiBL em comparação com o grupo controle na ordem de 20 nM > 40 nM > 30 nM, com pesos de 13,4 g, 12, 4 g e 11,2 g respectivamente. O índice de qualidade de Dickson (IQD) faz uso das variáveis de crescimento e biomassa das plantas em sua fórmula e foi influenciado estatisticamente para todas as concentrações quando comparadas com o grupo controle. Ao analisarmos a figura 04 (b), nota-se que os resultados apresentaram uma oscilação em que as diferenças ficaram na ordem de 20 nM > 10 nM > 40 nM > 30 nM.

296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337

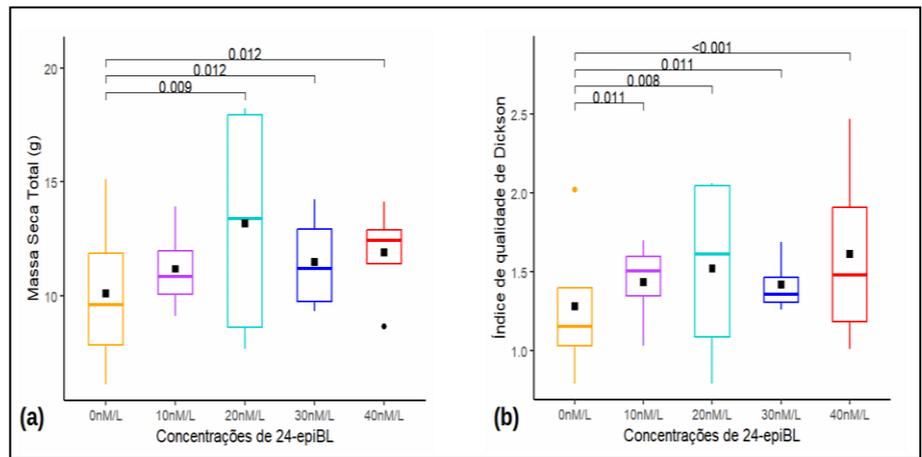


Figura 04: Efeito da aplicação de 24-epiBL nos tratamentos sob a massa seca total (MST) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD).

3.2. Análise de correlação de Spearman

Os resultados analisados individualmente indicaram que a aplicação exógena de 24-epiBL afetou significativamente parte das variáveis estudadas, além disso, é possível notar que essas relações mudam de acordo com as diferentes concentrações do hormônio. Geralmente, esses resultados contribuem para uma melhor compreensão da interação entre as variáveis e os diferentes tratamentos estudados. Com o intuito de melhor compreender a ligação entre os parâmetros observados para os diferentes tratamentos, principalmente no que diz respeito às variáveis que compõem o cálculo do Índice de Qualidade de Dickson, realizou-se uma análise de correlação de Spearman através de um conjunto com 13 variáveis (Tabela 03).

O Índice de Qualidade de Dickson (IQD) se mostrou correlacionado negativamente para a H e o D nas concentrações 0, 10, 20 e 40 nM, sendo esta correlação negativa e significativa apenas para a variável H nos tratamentos 10 e 40 nM. A concentração 30 nM mostrou que o IQD foi correlacionado significativamente e positivo para H e D. Com relação à biomassa das plantas, MSC, MSF, MSR e MST, ambas foram correlacionadas significativamente positivas em todos os tratamentos em relação ao IQD.

As clorofilas *a*, *b* e (*a+b*) se correlacionaram significativamente e positiva apenas entre elas, no entanto, é possível observar correlação positiva para biomassa e NF nos tratamentos do grupo controle e na concentração 30 nM. O quociente de robustez (HD) correlacionou-se positivamente e significativo para H em todas as concentrações de 24-epiBL e negativamente para o diâmetro (D) em todas as concentrações, no entanto, esta correlação negativa foi significativa apenas no tratamento 40 nM. Estes dados são de extrema importância, pois fornecem informações complexas e relevantes do ponto de vista de desempenho na qualidade das mudas de *C. xinguensis*.

338
339
340
341
342

Tabela 03: Coeficiente de correlação de Spearman para as variáveis: Altura (H), diâmetro (D); clorofilas (a, b e (a+b)), comprimento da raiz (CR); quociente de robustez (HD); massa seca do caule (MSC); massa seca das raízes (MSR); massa seca das folhas (MSF); massa seca total (MST), número de folhas (NF) e índice de qualidade de Dickson (IQD).

Concentração 0 nM												
	IQD	H	DC	CLOa	CLOb	CLO(a+b)	CR	HD	MSR	MSF	MSC	MST
H	-0.19											
D	-0.12	0.77										
CLOa	0.04	0.07	0.00									
CLOb	0.05	-0.18	-0.12	0.66***								
CLO(a+b)	0.06	0.03	-0.01	0.98***	0.75***							
CR	0.15	-0.12	-0.02	-0.17	-0.20	-0.20						
HD	-0.10	0.53***	-0.05	0.14	-0.13	0.11	-0.17					
MSR	1.00***	-0.19	-0.12	0.04	0.05	0.06	0.16	-0.10				
MSF	1.00***	-0.19	-0.13	0.04	0.06	0.05	0.15	-0.11	1.00***			
MSC	1.00***	-0.18	-0.11	0.05	0.05	0.07	0.14	-0.10	1.00***	1.00***		
MST	1.00***	-0.19	-0.12	0.04	0.04	0.06	0.15	-0.10	1.00***	1.00***	1.00***	
NF	-0.01	0.46***	0.38	0.17	0.04	0.14	-0.05	0.20	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
Concentração 10 nM												
	IQD	H	D	CLOa	CLOb	CLO(a+b)	CR	HD	MSR	MSF	MSC	MST
H	-0.38**											
D	-0.21	0.69***										
CLOa	-0.01	-0.22	-0.11									
CLOb	-0.21	-0.12	-0.11	0.79***								
CLO(a+b)	-0.06	-0.19	-0.1	0.98***	0.81***							
CR	-0.12	0.08	-0.07	-0.27*	-0.12	-0.25						
HD	-0.25*	0.59***	-0.08	-0.21	-0.12	-0.21	0.08					
MSR	0.80***	-0.19	-0.07	-0.15	-0.29*	-0.19	0.02	-0.08				
MSF	1.00***	-0.38**	-0.21	-0.01	-0.21	-0.06	-0.12	-0.25*	0.80***			
MSC	0.40**	0.38**	0.30*	-0.27*	-0.31*	-0.29*	0.11	0.28*	0.80***	0.40**		
MST	0.80***	-0.19	-0.07	-0.15	-0.29*	-0.19	0.02	-0.08	1.00***	0.80***	0.80***	
NF	-0.28*	0.35**	0.39**	-0.08	-0.07	-0.08	0.10	0.11	-0.11	-0.28*	0.11	-0.11
Concentração 20 nM												
	IQD	H	D	CLOa	CLOb	CLO(a+b)	CR	HD	MSR	MSF	MSC	MST
H	-0.19											
D	-0.11	0.79***										
CLOa	0.04	-0.05	-0.03									
CLOb	0.08	-0.14	-0.16	0.77***								
CLO(a+b)	0.04	-0.06	-0.07	0.96***	0.87***							
CR	0.00	0.05	-0.06	0.12	0.31*	0.19						
HD	-0.03	0.48***	-0.10	-0.10	-0.06	-0.07	0.01					
MSR	1.00***	-0.19	-0.11	0.04	0.08	0.04	0.00	-0.03				
MSF	0.94***	0.10	0.12	0.01	0.01	0.00	-0.02	0.12	0.94***			
MSC	0.80***	-0.38**	-0.32*	-0.08	-0.03	-0.07	-0.08	-0.06	0.80***	0.73***		
MST	1.00***	-0.19	-0.11	0.04	0.08	0.04	0.00	-0.03	1.00***	0.94***	0.80***	
NF	-0.16	0.58***	0.68***	-0.04	-0.17	-0.08	-0.23	0.00	-0.16	0.00	-0.24	-0.16
Concentração 30 nM												
	IQD	H	D	CLOa	CLOb	CLO(a+b)	CR	HD	MSR	MSF	MSC	MST
H	0.58***											
D	0.45***	0.75***										
CLOa	0.03	0.10	0.02									
CLOb	0.08	0.09	-0.03	0.69***								
CLO(a+b)	0.06	0.12	0.01	0.97***	0.81***							
CR	0.09	0.05	-0.08	0.15	0.29*	0.21						
HD	0.36***	0.48***	-0.10	0.09	0.10	0.10	0.16					
MSR	1.00***	0.58***	0.45***	0.03	0.08	0.06	0.09	0.36**				
MSF	0.80***	0.77***	0.58***	0.12	0.23	0.19	0.14	0.42***	0.80***			
MSC	0.80***	0.76***	0.59***	0.12	0.22	0.25	0.16	0.39***	0.80***	1.00***		
MST	0.80***	0.78***	0.58***	0.11	0.21	0.16	0.20	0.41***	0.80***	1.00***	1.00***	
NF	0.30*	0.61***	0.65***	0.03	0.04	0.04	-0.02	0.00	0.30*	0.41***	0.45***	0.42***

Concentração 40 nM												
	IQD	H	D	CLOa	CLOb	CLO(a+b)	CR	HD	MSR	MSF	MSC	MST
H	-0.77***											
D	-0.20	0.17										
CLOa	-0.22	0.30*	0.07									
CLOb	-0.21	0.32*	0.08	0.55***								
CLO(a+b)	-0.24	0.32*	0.08	0.97***	0.69***							
CR	0.07	-0.06	0.00	0.04	0.02	0.08						
HD	-0.48***	0.64***	-0.58***	0.18	0.22	0.19	-0.10					
MSR	1.00***	-0.77***	-0.19	-0.22	-0.21	-0.25	0.07	-0.41***				
MSF	1.00***	-0.75***	-0.20	-0.23	-0.21	-0.26	0.07	-0.43***	1.00***			
MSC	0.80***	-0.38**	-0.12	-0.05	-0.09	-0.07	0.12	-0.25	0.80***	0.80***		
MST	0.80***	-0.36**	-0.11	-0.06	-0.10	-0.08	0.11	-0.23	0.80***	0.80***	1.00***	
NF	-0.38**	0.42***	0.14	0.03	0.05	0.07	0.23	0.20	-0.38**	-0.32**	-0.22	-0.22

343 Os valores positivos indicam uma correlação positiva, valores negativos
344 indicam correlação negativa e 0 indica sem correlação. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$,
345 *** $p < 0.001$.

346

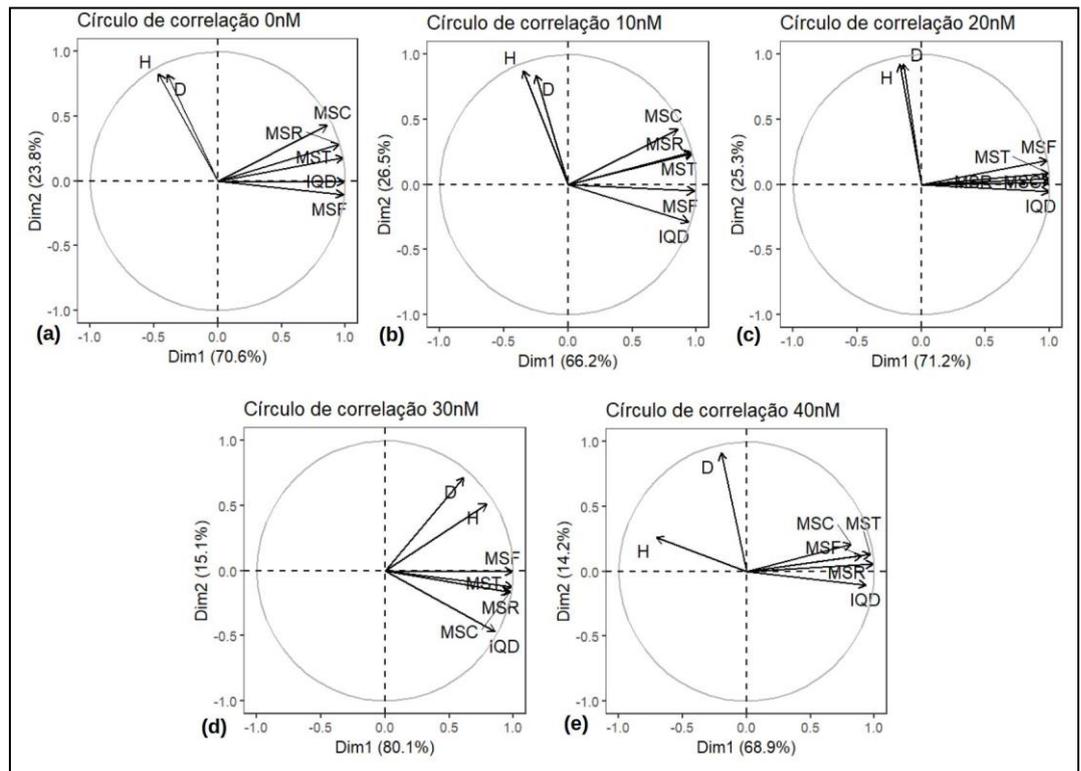
347 3.3. Análise de componentes principais (ACP)

348 De modo geral, de acordo com o resultado do teste de correlação de
349 Spearman, das variáveis que compõem o cálculo do índice de qualidade de
350 Dickson, apenas a concentração 30 nM mostrou correlação positiva e
351 significativa para as variáveis que compõem o IQD. Para comprovar esta
352 observação, as variáveis utilizadas no cálculo do IQD foram conduzidas a
353 uma análise de componentes principais (ACP). A análise de componentes
354 principais, explicaram 94,4%, 92,7%, 96,5%, 95,2% e 83,1% da variação do
355 conjunto de dados que compõem a equação de Dickson para os tratamentos
356 0, 10, 20, 30 e 40 nM respectivamente. É possível observar no biplot do círculo
357 de correlação 0, 10, 20 e 40 nM que cada variável se agregou de acordo com
358 sua similaridade, além do mais o componente principal 1 (CP1 = DIM1)
359 destes tratamentos variou de 66,2% à 71,2% (Figura 05 (a), (b), (c) e (e)),
360 enquanto que apenas o componente principal 1 do tratamento 30 nM
361 explicou uma porcentagem de variação de 80,1% (Figura 05 (d)).

362 A MSC, MSF, MSR, MST e IQD compõem o CP1 para os tratamentos 0,
363 10, 20 e 40 nM, enquanto a H e o D estão posicionados no quadrante superior
364 do CP2, que apesar de alta correlação no biplot, apresentaram-se
365 inversamente correlacionadas com a biomassa e o IQD, relacionando-se
366 negativamente, resultado este que pode ser evidenciado na correlação de
367 Spearman. Na figura 05 (d) nota-se que todas as variáveis do IQD estão
368 posicionadas no quadrante superior e inferior do CP1, o que mostra a
369 correlação positiva entre estas variáveis apenas neste tratamento.

370

371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382



383
384
385
386
387
388
389

Figura 05: Análise de componentes principais para as variáveis: altura (H), diâmetro (D); massa seca do caule (MSC); massa seca das raízes (MSR); massa seca das folhas (MSF); massa seca total (MST) e índice de qualidade de Dickson (IQD) nos diferentes tratamentos com 24-epiBL.

4. DISCUSSÃO

4.1. Desempenho de crescimento, biomassa, clorofila e qualidade das mudas

390
391
392
393
394
395
396

Os BRs podem desenvolver diversos efeitos benéficos no crescimento e desenvolvimento das plantas [12]. A altura (H) das plantas neste estudo foi influenciada pela aplicação exógena de 24-epiBL e vai de encontro com resultado obtido em pesquisa anterior, como o encontrado por Du et al. [26] quando analisaram os mecanismos de regulação dos brassinosteróides em plantas de Choupo (*Populus nigra* L.), com resultado significativo para a altura das plantas na concentração 10 nM.

397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408

Os principais fatores que controlam o crescimento vegetativo estão relacionados à multiplicação e ao alongamento das células, sendo necessário um suprimento de componentes na parede celular que contribuem para a expansão da mesma, por meio também da fosforilação de proteínas que promovem o afrouxamento destas, através da inserção de polímeros que ajudam a célula a se manter íntegra [27]. Enzimas específicas presentes nas plantas são estimuladas pelos brassinosteróides que afetam diretamente no seu crescimento, ativando as bombas de prótons, os ácidos nucleicos e a síntese de proteína, além de controlarem as atividades de aquaporinas contidas na membrana plasmática favorecendo uma maior permeabilidade à água, facilitando o afrouxamento da parede celular que resulta na expansibilidade da célula garantindo a integridade da plasmalema [12].

409 O diâmetro pode fornecer informações importantes sobre o crescimento e
410 sobrevivência no campo [28]. Nesta pesquisa, o diâmetro foi afetado
411 significativamente pela aplicação exógena do 24-epiBL na dose de 10 nM,
412 estudos anteriores comprovam a eficiência dos BRs em promover o
413 crescimento em diâmetro de plantas, como constatado por Yang et al. [29]
414 que obtiveram aumento significativo de 6,1% no diâmetro do coleto em
415 plantas de pimenta (*Capsicum annuum* L.) sob estresse por frio na
416 concentração de 0,1 µM. Gomes et al. [30] definem o diâmetro como um dos
417 parâmetros morfológicos mais importantes para se estimar o crescimento de
418 mudas no campo, pois quanto maior o diâmetro maior será o equilíbrio da
419 parte aérea. O crescimento secundário em plantas tratadas com BRs pode ser
420 ocasionado devido ao aumento do número de células no xilema ou até
421 mesmo no aumento da espessura da parede das células [31]. O crescimento
422 do caule através do alongamento da célula e a aceleração da divisão celular é
423 promovido pelos componentes de sinalização dos BRs [32].

424 Freitas et al. [33] não observaram diferenças significativas para o
425 diâmetro, quando avaliaram o efeito da aplicação de brassinosteróides em
426 mudas de tangerina 'Cleópatra' (*Citrus reshni* hort. ex Tanaka) associada à
427 *Acaulospora scrobiculata* Trappe. As diferentes respostas de crescimento e
428 desenvolvimento de plantas quando pulverizadas com 24-epiBL, pode
429 resultar em diferentes resultados de crescimento a depender da concentração,
430 da espécie e até mesmo das condições de crescimento [29]. Genes ligados à
431 biossíntese e sinalização dos BRs desempenham importantes funções no
432 crescimento e desenvolvimento secundário das plantas [34]. Estudos na
433 cultura do algodão (*Gossypium hirsutum* L.), por exemplo, comprovam que os
434 BRs estão diretamente envolvidos no crescimento do xilema de plantas
435 lenhosas [35].

436 O crescimento e sobrevivência das plantas dependem de uma série de
437 fatores, dentre eles, o desenvolvimento do sistema radicular, principal
438 responsável pela absorção de água, nutrientes, fixação de nitrogênio por meio
439 de associação com bactérias em plantas de leguminosas, além de acumular
440 produtos da fotossíntese [36,37]. Nesta pesquisa, não foi observado efeito
441 significativo para o crescimento de raízes sobre a aplicação de 24-epiBL, no
442 entanto, outros estudos relataram o efeito positivo da adição de BRs sobre o
443 crescimento radicular, como os resultados constatados por Lee et al. [38] em
444 plantas de *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh., e os encontrados por Ferreira et al.
445 [39] que obtiveram melhor desenvolvimento das raízes na concentração de
446 0,5 mg. L⁻¹ em cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.).

447 Parâmetros biométricos como o quociente de robustez, obtido pela
448 relação altura e diâmetro do coleto (H/D), podem dar uma boa resposta de
449 desempenho e de sobrevivência das mudas [40]. Segundo Mota et al. [41] a
450 qualidade de mudas de espécies florestais pode ser medida através do
451 quociente de robustez (HD), os autores asseguram que este parâmetro reflete
452 a capacidade das mudas em resistir às adversidades do campo, melhora a
453 fixação no solo além de garantir um bom acúmulo de reservas, pois reflete a
454 distribuição dos fotoassimilados por toda a planta. Os autores Mañas et al.
455 [20] argumentaram em sua pesquisa que a relação (H/D) em associação com o
456 diâmetro do coleto foi capaz de prever a sobrevivência das mudas no campo
457 com exata precisão, indicando assim, a eficiência deste método não destrutivo
458 na avaliação de qualidade de mudas.

459 Haase e Davies [42] afirma que quanto menor a relação (H/D), maior é a
460 possibilidade da planta se estabelecer após o plantio. Nesta pesquisa, embora

461 o quociente de robustez não tenha sido influenciado significativamente pelos
462 tratamentos, o menor e o maior valor encontrado foram de 5,96 e 6,71
463 respectivamente. No entanto, os autores Maekawa, et al. [43] ressaltam que
464 este parâmetro não deve ser analisado isoladamente, em razão dos erros no
465 momento da escolha das mudas, devendo-se levar em consideração também
466 o aporte de biomassa das plantas.

467 O número de folhas reflete sua importância em função do aumento da
468 fotossíntese, o que pode indicar uma maior eficiência de fotoassimilados
469 produzidos e que serão translocados para todas as partes do vegetal [44].
470 Embora o número de folhas não tenha sido afetado significativamente nesta
471 pesquisa, estudos anteriores mostram que a aplicação via foliar de 24-epiBL
472 pode influenciar positivamente no aumento do número de folhas, por
473 exemplo, Swamy e Rao, [45] observaram aumento significativo no número de
474 folhas estudando a influência da aplicação exógena de 24-epiBL e 28-homoBL
475 em plantas de coleus (*Coleus forskohlii*). O aumento no número de folhas
476 também foi observado por Arora et al. [46] em estudo com *Brassica juncea* L.
477 sob tratamento com pulverização de 24-epiBL quando submetidas à
478 toxicidade por íon cobalto.

479 Embora outras pesquisas relatem que os BRs possam regular de maneira
480 positiva a fotossíntese, neste estudo, os teores de clorofilas *a*, *b* e (*a+b*) não
481 foram afetadas com diferenças significativas pela aplicação de 24-epiBL. As
482 clorofilas *a* e *b* são essenciais na captação de luz por meio das antenas
483 fotossintéticas e do transporte de elétrons [47]. O teor de clorofila presente
484 nas folhas se constitui também em um bom indicativo na eficiência da
485 fotossíntese [48], contribuindo de maneira positiva para o rendimento em
486 biomassa através da produção de açúcares, agindo dessa forma, na
487 manutenção da fotossíntese que é determinada pela estabilidade do conteúdo
488 de clorofila [49].

489 Estudos anteriores comprovaram que os BRs podem de maneira positiva
490 influenciar no conteúdo dos pigmentos fotossintéticos, como por exemplo,
491 pesquisa realizada por Hayat et al. [12] quando analisaram os efeitos da
492 aplicação de BRs em plantas de *Lycopersicon esculentum* L., verificaram um
493 aumento na biossíntese destes pigmentos e Zhang et al. [10] observaram um
494 ligeiro aumento no conteúdo de clorofila em plantas de milho (*Zea mays* L.)
495 tratadas com BRs em comparação com plantas sem aplicação do hormônio.
496 Os BRs são capazes não somente de atuar na expansão celular como também
497 atuam na proteção do aparelho fotossintético contra possíveis danos
498 ocasionados por estresses abióticos, evitando perdas dos pigmentos por meio
499 da ativação de enzimas relacionadas à biossíntese da clorofila [50].

500 Os resultados significativos para a biomassa de *C. xinguensis* atribuído a
501 aplicação do hormônio, influenciou no rendimento de massa seca das plantas
502 em ambas as partes, o que pode indicar que houve uma maior produção de
503 compostos deslocados para a parte aérea e raízes e que pode ter relação direta
504 com o crescimento no número de células proporcionadas pela adição de BRs
505 [51]. Pesquisas têm evidenciado que a aplicação de brassinosteróides é capaz
506 de promover incrementos na produção de biomassa. Resultados semelhantes
507 no aumento de biomassa proporcionado pela aplicação foliar de 24-epiBL,
508 foram encontrados por Ali et al. [52] quando estudavam o crescimento e
509 qualidade dos frutos de morango na concentração de 2 µM. Os autores
510 Hayat et al. [13] também verificaram resultado positivo no aumento de
511 biomassa quando analisaram os efeitos comparativos da aplicação de 24-

512 epiBL e 28-homobrasinolideo em plantas de *Lycopersicon esculentum* L, com
513 eficácia na concentração 10–8 M do 24-epiBL.

514 Alguns fatores podem influenciar nas mais variadas respostas
515 fisiológicas dos brassinosteróides nas plantas. Estes fatores podem depender
516 das concentrações, dos métodos de aplicação do hormônio, da própria
517 genética da planta ou até mesmo do análogo de BRs, contribuindo para
518 diferentes resultados [53]. Cardoso et al. [54] avaliando o desempenho de
519 plantas de sorgo sob diferentes concentrações de brassinosteróides
520 constataram resultados com aumentos significativos para a razão de massa
521 radicular e biomassa total. Freitas et al. [55] obtiveram incrementos sobre a
522 variável da massa seca da parte aérea na concentração de 1,0 mg.L⁻¹ de 24-
523 epiBL em plantas de abacaxi (*Ananas comosus* (L.) Merrill). A aplicação
524 exógena de 24-epiBL também proporcionou aumento na biomassa da parte
525 aérea e da área foliar em plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.) [51].

526 O índice de qualidade de Dickson (IQD) é capaz de expressar a
527 qualidade das mudas por considerar uma maior quantidade de parâmetros,
528 como por exemplo, a relação altura da planta, diâmetro, massa seca das raízes
529 e a massa seca da parte aérea, tornando assim o cálculo mais robusto, no
530 entanto, este método requer medidas destrutivas e cálculo mais complexo
531 para sua análise. Os autores Bayala et al. e Mañas et al. [20,21] relataram em
532 seus estudos que o desempenho de crescimento e sobrevivência das plantas
533 no campo são capazes de aumentar à medida que os valores do índice de
534 qualidade também aumentam.

535 Neste estudo, os maiores valores de IQD para a espécie *C. xinguensis*,
536 foram verificados na concentração 20 nM, o que pode ter influência dos
537 resultados de massa seca que apresentaram maiores valores nesta
538 concentração, no entanto, a concentração 30 nM apesar de apresentar o menor
539 valor dentre todas as diferentes concentrações, exibiu uma menor
540 variabilidade para este parâmetro. Tsakaldimi et al. [22] em sua pesquisa,
541 comprovaram que o IQD seria capaz de prevê com segurança que mudas de
542 espécies florestais mediterrâneas sobreviveriam na fase de campo. Estes
543 autores ressaltam ainda que os maiores valores deste índice podem
544 representar plantas com melhor qualidade. Hunt [56] estabelece como valor
545 padrão mínimo para resultados do IQD em 0,20 para mudas produzidas em
546 recipientes de 50 e 60 g. No entanto, segundo Caldeira et al. [57], não há
547 valores que possam ser adotados como valores de referência para a produção
548 de mudas de espécies florestais, uma vez que a avaliação do IQD pode variar
549 em função da espécie, manejo das mudas, idade em que as plantas foram
550 avaliadas, tipo de substrato entre outras características.

551 552 4.2. Correlação das variáveis morfológicas sob tratamentos com 24-epiBL e 553 agrupamento dos componentes principais

554 A análise de correlação de Spearman mostrou que o IQD foi altamente
555 correlacionado com a matéria seca das plantas em ambas as partes (tabela 03),
556 o que conseqüentemente teve resultado com a massa seca total. Estes
557 resultados são corroborados por Maciel e Palomino [58] que obtiveram alta
558 correlação do IQD e massa seca total quando analisavam os parâmetros
559 morfológicos de *Handroanthus serratifolius* na qualidade das mudas.

560 A massa seca das plantas tem relação com a capacidade fotossintética
561 que resulta em acúmulo de fotoassimilados que são distribuídos por toda a
562 estrutura do vegetal [20], no entanto, a CLO_a, CLO_b e CLO_(a+b) apresentaram
563 correlação negativa com o IQD e massas secas. A alta correlação entre as

564 massas secas e o IQD já era um resultado esperado devido à empregabilidade
565 destas variáveis em sua maior parte no cálculo de avaliação do índice, o que
566 também é demonstrado na análise de componentes principais (figura 04). A
567 concentração 30 nM, dentre todos os tratamentos estudados, correlacionou
568 positivamente e significativo, todos os parâmetros morfológicos com o Índice
569 de qualidade de Dickson (IQD), este resultado é corroborado em estudo
570 anterior por Fonseca et al. [59] na avaliação da qualidade de mudas de *Trema*
571 *micrantha* (L.).

572 No geral, a compreensão da avaliação de crescimento e qualidade das
573 mudas torna-se indispensáveis na produção, voltadas aos plantios florestais,
574 onde a análise individual ou em conjunto de cada parâmetro pode fornecer
575 informações importantes do ponto de vista técnico.

576

577

5. CONCLUSÃO

578 Neste estudo foi possível observar que as diferentes respostas que os
579 BRs são capazes de promover nas plantas modulando sua fisiologia, são
580 dependentes da concentração aplicada. A aplicação foliar na concentração 10
581 nM proporcionou melhores efeitos de crescimento primário e secundário,
582 enquanto que as diferentes concentrações tiveram um impacto promotor no
583 aumento da massa seca e no Índice de Qualidade de Dickson em relação ao
584 grupo controle. A concentração 30 nM promoveu correlação positiva para
585 todas as variáveis do IQD e para grande parte das demais variáveis
586 estudadas, sugerindo assim, ser a concentração que melhor representou a
587 qualidade das plantas.

588

589

590 REFERÊNCIAS

591

592 1. Moreno-Casasola, P. The Challenge of Participatory Restoration in Rural Areas. *Bot. Sci.* **2022**,
593 *100*, S218–S244, doi:10.17129/botsci.3149.

594 2. *Chamaecrista* in **Flora e Funga do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível online:
595 <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB82939>>. Acessado: 06 jun. 2023.

596 3. Duarte, J.A.P.; Ferreira, G.C.; Gama, M.A.P.; Barbosa, R. de S.; Milhomem, C. de A.; Dionisio,
597 L.F.S. Influência de Fatores Edáficos e Topográficos Na Composição Florística de Florestas
598 Secundárias Na Mesorregião Sudeste Do Pará, Brasil. *Interação* **2021**, *23*, 220–235.

599 4. Campos, A.C.D.S.; Jardim, M.A.G. Composição Florística Da Regeneração de Um Trecho de
600 Savana Na Amazônia Oriental. *Rev. Bras. Geogr. Física* **2020**, *13*, 2777–2787, doi:
601 10.26848/rbgf.v13.6.p2777-2787.

602 5. Oliveira, L.R.D.; Dos Santos, W.S.; Benett, C.G.S.; Sidão, W.B.; Coneglian, A.; Benett, K.S.S.
603 Produção de Mudanças de *Acacia Mangium* Willd. Em Diferentes Ambientes e Recipientes. *Rev.*
604 *Biotecnol. Ciênc. ISSN 2238-6629* **2022**, *11*, 1–11, doi: 10.31668/rbc.v11i1.12695.

- 605 6. Zahra, N.; Mahmood, S.; Raza, Z.A. Salinity Stress on Various Physiological and Biochemical
606 Attributes of Two Distinct Maize (*Zea Mays* L.) Genotypes. *J. Plant Nutr.* **2018**, *41*, 1368–1380, doi:
607 10.1080/01904167.2018.1452939.
- 608 7. Sharma, S.K. Brassinosteroids Application Responses in Fruit Crops – A Review. *Int. J. Agric.*
609 *Environ. Biotechnol.* **2021**, *14*, doi: 10.30954/0974-1712.02.2021.2.
- 610 8. Oliveira, D.B.D.; Amaro, C.L.; Amaro, L.V.; Borges, L.P.; Amorim, V.A.; Matos, F.S. Importance
611 of Brassinosteroids in Activating the Antioxidant System and Growth in *Jatropha Curcas* L. Plants
612 under Water Deficit. *Aust. J. Crop Sci.* **2021**, 369–376, doi: 10.21475/ajcs.21.15.03.p2730.
- 613 9. Vieira, D.A.; Toro-Herrera, M.A.; Mendonça, A.M.D.C.; Barbosa, J.P.R.A.D. Do Brassinosteroids
614 Alleviate Water Stress in Seedlings of *HANDROANTHUS SERRATIFOLIUS*? *Ann. Appl. Biol.* **2022**, *180*,
615 151–162, doi: 10.1111/aab.12719.
- 616 10. Zhang, Y.; Dong, G.; Chen, F.; Xiong, E.; Liu, H.; Jiang, Y.; Xiong, G.; Ruan, B.; Qian, Q.; Zeng,
617 D.; et al. The Kinesin-13 Protein BR HYPERSENSITIVE 1 Is a Negative Brassinosteroid Signaling
618 Component Regulating Rice Growth and Development. *Theor. Appl. Genet.* **2022**, *135*, 1751–1766,
619 doi: 10.1007/s00122-022-04067-2.
- 620 11. Htet, Z.M.; Li, X.; Yu, F. Enhanced Seedling Growth and Physiological Performances of *Melia*
621 *Azedarach* L. by Foliar Application of 24-Epibrassinolide under Salt Stress. *Forests* **2024**, *15*, 427,
622 doi:10.3390/f15030427.
- 623 12. Morillon, R.; Catterou, M.; Sangwan, R.S.; Sangwan, B.S.; Lassalles, J.-P. Brassinolide May
624 Control Aquaporin Activities in *Arabidopsis Thaliana*. *Planta* **2001**, *212*, 199–204, doi:
625 10.1007/s004250000379.
- 626 13. Hayat, S.; Yadav, S.; Wani, A.S.; Irfan, M.; Ahmad, A. Comparative Effect of 28-
627 Homobrassinolide and 24-Epibrassinolide on the Growth, Carbonic Anhydrase Activity and
628 Photosynthetic Efficiency of *Lycopersicon Esculentum*. *Photosynthetica* **2011**, *49*, doi:
629 10.1007/s11099-011-0051-x.
- 630 14. Shu, S.; Tang, Y.; Yuan, Y.; Sun, J.; Zhong, M.; Guo, S. The Role of 24-Epibrassinolide in the
631 Regulation of Photosynthetic Characteristics and Nitrogen Metabolism of Tomato Seedlings
632 under a Combined Low Temperature and Weak Light Stress. *Plant Physiol. Biochem.* **2016**, *107*,
633 344–353, doi: 10.1016/j.plaphy.2016.06.021.
- 634 15. Yue, J.; Fu, Z.; Zhang, L.; Zhang, Z.; Zhang, J. The Positive Effect of Different 24-epiBL
635 Pretreatments on Salinity Tolerance in *Robinia Pseudoacacia* L. Seedlings. *Forests* **2018**, *10*, 4,
636 doi:10.3390/f10010004.
- 637 16. Alam, P.; Kaur Kohli, S.; Al Balawi, T.; Altalayan, F.H.; Alam, P.; Ashraf, M.; Bhardwaj, R.;
638 Ahmad, P. Foliar Application of 24-Epibrassinolide Improves Growth, Ascorbate-Glutathione
639 Cycle, and Glyoxalase System in Brown Mustard (*Brassica Juncea* (L.) Czern.) under Cadmium
640 Toxicity. *Plants* **2020**, *9*, 1487, doi: 10.3390/plants9111487.
- 641 17. Niu, K.; Zhu, R.; Wang, Y.; Zhao, C.; Ma, H. 24-Epibrassinolide Improves Cadmium Tolerance
642 and Lateral Root Growth Associated with Regulating Endogenous Auxin and Ethylene in
643 Kentucky Bluegrass. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* **2023**, *249*, 114460, doi: 10.1016/j.ecoenv.2022.114460.

- 644 18. Pinto, J.R.; Marshall, J.D.; Dumroese, R.K.; Davis, A.S.; Cobos, D.R. Establishment and Growth
645 of Container Seedlings for Reforestation: A Function of Stocktype and Edaphic Conditions. *For.*
646 *Ecol. Manag.* **2011**, *261*, 1876–1884, doi: 10.1016/j.foreco.2011.02.010.
- 647 19. Dickson, A.; Leaf, A.L.; Hosner, J.F. quality appraisal of white spruce and white pine seedling
648 stock in nurseries. *For. Chron.* **1960**, *36*, 10–13, doi: 10.5558/tfc36010-1.
- 649 20. Bayala, J.; Dianda, M.; Wilson, J.; Ouédraogo, S.J.; Sanon, K. Predicting Field Performance of
650 Five Irrigated Tree Species Using Seedling Quality Assessment in *Burkina Faso*, West Africa. *New*
651 *For.* **2009**, *38*, 309–322, doi: 10.1007/s11056-009-9149-4.
- 652 21. Mañas, P.; Castro, E.; De Las Heras, J. Quality of Maritime Pine (*Pinus Pinaster* Ait.) Seedlings
653 Using Waste Materials as Nursery Growing Media. *New For.* **2009**, *37*, 295–311, doi:
654 10.1007/s11056-008-9125-4.
- 655 22. Tsakalimi, M.; Ganatsas, P.; Jacobs, D.F. Prediction of Planted Seedling Survival of Five
656 Mediterranean Species Based on Initial Seedling Morphology. *New For.* **2013**, *44*, 327–339, doi:
657 10.1007/s11056-012-9339-3.
- 658 23. Lin, K.-H.; Wu, C.-W.; Chang, Y.-S. Applying Dickson Quality Index, Chlorophyll Fluorescence,
659 and Leaf Area Index for Assessing Plant Quality of *Pentas Lanceolata*. *Not. Bot. Horti Agrobot.*
660 *Cluj-Napoca* **2018**, *47*, 169–176, doi: 10.15835/nbha47111312.
- 661 24. IBGE. Instituto Brasileiro De Geografia Estatística. Cidade de Altamira, Pará, Brasil. **2022**.
662 Disponível online: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/altamira/panorama>. Acessado em: 23
663 jun 2023.
- 664 25. Alves, M.M.; Albuquerque, M.B.D.; Cruz, R.R.P. Initial Growth and Morpho-Anatomical
665 Development of “Jacaranda” at Different Levels of Luminosity. *Floresta E Ambiente* **2021**, *28*,
666 e20200091, doi: 10.1590/2179-8087-floram-2020-0091.
- 667 26. Du, J.; Gerttula, S.; Li, Z.; Zhao, S.; Liu, Y.; Liu, Y.; Lu, M.; Groover, A.T. Brassinosteroid
668 Regulation of Wood Formation in Poplar. *New Phytol.* **2020**, *225*, 1516–1530, doi:
669 10.1111/nph.15936.
- 670 27. Clouse, S.D.; Sasse, J.M. BRASSINOSTEROIDS: Essential Regulators of Plant Growth and
671 Development. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* **1998**, *49*, 427–451, doi:
672 10.1146/annurev.arplant.49.1.427.
- 673 28. Ivetić, V.; Devetaković, J.; Maksimović, Z. Initial Height and Diameter Are Equally Related to
674 Survival and Growth of Hardwood Seedlings in First Year after Field Planting. *REFORESTA*
675 **2016**, 6–21, doi: 10.21750/REFOR.2.02.17.
- 676 29. Yang, P.; Wang, Y.; Li, J.; Bian, Z. Effects of Brassinosteroids on Photosynthetic Performance and
677 Nitrogen Metabolism in Pepper Seedlings under Chilling Stress. *Agronomy* **2019**, *9*, 839, doi:
678 10.3390/agronomy9120839.
- 679 30. Gomes, J.M.; Couto, L.; Leite, H.G.; Xavier, A.; Garcia, S.L.R. Parâmetros Morfológicos Na
680 Avaliação de Qualidade de Mudanças de *Eucalyptus Grandis*. *Rev. Árvore* **2002**, *26*, 655–664, doi:
681 10.1590/S0100-67622002000600002.

- 682 31. Jiang, C.; Li, B.; Song, Z.; Zhang, Y.; Yu, C.; Wang, H.; Wang, L.; Zhang, H. PtBRI1.2 Promotes
683 Shoot Growth and Wood Formation through a Brassinosteroid-Mediated PtBZR1-PtWINDs
684 Module in Poplar. *J. Exp. Bot.* **2021**, *72*, 6350–6364, doi: 10.1093/jxb/erab260.
- 685 32. Yuan, H.; Zhao, L.; Guo, W.; Yu, Y.; Tao, L.; Zhang, L.; Song, X.; Huang, W.; Cheng, L.; Chen, J.;
686 et al. Exogenous Application of Phytohormones Promotes Growth and Regulates Expression of
687 Wood Formation-Related Genes in *Populus Simonii* × *P. Nigra*. *IJMS* **2019**, *20*, 792, doi:
688 10.3390/ijms20030792.
- 689 33. Freitas, J.A.A.; Marinho, C.S.; Freitas, I.L.J.; Santos, P.C.; Silva, M.P.S.; Carvalho, A.J.C.
690 Brassinosteroides e Fungo Micorrízico Arbuscular Na Produção Do Porta-Enxerto Tangerineira
691 ‘Cleópatra.’ *Rev. Bras. Ciênc. Agrár. - Braz. J. Agric. Sci.* **2015**, *10*, 54–59, doi:
692 10.5039/agraria.v10i1a4708.
- 693 34. Jin, Y.; Tang, R.; Wang, H.; Jiang, C.; Bao, Y.; Yang, Y.; Liang, M.; Sun, Z.; Kong, F.; Li, B.; et al.
694 Overexpression of *Populus Trichocarpa* CYP 85A3 Promotes Growth and Biomass Production in
695 Transgenic Trees. *Plant Biotechnol. J.* **2017**, *15*, 1309–1321, doi: 10.1111/pbi.12717.
- 696 35. Liu, Z.; Chen, Y.; Wang, N.; Chen, Y.; Wei, N.; Lu, R.; Li, Y.; Li, X. A Basic Helix–Loop–Helix
697 Protein (GhFP1) Promotes Fibre Elongation of Cotton (*Gossypium Hirsutum*) by Modulating
698 Brassinosteroid Biosynthesis and Signalling. *New Phytol.* **2020**, *225*, 2439–2452, doi:
699 10.1111/nph.16301.
- 700 36. Wei, Z.; Li, J. Brassinosteroids Regulate Root Growth, Development, and Symbiosis. *Mol. Plant*
701 **2016**, *9*, 86–100, doi: 10.1016/j.molp.2015.12.003.
- 702 37. Brunner, I.; Herzog, C.; Galiano, L.; Gessler, A. Plasticity of Fine-Root Traits Under Long-Term
703 Irrigation of a Water-Limited Scots Pine Forest. *Front. Plant Sci.* **2019**, *10*, 701, doi:
704 10.3389/fpls.2019.00701.
- 705 38. Lee, H.-S.; Kim, Y.; Pham, G.; Kim, J.W.; Song, J.-H.; Lee, Y.; Hwang, Y.-S.; Roux, S.J.; Kim, S.-H.
706 Brassinazole Resistant 1 (BZR1)-Dependent Brassinosteroid Signalling Pathway Leads to Ectopic
707 Activation of Quiescent Cell Division and Suppresses Columella Stem Cell Differentiation. *J.*
708 *Exp. Bot.* **2015**, *66*, 4835–4849, doi:10.1093/jxb/erv316.
- 709 39. Ferreira, L.; Lannes, L.S.; Figueiredo, P.A.M.D.; Faria, G.A.; Teixeira, M.M.; Gaspareto, R.N.
710 Efeitos Combinados Do Fósforo e Análogo de Brassinoesteroides Na Fase Inicial Da Cana-de-
711 Açúcar: Crescimento e Fotossíntese. *Rev. Ibero-Am. Ciênc. Ambient.* **2021**, *12*, 517–529,
712 doi:10.6008/CBPC2179-6858.2021.002.0044.
- 713 40. Viana, E.D.O.; Bezerra, A.M.E.; Pereira, D.D.S.; Lacerda, C.F.D.; Medeiros Filho, S. Crescimento
714 e Qualidade de Mudanças de Três Espécies de *Copernicia* Sob Diferentes Condições de
715 Sombreamento. *Ciênc. Florest.* **2022**, *32*, 2094–2112, doi: 10.5902/1980509866763.
- 716 41. Mota, E.R.; Smiderle, O.J.; Dionisio, L.F.S.; Souza, A.D.G.; Montenegro, R.A.; Schwartz, G.
717 Seedling Quality of *Agonandra Brasiliensis* in Response to Different Osmocote® Doses and
718 Recipient Volumes. *Res. Soc. Dev.* **2021**, *10*, e55010111903, doi: 10.33448/rsd-v10i1.11903.
- 719 42. Haase, D.L.; Davis, A.S. Developing and Supporting Quality Nursery Facilities and Staff Are
720 Necessary to Meet Global Forest and Landscape Restoration Needs. *REFOR* **2017**, 69–93,
721 doi:10.21750/REFOR.4.06.45.

- 722 43. Maekawa, L.; Coelho, M.D.F.B.; dos Santos Weber, O.L.. Substratos e restrição luminosa na
723 produção de mudas de *Ficus gomelleira* Kunth. *Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of*
724 *Agricultural and Environmental Sciences*, **2020**, 63. Disponível em:
725 <https://btcc.ufra.edu.br/index.php/ajaes/article/view/3143>. Acessado em: 30 de março de 2024.
- 726 44. Martins, A.C.F.; Schiavini, I.; Araújo, G.M.D.; Lopes, S.D.F. Capacidade adaptativa de espécies
727 do cerrado utilizadas em áreas de recuperação ambiental. *Rev. Árvore* **2015**, 39, 543–550, doi:
728 10.1590/0100-67622015000300015.
- 729 45. Swamy, K.N.; Rao, S.S.R. Effect of Brassinosteroids on the Performance of Coleus (*Coleus*
730 *Forskohlii*). *J. Herbs Spices Med. Plants* **2011**, 17, 12–20, doi: 10.1080/10496475.2011.556985.
- 731 46. Arora, P.; Bhardwaj, R.; Kanwar, M.K. Effect of 24-Epibrassinolide on Growth, Protein Content
732 and Antioxidative Defense System of *Brassica Juncea* L. Subjected to Cobalt Ion Toxicity. *Acta*
733 *Physiol. Plant.* **2012**, 34, 2007–2017, doi: 10.1007/s11738-012-1002-2.
- 734 47. Simkin, A.J.; Kapoor, L.; Doss, C.G.P.; Hofmann, T.A.; Lawson, T.; Ramamoorthy, S. The Role of
735 Photosynthesis Related Pigments in Light Harvesting, Photoprotection and Enhancement of
736 Photosynthetic Yield in Planta. *Photosynth. Res.* **2022**, 152, 23–42, doi: 10.1007/s11120-021-00892-6.
- 737 48. Mu, X.; Chen, Y. The Physiological Response of Photosynthesis to Nitrogen Deficiency. *Plant*
738 *Physiol. Biochem.* **2021**, 158, 76–82, doi:10.1016/j.plaphy.2020.11.019.
- 739 49. Kwon, O.K.; Mekapogu, M.; Kim, K.S. Effect of Salinity Stress on Photosynthesis and Related
740 Physiological Responses in Carnation (*Dianthus Caryophyllus*). *Hortic. Environ. Biotechnol.* **2019**,
741 60, 831–839, doi:10.1007/s13580-019-00189-7.
- 742 50. Hafeez, M.B.; Zahra, N.; Zahra, K.; Raza, A.; Batool, A.; Shaukat, K.; Khan, S. Brassinosteroids:
743 Molecular and Physiological Responses in Plant Growth and Abiotic Stresses. *Plant Stress* **2021**,
744 2, 100029, doi:10.1016/j.stress.2021.100029.
- 745 51. Jiang, Y.-P.; Cheng, F.; Zhou, Y.-H.; Xia, X.-J.; Shi, K.; Yu, J.-Q. Interactive Effects of CO₂
746 Enrichment and Brassinosteroid on CO₂ Assimilation and Photosynthetic Electron Transport in
747 *Cucumis Sativus*. *Environ. Exp. Bot.* **2012**, 75, 98–106, doi:10.1016/j.envexpbot.2011.09.002.
- 748 52. Ali, M.M.; Anwar, R.; Malik, A.U.; Khan, A.S.; Ahmad, S.; Hussain, Z.; Hasan, M.U.; Nasir, M.;
749 Chen, F. Plant Growth and Fruit Quality Response of Strawberry Is Improved After Exogenous
750 Application of 24-Epibrassinolide. *J. Plant Growth Regul.* **2022**, 41, 1786–1799, doi:10.1007/s00344-
751 021-10422-2.
- 752 53. Asghari, M.; Zahedipour, P. 24-Epibrassinolide Acts as a Growth-Promoting and Resistance-
753 Mediating Factor in Strawberry Plants. *J. Plant Growth Regul.* **2016**, 35, 722–729, doi:
754 10.1007/s00344-016-9577-2.
- 755 54. Cardoso, N.C.; Guimarães, B.T.; Dos Santos, B.C.; Troncha, M.F.A.C.; Melo, A.D.L.; Ferreira
756 Júnior, R.J.; Grato, M.S.; Basílio, A.A.G.; Borges, L.P.; Matos, F.S. crescimento e produtividade
757 de plantas de sorgo submetidas a diferentes concentrações de brassinosteroides. In *Ciências*
758 *Agrárias: o avanço da ciência no Brasil - Volume 5*; Editora Científica Digital, **2022**; pp. 186–193 ISBN
759 9786553602335.
- 760 55. Freitas, S.D.J.; Santos, P.C.D.; Carvalho, A.J.C.D.; Berilli, S.D.S.; Gomes, M.D.M.D.A.
761 Brassinosteróide e Adubação Nitrogenada no Crescimento e Estado Nutricional de Mudas de

- 762 Abacaxizeiro Provenientes Do Seccionamento de Caule. *Rev. Bras. Frutic.* **2012**, *34*, 612–618,
763 doi:10.1590/S0100-29452012000200037.
- 764 56. Hunt G.A.; Effect of styroblock design and cooper treatment on morphology of conifer
765 seedlings. In: Target Seedlings Symposium, Meeting Of The Western Forest Nursery
766 Associations, Roseburg. Proceedings. Fort Collins: United States Department of Agriculture,
767 Forest Service; **1990**. p. 218-222. Disponível em:
768 <https://rngr.net/publications/proceedings/1990/hunt.pdf>.
- 769 57. Caldeira, M.V.W.; Delarmelina, W.M.; Lübe, S.G.; Gomes, D.R.; Gonçalves, E.D.O.; Alves, A.F.
770 biossólido na composição de substrato para a produção de mudas de *Tectona Grandis*. *RF* **2012**,
771 *42*, 77, doi:10.5380/rf.v42i1.26302.
- 772 58. Maciel, J.L.M.; Palomino, E.C. influência da matriz na qualidade de mudas de *Handroanthus*
773 *Serratifolius* (Vahl) S.Grose. *Rev. Inst. Florest.* **2018**, *30*, 151–157, doi: 10.24278/2178-
774 5031.201830204.58.
- 775 59. Fonseca, É.D.P.; Valéri, S.V.; Miglioranza, É.; Fonseca, N.A.N.; Couto, L. Padrão de Qualidade
776 de Mudas de *Trema Micrantha* (L.) Blume, Produzidas Sob Diferentes Períodos de
777 Sombreamento. *Rev. Árvore* **2002**, *26*, 515–523, doi: 10.1590/S0100-67622002000400015.
- 778