

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO – UEMA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS – CCA
CURSO DE AGRONOMIA BACHARELADO

RAIZA SOUSA FARIAS

**CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS DE DUAS ESPÉCIES DO BIOMA
AMAZÔNICO COM POTENCIAL PARA REFLORESTAMENTO: *Bixa arbórea* Huber
e *Apuleia leiocarpa*.**

SÃO LUÍS - MA

2025

RAIZA SOUSA FARIAS

**CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS DE DUAS ESPÉCIES DO BIOMA
AMAZÔNICO COM POTENCIAL PARA REFLORESTAMENTO: *Bixa arbórea* Huber
e *Apuleia leiocarpa*.**

Monografia apresentada ao Curso de
Agronomia Bacharelado do Centro de Ciências
Agrárias da Universidade Estadual do
Maranhão, como requisito para a obtenção do
título de Engenheira Agrônoma.

Orientador(a): Prof.^a Dra. Anna Christina
Sanazário de Oliveira.

SÃO LUÍS - MA

2025

RAIZA SOUSA FARIAS

CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS DE DUAS ESPÉCIES DO BIOMA AMAZÔNICO COM POTENCIAL PARA REFLORESTAMENTO: *Bixa arbórea* Huber e *Apuleia leiocarpa*.

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia Bacharelado do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual do Maranhão, como requisito para a obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Aprovada em: 07/07/2025

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 ANNA CHRISTINA SANAZARIO DE OLIVEIRA
Data: 14/07/2025 15:19:14-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof.^a Dra. Anna Christina Sanazário de Oliveira
Departamento de Economia Rural /CCA/UEMA

Documento assinado digitalmente
 ROBSON FELIPE DE LIMA
Data: 14/07/2025 15:22:02-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Dr. Robson Felipe de Lima
Universidade Estadual do Maranhão/CCA/UEMA

Documento assinado digitalmente
 JAILMA RIBEIRO DE ANDRADE
Data: 15/07/2025 09:52:03-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Dra. Jailma Ribeiro de Andrade
Departamento de zootecnia/CCA/UEMA

Farias, Raiza Sousa.

Características fisiológicas de duas espécies do bioma amazônico com potencial para reflorestamento: Bixa arbórea Huber e Apuleia leiocarpa. / Raiza Sousa Farias. – São Luís, MA, 2025.

39 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Agronomia Bacharelado) – Universidade Estadual do Maranhão, 2025.

Orientadora: Profa. Dra. Anna Christina Sanazário de Oliveira.

1. Pigmentos Fotossintéticos. 2. Trocas Gasosas. 3. Mudas Florestais. 4. Reflorestamento. 5. Eficiência Fisiológica. I. Título.

CDU: 630*232 (811.3)

Elaborado por Luciana de Araújo - CRB 13/445

Dedico este trabalho a Deus por nortear minha vida. Aos meus pais e irmãos pelo exemplo, incentivo, amor e carinho. Aos meus amigos pela convivência, apoio e atenção nos momentos alegres e tristes.

AGRADECIMENTOS

Com humildade e gratidão agradeço primeiramente a Deus, a sua infinita bondade que me permitiu finalizar toda essa etapa, mesmo quando eu pensei em desistir. Mesmo com as dificuldades, me mostrou que com fé e perseverança eu posso chegar em qualquer lugar que eu quiser. Minha eterna gratidão a minha mãe Joycimar Oliveira Sousa e ao meu pai Carlos Alberto Pires Farias, que confiaram em mim, mesmo com tantas adversidades não deixaram de me apoiar para que eu pudesse realizar toda essa caminhada.

Minha mais sincera gratidão ao meu pai/padrinho Fernando Antônio Pereira Menezes por todo apoio e por acreditar no meu potencial, mesmo não estendo mais presente fisicamente, essa vitória é nossa.

Obrigada também aos meus irmãos João Carlos Sousa Farias e Fernando Antônio Sousa Menezes pelo amor e carinho de vocês, todo meu esforço será recompensado no futuro. Obrigada a minha prima Anna Júlia Sousa Ramos por sempre acreditar no meu potencial e torcer para que eu tivesse uma carreira brilhante.

Gratidão a Alexsandro Pereira Diniz, por todo apoio e por me ajudar e proporcionar todos os recursos necessários durante toda caminhada acadêmica, me incentivando a estudar e a nunca desistir dos meus sonhos. Você foi fundamental para que essa trajetória fosse concluída com sucesso, obrigada meu bem.

Gratidão a minha grande amiga e confidente Heloiza Rodrigues, que desde o início foi minha fiel escudeira, parceira para provas, risadas, choros e por sempre acreditar no meu potencial. Obrigada aos meus amigos Roberto, Vanessa K, Domaris, Bárbara, Juliana Gomes, Rebeca, Palmira por me ajudarem a tornar essa jornada muito mais fácil e leve.

Minha mais sincera gratidão a minha professora e orientadora Dr^a. Anna Christina Sanazário de Oliveira, por ter acreditado em mim desde o início, por todo apoio, pelo incentivo e por sempre estar disposta a me auxiliar, com muita dedicação e paciência. Obrigada pela chance que a senhora me deu, mesmo quando a senhora tinha diversas outras atividades a realizar. Agradeço também ao Dr. Robson Felipe, por ter me ajudado a montar meu experimento, por acreditar no meu potencial, por toda paciência e dedicação ao repassar todo seu conhecimento para que eu pudesse realizar todas as etapas com êxito, minha eterna gratidão. Agradeço também aos Doutores Jailma Ribeiro de Andrade e Sebastião Júnior pelo apoio e ensinamentos durante toda a pesquisa.

Agradeço também aos professores que contribuíram para o meu crescimento acadêmico e pessoal durante a graduação. Cada um de vocês deixou uma marca importante em minha formação.

À Todos o meu muito obrigada!

RESUMO

A utilização de espécies nativas em projetos de reflorestamento tem se tornado uma estratégia eficaz para promover a recuperação ambiental e a conservação da biodiversidade. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial fisiológico e crescimento das espécies *Bixa arbórea* Huber (Urucum do Brejo) e *Apuleia leiocarpa* (Grapeira) durante a fase de mudas. O experimento foi conduzido na casa de vegetação da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), em São Luís - MA, sob delineamento inteiramente casualizado, com 15 repetições para cada espécie. Foram analisadas as seguintes variáveis: altura, diâmetro do caule, massa seca de folha, caule e raiz, índice de qualidade de Dickson (IQD), teores de pigmentos fotossintéticos (clorofila *a*, *b*, total e carotenoides), índice de verde, além de parâmetros fisiológicos de trocas gasosas (*A*, *g_s*, *E*, *C_i*, *EUA* e *EIC*). A análise estatística foi realizada por meio de ANOVA, seguida do teste de Tukey a 5% de significância. Os resultados indicam que o Urucum do Brejo apresentou maior acúmulo de biomassa e desempenho superior nos parâmetros *A*, *g_s*, *EUA* e *EIC*, refletindo maior eficiência fotossintética e potencial adaptativo. Por outro lado, a Grapeira destacou-se pelos maiores teores de clorofila *a* e carotenoides, além de apresentar maior valor de IQD, sugerindo maior equilíbrio entre parte aérea e radicular. Os dados demonstram que ambas as espécies possuem características fisiológicas distintas e complementares, sendo promissoras para uso em programas de restauração ecológica, dependendo das condições ambientais do local de plantio.

Palavras-chave: Pigmentos fotossintéticos, Trocas gasosas, Mudas florestais, Reflorestamento, Eficiência fisiológica.

ABSTRACT

The use of native species in reforestation projects has become an effective strategy to promote environmental recovery and biodiversity conservation. Therefore, this study aimed to evaluate the physiological potential and growth of the species *Bixa arbórea* Huber (Urucum do Brejo) and *Apuleia leiocarpa* (Garapeira) during the seedling phase. The experiment was conducted in the greenhouse of the State University of Maranhão (UEMA), in São Luís - MA, under a completely randomized design, with 15 replicates for each species. The following variables were analyzed: height, stem diameter, dry mass of leaves, stems and roots, Dickson quality index (IQD), photosynthetic pigment contents (chlorophyll *a*, *b*, total and carotenoids), green index, and physiological parameters of gas exchange (*A*, *g_s*, *E*, *C_i*, *EUA* and *EIC*). Statistical analysis was performed using ANOVA, followed by Tukey's test at 5% significance. The results indicate that the Annatto of Brejo presented greater biomass accumulation and superior performance in the parameters *A*, *g_s*, *EUA* and *EIC*, reflecting greater photosynthetic efficiency and adaptive potential. On the other hand, the Garapeira stood out for its higher chlorophyll *a* and carotenoid contents, in addition to presenting a higher IQD value, suggesting a greater balance between shoot and root parts. The data demonstrate that both species have distinct and complementary physiological characteristics, being promising for use in ecological restoration programs, depending on the environmental conditions of the planting site.

Keywords: Photosynthetic pigments, Gas exchange, Forest seedlings, Reforestation, Physiological efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Local de pesquisa do experimento – casa de vegetação (LCT)	21
Figura 2. Tubetes (A); mudas das espécies utilizadas nas avaliações fisiológicas (B e C).	22
Figura 3. Medições das trocas gasosas nas mudas de Bixa arbórea Huber e Apuleia leiocarpa utilizando o IRGA.	23
Figura 4. Extração dos pigmentos fotossintéticos em discos foliares.	23
Figura 5. Medições realizadas com clorofilômetro portátil modelo atLEAF® CHL PLUS.	24
Figura 6. Demonstração das medições com o uso de paquímetro digital e régua graduada nas mudas de Bixa arbórea Huber e Apuleia leiocarpa.	24
Figura 7. Estufa de circulação forçada de ar a 65°C.	25
Figura 8. Diâmetro do caule (DC), massa seca da folha (MSF), massa seca do caule (MSC) e massa seca da raiz (MSR) de mudas de Bixa arbórea Huber e Apuleia leiocarpa.	27
Figura 9. Índice de qualidade de Dickson (IDQ) de mudas de Bixa arbórea Huber e Apuleia leiocarpa.	28
Figura 10. Teores de pigmentos fotossintéticos (Clorofila a e Carotenoides) de mudas de Bixa arbórea Huber e Apuleia leiocarpa.	30
Figura 11. Parâmetros fisiológicos de trocas gasosas entre mudas de Bixa arbórea Huber e Apuleia leiocarpa: taxa de assimilação de CO_2 (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO_2 (Ci), eficiência do uso da água (EUA).	31
Figura 12. Eficiência instantânea da carboxilação (EIC) entre as espécies Urucum do Brejo e Garapeira.	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resumo da análise da variância para altura (ALT), diâmetro do caule (DC), massa seca da folha (MSF), massa seca do caule (MSC), massa seca da raiz (MSR) e índice de qualidade de dickson (IDQ) de mudas de Bixa arbórea Huber e Apuleia leiocarpa.	26
Tabela 2. Resumo da análise da variância para clorofila a (CLA), clorofila b (CLB), carotenoides (CAROT), clorofila total (CLT) e índice de verde (IV) em mudas de Bixa arbórea Huber e Apuleia leiocarpa.	29
Tabela 3. Resumo da análise da variância para taxa de assimilação de CO ₂ (A), concentração interna de CO ₂ (Ci), transpiração (E), condutância estomática (gs), eficiência do uso da água (EUA) e eficiência instantânea da carboxilação (EIC) de mudas de Bixa arbórea Huber e Apuleia leiocarpa.	31

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo geral	14
2.2 Objetivos específicos.....	14
3. REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1 Urucum do Brejo (<i>Bixa arbórea</i> Huber)	15
3.2 Garapeira (<i>Apuleia leiocarpa</i>).....	16
3.3 Qualidade de mudas para reflorestamento.....	17
3.4 Parâmetros fisiológicos	18
4. MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1 Local de pesquisa.....	21
4.2 Delineamento experimental e tratamentos	21
4.3 Condução do experimento	21
4.4 Variáveis analisadas	22
4.4.1 Parâmetros fisiológicos.....	22
4.4.1.1 Trocas gasosas	22
4.4.1.2 Pigmentos fotossintéticos	23
4.4.1.3 Índice de verde.....	23
4.4.2 Avaliações de crescimento	24
4.4.2.1 Altura da parte aérea e diâmetro do caule	24
4.4.2.2 Massa seca de folhas, caules e raízes.....	25
4.4.2.3 Índice de Qualidade de Dickson (IQD)	25
4.5 Análise Estatística	26
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
6. CONCLUSÃO	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34

1. INTRODUÇÃO

O crescente interesse por estratégias sustentáveis de restauração ecológica tem impulsionado o uso de espécies nativas em programas de reflorestamento, especialmente aquelas que apresentam bom desempenho fisiológico e capacidade de adaptação a diferentes condições edafoclimáticas (Grossnickle e Macdonald, 2018). Duas espécies do Bioma Amazônico que têm despertado crescente interesse por estratégias sustentáveis são: *Bixa arborea* Huber (Urucum do Brejo) e *Apuleia leiocarpa* (Garapeira), ambas com reconhecido valor ecológico e econômico.

Bixa arborea Huber, popularmente denominado Urucum do brejo, é uma espécie arbórea da família Bixaceae, encontrada em ambientes úmidos da Amazônia e da Mata Atlântica (Powo, 2025). Investigações morfológicas recentes reforçam seu potencial ecológico e funcional, especialmente em sistemas de regeneração florestal (Furini et al., 2021).

Já a Garapeira é valorizada pela sua madeira densa e durável, amplamente utilizada na construção civil, e apresenta ampla distribuição nos biomas brasileiros, sendo considerada uma espécie clímax com boa resistência a condições adversas (Grings e Brack, 2011; Lima et al., 2023). Tais condições incluem ambientes com variações acentuadas de umidade, exposição prolongada ao intemperismo natural e solos de fertilidade variável, sendo a espécie adaptada a florestas maduras e capaz de se estabelecer em áreas com baixa luminosidade no sub-bosque (Silva et al., 2022).

Entre os fatores determinantes para o sucesso dessas iniciativas, destacam-se as características fisiológicas e de crescimento das mudas, com ênfase em atributos como taxa de assimilação de CO₂, condutância estomática, concentração interna de CO₂, transpiração, eficiência do uso da água, da carboxilação e alocação de biomassa (Flexas et al., 2012; Zeist et al., 2018).

Além desses, os pigmentos fotossintéticos, como clorofila *a*, clorofila *b* e carotenoides, também são importantes marcadores bioquímicos, pois estão diretamente associados à captação de luz, à proteção contra o estresse oxidativo e ao potencial fotossintético das espécies (Taiz et al., 2023; Sun et al., 2021). Avaliar esses componentes, juntamente com atributos de crescimento, possibilita uma análise abrangente da qualidade e da adaptabilidade das mudas, sobretudo em fase inicial de desenvolvimento (Guimarães et al., 2023). Contudo, pouco se conhece sobre os aspectos fisiológicos dessas espécies, especialmente no que se refere às respostas fotossintéticas e ao uso da água durante a fase inicial de crescimento para a

produção de mudas. Nesse contexto, torna-se relevante investigar como essas espécies se comportam fisiologicamente durante a fase de crescimento de mudas, visando compreender suas estratégias adaptativas e identificar potenciais aplicações em reflorestamento. A análise dos parâmetros fotossintéticos como trocas gasosas, pigmentos e características de crescimento podem fornecer subsídios importantes para a escolha criteriosa de espécies em projetos de recuperação ambiental.

Diante disso, este estudo tem como objetivo avaliar o desempenho fisiológico das espécies *Bixa arbórea* Huber e *Apuleia leiocarpa* com potencial para reflorestamento, por meio da análise de trocas gasosas, pigmentos foliares e crescimento de mudas.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o desempenho fisiológico de mudas das espécies *Bixa arbórea* Huber e *Apuleia leiocarpa* com potencial para reflorestamento, por meio da análise de trocas gasosas, pigmentos foliares e crescimento de mudas.

2.2 Objetivos específicos

- Quantificar os teores de pigmentos fotossintéticos (clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila total e carotenoides) nas folhas das duas espécies, analisando sua relação com a eficiência fotossintética;
- Avaliar os parâmetros à troca gasosa, como taxa de assimilação de CO₂ (*A*), concentração interna de CO₂ (*C_i*), transpiração (*E*), condutância estomática (*g_s*), eficiência do uso da água (*EUA*) e eficiência instantânea da carboxilação (*EIC*);
- Determinar as características de crescimento como altura, diâmetro do caule, massa seca de folhas, caules e raízes, além do índice de Qualidade de Dickson (*IQD*);
- Indicar o potencial de uso de *Bixa arbórea* Huber e *Apuleia leiocarpa* em projetos de reflorestamento, com base nos dados obtidos.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Urucum do Brejo (*Bixa arbórea* Huber)

A família *Bixaceae* ocorre principalmente na região Neotropical, sendo composta por espécies arbóreas e arbustivas, e apresentando quatro gêneros (*Amoreuxia*, *Bixa*, *Cochlospermum* e *Diegodendron*) com 23 espécies. Dentro dessa família existe o gênero *Bixa*. Nesse gênero, 5 espécies são reconhecidas, sendo 3 arbóreas que podem atingir 30 m de altura: *B. arborea*, *B. excelsa* e *B. platycarpa*; e 2 arbustivas: *B. orellana* e *B. urucurana*. (Pacheco et al., 2019; Moreira et al., 2015).

Bixa arbórea Huber, popularmente conhecida como Urucum do Brejo, é uma espécie arbórea da família *Bixaceae*, nativa dos biomas Amazônia e Mata Atlântica, com ocorrência registrada em diversos estados brasileiros, incluindo Pará, Amazonas, Rondônia, Acre, Bahia e Espírito Santo (Oliveira; Messina, 2012). Apresenta hábito arbóreo, podendo atingir de 4 a 5 metros de altura, com copa aberta e frutos semelhantes aos do urucum (*Bixa orellana*), porém com menor número de sementes e espinhos mais curtos e rígidos (Furini et al., 2021).

O Urucum do Brejo ocorre com maior frequência em áreas úmidas e de várzea, sendo reportado com alta densidade em florestas primárias bem conservadas (até 266 indivíduos por hectare), o que reforça seu potencial ecológico para programas de restauração ambiental (Assunção et al., 2021). A madeira da espécie apresenta baixa densidade (0,27 g/cm³) e resistência mecânica moderada, sendo indicada para usos leves como molduras, compensados, brinquedos e papel (Cardoso et al., 2015).

Estudos em reflorestamento da Mata Atlântica mostraram que *Bixa arborea* Huber, espécie pioneira, possui excelente capacidade de estabelecimento em áreas degradadas, sendo efetivamente utilizada para acelerar a sucessão natural e favorecer a regeneração de espécies nativas (Massad et al., 2011).

A propagação de *Bixa arbórea* ocorre predominantemente por sementes, método eficiente, de baixo custo e amplamente utilizado, embora não existam descrições anatômicas específicas da espécie. As características típicas da família *Bixaceae* incluem tricomas glandulares, canais secretores, folhas alternas e flores grandes (Souza & Lorenzi, 2019; Stevens, 2021), mas esses registros referem-se ao gênero como um todo, não especificamente a *B. arbórea*. Até o momento, não se encontrou literatura dedicada à anatomia da espécie, como observado em estudos sobre *Bixa orellana* (Freitas, 2009).

3.2 Garapeira (*Apuleia leiocarpa*)

A *Apuleia leiocarpa*, popularmente conhecida como garapeira ou grápia, é uma espécie arbórea nativa de ampla distribuição no Brasil, ocorrendo em diversos biomas, como Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica, além de estar presente em países vizinhos como Paraguai, Bolívia, Uruguai e Argentina (Flora do Brasil, 2024).

A família Fabaceae é a mais diversa do Brasil, com 2.756 espécies catalogadas, das quais 1.507 são endêmicas, estando presente em todos os domínios fitogeográficos do país (BFG, 2015). Essa família apresenta representatividade particularmente significativa nos domínios da Amazônia e da Caatinga. No entanto, é na Mata Atlântica que se encontra a maior diversidade florística do território nacional, totalizando 15.004 espécies, das quais 7.432 são endêmicas. Nesse bioma, a Fabaceae ocupa a segunda posição em riqueza de espécies (954), sendo superada apenas pela família Orchidaceae (BFG, 2015).

A propagação da espécie *Apuleia leiocarpa* ocorre predominantemente por via seminífera, ou seja, por sementes (Lencina et al., 2014). Essa espécie arbórea é de grande porte, podendo atingir até 40 metros de altura e apresentar diâmetro entre 60 e 100 cm à altura do peito. Destaca-se por seu elevado valor econômico individual, sendo valorizada pelo mercado por sua excelente durabilidade natural e resistência a degradação biológica. (Vivian et al., 2018). Ainda que não figure entre as dez madeiras mais exploradas em termos de volume, é reconhecida como uma madeira nobre de lei no Brasil, especialmente exportada e usada na construção e marcenaria de alto padrão. (Santana et al., 2016; IBAMA, 2022).

Além disso, a *Apuleia leiocarpa* possui diversas utilidades, com potencial de aproveitamento comercial em praticamente todas as suas partes. Sendo amplamente utilizada nos setores da construção naval e civil, marcenaria, carpintaria e tornearia, além de ser empregada na fabricação de cabos de ferramentas, implementos agrícolas, carrocerias de caminhões, postes e mourões. Ainda, segundo a EMBRAPA (2017), é considerada a melhor madeira nativa para a produção de barris de cerveja e tonéis destinados ao armazenamento de vinho e cachaça.

A espécie também apresenta aplicações na medicina popular, sendo sua casca tradicionalmente utilizada no tratamento de dores corporais, diabetes e como depurativo do sangue. A ela são atribuídas propriedades analgésicas, anti-inflamatórias, antiofídicas e antissifilíticas, associadas ao seu elevado teor de taninos, que pode atingir cerca de 24%. Além disso, suas sementes também possuem valor comercial (EMBRAPA, 2017).

Suas sementes apresentam dormência tegumentar, uma característica recorrente em espécies da família Fabaceae, na qual o tegumento espesso impede ou retarda a absorção de

água, dificultando o processo germinativo (Baskin e Baskin, 2014). Para superar essa limitação, é essencial compreender os mecanismos de germinação e a fisiologia das sementes, fornecendo subsídios para a produção de mudas de qualidade, voltadas a diferentes finalidades (Santos et al., 2019).

Por fim, do ponto de vista da conservação, a *A. leiocarpa* está classificada como "Vulnerável" na Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas da IUCN (*International Union for Conservation of Nature*), devido à exploração excessiva e à perda de habitat ocasionada pelo desmatamento (IUCN, 2022). A espécie também estabelece interações ecológicas relevantes, como associações com fungos micorrízicos, que auxiliam na absorção de nutrientes do solo (Castro et al., 2017).

3.3 Qualidade de mudas para reflorestamento

O êxito em projetos de reflorestamento está diretamente atrelado ao uso de mudas de alta qualidade, que apresentem bom desempenho no estabelecimento e crescimento, além de serem compatíveis com as condições edafoclimáticas do local (Grossnickle e Macdonald 2018). E para avaliar a qualidade dessas mudas, utilizam-se, com frequência, critérios morfológicos, como a altura da parte aérea e o diâmetro do caule devido à facilidade de observação e mensuração desses atributos (Alves e Freire, 2017).

No entanto, outros indicadores podem ser incorporados à análise, como o comprimento das raízes, a massa seca da parte aérea e radicular, além do Índice de Qualidade de Dickson (IQD), que tem se destacado por oferecer uma avaliação mais completa da robustez e da distribuição de biomassa da muda (Pereira et al., 2016; Eloy et al., 2013).

De forma geral, mudas bem desenvolvidas tendem a apresentar equilíbrio entre a parte aérea e o sistema radicular, bom estado nutricional, ausência de pragas ou doenças, e alto potencial para sobrevivência, crescimento e até mesmo para um florescimento e frutificação antecipados (Grossnickle, 2012; Riikonen e Luoranen, 2018).

Segundo Busato et al. (2015), para que a restauração florestal seja eficaz, as mudas devem reunir características como resiliência e plasticidade, o que possibilita restabelecer as conexões ecológicas e os fluxos naturais entre a área restaurada e os ecossistemas vizinhos.

Dentro dessa perspectiva, a definição do tamanho, vigor e padrão das mudas deve estar alinhada aos objetivos específicos do projeto e às características ambientais da área de plantio. Quando o foco está na uniformidade fenotípica e no rápido estabelecimento das mudas, especialmente em projetos comerciais ou experimentais, a propagação vegetativa pode ser a

técnica mais indicada, por permitir a multiplicação de indivíduos com características desejáveis e desempenho conhecido (Croplife Brasil, 2023; Ferreira et al., 2004).

No entanto, para iniciativas voltadas à restauração ecológica e conservação da biodiversidade, é fundamental priorizar a produção de mudas a partir de sementes, pois este método assegura maior variabilidade genética, favorecendo a adaptação das populações às condições ambientais e aumentando a resiliência dos ecossistemas restaurados (SOUZA; LORENZI, 2019; UNICAMP, 2020). Assim, a escolha do método propagativo deve considerar o equilíbrio entre eficiência operacional e conservação genética, conforme a finalidade do plantio.

Considerando que os projetos de restauração buscam restituir as funções ecológicas, aumentar a biodiversidade e acelerar a recuperação da cobertura vegetal, mudas de maior porte têm se mostrado uma alternativa promissora para otimizar o sucesso do reflorestamento em distintas regiões (Löf et al., 2015; Fonseca, 2021).

A determinação da qualidade de mudas tem se baseado, principalmente, em parâmetros de crescimento, como altura, diâmetro do caule, número de folhas, massa seca e volume da raiz, bem como em índices de qualidade, como a razão altura/diâmetro, razão massa seca da parte aérea/raiz e o Índice de Qualidade de Dickson (Sturion e Antunes, 2000; Gomes, 2001; Guimarães, 2023). Esses parâmetros são amplamente utilizados por serem fáceis de mensurar, rápidos, não destrutivos, confiáveis e de baixo custo, além de apresentarem boa correlação com o desempenho das mudas após o plantio em campo (Guimarães, 2023).

Além desses parâmetros, têm sido incorporadas à avaliação da qualidade de mudas as variáveis fisiológicas, como as trocas gasosas e os teores de pigmentos fotossintéticos, por fornecerem informações mais precisas sobre o estado funcional das plantas e sua capacidade adaptativa em ambientes de campo. Esses parâmetros complementam a análise morfofisiológica e vêm ganhando destaque em estudos voltados ao sucesso em programas de reflorestamento. (Gonçalves et al., 2000; Vieira et al., 2019; Carvalho et al., 2017).

3.4 Parâmetros fisiológicos

Parâmetros fisiológicos como as trocas gasosas e o teor de clorofila têm se mostrado ferramentas úteis na seleção de genótipos mais tolerantes a condições adversas (Zeist et al., 2018). As trocas gasosas constituem um dos processos fisiológicos mais importantes nas plantas, pois são fundamentais para a realização da fotossíntese, da respiração e da transpiração (Taiz et al., 2023).

Esses processos ocorrem predominantemente por meio dos estômatos, estruturas especializadas presentes na epiderme foliar, que regulam a entrada de dióxido de carbono (CO_2) e a liberação de vapor d'água e oxigênio (Lawson E Violet-Chabrand, 2019). A eficiência com que uma planta realiza essas trocas está diretamente relacionada à sua adaptação às condições ambientais e ao seu desempenho fisiológico, sendo um indicador importante do seu potencial produtivo (Flexas et al., 2023; Yamori et al., 2020).

Os principais parâmetros fisiológicos utilizados para avaliar as trocas gasosas em plantas incluem a taxa de assimilação de CO_2 (A), a condutância estomática (gs), a transpiração (E), a concentração interna de CO_2 (Ci), a eficiência do uso da água (EUA) e a eficiência instantânea da carboxilação (EIC), sendo todos esses indicadores fundamentais para estimar o desempenho fotossintético e o uso eficiente dos recursos pelas espécies (Flexas et al., 2012).

Em espécies florestais, as trocas gasosas podem variar amplamente de acordo com sua adaptação ecológica, grupo funcional e as condições ambientais às quais estão expostas (Zhou et al., 2024). Espécies pioneiras, por exemplo, como o Urucum do Brejo (*Bixa arborea* Huber), tendem a apresentar elevadas taxas de fotossíntese e condutância estomática, favorecendo um crescimento mais rápido, especialmente em ambientes abertos e com alta disponibilidade luminosa (Koch et al., 2021).

Por outro lado, espécies como a Garapeira (*Apuleia leiocarpa*), consideradas clímax ou de ambientes mais sombreados, podem apresentar estratégias mais conservativas, com menores taxas de trocas gasosas, maior eficiência no uso da água (EUA) e maior resiliência a estresses hídricos (Chaves et al., 2022).

Segundo Urban et al. (2017), a variação interespecies na eficiência estomática e na resposta à disponibilidade de água é uma característica-chave para a adaptação de espécies florestais a diferentes nichos ecológicos. Isso pode ser observado em estudos comparativos que revelam como determinadas espécies ajustam sua condutância estomática e eficiência no uso da água para manter a fotossíntese sob condições de estresse, como déficit hídrico ou alta radiação solar (Zhou et al., 2024).

A eficiência do uso da água (EUA), definida como a razão entre a taxa de fotossíntese e a taxa de transpiração, é um parâmetro fisiológico fundamental para avaliar o desempenho de espécies vegetais em ambientes com restrição hídrica (Condon et al., 2004). Espécies com alta EUA são mais resilientes em ambientes com disponibilidade hídrica limitada, sendo preferidas em programas de reflorestamento e recuperação de áreas degradadas (Oliveira et al., 2021; Santos et al., 2022).

Além dos parâmetros clássicos de trocas gasosas, a eficiência do uso da carboxilação (EIC) tem se destacado como um indicador sensível do desempenho bioquímico da fotossíntese, por expressar a razão entre a assimilação líquida de CO₂ e a concentração interna de CO₂ (C_i) (Farquhar et al., 1980). Plantas com alta EIC apresentam maior eficiência na conversão do CO₂ interno em carboidratos, demonstrando um uso mais otimizado dos recursos disponíveis, mesmo sob condições ambientais adversas, como déficit hídrico ou alta temperatura (Flexas et al., 2023).

Dessa forma, a caracterização das trocas gasosas entre diferentes espécies florestais é essencial para entender sua ecologia funcional e subsidiar a seleção de materiais vegetais com maior potencial de adaptação a diferentes condições edafoclimáticas.

A clorofila é um pigmento natural verde e mais abundante na natureza, podendo ser encontrada nas plantas, algas e bactérias fotossintéticas. Elas estão presentes nos cloroplastos das folhas e em outros tecidos vegetais ou parte deles, possuindo uma coloração verde oliva (Andresen et al., 2018; e Sangaletti, 2019). Os pigmentos constituintes das plantas são clorofila *a*, clorofila *b*, carotenoides, xantofilas ou antocianinas (González, 2014; De Souza et al., 2019). As clorofilas *a* e *b*, encontram-se na natureza numa proporção de 3:1, respectivamente (Sangaletti, 2019).

A diferença estrutural entre as clorofilas *a* e *b* está localizada no grupo funcional R da molécula: enquanto a clorofila *a* possui um grupo metil (–CH₃), a clorofila *b* apresenta, nessa mesma posição, um grupo aldeído (–CHO) (TAIZ et al., 2023). Esta pequena diferença estrutural tem consequências, como por exemplo, a maior hidrofobicidade da clorofila *a* em relação à clorofila *b*, já que o grupo aldeído é mais polar do que o hidrocarboneto (Andresen et al., 2018; Sangaletti, 2019).

Importa salientar que a clorofila *a* e *b* são compostos insolúveis em água, ou seja, hidrofóbicos, e sua principal função é converter energia luminosa em energia química, processo que ocorre nos cloroplastos (Dias et al., 2020).

Os carotenoides são pigmentos importantes que atuam na proteção do aparato fotossintético contra o excesso de radiação e espécies reativas de oxigênio, além de participarem da dissipação de energia luminosa e proteção antioxidante. Sua concentração pode indicar a capacidade fotoprotetora das mudas e o nível de adaptação ao ambiente de cultivo (LU et al., 2021).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local de pesquisa

O experimento foi desenvolvido na casa de vegetação pertencente ao Laboratório de Cultura de Tecido – LCT da Universidade Estadual do Maranhão, Campus São Luís – MA, Brasil. O clima da região, segundo a classificação de Köppen-Geiger, é do tipo Am (tropical monçônico), caracterizado por altas temperaturas ao longo do ano e chuvas intensas concentradas em um único período (Alvares et al., 2013).

A temperatura média anual é de aproximadamente 27 °C, com variações pouco acentuadas entre os meses. O período chuvoso compreende os meses de janeiro a junho, com pico de precipitação entre março e abril, enquanto o período seco ocorre entre julho e dezembro, apresentando menor índice pluviométrico (INMET, 2024).

Figura 1. Local de pesquisa do experimento – casa de vegetação (LCT)



Fonte: Farias (2025)

4.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), com duas espécies (Urucum do Brejo e Garapeira) com 15 repetições, totalizando 30 unidades experimentais.

4.3 Condução do experimento

Para a condução deste experimento, foram utilizadas plântulas das duas espécies, provenientes de um teste de emergência realizado anteriormente no intuito de verificar a qualidade fisiológica das sementes. Após esse processo inicial, os tubetes com capacidade de 175 cm³ (Figura 2A), foram preenchidos com substrato comercial Carolina Soil, e, em seguida, as plântulas foram transplantadas para esses tubetes, onde permaneceram em crescimento por

um período de quarenta dias após a repicagem (Figura 2B). As avaliações fisiológicas foram realizadas utilizando folhas completamente expandidas, localizadas no terço médio de cada planta, garantindo uniformidade na coleta e padronização das amostras (Figura 2C).

Figura 2. Tubetes (A); mudas das espécies utilizadas nas avaliações fisiológicas (B e C).



Fonte: Farias (2025)

4.4 Variáveis analisadas

Todas as variáveis analisadas foram determinadas quando as mudas tinham 40 dias após o transplantio para os tubetes.

4.4.1 Parâmetros fisiológicos

4.4.1.1 Trocas gasosas

As medições foram realizadas utilizando um analisador portátil de gases (Figura 3A) por infravermelho (IRGA – *Infrared Gas Analyzer*), modelo LI-6400XT (LI - COR, Lincoln, NE, EUA). Foram determinados os seguintes parâmetros: taxa de assimilação de CO₂ (A, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), concentração interna de CO₂ (Ci, $\mu\text{mol mol}^{-1}$), condutância estomática (gs, $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), taxa de transpiração (E, $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), eficiência do uso da água (EUA, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ($\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e eficiência instantânea da carboxilação (EIC, $(\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})$). As medições foram realizadas no período da manhã, entre 7h00 e 9h00, horário em que as condições ambientais (temperatura, radiação e umidade relativa) são mais estáveis e propícias à coleta de dados fisiológicos consistentes (Figura 3B).

Figura 3. Medições das trocas gasosas nas mudas de *Bixa arbórea* Huber e *Apuleia leiocarpa* utilizando o IRGA.



Fonte: Farias (2025)

4.4.1.2 Pigmentos fotossintéticos

As quantificações de clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila total e carotenoides foram realizadas por extração em discos foliares (Figura 4) utilizando solução de acetona 80%, conforme a metodologia descrita por Lichtenthaler (1987). As leituras de absorbância foram realizadas em espectrofotômetro nas faixas de 663, 645 e 470 nm, e os teores expressos em $\mu\text{g g}^{-1}$ de massa fresca.

Figura 4. Extração dos pigmentos fotossintéticos em discos foliares.



Fonte: Farias (2025)

4.4.1.3 Índice de verde

As medições foram feitas com clorofilômetro portátil modelo atLEAF® CHL PLUS (Figura 5) realizando-se cinco leituras por folha completamente expandida na porção intermediária da planta. Os valores foram posteriormente expressos como média por planta.

Figura 5. Medições realizadas com clorofilômetro portátil modelo atLEAF® CHL PLUS.



Fonte: Farias (2025)

4.4.2 Avaliações de crescimento

4.4.2.1 Altura da parte aérea e diâmetro do caule

A altura (cm) foi medida com régua graduada (Figura 6B) e o diâmetro do caule (mm) determinado com auxílio de paquímetro digital (Figura 6A).

Figura 6. Demonstração das medições com o uso de paquímetro digital e régua graduada nas mudas de *Bixa arbórea* Huber e *Apuleia leiocarpa*.

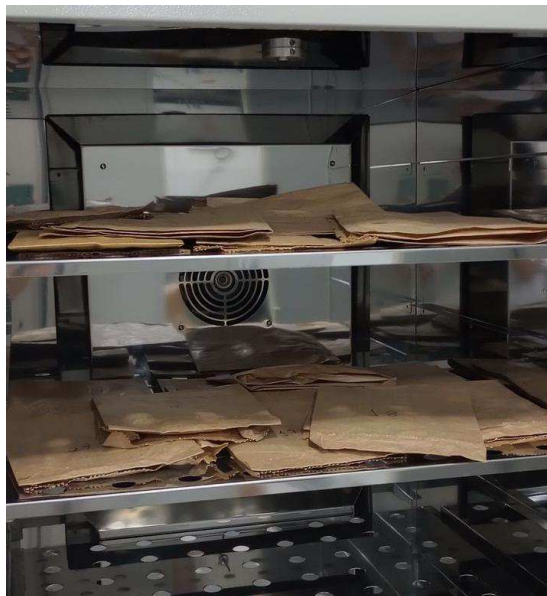


Fonte: Farias (2025)

4.4.2.2 Massa seca de folhas, caules e raízes

Após a coleta, as plantas foram separadas em folhas, caule e raízes. Os tecidos foram secos em estufa de circulação forçada de ar a 65°C (Figura 7) até atingirem peso constante, procedimento necessário para a remoção da água e determinação da biomassa seca. Posteriormente, foi determinada a massa de matéria seca (g) de cada compartimento vegetal.

Figura 7. Estufa de circulação forçada de ar a 65°C.



Fonte: Farias (2025)

4.4.2.3 Índice de Qualidade de Dickson (IQD)

O IQD foi calculado com base na metodologia proposta por Dickson et al. (1960), utilizando os dados de altura da planta (H), diâmetro do colo (DC), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSRA) e massa seca total (MST), conforme a fórmula abaixo:

$$IQD = \frac{MST}{\left(\frac{H}{DC}\right) + \left(\frac{MSPA}{MSRA}\right)}$$

Onde:

- IQD = Índice de qualidade de Dickson;
- MST = Massa seca total (g);
- H = Altura da planta (cm);

- DC = Diâmetro do colo (mm);
- MSPA = Massa seca da parte aérea (g);
- MSRA = Massa seca da raiz (g).

4.5 Análise Estatística

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância do teste F através do software Sisvar. Em caso de significância foi realizado o teste de média por Tuckey a 5% de probabilidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 verifica-se o resumo da análise de variância (ANOVA) para diferentes parâmetros de crescimento das espécies *Bixa arbórea* Huber e *Apuleia leiocarpa*. A análise indicou diferença significativa entre as espécies avaliadas para o diâmetro do caule (DC), massa seca da folha (MSF), massa seca do caule (MSC), massa seca da raiz (MSR) e índice de qualidade de dickson (IDQ), com exceção da altura (ALT), que apresentou variação não significativa.

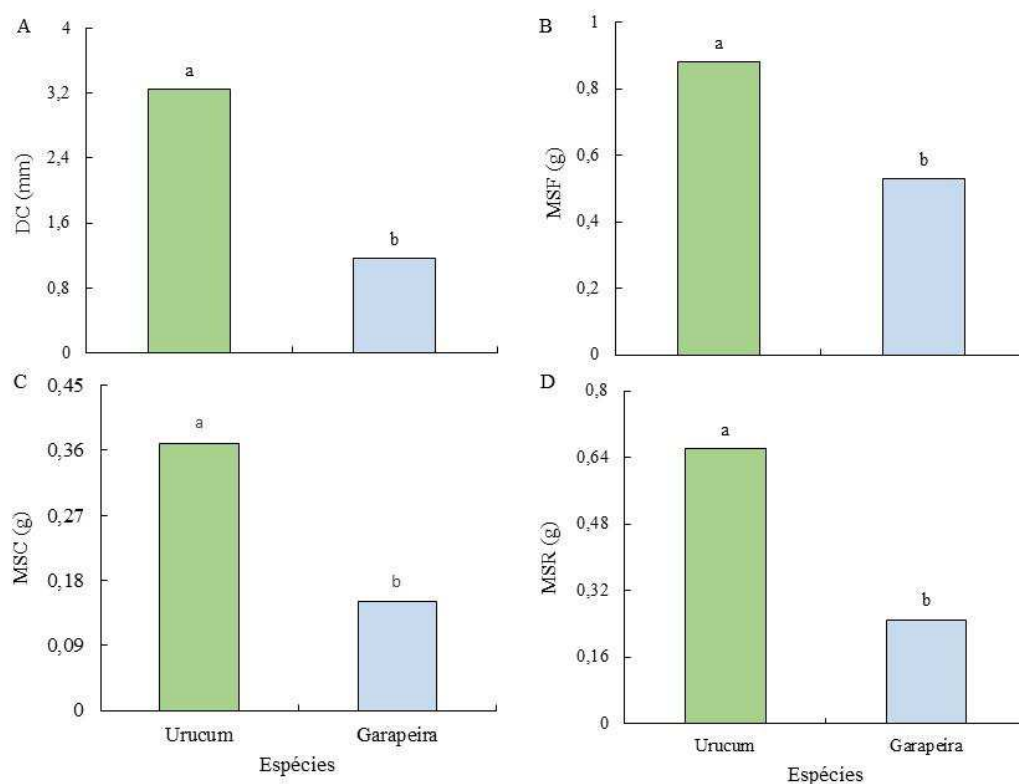
Tabela 1. Resumo da análise da variância para altura (ALT), diâmetro do caule (DC), massa seca da folha (MSF), massa seca do caule (MSC), massa seca da raiz (MSR) e índice de qualidade de dickson (IDQ) de mudas de *Bixa arbórea* Huber e *Apuleia leiocarpa*.

Fonte de variação	GL	Quadrado médios					
		ALT	DC	MSF	MSC	MSR	IDQ
Espécies	1	14,1453 ^{ns}	32,9700**	0,9351**	0,3716**	1,2774**	2,6409**
Repetição	14	6,8403	0,0188	0,0076	0,0013	0,0052	0,0971
Resíduo	14	6,2410	0,0129	0,0094	0,0012	0,0038	0,1131
CV (%)	-	11,15	5,15	13,63	13,34	13,50	13,60

CV (%) – coeficiente de variação; GL – grau de liberdade; **, *: $p \leq 0,01$ e $0,5$, respectivamente) e ns – não significativo.

O resultado da análise morfológica para o diâmetro do caule (DC), a espécie *Bixa arbórea* Huber mostrou-se possuir diâmetro significativamente superior (3,25mm) comparando-a à *Apuleia leiocarpa* (1,16mm) (Figura 8A), tendo com isso, um crescimento mais robusto e vigoroso, portanto, então maior capacidade de sustentação da parte aérea conforme destacado por Grossnickle e Macdonald (2018).

Figura 8. Diâmetro do caule (DC), massa seca da folha (MSF), massa seca do caule (MSC) e massa seca da raiz (MSR) de mudas de *Bixa arbórea* Huber e *Apuleia leiocarpa*.



Fonte: Farias (2025)

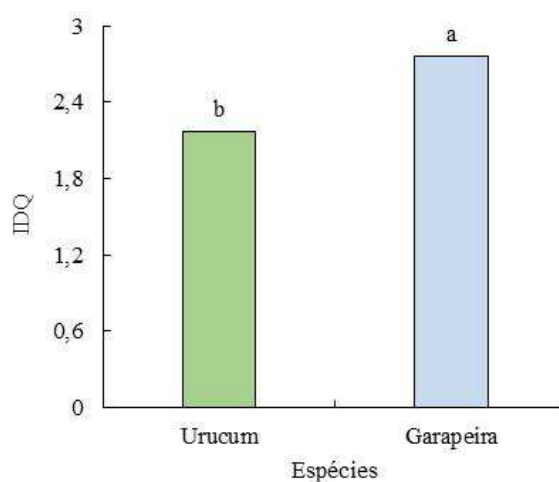
Além disso, observa-se também que, em relação a massa seca da folha (Figura 8B), a espécie *Bixa arbórea* Huber obteve valores superiores com 0,88g, frente a *Apuleia leiocarpa*, que apresentou 0,53 g de massa seca. Este dado pode refletir uma maior capacidade fotossintética da *Bixa arbórea* Huber, uma vez que a biomassa foliar está diretamente associada à captação de luz e à eficiência no crescimento vegetativo (Santos et al., 2022). Essa espécie também se destacou quanto à massa seca do caule (MSC) (Figura 8C), atingindo 0,37g, comparado aos 0,15g da *Apuleia leiocarpa*, ratificando que seu desenvolvimento pode ser mais rigoroso e sustentável ao longo do tempo (Silva et al., 2023).

Observa-se também que os valores apresentados pela variável a massa seca da raiz (MSR) (Figura 8D) do *Bixa arbórea* Huber (0,66 g) foram maiores estatisticamente em relação aos encontrados na *Apuleia leiocarpa*, que registrou 0,25 g, refletindo superioridade na formação do sistema radicular, aspecto fundamental para a absorção de água e nutrientes, além de garantir maior estabilidade e resistência à seca (Oliveira et al., 2021).

Podendo, em relação aos os resultados dos quatro parâmetros de crescimento avaliados demonstram que o *Bixa arbórea* Huber apresenta crescimento superior em relação à *Apuleia leiocarpa*, com maiores acúmulos de biomassa tanto na parte aérea (folhas e caule) quanto no sistema radicular. Indicando que frente a essa espécie, aquela possui maior vigor, capacidade de desenvolvimento e potencial adaptativo, características fundamentais para programas de produção de mudas e reflorestamento.

Porém, apesar de a Garapeira apresentar menores valores de diâmetro do caule (DC) e de massas secas (MSF, MSC e MSR) em relação ao Urucum do Brejo o seu IDQ (Índice de qualidade de Dickson) foi superior. Sendo esse Índice um dos principais indicadores da qualidade de mudas, pois considera uma relação equilibrada entre altura, diâmetro do caule e massas seca da parte aérea e radicular (Figura 9).

Figura 9. Índice de qualidade de Dickson (IDQ) de mudas de *Bixa arbórea* Huber e *Apuleia leiocarpa*.



Fonte: Farias (2025)

Com isso, valores mais elevados de IDQ podem estar associados a mudas com maior robustez, melhor distribuição de biomassa e, consequentemente, maior potencial de sobrevivência e desenvolvimento no campo (Guimarães et al., 2023).

Isso sugere que a *Apuleia leiocarpa* possui uma melhor proporção entre parte aérea e sistema radicular, resultando em maior equilíbrio morfofisiológico, fator crucial para garantir o sucesso na fase de estabelecimento em campo (Grossnickle e Macdonald, 2018). Segundo Santos et al. (2022) e Lima et al. (2023), um IDQ elevado é indicativo de uma muda com bom desenvolvimento estrutural e resistência a estresses ambientais, mesmo que os valores absolutos de massa seca ou diâmetro sejam menores. Isso reforça a importância de não avaliar

isoladamente os parâmetros, mas sim considerar índices compostos como o IDQ para uma análise mais precisa da qualidade da muda.

Segundo Gomes e Paiva (2013), valores de IDQ acima de 0,20 são geralmente considerados bons, indicando mudas com maior robustez, melhor equilíbrio entre parte aérea e sistema radicular e, portanto, maior potencial de sobrevivência e desempenho em campo. Essa escala tem sido amplamente utilizada para comparar a qualidade de mudas em diferentes condições de cultivo e espécies florestais (Gomes e Paiva, 2013; Guimarães et al., 2023).

Em relação aos teores de clorofila *a* e carotenoides observou-se diferença estatística significativa entre as espécies, conforme indicado pelos testes de significância contidos na tabela 2. Embora não tenha detectado variações significativas nos parâmetros clorofila *b*, clorofila total e índice de verde. Kalaji et al. (2017) ressaltam que a clorofila *a* é um bom indicador da eficiência do aparato fotossintético sendo sensível a condições ambientais e nutricionais.

Tabela 2. Resumo da análise da variância para clorofila *a* (CLA), clorofila *b* (CLB), carotenoides (CAROT), clorofila total (CLT) e índice de verde (IV) em mudas de *Bixa arborea* Huber e *Apuleia leiocarpa*.

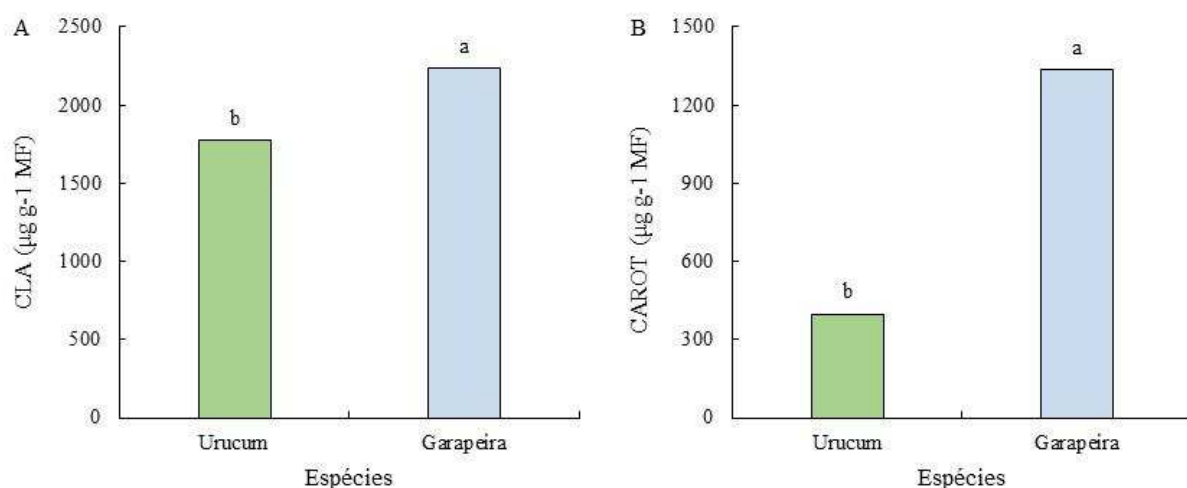
Fonte de variação	GL	Quadrado médios				
		CLA	CLB	CAROT	CLT	IV
Espécies	1	1580485,27**	1488,80 ^{ns}	6596446,75**	5258,02 ^{ns}	24,30 ^{ns}
Repetição	14	89304,31	10530,79	34440,53	405931,39	8,58
Resíduo	14	98409,74	16914,48	14939,45	416405,39	12,87
CV (%)	-	15,65	15,22	14,09	21,45	9,42

CV (%) – coeficiente de variação; GL – grau de liberdade; **, * e ns – significativo ($p \leq 0,01$ e $0,5$) e não significativo.

Os valores médios dos teores de clorofila *a* e carotenoides (Figura 10A e 10B) nas espécies *Bixa arborea* Huber (Urucum do Brejo) e *Apuleia leiocarpa* (Grapeira), os dados evidenciam diferenças fisiológicas importantes entre as espécies, especialmente no que se refere à capacidade de captação de luz e à tolerância a estresses ambientais.

A concentração de clorofila *a* foi maior na *Apuleia leiocarpa*, indicando maior potencial fotossintético, visto que este pigmento é o principal responsável pela conversão da energia luminosa em energia química durante a fotossíntese (Taiz et al., 2023).

Figura 10. Teores de pigmentos fotossintéticos (Clorofila a e Carotenoides) de mudas de *Bixa arbórea* Huber e *Apuleia leiocarpa*..



Fonte: Farias (2025)

Houve também, diferença, ainda mais pronunciada, entre os teores de carotenoides, com a *Apuleia leiocarpa* apresentando quase quatro vezes mais carotenoides do que o Urucum do Brejo aproximadamente $1.300 \mu\text{g g}^{-1}$ $350 \mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente. Esse elevado teor de carotenoides na *Apuleia leiocarpa* pode sugerir uma maior capacidade de resistência a estresses abióticos, como excesso de luz, seca ou altas temperaturas, visto que esses compostos são diretamente relacionados à proteção dos complexos fotossintéticos (Silva et al., 2023).

A análise de variância demonstrou diferenças estatísticas significativas entre as espécies para os parâmetros de assimilação de CO_2 (A), concentração interna de CO_2 (Ci), condutância estomática (gs), eficiência do uso da água (EUA) e eficiência instantânea da carboxilação (EIC) (Tabela 3). Esses resultados indicam que as espécies apresentam comportamentos fisiológicos distintos em relação à fotossíntese, entrada de CO_2 e uso da água. O parâmetro transpiração (E), por outro lado, não apresentou diferença significativa, sugerindo que ambas as espécies mantêm níveis semelhantes de perda hídrica, independentemente das variações fisiológicas observadas.

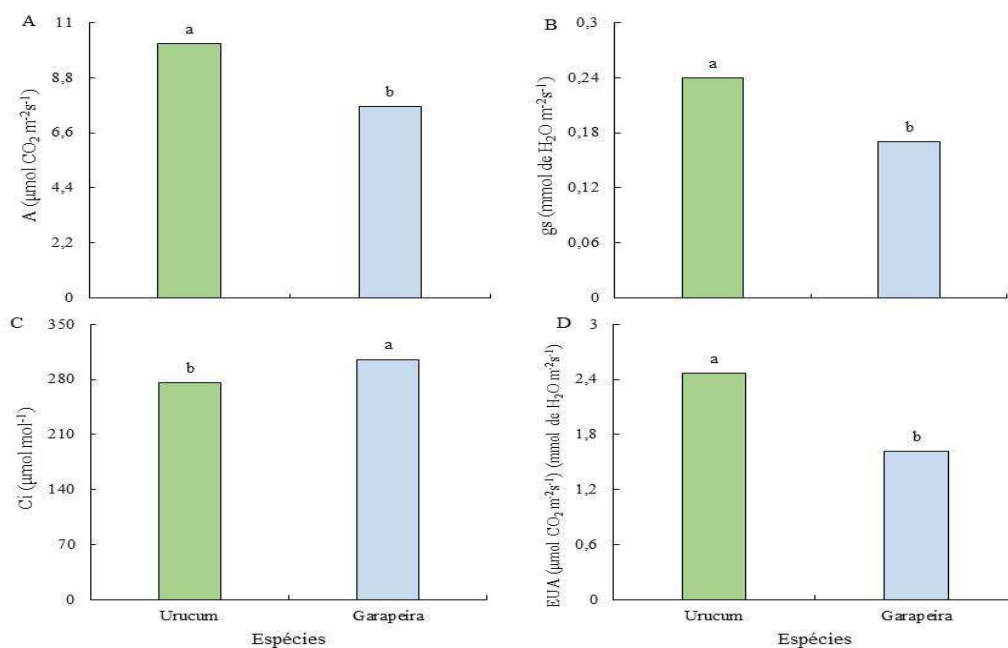
Tabela 3. Resumo da análise da variância para taxa de assimilação de CO₂ (A), concentração interna de CO₂ (Ci), transpiração (E), condutância estomática (gs), eficiência do uso da água (EUA) e eficiência instantânea da carboxilação (EIC) de mudas de *Bixa arbórea* Huber e *Apuleia leiocarpa*.

Fonte de variação	GL	Quadrado médios					
		A	Ci	E	gs	EUA	EIC
Espécies	1	47,14**	6866,99**	1,49 ^{ns}	0,02**	5,32**	0.001047**
Repetição	14	2,23	512,39	0,96	0,000795	0,20	0.000025
Resíduo	14	1,23	634,32	0,67	0,00142	0,15	0.000015
CV (%)	-	12,49	8,67	18,14	17,85	19,09	12.63

CV (%) – coeficiente de variação; GL – grau de liberdade; **, * e ns – significativo ($p \leq 0,01$ e $0,5$) e não significativo.

Observa-se que o Urucum do Brejo apresentou uma maior taxa de assimilação de CO₂ ($10,15 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) em comparação à Garapeira ($7,64 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Figura 11A). Indicando com isso uma maior capacidade fotossintética, refletindo numa maior eficiência na fixação do carbono atmosférico.

Figura 11. Parâmetros fisiológicos de trocas gasosas entre mudas de *Bixa arbórea* Huber e *Apuleia leiocarpa*: taxa de assimilação de CO₂ (A), condutância estomática (gs), concentração interna de CO₂ (Ci), eficiência do uso da água (EUA).



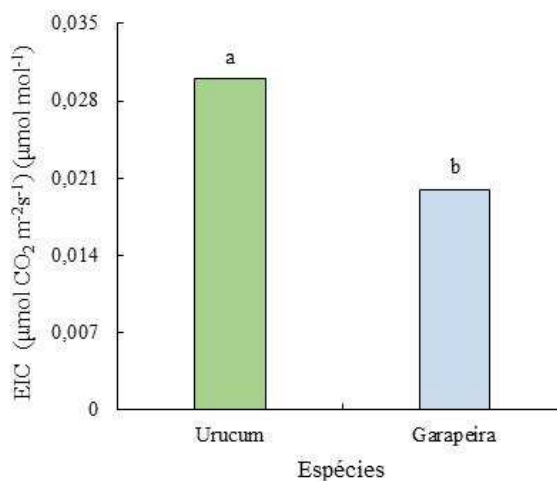
Fonte: Farias (2025)

A mesma superioridade foi observada quanto à condutância estomática (gs), demonstrando, o Urucum do Brejo, valores superiores $0,24 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, enquanto a Garapeira apresentou $0,17 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 11B). A maior abertura estomática no Urucum do Brejo permite maior difusão de CO_2 para o interior da folha, otimizando a fotossíntese (Lawson; Vialet-Chabrand, 2019). Contudo, essa estratégia pode implicar numa maior perda de água por transpiração (Lima et al., 2023).

Em relação a concentração interna de CO_2 (Ci), a Garapeira apresentou maior valor ($305,49 \mu\text{mol mol}^{-1}$) em comparação ao Urucum do Brejo ($275,24 \mu\text{mol mol}^{-1}$) (Figura 11C). Quanto à eficiência no uso da água (EUA) (Figura 11D), o Urucum do Brejo também apresentou melhor desempenho, com valor de $2,47 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ por $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e $1,62 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ por $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para a Garapeira.

Essa a quantidade de carbono assimilado por unidade de água transpirada é uma estratégia vantajosa em ambientes com disponibilidade hídrica variável (Oliveira et al., 2021). E, com isso, os dados em conjunto apresentados na Figura 11, demonstram que o Urucum do Brejo possui maior eficiência fotossintética, evidenciada por sua elevada assimilação de CO_2 , condutância estomática e uso eficiente da água, fatores que, em conjunto, conferem maior potencial adaptativo a essa espécie em ambientes tropicais (Chaves; Costa; Pinheiro, 2022).

Figura 12. Eficiência instantânea da carboxilação (EIC) entre as espécies Urucum do Brejo e Garapeira.



Fonte: Farias (2025)

Observou-se que o Urucum do Brejo apresentou valores mais elevados de EIC em comparação com a Garapeira (Figura 12), indicando maior eficiência carboxilativa, o que pode estar associado a uma eficiência bioquímica superior na fixação de carbono. Segundo Flexas et al. (2023), plantas com elevada EIC são mais adaptadas a ambientes de alta luminosidade ou

restrição hídrica, pois otimizam a assimilação de carbono sem necessidade de grande abertura estomática, preservando a água.

6. CONCLUSÃO

A espécie *Bixa arborea* Huber (Urucum do Brejo) apresentou desempenho superior em relação à *Apuleia leiocarpa* (Grapeira), destacando-se nos parâmetros de crescimento e trocas gasosas. Com maior taxa de assimilação de CO₂, condutância estomática, eficiência no uso da água e da carboxilação, o Urucum do Brejo evidenciou maior potencial adaptativo e produtivo. Embora a Grapeira tenha obtido teores mais elevados de pigmentos fotossintéticos e melhor Índice de Qualidade de Dickson (IQD), seu desempenho geral foi inferior.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Acesso em: 22 maio de 2025.
- ALVES, F. J. B.; FREIRE, A. L. O. Crescimento inicial e qualidade de mudas de ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC) Mattos) produzidas em diferentes substratos. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v. 13, n. 3, p. 195–202, 2017.
- ANDRESEN, E.; PEITER, E.; KÜPPER, H. **Metabolismo de metais traço em plantas.** *Journal of Experimental Botany*, v. 69, p. 909–954, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jxb/erx465>. Acesso em: 18 maio de 2025.
- ASSUNÇÃO, G. C. N. et al. Dinâmica da população de *Bixa arborea* Huber durante 30 anos na Floresta Nacional do Tapajós. In: Anais do Integra UFRA, 2021.
- BASKIN, C. C.; BASKIN, J. M. **Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination.** San Diego: Academic Press/Elsevier, 2014. 1602 p.
- BFG – The Brazil Flora Group. Growing knowledge: an overview of Seed Plant diversity in Brazil. *Rodriguésia*, v. 66, n. 4, p. 1085–1113, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2175-7860201566411>. Acesso em: 18 maio de 2025.
- BUSATO, Luiz Carlos et al. Aspectos ecológicos na produção de sementes e mudas para a restauração. In: MARTINS, S. V. (org.). **Restauração ecológica de ecossistemas degradados.** Viçosa: UFV, 2015. p. 101–168.
- CARDOSO, C. C. et al. Caracterização tecnológica da madeira de *Bixa arborea* Huber na Flona Tapajós. Dissertação (Mestrado) – ESALQ/USP, 2015.
- CARVALHO, D. C. et al. Qualidade de mudas florestais: análise fisiológica como ferramenta de seleção. *Revista Floresta*, v. 47, n. 1, p. 29–38, 2017.
- CASTRO, C. C. et al. Ecologia e silvicultura de *Apuleia leiocarpa*. *Revista Árvore*, v. 41, n. 2, p. 1–9, 2017.
- CHAVES, M. M.; COSTA, J. M.; PINHEIRO, C. Plant responses to drought stress: from morphological to molecular features. *Frontiers in Plant Science*, v. 13, p. 1012342, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1012342> . Acesso em: 28 maio de 2025.
- CONDON, A. G. et al. Breeding for high water-use efficiency. *Journal of Experimental Botany*, v. 55, n. 407, p. 2447–2460, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jxb/erh277>. Acesso em: 22 maio de 2025.
- CROPLIFE BRASIL. *Propagação vegetativa: não é apenas por sementes que se reproduz uma planta.* 2023. Disponível em: <https://croplifebrasil.org/propagacao-vegetativa-nao-e- apenas-por-sementes/>. Acesso em: 14 julho de 2025.

DE SOUZA, F. P. et al. Extração de pigmentos fotossintéticos em diferentes espécies vegetais. In: SEMINÁRIO INTERINSTITUCIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO – SIEPE, 24., 2019. *Anais...* [S.I.]: [s.n.], 2019. 4 p. Tema: Ciência e tecnologia para a transformação social.

DIAS, L. A. et al. Determinação de teores de clorofilas e carotenoides em alface, rúcula e cebolinha. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, v. 3, n. 4, p. 3100–3107, 2020.

ELOY, E. et al. Avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* utilizando parâmetros morfológicos. *Floresta*, v. 43, n. 3, p. 373–384, 2013.

EMBRAPA. *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F. Macbr. Brasília, DF: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2017. Disponível em: https://www.embrapa.br/documents/1355054/26025431/SITE+ARVORES_FICHA_08_Apuleia+leiocarpa.pdf/e7f4241c-222a-ed3a-ba8b-a57c95975e91. Acesso em: 22 maio de 2025.

FERREIRA, R. A. et al. *Propagação de plantas florestais*. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. (Documentos, 76).

FLEXAS, J. et al. Photosynthesis limitations during water stress acclimation and recovery in the drought-tolerant *Vitis* hybrid. *Journal of Experimental Botany*, v. 63, n. 5, p. 2341–2357, 2012.

FLEXAS, J. et al. Improving photosynthesis for climate change adaptation. *New Phytologist*, v. 237, n. 5, p. 1740–1762, 2023.

Flora do Brasil 2019 em construção. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acesso em: 02 maio de 2025.

FONSECA, Wesley da Silva. **Bioindicadores para avaliação e monitoramento da restauração ecológica de área em ambiente de mineração de bauxita, Miraf, MG.** 2021. 124 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2021. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/28543>. Acesso em: 17 maio de 2025.

FREITAS, R. A. *Aspectos morfoanatômicos de sementes de urucum (Bixa orellana L.) relacionados com a dormência*. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 2009. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/2626>.

FURINI, T. et al. **Morfologia fenotípica de *Bixa arborea* e *Bixa orellana* (Bixaceae) em Alta Floresta (MT, Brasil).** *Research, Society and Development*, v. 10, n. 8, e23710817264, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/17264>.

GOMES, J. M. **Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*, produzidas em diferentes tamanhos de tubete e de dosagens de N-P-K.** 2001. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. *Produção de mudas de eucalipto*. Viçosa, MG: Editora UFV, 2013.

GONÇALVES, J. L. M. et al. Qualidade de mudas florestais produzidas em viveiro e seu desempenho após o plantio. *Revista Árvore*, v. 24, n. 4, p. 383–392, 2000.

GONZÁLEZ, F. H. D. *Fotossíntese*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 2014. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/lacvet/restrito/pdf/fotossintese.pdf>. Acesso em: 22 maio de 2025.

GRINGS, M.; BRACK, P. *Apuleia leiocarpa* (Grápia). In: CORADIN, L.; SIMINSKI, A.; REIS, A. (Org.). *Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro – Região Sul*. 1. ed. Brasília: MMA, 2011. Cap. 5, p. 410-413.

GROSSNICKLE, Steven C.; MACDONALD, Joanne E. Why seedlings grow: influence of plant attributes. *New Forests*, v. 49, n. 1, p. 1-34, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11056-017-9606-4>. Acesso em: 14 de maio de 2025.

GROSSNICKLE, Steven C. Why seedlings survive: influence of plant attributes. *New Forests*, v. 43, n. 5, p. 711-738, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11056-012-9336-6>. Acesso em: 05 de maio de 2025.

GUIMARÃES, Z. T. M. **Qualidade de mudas e estabelecimento em campo de espécies florestais de importância econômica em resposta ao sítio de plantio**. 2023. Tese (Doutorado) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2023.

IBAMA. *Relatório Analítico de Gestão da Madeira – Exportação de espécies nativas brasileiras*. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2022. Disponível em: <https://www.remade.com.br/noticias/19230/>.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Banco de dados meteorológicos. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: maio de 2025.

IUCN. *Apuleia leiocarpa*. Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas, 2022. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org/species/32958/97492831>. Acesso em: 05 junho de 2025.

KALAJI, H. M. et al. Chlorophyll fluorescence: a tool for nutrient status identification. *Frontiers in Plant Science*, v. 8, p. 1–16, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00561>. Acesso em: 22 maio de 2025.

KOCH, G. W. et al. Photosynthetic strategies of tropical forest trees in a changing climate. *Global Change Biology*, v. 27, n. 4, p. 842–859, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.15470>. Acesso em: 22 maio de 2025.

LAWSON, T.; VIALET-CHABRAND, S. Speedy stomata, photosynthesis and plant water use efficiency. *New Phytologist*, v. 221, n. 1, p. 93–98, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/nph.15330>. Acesso em: 20 maio de 2025.

LENCINA, K. H. et al. In vitro establishment and growth of *Apuleia* seedlings. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 44, n. 6, p. 1025-1030, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782014000600012>. Acesso em: 02 maio de 2025.

LIMA, L. B.; PEREIRA, W. E.; SANTOS, M. G. Responses of tropical trees to water stress: physiological traits and acclimation strategies. *Trees – Structure and Function*, v. 37, p. 345–357, 2023.

LÖF, Magnus et al. Site preparation techniques for forest restoration. In: **RESTORATION OF BOREAL AND TEMPERATE FORESTS**. v. 13, cap. 5, p. 85, 2015.

LU, S. et al. *Carotenoids in plants: biosynthesis, functions, and applications*. *Plants*, v. 10, n. 11, p. 2321, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants10112321>. Acesso em: 14 julho de 2025.

MASSAD, T. J. et al. *Restoration of Pasture to Forest in Brazil's Mata Atlântica: The Roles of Herbivory, Seedling Defenses, and Plot Design in Reforestation*. *Revista Brasileira de Botânica*, 2011.

MOREIRA, P. et al. The domestication of Annatto (*Bixa orellana*) from *Bixa urucurana* in Amazonia. **Economic Botany**, v. 69, n. 2, p. 127–135, maio 2015.

OLIVEIRA, G. M.; FREITAS, A. F.; LIMA, J. P. N. Parâmetros morfológicos e fisiológicos na avaliação da qualidade de mudas nativas. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 31, n. 2, p. 905–916, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/33370>. Acesso em: 22 maio de 2025.

OLIVEIRA, D. M.; MESSINA, T. *Bixa arborea* (Bixaceae). Lista Vermelha da Flora Brasileira. CNCFlora/JBRJ, 2012.

PACHECO, S. et al. Antinociceptive and anti-inflammatory effects of bixin, a carotenoid extracted from the seeds of *Bixa orellana*. **Planta Medica**, v. 85, n. 16, p. 1216–1224, set. 2019.

PEREIRA, K. T. O.; CAVALCANTE, A. L. G.; DANTAS, R. P.; OLIVEIRA, M. K. T.; COSTA, J. P. B. M. Qualidade de mudas de moringa sob diferentes níveis de nutrientes aplicados via fertirrigação. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 88, p. 497–504, 2016.

POWO (Plants of the World Online). *Bixa arborea* Huber. 2025. Disponível em: bases de dados botânicas, acesso em 15 jul. 2025.

RIIKONEN, J.; LUORANEN, J. Seedling quality and field performance of Norway spruce container seedlings grown at different spacing and fertilization. *New Forests*, v. 49, p. 679–694, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11056-018-9642-x>. Acesso em: 19 maio de 2025.

SANGALETTI, P. Fotoquímica de pigmentos fotossintéticos: avaliação estrutural e do ambiente. 2019. 91 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

SANTANA, A. C.; SANTOS, J. S.; OLIVEIRA, A. S. O valor econômico da extração de madeira em tora na Ilha do Marajó, Pará. **Scientia Forestalis**, n. 111, p. 524–534, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/315911058>.

SANTOS, M. E. F. dos et al. Qualidade fisiológica de mudas florestais e sua relação com o estresse hídrico: implicações para restauração ecológica. *Revista Árvore*, v. 46, e4639, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-908820220000039>. Acesso em: 22 maio 2025.

SILVA, M. R.; SOUZA, T. C.; FERREIRA, W. P. M. Avaliação da qualidade de mudas florestais com base no diâmetro do caule e biomassa. *Floresta*, Curitiba, v. 53, n. 1, p. 123-132, 2023. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/26809>. Acesso em: 22 maio de 2025.

SILVA, E. dos S. et al. Deterioração da superfície de cinco madeiras amazônicas expostas ao intemperismo natural. *Madera y Bosques*, v. 28, n. 2, e2822279, 2022. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/617/61774594008>. Acesso em: 13 julho de 2025.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II. 5. ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2019.

STEVENS, P. F. Angiosperm Phylogeny Website. Version 14, July 2021. Disponível em: <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>. Acesso em: 28 maio de 2025.

STURION, J. A.; ANTUNES, J. B. M. Produção de mudas de espécies florestais. 2000.

SUN, T. et al. Carotenoids in plants: biosynthesis, functions, and applications. *Plants*, v. 10, n. 11, p. 2321, 2021.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal. 7. ed. Porto Alegre: Artmed, 2023.

UNICAMP. *O DNA do reflorestamento: entenda como a genética interfere na restauração ecológica*. Blog DNA Explica. 2020. Disponível em: <https://www.blogs.unicamp.br/dnaexplica/2020/10/27/o-dna-do-reflorestamento/>. Acesso em: 14 julho de 2025.

URBAN, J.; INGWERS, M. W.; MCGUIRE, M. A. Inter-species variation in photosynthetic response to environmental drivers and its significance for climate change predictions. *Tree Physiology*, v. 37, n. 10, p. 1343–1355, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpx088>. Acesso em: 22 maio de 2025.

VIEIRA, E. L. et al. Parâmetros fisiológicos na avaliação de mudas de espécies florestais. *Revista Ciência Florestal*, v. 29, n. 2, p. 735–745, 2019.

VIVIAN, M. A. et al. *Durabilidade natural das madeiras de Apuleia leiocarpa ao fungo Trametes versicolor*. Pesquisa Florestal Brasileira, v. 38, e201801664, 2018. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/1664>.

YAMORI, W.; HIKOSAKA, K.; WAY, D. A. Temperature response of photosynthesis in C₃, C₄ and CAM plants: temperature acclimation and temperature adaptation. *Photosynthesis Research*, v. 145, n. 1, p. 1–17, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11120-020-00751-2>. Acesso em: 23 maio de 2025.

ZEIST, A. et al. Photosynthetic characteristics in species and interspecific hybrids of tomato. *Horticultura Brasileira*, 36: 362-370, 2018.

ZHOU, S. et al. Divergent photosynthetic responses underpin contrasting species performance in a warming climate. *Global Change Biology*, v. 30, n. 2, p. 340-354, 2024.