



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

LEIDIANE DE CÁSSIA DE SOUSA LIMA

**RESPOSTA MORFOGÊNICA DE EXPLANTES DE AÇAIZEIRO PARA
REGENERAÇÃO DE PLANTAS *IN VITRO***

Belém

2026



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

LEIDIANE DE CÁSSIA DE SOUSA LIMA

**RESPOSTA MORFOGÊNICA DE EXPLANTES DE AÇAIZEIRO PARA
REGENERAÇÃO DE PLANTAS *IN VITRO***

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação Agronomia, para obtenção do título de Mestre. Área de concentração: Produção vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Hugo Alves Pinheiro.
Coorientadora: Prof^a. Dra. Joanne Moraes de Melo Souza.

BELÉM

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S725r Sousa Lima, Leidiane de Cássia de
 Resposta Morfogênica De Explantes De Açaizeiro Para Regeneração De Plantas In Vitro / Leidiane
 de Cássia de Sousa Lima. - 2026.
 54 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado) - Programa de PÓS-GRADUAÇÃO em Agronomia(PPGA), Campus Universitário
 de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2026.
 Orientador: Prof. Dr. Hugo Alves Pinheiro
 Coorientador: Profa. Dra. Joanne Moraes de Melo Souza.
1. Açaí. 2. Cultura de tecidos. 3. Explante. 4. Reguladores de crescimento. I. Alves Pinheiro, Hugo ,
 orient. II. Título
-

CDD 660.609811

LEIDIANE DE CÁSSIA DE SOUSA LIMA

**RESPOSTA MORFOGÊNICA DE EXPLANTES DE AÇAIZEIRO PARA
REGENERAÇÃO DE PLANTAS *IN VITRO***

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação Agronomia, para obtenção do título de Mestre. Área de concentração: Produção vegetal.

Aprovado: 24 de agosto de 2026.

Banca examinadora:



Documento assinado digitalmente

JOANNE MORAES DE MELO SOUZA

Data: 24/09/2026 17:50:57-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Dra. Joanne Moraes de Melo Souza – Presidente
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA-UFRA



Documento assinado digitalmente

THAMARA MOURA LIMA

Data: 17/09/2026 11:10:13-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Dra. Thâmara Moura Lima -1º Examinadora
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA-UFRA



Documento assinado digitalmente

OSMAR ALVES LAMEIRA

Data: 24/09/2026 13:36:33-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Osmar Alves Lameira -2º Examinador
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA



Documento assinado digitalmente

ORIEL FILGUEIRA DE LEMOS

Data: 23/09/2026 19:26:53-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Oriel Filgueira de Lemos -3º Examinador
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me permitido chegar até esse momento. Dando-me força, coragem e perseverança para seguir em frente diante de todas as dificuldades encontradas ao longo desta caminhada.

À minha família, meu pai José e em especial à minha mãe, Leda, que sempre me incentivou a buscar meus objetivos, mesmo à distância, estando presente com seu apoio e suas palavras de encorajamento. Aos meus irmãos, Carlos e José, por serem meu porto seguro e por todo apoio ao longo dessa trajetória.

Ao meu esposo, Wensyo, por estar ao meu lado durante esta caminhada, pelo companheirismo, pela compreensão, e, principalmente, por acreditar na minha capacidade de seguir em busca dos meus sonhos. Aos seus pais, Miranda e Aldenora, e à minha cunhada, Wandria, agradeço imensamente pelo apoio e auxílio nos momentos de dificuldade e por nunca deixarem de acreditar em mim. Muito obrigada por tudo.

À minha coorientadora, Prof.^a Dr.^a Joanne Mello, pela paciência, incentivo, compreensão, apoio emocional e, especialmente, pelas orientações e pelo acompanhamento durante a execução das atividades no laboratório, além da dedicação, competência e exemplo profissional.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Hugo Pinheiro, por toda a orientação, pelas valiosas contribuições, pelo conhecimento compartilhado e pelo exemplo de profissionalismo ao longo desta trajetória.

Aos colegas do Laboratório de Biotecnologia, pela convivência, colaboração e auxílio durante o desenvolvimento deste trabalho, em especial a Samuel, Fernanda, Sylvia. Prof.^a Hérica e Wellygton, grata pelo treinamento inicial no laboratório e pelo auxílio nas atividades relacionadas ao cultivo *in vitro*.

Ao Prof. Walter Vellasco, por gentilmente ceder espaço na casa de vegetação para a realização do experimento.

À Prof.^a Dr.^a Thâmara, pelo suporte e pelas contribuições durante a realização das análises estatísticas.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia e a todo o seu corpo docente, pela oportunidade de formação, pelos conhecimentos compartilhados e pelas contribuições ao longo desta trajetória.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo financiamento (Código Financeiro 0001) da bolsa de pós-graduação, fundamental para a realização deste trabalho.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que, mesmo não sendo aqui mencionadas, contribuíram direta ou indiretamente para a realização e conclusão desta dissertação.

Muito obrigada!

RESUMO

Euterpe oleracea (Mart.), palmeira nativa da Amazônica, pode ser propagada por via sexuada (sementes) e assexuada, sendo a primeira a mais largamente usada para a produção comercial de mudas. Como a palmeira tem polinização aberta, a obtenção de clones de materiais vegetais selecionados da palmeira para fins de melhoramento genético fica limitada ao perfilhamento. Dessa forma, o cultivo *in vitro* pode ser empregado como uma alternativa aos métodos tradicionais de propagação, principalmente pela vantagem de produção de plantas em grande quantidade, em condições assépticas, e em um pequeno espaço. Nesse sentido, o objetivo do trabalho foi avaliar o potencial morfogênico no cultivo *in vitro* de diferentes explantes de *E. oleracea* sob diferentes concentrações de auxinas e citocininas. Foram conduzidos quatro experimentos independentes com diferentes explantes e reguladores de crescimento. No Exp. I, embriões zigóticos imaturos foram cultivados em meio MS suplementados com BAP (0; 1 e 2 mg L⁻¹). No Exp. II, embriões zigóticos imaturos foram cultivados em meio MS com 2,4-D (0; 5 e 10 mg L⁻¹). No Exp. III, segmentos foliares foram cultivados em meio MS com 2,4-D (0; 2,5; 5; 7,5; 10; 12,5 e 15 mg L⁻¹) e no Exp. IV, ápices caulinares foram cultivados em meio MS com BAP (0; 2,5; 5; 7,5 mg L⁻¹), NAA (0; 0,1 mg L⁻¹) e combinações (2,5 +0,1; 5+0,1; 7,5+0,1 mg L⁻¹). Todos os meios MS foram acrescidos de 30 g L⁻¹ de sacarose, 2 g L⁻¹ de carvão ativado e 2 g L⁻¹ de Phytigel®. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com dez repetições por tratamento, sendo um tubo com um explante considerado repetição. Os experimentos foram conduzidos por 150 dias e os dados foram analisados por modelos lineares generalizados, com comparação de médias pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). No Exp. I, alguns explantes apresentaram apenas indução de radícula (10% na presença de 2 mg L⁻¹ de BAP), outros apenas de parte aérea (10% na presença de 0 mg L⁻¹ de BAP e 10% na presença de 1 mg L⁻¹ de BAP), enquanto alguns apresentaram indução de radícula e parte aérea (30% tratamento com 1 mg L⁻¹ de BAP). No Exp. II, foi observada a indução de calos em 10% dos explantes do controle e em 10% no tratamento com 10 mg L⁻¹ de 2,4-D. No Exp. III, não houve formação de calos nos fragmentos foliares imaturos em nenhuma das concentrações avaliadas. No Exp. IV, não foi observada formação de gemas adventícias ou brotações e a resposta morfológica restringiu-se ao prolongamento apical, com percentuais entre 0 e 40% dos explantes, sem diferenças significativas entre tratamentos. Assim, os resultados permitem concluir que, nas condições avaliadas, os diferentes explantes de *E. oleracea* apresentam limitado potencial para a indução de organogênese adventícia e embriogênese somática, uma vez que as concentrações e combinações dos reguladores de crescimento testadas não promovem respostas morfogênicas consistentes.

Palavras chaves: Açai; cultura de tecidos; explante; reguladores de crescimento.

ABSTRACT

Euterpe oleracea Mart., a palm species native to the Amazon region, can be propagated sexually by seeds or vegetatively, with seed propagation being the most widely used method for commercial seedling production. Because this species is open-pollinated, the clonal propagation of selected genotypes for breeding purposes is largely restricted to the production of basal shoots. Therefore, *in vitro* culture may provide an alternative to conventional propagation methods, particularly because it enables the large-scale production of plants under aseptic conditions within a limited space. In this context, this study aimed to evaluate the morphogenic potential of different explants of *E. oleracea* cultured *in vitro* under different concentrations of auxins and cytokinins. Four independent experiments were conducted using different explant types and plant growth regulators. In Exp. I, immature zygotic embryos were cultured on MS medium supplemented with BAP (0, 1, or 2 mg L⁻¹). In Exp. II, immature zygotic embryos were cultured on MS medium supplemented with 2,4-D (0, 5, or 10 mg L⁻¹). In Exp. III, leaf segments were cultured on MS medium supplemented with 2,4-D (0, 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5, or 15 mg L⁻¹). In Exp. IV, shoot apices were cultured on MS medium supplemented with BAP (0; 2.5; 5; 7.5 mg L⁻¹), NAA (0; 0.1 mg L⁻¹), or combinations of both (2.5+0.1; 5+0.1; 7.5+0.1 mg L⁻¹). All MS media were supplemented with 30 g L⁻¹ sucrose, 2 g L⁻¹ activated charcoal, and 2 g L⁻¹ Phytigel®. The experiments were arranged in a completely randomized design with ten replicates per treatment, with each tube containing one explant considered an experimental unit. The experiments were conducted for 150 days, and the data were analyzed using generalized linear models, followed by mean comparisons using Tukey's test ($p \leq 0.05$). In Exp. I, some explants showed root formation only (10% in the presence of 2 mg L⁻¹ BAP), whereas others showed shoot formation only (10% in the absence of BAP and 10% in the presence of 1 mg L⁻¹ BAP). Root and shoot formation occurred simultaneously in 30% of the explants cultured with 1 mg L⁻¹ BAP. In Exp. II, callus formation was observed in 10% of the explants in the control treatment and in 10% of those cultured with 10 mg L⁻¹ 2,4-D. In Exp. III, no callus formation was observed in immature leaf segments at any of the concentrations evaluated. In Exp. IV, neither adventitious bud nor shoot formation was observed, and the morphological response was restricted to apical elongation, which occurred in 0–40% of the explants, with no significant differences among treatments. Thus, the results indicate that, under the conditions evaluated, the different explants of *E. oleracea* exhibit limited potential for the induction of adventitious organogenesis and somatic embryogenesis, since the concentrations and combinations of plant growth regulators tested do not promote consistent morphogenic responses.

Keywords: açaí palm; tissue culture; explant; plant growth regulators.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Efeito de diferentes concentrações de BAP (0; 1; e 2 mg L⁻¹) na porcentagem de embriões zigóticos imaturos de açaí que apresentaram indução somente de radícula (A), somente de parte aérea (B), de radícula e parte aérea (C) e porcentagem de embriões não-responsivos (D). Os dados foram obtidos ao final de 150 dias de experimento e cada tratamento foi formado por dez repetições. 38
- Figura 2.** Embriões zigóticos imaturos de açaí apresentando apenas indução de radícula sob 2 mg L⁻¹ BAP (A), de parte aérea sob 0 (B) e 1 mg L⁻¹ BAP (C) e de radícula + parte aérea sob 1,0 mg L⁻¹ BAP (D). As imagens foram obtidas ao final dos 150 dias de experimento. As barras nas imagens correspondem a 1 cm. 39
- Figura 3.** Efeito de diferentes concentrações de 2,4 D (0; 5; e 10 mg L⁻¹) na porcentagem de embriões zigóticos imaturos de açaí que apresentaram indução de calos (A), indução somente de radícula (B), indução somente de parte aérea (C), indução de radícula + parte aérea (D) e porcentagem de embriões não-responsivos (E). Os dados foram obtidos ao final de 150 dias de experimento e cada tratamento foi formado por dez repetições. 41
- Figura 4.** Indução de calos, de radícula, de parte aérea, e de radícula e parte aérea simultaneamente a partir de embriões zigóticos imaturos de açaí cultivados na ausência de 2,4 D (A, B e C) e na presença de 5 mg L⁻¹ 2,4 D (D, E e F) e 10 mg L⁻¹ 2,4 D (G, H e I). Indução de calos (A e G), apenas indução de radícula (D), apenas indução de parte aérea (B, E e H), indução de radícula + parte aérea (C e F) e embriões sem resposta (I). As imagens foram obtidas ao final dos 150 dias de experimento. As barras nas imagens correspondem a 1 cm. 41
- Figura 5.** Porcentagem de ápices caulinares de açaí que apresentaram elongação caulinar (A) e porcentagem de ápice não responsivos (B) na ausência de reguladores de crescimento (Controle) e na presença de BAP (2,5; 5,0 e 7,5 mg L⁻¹), de NAA (0,1 mg L⁻¹), e das combinações de BAP (2,5; 5,0 e 7,5 mg L⁻¹) e NAA (0,1 mg L⁻¹). Os dados foram obtidos ao final de 150 dias de experimento e correspondem a porcentagem obtida para cada tratamento a partir de dez repetições. 43

LISTA DE TABELA

Tabela 1. Reguladores de crescimento e concentrações utilizadas nos Experimentos I, II, III e IV.	36
Tabela 2. Análise de modelos lineares generalizados (GLM) para a estimativa da deviance (χ^2), grau de liberdade (GL) e significância (p-valor) referente ao efeito das concentrações de BAP no desenvolvimento de estruturas a partir de embriões zigóticos imaturos de açaí.	39
Tabela 3. Probabilidades estimadas e intervalo de confiança ($\pm$ IC 95%) para o efeito das concentrações de BAP no desenvolvimento de estruturas a partir de embriões zigóticos imaturos de açaí.	40
Tabela 4. Análise de modelos lineares generalizados (GLM) para a estimativa da deviance (χ^2), grau de liberdade (GL) e significância (p-valor) referente ao efeito das concentrações de 2,4 D no desenvolvimento de estruturas a partir de embriões zigóticos imaturos de açaí.	42
Tabela 5. Probabilidades estimadas e intervalo de confiança ($\pm$ IC 95%) para o efeito das concentrações de 2,4 D no desenvolvimento de estruturas a partir de embriões zigóticos imaturos de açaí.	42
Tabela 6. Análise de modelos lineares generalizados (GLM) para a estimativa da deviance (χ^2), grau de liberdade (GL) e significância (p-valor) referente ao efeito das concentrações de BAP, NAA e combinações entre BAP e NAA no desenvolvimento de estruturas a partir de ápices caulinares de açaí.	44
Tabela 7. Probabilidades estimadas e intervalo de confiança ($\pm$ IC 95%) na ausência de reguladores de crescimento e na presença de BAP, de NAA e de BAP + NAA no desenvolvimento de estruturas a partir de ápices caulinares de açaí.	44

SUMÁRIO

1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	11
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1. Aspectos botânicos do açaizeiro	14
2.2. Importância econômica.....	15
2.3. Propagação.....	16
2.4. Cultivo <i>in vitro</i>	17
2.5. Fatores que influenciam as respostas morfogênica no cultivo <i>in vitro</i>	19
REFERÊNCIAS.....	23
3. RESPOSTA MORFOGÊNICA DE EXPLANTES DE AÇAIZEIRO PARA REGENERAÇÃO DE PLANTAS <i>IN VITRO</i>	33
3.1. INTRODUÇÃO	33
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	34
4.1. Material Vegetal e obtenção dos explantes.....	34
4.2. Meio de cultura e condições de cultivo	35
4.3. Avaliação dos experimentos.....	36
4.4. Análise Estatística.....	37
5. RESULTADOS.....	37
5.1. Experimento I- embriões zigóticos imaturos cultivados na presença de BAP 37	
5.2. Experimento II- embriões zigóticos imaturo cultivados na presença de 2,4 D 40	
5.3. Experimento III - segmentos foliares cultivados na presença de 2,4 D	42
5.4. Experimento IV - ápice caulinares cultivados na presença de BAP e NAA ..	42
6. DISCUSSÃO	44
6.1. Experimento I- embriões zigóticos imaturo cultivados na presença de BAP	44
6.2. Experimento II- embriões zigóticos imaturo cultivados na presença de 2,4 D 45	
6.3. Experimento III- segmentos foliar cultivados na presença de 2,4 D.....	46
6.4. Experimento IV- ápices caulinares cultivados na presença de BAP e NAA..	47
7. CONCLUSÃO.....	48
REFERÊNCIAS.....	49

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A crescente valorização do açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) no contexto amazônico e no mercado de frutas tropicais tem ampliado o interesse por estratégias que contribuam para o fortalecimento de sua produção. Além de sua relevância alimentar e econômica, a espécie ocupa posição central na dinâmica produtiva regional, especialmente no estado do Pará, onde o açaí representa grande parte do valor econômico associado às palmeiras amazônicas e sustenta cadeias de produção dependentes de recursos florestais e de serviços ecossistêmicos, como a polinização (Alves *et al.*, 2024; Ferreira *et al.*, 2024).

Nesse contexto, o açaí também se destaca no âmbito da bioeconomia amazônica, tanto pelo potencial de aproveitamento de seus produtos e subprodutos quanto pelas possibilidades de agregação de valor associadas à sua cadeia produtiva (Silva; Sevalho; Miranda, 2021; Barbosa; Carvalho Junior, 2022). Esse cenário é reforçado por dados recentes que mostram que, em 2024, a produção nacional de frutos foi de aproximadamente 1,74 milhão de toneladas, das quais 1,61 milhão de toneladas foram provenientes do Pará, correspondendo a mais de 90% da produção brasileira (IBGE, 2025). Esse expressivo volume produtivo está associado ao papel estratégico do açaí na geração de renda, na segurança alimentar e dinâmica socioeconômica regional, uma vez que o Pará concentra a maior parte da produção, do processamento e das exportações do fruto (Alves *et al.*, 2024; Flor-Und *et al.*, 2024; Oliveira *et al.*, 2025).

Ao mesmo tempo, a demanda crescente por frutos e derivados de *Euterpe oleracea*, no Brasil e no mercado internacional, tem exigido a transição de um sistema extrativista para áreas cultivadas comercialmente (Freitas *et al.*, 2018). Esse processo também se relaciona à expansão da economia do açaí e do manejo agroflorestal, impulsionados pelo crescimento do mercado e pela abertura de novas fronteiras de comercialização, embora o manejo intensivo não regulado possa alterar a estrutura e a composição das florestas amazônicas (Damasco *et al.*, 2022).

Esse avanço produtivo, contudo, não elimina limitações estruturais relacionadas à propagação da espécie. Em *E. oleracea*, embora o perfilhamento permita a formação de indivíduos geneticamente idênticos à planta matriz, a espécie é propagada predominantemente por sementes, uma vez que a multiplicação vegetativa apresenta baixa eficiência de aproveitamento e reduzida sobrevivência das plantas para uso em escala comercial (Farias Neto *et al.*, 2005; Nascimento *et al.*, 2011; Freitas *et al.*, 2016; Freitas *et al.*, 2018; Scherwinski-Pereira *et al.*, 2012).

Como consequência, a propagação sexuada mantém elevada variabilidade genética entre plantas e progênies, resultando em populações geneticamente heterogêneas e pouco

uniformes, o que compromete a padronização dos cultivos e a multiplicação de materiais superiores (Farias Neto *et al.*, 2005; Nogueira *et al.*, 2005; Yokomizo *et al.*, 2013). Além disso, esse processo é limitado pelo comportamento recalcitrante das sementes, caracterizado por viabilidade fisiológica reduzida e elevada sensibilidade à dessecação (Carvalho; Nascimento, 2018; Nascimento *et al.*, 2010), o que dificulta sua conservação e uso em programas de melhoramento genético (Freitas *et al.*, 2016). Em outras palmeiras do gênero *Euterpe*, limitações associadas à propagação sexuada também são descritas, como em *E. precatoria*, cuja propagação por sementes é considerada lenta, heterogênea e pouco adequada à multiplicação de genótipos de interesse (Ferreira *et al.*, 2022a). Nesse contexto, a propagação clonal assume importância para o melhoramento, por permitir a multiplicação de genótipos e sua avaliação por meio de indivíduos geneticamente similares, com potencial para aumentar a precisão do processo de seleção (Balzon *et al.*, 2026). Testes clonais conduzidos ao longo do tempo e em diferentes ambientes também permitem comparar o desempenho dos genótipos, identificar clones superiores e investigar a interação genótipo x ambiente, contribuindo para a seleção e recomendação de materiais em diferentes condições de cultivo (Soh *et al.*, 2003; Reis *et al.*, 2025).

Diante dessas limitações e da importância da multiplicação clonal, o cultivo *in vitro* se destaca como uma alternativa promissora para a propagação clonal de *E. oleracea*, com destaque para a embriogênese somática, podendo contribuir para a produção de mudas, a multiplicação de genótipos selecionados e o suporte a programas de melhoramento (Freitas *et al.*, 2018). Em açazeiro, essa via já foi relatada a partir de embriões zigóticos imaturos e maduros, com indução de calos embriogênicos, formação de embriões somáticos e regeneração de plantas (Freitas *et al.*, 2016; Scherwinski-Pereira *et al.*, 2012). De modo geral, o sucesso das respostas regenerativas em cultura de tecidos depende da interação entre o tipo de explante, os reguladores de crescimento, a composição do meio e as condições de cultivo (Mehbub *et al.*, 2022).

Entre as rotas morfogênicas empregadas na cultura de tecidos, destacam-se a organogênese e a embriogênese somática, ambas relacionadas à regeneração de plantas sob condições *in vitro* (Liu *et al.*, 2024). Em palmeiras, entretanto, a embriogênese somática ainda é descrita como um processo lento e complexo, com predominância da rota indireta (Silva-Cardoso *et al.*, 2019). Em *E. oleracea*, estudos com embriões zigóticos também relataram desenvolvimento assíncrono dos embriões somáticos (Freitas *et al.*, 2016; Léo *et al.*, 2002; Scherwinski-Pereira *et al.*, 2012).

Apesar desses avanços, estudos com palmeiras indicam que a regeneração *in vitro* permanece dependente das características do explante e das condições de cultivo. Em espécie do mesmo gênero (*Euterpe edulis*), de Mello *et al.* (2023) observaram que a indução embriogênica foi influenciada pelo tipo de ferimento, pela orientação do explante no meio de cultura e pelas condições de indução e maturação, incluindo o uso de picloram. Em estudo posterior, de Mello *et al.* (2024) demonstraram que a maturidade do material vegetal também interfere na resposta embriogênica, com maior indução de embriogênese somática em segmentos caulinares obtidos de plântulas de seis meses. Em *E. oleracea*, inflorescências e folhas imaturas também resultaram na formação de calos embriogênicos e embriões somáticos; contudo, esses explantes apresentaram respostas inferiores às obtidas com embriões zigóticos e ainda requerem ajustes nas etapas do protocolo (Freitas *et al.*, 2018).

Assim, a avaliação de folhas, ápices caulinares e embriões zigóticos de *Euterpe oleracea*, sob diferentes concentrações de auxinas e citocininas, insere-se em uma lacuna metodológica relevante, pois amplia a compreensão sobre a competência morfogênica de distintos tecidos e pode contribuir para a otimização de protocolos mais eficientes e reprodutíveis para a espécie. Em uma cultura de crescente importância econômica, ambiental e tecnológica, o avanço dessas estratégias é especialmente relevante para apoiar a produção de mudas e a multiplicação de materiais de interesse, bem como a conservação *ex situ* de recursos genéticos e o melhoramento genético da espécie (Chaves; Alves; Dias, 2021).

As diferenças de competência morfogênica entre explantes podem estar associadas ao estado de diferenciação dos tecidos e ao seu estado hormonal endógeno, que condicionam a resposta celular aos estímulos do cultivo *in vitro* (Jiménez, 2001; Bidabadi; Jain, 2020). Além disso, a resposta aos reguladores adicionados ao meio depende de sua absorção e transporte nos tecidos (Raspor *et al.*, 2021), bem como da interação entre auxinas e citocininas, que influencia os processos de diferenciação e desdiferenciação celular (Asghar *et al.*, 2023). Com base nesses aspectos, formulou-se a hipótese de que a competência morfogênica *in vitro* de *Euterpe oleracea* é dependente das características do tecido utilizado como explante e de sua resposta aos reguladores de crescimento. Dessa forma, este trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar o potencial morfogênico *in vitro* de diferentes explantes de açaí (embriões zigóticos imaturos, segmentos foliares e ápices caulinares) sob diferentes concentrações de auxinas (2,4 D e NAA) e citocininas (BAP).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Aspectos botânicos do açazeiro

O açazeiro é uma palmeira pertencente à família Arecaceae, e ao gênero *Euterpe*, classificada botanicamente como *Euterpe oleracea* Mart., vulgarmente conhecida como “açai-do-pará” e “açai-de touceira” (Oliveira; Navegantes; Costa, 2019). Distribui-se amplamente pelos estados do Pará, Amapá e Tocantins (Oliveira *et al.*, 2022b), estendendo-se ao Maranhão, Mato Grosso, e a outros países da América do Sul (Yamaguchi *et al.*, 2015). A espécie ocupa ecossistemas variados no estuário amazônico, que incluem desde áreas de terra firme até ambientes sujeitos a inundações, como igapós e várzeas (Farias Neto; Yokomizo; Resende, 2020; Jardim, 2002; Oliveira *et al.*, 2017).

Do ponto de vista morfológico, trata-se de uma espécie estipitada que apresenta crescimento cespitoso, caracterizado pela formação de touceiras a partir da emissão de perfilhos basais, cujos estipes se encontram em diferentes estágios de desenvolvimento, que podem alcançar mais de 18 m de altura e cerca de 20 cm de diâmetro (Matos *et al.*, 2017; Oliveira; Navegantes; Costa, 2019). Essa característica multicaule favorece a regeneração natural da planta e possibilita a exploração contínua dos frutos ao longo dos ciclos produtivos. A arquitetura vegetativa completa-se com as folhas do tipo pinada, com lâmina longa e disposição pendular, alcançando entre 2 e 3 m de comprimento e apresentando, em média, de 50 a 90 pares de pinas (Pesce, 2009). Os folíolos são alongados, de ápice agudo, distribuídos de forma regular ao longo da raque e com tendência ao arqueamento, conferindo à copa aspecto pendente (Henderson; Galeano, 1996. Rocha *et al.*, 2025), além de um sistema radicular fasciculado adaptado a solos hipóxicos através da presença eventual de pneumatóforos (Oliveira *et al.*, 2022b).

No que tange à morfologia reprodutiva, apresenta inflorescências na inserção interfoliar inicialmente envolvidas por brácteas que asseguram proteção às estruturas florais durante seu desenvolvimento. Essa inflorescência é formada por uma ráquis (eixo principal) do qual se originam diversas ráquulas. A espécie é monoica com dicogamia protândrica, apresentando uma unidade floral organizadas em tríades, formadas por duas flores estaminadas e uma pistilada (Oliveira *et al.*, 2002). Esse arranjo estrutural e fisiológico favorece a polinização cruzada, contribuindo para a elevada variabilidade genética observada na espécie.

Os frutos são drupas globosas, com coloração variável ao longo do processo de maturação (Oliveira *et al.*, 2022a). A frutificação ocorre em infrutescências do tipo cacho, com produção média de três a quatro cachos por planta, podendo esse número atingir até oito,

conforme o estágio de desenvolvimento e as condições ambientais (Cavalcante, 2010; Tavares, 2020). As sementes são globosas e apresentam endosperma ruminado (Pereira *et al.*, 2021), sendo o embrião zigótico nelas contido uma importante fonte de explantes.

2.2. Importância econômica

Atualmente, o Brasil destaca-se como o maior produtor mundial de frutos de açaí, e o estado do Pará responde pela maior parte dessa produção. A posição de liderança do Pará resulta da elevada concentração de áreas manejadas e cultivadas, da tradição extrativista e da crescente estruturação da cadeia de beneficiamento e comercialização do fruto (Homma *et al.*, 2006) Oliveira *et al.*, 2017; Tavares *et al.*, 2022).

Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) indicam que, em 2024, a produção nacional de açaí alcançou aproximadamente 1,74 milhão de toneladas, das quais 1,61 milhão de toneladas foram provenientes do estado do Pará, correspondendo a mais de 90% do total produzido no país. A produção concentra-se em municípios do estuário amazônico, com destaque para Igarapé-Miri (260.000 t), Cametá (157.830 t), Anajás (122.000 t), Acará (120.000 t) e Abaetetuba (112.000 t), que formam o principal polo fornecedor da matéria-prima (IBGE, 2025). Esses dados evidenciam que o Pará concentra a maior parte da produção nacional do fruto e reforçam a importância da cadeia produtiva para a economia regional e para os sistemas produtivos amazônicos.

O mercado do açaí apresenta expansão contínua no Brasil e no exterior, impulsionada pela valorização de suas características nutricionais e funcionais, que ampliaram o consumo em grandes centros urbanos e estimularam a inserção do produto em mercados internacionais, como Estados Unidos, Japão, China e países europeus (Barros *et al.*, 2022; Tavares *et al.*, 2022). Paralelamente, a base produtiva passou por processo de modernização, com a incorporação de sistemas de cultivo irrigado e de práticas de manejo voltadas ao aumento da produtividade e à regularidade da oferta (Lindolfo *et al.*, 2020).

Nesse processo de modernização, a difusão de cultivares adaptadas a condições de terra firme, a exemplo da BRS-Pará e da BRS-Pai d'égua, representou marco importante para a interiorização dos plantios e para a redução da dependência do extrativismo tradicional (Farias Neto, 2019; Oliveira; Farias Neto, 2004). Nesse período, observou-se expressiva ampliação das áreas cultivadas, com crescimento acumulado de aproximadamente 675% entre 2010 e 2022, associado à adoção de tecnologias de produção mais eficientes e à organização dos sistemas de comercialização (EMBRAPA, 2023).

Além dos avanços relacionados à produção e à expansão do mercado, a cadeia do açaí também se insere no contexto da bioeconomia amazônica, considerando o potencial bioeconômico de *E. oleracea* e as possibilidades de aproveitamento de seus produtos e subprodutos (Silva; Sevalho; Miranda, 2021; Teixeira *et al.*, 2026). Além da polpa, resíduos gerados na cadeia produtiva, especialmente sementes e fibras, apresentam possibilidades de aproveitamento para obtenção de compostos bioativos, biomateriais, biopolímeros e fontes de energia renovável, contribuindo para a agregação de valor em uma perspectiva de economia circular (Barbosa; Carvalho Junior, 2022; dos Santos *et al.*, 2026). Entretanto, a expansão da cadeia e sua inserção nos mercados globais também envolvem desafios socioambientais, incluindo alterações no uso da terra, perda de biodiversidade e desigualdades na distribuição dos benefícios, evidenciando a necessidade de conciliar crescimento econômico, sustentabilidade e equidade (Ardenghi; Sá; Teixeira, 2026). Diante da expansão e da modernização dos sistemas de produção, torna-se necessária a adoção de estratégias de propagação que assegurem oferta regular de mudas e maior uniformidade do material vegetal utilizado nos cultivos.

2.3. Propagação

A estratégia de reprodução do açaizeiro é tanto sexuada como assexuada. No entanto, a propagação via seminífera é a mais predominante em escala comercial, em decorrência da praticidade e economia em comparação a propagação vegetativa (Farias Neto *et al.*, 2005; Nascimento *et al.*, 2011). Entretanto, em função do comportamento recalcitrante das sementes, estas são sensíveis à desidratação, o que torna indispensável o uso de sementes recém-coletadas e com adequado teor de umidade, a fim de preservar sua viabilidade germinativa (Carvalho; Nascimento, 2018; Nascimento; Silva, 2005; Nascimento; Cicero; Novembre, 2010; Souza *et al.*, 2018). Além disso, por ser uma espécie alógama, o açaizeiro apresenta elevada variabilidade genética, resultando em plantios heterogêneos com produtividade e qualidade de frutos desuniformes (Farias Neto *et al.*, 2005; Nogueira *et al.*, 2005; Yokomizo *et al.*, 2013).

Em contrapartida, a propagação vegetativa por meio de perfilhamento possibilita a multiplicação de indivíduos geneticamente idênticos à planta matriz, preservando as características genéticas (Farias Neto *et al.*, 2005; Nascimento *et al.*, 2011). No entanto, esse método enfrenta limitações práticas, como a baixa taxa de multiplicação, em virtude do número reduzido de perfilho formados por planta, a dificuldade de separação e as baixas taxas de sobrevivência no campo, são fatores que limita a produção de mudas em escala comercial (Scherwinski-Pereira *et al.*, 2012).

Nesse contexto, técnicas de propagação *in vitro*, surgem como uma alternativa promissora para obter material genético com maior uniformidade, sanidade e potencial produtivo. Alguns estudos promissores têm sido realizados com embriões zigóticos alcançando plântulas completas (Lédo *et al.*, 2002) e embriões somáticos (Freitas *et al.*, 2016; Lédo *et al.*, 2002; Scherwinski-Pereira *et al.*, 2012). Avanços também foram observados na embriogênese somática a partir de inflorescência e folhas imaturas, embora com limitações quanto à taxa de diferenciação e ao desenvolvimento dos embriões (Freitas, 2014). Apesar desses progressos, os estudos ainda são preliminares e não existem protocolos consolidados para a cultura.

2.4. Cultivo *in vitro*

O cultivo *in vitro* de plantas surge como uma alternativa biotecnológica aos métodos tradicionais de propagação, contribuindo para a superação das limitações produtivas ao viabilizar a obtenção de plantas geneticamente estáveis, uniformes e com maior adaptabilidade às condições de campo (Hasnain *et al.*, 2022; Solangi *et al.*, 2025). Do ponto de vista técnico, essa abordagem compreende um conjunto de procedimentos que possibilita a regeneração, multiplicação e conservação de plantas a partir de células, tecidos ou órgãos vegetais cultivados em meios nutritivos artificiais, sob condições controladas e assépticas (Hussain *et al.*, 2012; Sidik *et al.*, 2024). Sua base conceitual fundamenta-se no princípio da totipotência celular, segundo o qual as células vegetais, mesmo após a diferenciação, preservam a capacidade de originar uma planta completa quando submetidas a condições adequadas de cultivo (Long *et al.*, 2022; Thakur *et al.*, 2024). A expressão dessa propriedade envolve eventos de desdiferenciação e rediferenciação celular, resultando em diferentes respostas morfogênicas que são influenciadas por fatores intrínsecos ao explante, estado fisiológico e características do meio de cultura (Bidabadi; Jain, 2020; Delporte *et al.*, 2014).

Sob essas condições, a regeneração vegetal *in vitro* manifesta -se por duas vias morfogênicas: a organogênese e a embriogênese somática (Bettoni; Wang; Wang, 2024). A organogênese caracteriza-se pela formação de brotações adventícias ou axilares a partir de tecidos previamente diferenciados. Esse processo pode ocorrer por via direta, quando brotos e/ou raízes se originam de meristemas ou gemas pré-existentes no explantes, ou por via indireta, na qual ocorre desdiferenciação celular com formação de calos, a partir dos quais se desenvolvem meristemas adventícios responsáveis pela regeneração de novos órgãos (Bidabadi; Jain, 2020; Hussain *et al.*, 2012; Long *et al.*, 2022). Enquanto a embriogênese somática corresponde à formação de embriões a partir de células somáticas, os quais apresentam padrões de desenvolvimento semelhante aos observados em embriões zigóticos, esse processo

pode ocorrer de forma direta, quando os embriões se originam do próprio explante sem fase intermediária, ou de forma indireta, mediante a formação prévia de calos embriogênicos. Esses embriões somáticos formados são capazes de germinar e originar plantas completas, sem a necessidade de fertilização sexual (Fehér, 2019; Guan *et al.*, 2016; Hussain *et al.*, 2012; Loyola-Vargas; Ochoa-Alejo, 2016). Ambas as vias têm sido exploradas em sistemas de micropropagação e conservação de germoplasma *in vitro*.

A aplicação dessas estratégias tem se expandido para diferentes grupos vegetais, incluindo as palmeiras, nas quais a regeneração *in vitro* ainda representa desafio relevante. Estudos com espécie da família Arecaceae destacam o potencial da organogênese na multiplicação clonal, de relevância econômica, como tamareira (*Phoenix dactylifera*) (Abahmane, 2017; Mazri *et al.*, 2018; Taha *et al.*, 2021), dendezeiro (*Elaeis guineensis*) (Romyanon; Mosaleeyanon; Kirdmanee, 2015) e coqueiro (*Cocos nucifera*) (Kong *et al.*, 2021). Na embriogênese somática, diferentes palmeiras têm demonstrado respostas promissoras, como *Euterpe precatoria*, com elevada sobrevivência de plântulas após aclimatização Ferreira *et al.*, 2022a). Em *Elaeis guineensis* e híbridos com *E. oleifera*, estudos morfológicos e epigenéticos esclareceram etapas do processo embriogênico a partir de folhas imaturas (Gomes; Bartos; Scherwinski-Pereira, 2017; Gomes *et al.*, 2024; Silva-Cardoso, 2022). No coqueiro (*Cocos nucifera*) e em *Syagrus oleracea*, a técnica tem sido associada à micropropagação clonal e à caracterização anatômica das células embriogênicas (Khan *et al.*, 2023; Silva-Cardoso *et al.*, 2019), enquanto em *Phoenix dactylifera* foram descritos protocolos completos de regeneração (Sané *et al.*, 2006).

Para o açaizeiro (*Euterpe oleracea*), os estudos concentram-se principalmente na embriogênese somática, tendo os embriões zigóticos como principal explante utilizado. Trabalhos iniciais de Léo *et al.* (2001) demonstraram a conversão *in vitro* de embriões zigóticos maduros em plântulas, com melhor desenvolvimento na presença de combinações de NAA e BAP, embora não tenham sido observadas diferenças significativas entre as concentrações avaliadas quanto à frequência de conversão dos embriões. Posteriormente, Scherwinski-Pereira *et al.* (2012) obtiveram 72% de formação de calos embriogênicos a partir de embriões zigóticos imaturos com 225 μM de picloram, além da formação de embriões somáticos e regeneração de plantas. Freitas *et al.* (2016) ampliaram esses resultados ao demonstrarem que embriões zigóticos maduros e imaturos apresentam competência embriogênica, com 84,7% de formação de calos embriogênicos na presença de 450 μM de picloram e maior frequência de regeneração de plantas, de 58,7%, a partir de embriões somáticos originados de embriões zigóticos imaturos. Depois, Freitas *et al.* (2018)

sistematizaram protocolos para diferentes fontes de explantes, incluindo inflorescências e folhas imaturas, nas quais também foram obtidos calos embriogênicos e embriões somáticos, embora com desenvolvimento mais lento e necessidade de ajustes nas etapas de diferenciação. Apesar desses avanços, ainda persistem limitações quanto à eficiência e à padronização dos protocolos para aplicação em larga escala.

2.5. Fatores que influenciam as respostas morfogênica no cultivo *in vitro*

As respostas morfogênicas em cultivo *in vitro* são condicionadas pelas características do material vegetal e pelas condições estabelecidas durante o cultivo, de modo que a competência regenerativa pode variar conforme o tipo, a origem e o estágio de desenvolvimento do explante, bem como em função da composição do meio e dos reguladores de crescimento utilizados (Bidabadi; Jain, 2020). Em dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.), diferenças na capacidade de regeneração são observadas entre tipos de explante, sendo essa resposta relacionada, entre outros fatores, ao estágio de desenvolvimento do tecido, com maior responsividade geralmente associada a materiais juvenis (Weckx; Inzé; Maene, 2019). Essa dependência do estado de desenvolvimento também foi demonstrada em tamareira (*Phoenix dactylifera* L.), na qual a capacidade calogênica de segmentos foliares variou conforme o grau de diferenciação celular, sendo maior nos tecidos localizados na zona de alongamento da folha (Gueye *et al.*, 2009). Em macaúba (*Acrocomia aculeata* [Jacq.] Lodd. ex Mart.), tanto o genótipo quanto a idade da planta doadora interferiram na resposta, com maior formação de calos embriogênicos em explantes foliares provenientes de plantas de dois anos em comparação às de cinco anos (Andrade *et al.*, 2024). Essa relação, entretanto, não é uniforme entre espécies ou estágios do explante. Em *Euterpe oleracea*, embriões zigóticos maduros e imaturos formaram calos embriogênicos sem diferença entre os dois estágios para essa resposta, embora a maior regeneração de plantas tenha sido obtida a partir de embriões imaturos (Freitas *et al.*, 2016). Assim, a seleção do explante deve considerar não apenas o tipo de tecido, mas também sua origem, estágio de desenvolvimento e o material vegetal do qual é obtido.

Os meios de cultura fornecem aos tecidos cultivados *in vitro* os nutrientes necessários ao crescimento, sendo constituídos por macro e micronutrientes e podendo incluir fonte de carbono, vitaminas e outros componentes necessários ao cultivo (George *et al.*, 2008). A disponibilidade e o equilíbrio dos nutrientes estão entre os fatores que condicionam o sucesso da cultura de tecidos, e a otimização da composição do meio pode contribuir para o aprimoramento dos protocolos *in vitro* (Pasternak; Steinmacher, 2024). Entre as formulações basais, o meio MS (Murashige; Skoog, 1962) é um dos mais utilizados e frequentemente

empregado como ponto de partida para a otimização de protocolos, embora sua adequação possa variar conforme a espécie ou aplicação (Phillips; Garda, 2019). Em palmeiras, diferentes formulações basais têm sido utilizadas; em dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.), por exemplo, são relatados protocolos com MS, Y3 e N6, além de combinações entre esses meios (Weckx; Inzé; Maene, 2019). No gênero *Euterpe*, o MS foi empregado na indução de calos embriogênicos a partir de embriões zigóticos de *E. oleracea* (Freitas *et al.*, 2016) e no cultivo de embriões zigóticos e bainhas foliares de *E. edulis*, com formação de embriões somáticos a partir dos primeiros e de calos a partir das bainhas foliares (Saldanha *et al.*, 2006). Os meios MS e Y3 diferem quanto à composição de macronutrientes e vitaminas, característica que pode contribuir para respostas distintas dos tecidos durante o cultivo *in vitro* (Sulaksono *et al.*, 2024). Nesse sentido, em *E. precatoria*, a comparação entre MS e Y3 demonstrou maior resposta na formação de calos embriogênicos quando o Y3 foi associado ao picloram, evidenciando que a adequação da formulação basal pode variar entre espécies e condições de cultivo (Ferreira *et al.*, 2022a).

Os reguladores de crescimento vegetal (PGRs) são substâncias naturais ou sintéticas que, em baixas concentrações, modulam processos de divisão, alongamento e diferenciação celular em sistemas de cultivo *in vitro* (Telgad, 2025; Yirmibeş *et al.*, 2025). Entre eles, auxinas e citocininas constituem as classes mais empregadas em protocolos de micropropagação (Asghar *et al.*, 2022; Long *et al.*, 2022), desempenhando funções complementares: as auxinas estão associadas à indução de raízes, calos e embriogênese somática, enquanto as citocininas estimulam a proliferação e o alongamento de brotações (Agudelo-Morales *et al.*, 2021; Pasternak; Steinmacher, 2024). Assim, a razão auxina/citocinina é considerada fator determinante para o direcionamento da rota morfogênica do explante, podendo direcionar diferentes respostas morfogênicas (Dang *et al.*, 2022; Pasternak; Steinmacher, 2024).

No cultivo *in vitro*, o tipo de regulador de crescimento vegetal e suas concentrações são frequentemente definidas de forma empírica e posteriormente refinadas por otimização experimental, considerando a espécie, o tipo e a idade do explante e a fase do protocolo (estabelecimento, multiplicação ou enraizamento) (Pasternak; Steinmacher, 2024). Com relação aos reguladores de crescimento, as auxinas mais comuns são o ácido naftalenoacético (NAA) e o ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D); enquanto dentre as citocininas, as mais largamente usadas são a 6-benzilaminopurina (BAP) e o tiadiazuron (TDZ).

As concentrações dessas auxinas e citocininas induzem diferentes respostas em palmeiras. Em embriões zigóticos imaturos de *Euterpe oleracea*, Scherwinski-Pereira *et al.* (2012) verificaram que a formação de calos embriogênicos variou conforme o tipo e a

concentração da auxina, sendo 225 μM de picloram o tratamento de maior resposta, com 72% de calos embriogênicos. Posteriormente, os calos foram transferidos para meio de diferenciação e maturação contendo 2iP e NAA, enquanto a conversão dos embriões somáticos ocorreu em meio de composição distinta.

Em estudo posterior com *E. oleracea*, Freitas *et al.* (2016) obtiveram maior formação de calos embriogênicos com 450 μM de picloram; na sequência, a diferenciação e a maturação foram conduzidas com 0,6 μM de NAA e 12,3 μM de 2iP, enquanto a regeneração ocorreu em meio contendo 1,0 μM de BAP e 0,5 μM de GA_3 . Em *E. edulis*, o 2,4-D também promoveu a formação de calos e estruturas embriogênicas (Saldanha *et al.*, 2006), enquanto NAA associado a 2iP foi empregado na maturação e BAP associado a GA_3 na germinação e conversão dos embriões somáticos (Oliveira *et al.*, 2022). Esses resultados evidenciam que a resposta aos reguladores depende de sua concentração e da etapa do processo morfogênico.

Além dos fatores diretamente relacionados à indução da morfogênese, o escurecimento dos tecidos pode constituir uma limitação ao cultivo *in vitro*, por comprometer o crescimento, a multiplicação e a regeneração dos tecidos (Al-Mayahi; Ali; Shareef, 2018; Meziani *et al.*, 2016). Em suspensões embriogênicas de tamareira (*Phoenix dactylifera* L.), o aumento do escurecimento esteve associado a maiores teores de compostos fenólicos e atividade de peroxidase e à menor proliferação de células embriogênicas, enquanto transferências mais frequentes para meio fresco reduziram esses parâmetros e favoreceram a proliferação da cultura (Abohatem; Zouine; El Hadrami, 2011). Entre as estratégias empregadas para reduzir esse processo, o carvão ativado pode ser adicionado ao meio de cultura devido à sua capacidade de adsorver substâncias inibidoras e reduzir a oxidação fenólica e o acúmulo de exsudatos escurecidos (Thomas, 2008). Em *Euterpe precatoria* Mart., entretanto, a oxidação leve não restringiu o potencial morfogênico dos embriões zigóticos, enquanto a oxidação completa, observada na maior concentração de 2,4-D, esteve associada à ausência de formação de calos e à necrose dos explantes (Ferreira *et al.*, 2022). Em *E. edulis* Mart., níveis mais elevados de oxidação em explantes provenientes de plântulas de dois e quatro meses afetaram negativamente a indução embriogênica (De Mello *et al.*, 2024).

A intensidade dessa resposta também pode variar com as características do material vegetal e as condições de cultivo (Ferreira *et al.*, 2022). Em macaúba (*Acrocomia aculeata* [Jacq.] Lodd. ex Mart.), explantes provenientes de plantas de cinco anos apresentaram maior percentual de oxidação, especialmente na maior concentração de picloram, e menor formação de calos embriogênicos (Andrade *et al.*, 2024). O próprio procedimento de desinfestação também pode estar relacionado ao escurecimento dos tecidos: em pupunheira (*Bactris gasipaes*

Kunth), a combinação de 1,25% de NaOCl por 20 minutos proporcionou 90% de explantes livres de contaminação e baixa oxidação (Santos *et al.*, 2010). Em dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.), não foram detectadas diferenças significativas entre os tratamentos para escurecimento ou resposta de crescimento; contudo, os autores registraram ausência de resposta de crescimento nos explantes submetidos a álcool a 80 e 90%, comportamento atribuído à maior toxicidade dessas concentrações (Pratiwi *et al.*, 2021). Assim, os efeitos da oxidação podem variar conforme sua intensidade e as condições às quais o tecido é submetido, o que não implica necessariamente perda da capacidade morfogênica, uma vez que a oxidação leve pode não restringir essa resposta (Ferreira *et al.*, 2022a).

A contaminação microbiana constitui uma importante limitação do cultivo *in vitro*, pois pode comprometer o crescimento e o desenvolvimento dos explantes e, em casos mais severos, impedir seu desenvolvimento (Ilham; Ernayunita; Rahmadi, 2025). No mesmo estudo, em culturas de dendezeiro, foram identificados *Aspergillus* sp. e *Penicillium* sp. entre os contaminantes fúngicos, além de quatro isolados bacterianos Gram-negativos e um Gram-positivo. O controle desses microrganismos, entretanto, requer o ajuste do procedimento de desinfestação de modo a reduzir a contaminação sem comprometer o tecido vegetal. Em pupunheira, o tratamento com 1,25% de NaOCl por 20 minutos proporcionou 90% dos explantes livres de contaminação e baixa oxidação (Santos *et al.*, 2010). Essa necessidade de ajuste também foi observada em dendezeiro, no qual Pratiwi *et al.* (2021) apontaram o álcool a 70% por cinco minutos e o NaOCl a 10% por dez minutos como os tratamentos que conciliaram menor contaminação e escurecimento com manutenção da resposta de crescimento, embora não tenham sido detectadas diferenças estatísticas entre os tratamentos.

Além do estabelecimento asséptico, a eficiência da desinfestação pode repercutir na resposta posterior dos explantes: em tamareira, a melhor formação de calo embriogênico foi obtida no tratamento que apresentou menor contaminação e menor ocorrência de morte dos explantes (Emoghene *et al.*, 2020). A resposta também pode variar conforme o material vegetal e o meio de cultivo. Em *E. precatoria*, Batista, Raposo e Liberato (2017) registraram 20 e 40% de contaminação em explantes foliares cultivados em B&G e MS, respectivamente, enquanto, para os embriões, os percentuais foram de 33 e 40%. Dessa forma, o estabelecimento asséptico em palmeiras requer o ajuste do agente desinfestante, de sua concentração e do tempo de exposição, buscando reduzir a contaminação sem comprometer sua viabilidade e capacidade de resposta dos explantes (Emoghene *et al.*, 2020; Pratiwi *et al.*, 2021).

REFERÊNCIAS

- ABAHMANE, L. Cultivar-dependent direct organogenesis of date palm from shoot tip explants. In: *Date Palm Biotechnology Protocols Volume I: Tissue Culture Applications*. New York: **Springer**, 2017. p. 3-15. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7156-5_1. Acesso em: 02 fev. 2026.
- ABOHATEM, M.; ZOUINE, J.; EL HADRAMI, I. Low concentrations of BAP and high rate of subcultures improve the establishment and multiplication of somatic embryos in date palm suspension cultures by limiting oxidative browning associated with high levels of total phenols and peroxidase activities. **Scientia Horticulturae**, v. 130, p. 344–348, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.06.045>. Acesso em: 24 de jul de 2026.
- AL-MAYAH, A. M. W.; ALI, A. H.; SHAREEF, H. J. Influence of cold pretreatment on shoot regeneration from callus in date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cv. ‘Barhee’. **Journal of Genetic Engineering and Biotechnology**, v. 16, n. 2, p. 607–612, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2018.07.002>. Acesso em: 25 de jul de 2026.
- ANDRADE, A. P. D. S., MOTOIKE, S. Y., KUKI, K. N., DE QUEIROZ, V., MADEIRA, D. D. C., GRANJA, M. M. C., ROCHA, D. I. Explant age and genotype drive the somatic embryogenesis from leaf explants of *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart. (Arecaceae), an alternative palm crop for oil production. **Trees**, v. 38, n. 2, p. 315-326, 2024. Disponível em: <https://doi-org.ez4.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s00468-023-02484-4>. Acesso em: 24 de jul de 2026.
- AGUDELO-MORALES, C.; S.A.S, M.; LERMA, T.; MARTÍNEZ, J.; PALENCIA, M.; COMBATT, E. Phytohormones and plant growth regulators—a review. **J Sci with Technol Appl**, v. 10, p. 27-65, 2021. Disponível em: <https://www.jsta.cl/resource?doi=j.jsta.21.10.66>. Acesso em: 02 fev. 2026.
- ALVES, L.; OLIVEIRA, J.; SANTANA, C.; DIAS, S.; LOBATO, P.; VEIGA, M.; RAMOS, C.; NOGUEIRA, Á. The economic importance of *Euterpe oleracea* Mart. (açaí) for the Arióca Pruanã/Oeiras do Pará extraction reserve. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 15, n. 2, e3508, 2024. Disponível em: <https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/3508>. Acesso em: 31 jan. 2026.
- ARDENGHI, J.; SÁ, R. M.; TEIXEIRA, R. F. M. From the Amazon to the world: environmental and social implications of açaí in the Anthropocene. **Anthropocene**, 2026. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213305426000202>. Acesso em: 13 set. 2026.
- ASGHAR, S.; GHORI, N.; HYAT, F.; LI, Y.; CHEN, C. Use of auxin and cytokinin for somatic embryogenesis in plant: a story from competence towards completion. **Plant Growth Regulation**, v. 99, n. 3, p. 413-428, 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10725-022-00923-9>. Acesso em: 27 jan. 2026.
- BARBOSA, A. M.; CARVALHO JUNIOR, R. N. Food sustainability trends—How to value the açaí production chain for the development of food inputs from its main bioactive ingredients? **Trends in Food Science & Technology**, v. 124, p. 86–95, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.04.005>. Acesso em: 13 set. 2026.

- BARROS, L. S.; SILVA, E. R. R.; MACIEL, M. D. N. M.; MELO, V. S.; CICERELLI, R. E.; ALMEIDA, T. Dispersão espacial de atributos químicos do solo de um açaizeiro na região amazônica. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 45, p. 1-10, 2022. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/6953/695375056014/695375056014.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2025.
- BETTONI, J. C.; WANG, M. R.; WANG, Q. C. *In vitro* regeneration, micropropagation and germplasm conservation of horticultural plants. **Horticulturae**, v. 10, n. 1, p. 45, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-7524/10/1/45>. Acesso em: 31 jan. 2026.
- BIDABADI, S.; JAIN, S. Cellular aspects of *in vitro* plant regeneration. **Plants**, v. 9, n. 6, p. 702, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants9060702>. Acesso em: 01 fev. 2026.
- CARVALHO, J. E. U.; NASCIMENTO, W. M. O. Technological innovations in the propagation of açaí palm and bacuri. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40, n. 1, e-679, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0100-29452018679>. Acesso em: 31 jan. 2026.
- CAVALCANTE, P. **Frutas comestíveis da Amazônia**. 7. ed. Belém: CEJUP; Museu Paraense Emílio Goeldi, 2010.
- DANG, S.; GAO, R.; ZHANG, Y.; FENG, Y. *In vitro* regeneration and its histological characteristics of *Dioscorea nipponica* Makino. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 18436, 2022. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-22986-4>. Acesso em: 27 jan. 2026.
- DELPORTE, F.; PREŤOVÁ, A.; DU JARDIN, P.; WATILLON, B. Morphohistology in wheat embryo cultures. **Protoplasma**, v. 251, n. 6, p. 1455-1470, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00709-014-0647-7>. Acesso em: 01 fev. 2026.
- DAMASCO, G.; ANHALT, M. D.; PERDIZ, R.; WITTMANN, F.; DE ASSIS, R. L.; SCHÖNGART, J.; PIEDADE, M. T.; BACON, C.; ANTONELLI, A.; FINE, P. Certification of açaí agroforestry increases the conservation potential of the Amazonian tree flora. **Agroforestry Systems**, p. 1-10, 2022. DOI: 10.1007/s10457-021-00727-2. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00727-2>. Acesso em: Acesso em 23 mai.2026.
- DE MELLO, T.; SILVA, T. D.; ZANARDO, T. C.; DE ALMEIDA, F. A. N.; OLIVEIRA, L. B.; HEGEDUS, C. E.; ANJOS, B. B. D.; SCHMILDT, E. R.; FERREIRA, A.; DA SILVA FERREIRA, M. F.; LOPES, J. C.; DE FARIAS VIÉGAS AQUIJE, G. M.; OTONI, W.; ALEXANDRE, R. S. Somatic embryogenesis in *Euterpe edulis* Martius is improved by wounding, explant orientation, and suspension culture. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 156, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11240-023-02649-6>. Acesso em: 02 jul. 2026.
- DE MELLO, T., ZANARDO, T. É. C., SILVA, T. D., COSTA, J. S., FAGUNDES, D. P., DE ARAUJO, C. P., ... E ALEXANDRE, R. S. Chronological age, changes in DNA methylation, and endogenous hormone levels of explants promote somatic embryogenesis of *Euterpe edulis* Martius. *Plant Cell Tiss Organ Cult* v. 157, n.38, 2024. Disponível em: <https://doi.org.ez4.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s11240-024-02757-x>. Acesso em: 02 jul. 2026.

EMOGHENE, B. O.; IDU, M.; EKE, C. R.; ASEMOTA, O. Effects of different sterilization regimes & growth regulators on micropropagation of female date palm (*Phoenix dactylifera* L.). **Nigerian Journal of Biotechnology**, v. 37, n. 1, p. 159–168, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.4314/njb.v37i1.17>. Acesso em: 23 jul. 2026.

EMBRAPA. **Área plantada com açaizeiros de terra firme gerados pela pesquisa cresce 675% no Brasil**. Brasília: Embrapa, 2023. EMBRAPA. Área plantada com açaizeiros de terra firme gerados pela pesquisa cresce 675% no Brasil. Disponível em: [Área plantada com açaizeiros de terra firme gerados pela pesquisa cresce 675% no Brasil - Portal Embrapa](#). Acesso em: 14 de nov. de 2025.

FARIAS, J. T.; OLIVEIRA, M. D. S. P.; MULLER, A. A.; NOGUEIRA, O. L.; ANAISSI, D. F. D. S. P. Variabilidade genética em progênies jovens de açaizeiro. **Cerne**, v. 11, n. 4, p. 336–341, 2005. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/744/74411403.pdf>. Acesso em: 31 jan. 2026.

FARIAS NETO, J. T. **BRS Pai d'Égua: cultivar de açaí para terra firme com suplementação hídrica**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2019. (Comunicado Técnico, 317).

FARIAS NETO, J. T.; YOKOMIZO, G. K.-I.; RESENDE, M. D. V. Productive capacity and genetic variation behavior in progenies from irrigated açaí according to plant age. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 14, 2020. Disponível em: <https://revista.ufr.br/agroambiente>. Acesso em: 07 jan. 2026.

FEHÉR, A. Callus and somatic embryogenesis in molecular era. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 536, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00536>. Acesso em: 01 fev. 2026.

FERREIRA, J. C. B.; SILVA-CARDOSO, I.; MEIRA, R.; SCHERWINSKI-PEREIRA, J. Somatic embryogenesis and plant regeneration from zygotic embryos of the palm tree *Euterpe precatoria*. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 148, n. 3, p. 667–686, 2022a. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11240-022-02227-2>. Acesso em: 02 fev. 2026.

FERREIRA, J.; SABINO, W.; GIANNINI, T. C. Valuation of agricultural production and pollination services in palm trees (Arecaceae) in the Amazon forest. **Arthropod-Plant Interactions**, v. 18, p. 425–437, 2024. DOI: 10.1007/s11829-024-10044-x. Disponível em: <https://doi-org.ez4.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s11829-024-10044-x>. Acesso em: Acesso em 20 mai.2026.

FREITAS, E. O. **Embriogênese somática e análises morfoanatômicas e por citometria de fluxo em açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.)**. Orientador: Jonny Everson Scherwinski-Pereira. 2014. 73 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2014. Disponível em: <https://www.repositorio.unb.br/handle/10482/17665>. Acesso em: 28 nov. 2025.

FREITAS, E. O.; MONTEIRO, T. R.; NOGUEIRA, G. F.; SCHERWINSKI-PEREIRA, J. E. Somatic embryogenesis from immature and mature zygotic embryos of the açaí palm (*Euterpe oleracea*). **Scientia Horticulturae**, v. 212, p. 126, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.09.044>. Acesso em: 31 jan. 2026.

FREITAS, E. O.; SILVA-CARDOSO, I. M. A.; FERREIRA, J. C. B.; COSTA, F. H. S.; SCHERWINSKI-PEREIRA, J. E. Somatic embryogenesis in açai palm (*Euterpe oleracea* Mart.). In: **Step Wise Protocols for Somatic Embryogenesis of Important Woody Plants**. Cham: Springer, 2018. p. 267-290. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-79087-9_22. Acesso em: 31 jan. 2026.

GOMES, H.; BARTOS, P.; BALZON, T.; COSTA, F.; AZEVEDO, V.; SILVA-CARDOSO, I.; INGLIS, P.; SCHERWINSKI-PEREIRA, J. Somatic embryogenesis in oil palm from immature leaves. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 156, n. 2, p. 32, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11240-023-02630-3>. Acesso em: 02 fev. 2026.

GOMES, H.; BARTOS, P.; SCHERWINSKI-PEREIRA, J. Dynamics of morphological changes in oil palm during somatic embryogenesis. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 131, n. 2, p. 269-282, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11240-017-1282-8>. Acesso em: 02 fev. 2026.

GEORGE, E.F., HALL, M.A., KLERK, G.J.D. (2008). The Components of Plant Tissue Culture Media I: Macro- and Micro-Nutrients. In: George, E.F., Hall, M.A., Klerk, G.J.D. (eds) *Plant Propagation by Tissue Culture*. **Springer**, Dordrecht 2008. p. 65-113. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5005-3_3. Acesso em: 25 de jul de 2026.

GUAN, Y.; LI, S.; FAN, X.; SU, Z. Application of somatic embryogenesis in woody plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 938, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00938>. Acesso em: 02 fev. 2026.

GUEYE, B.; MORCILLO, F.; COLLIN, M.; GARGANI, D.; OVERVOORDE, P.; ABERLENC-BERTOSSI, F.; TRANBARGER, T. J.; SANÉ, D.; TREGGAR, J. W.; BORGEL, A.; VERDEIL, J.-L. Acquisition of callogenic capacity in date palm leaf tissues in response to 2,4-D treatment. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 99, n. 1, p. 35-45, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11240-009-9573-3>. Acesso em: 04 de jul de 2026.

HASNAIN, A.; NAQVI, S.; AYESHA, S.; KHALID, F.; IQBAL, S.; HASSAN, M. Plants *in vitro* propagation and applications. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 1009395, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1009395>. Acesso em: 01 fev. 2026.
HENDERSON, A.; GALEANO, G. *Euterpe, Prestoea, and Neonicholsonia (Palmae)*. New York: The New York Botanical Garden, 1996. (Flora Neotropica, n. 72).

HOMMA, A. K. O.; NOGUEIRA, O. L.; MENEZES, A. J. E. A.; CARVALHO, J. D.; NICOLI, C. M. L.; MATOS, G. D. Açai: novos desafios e tendências. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, v. 1, n. 2, p. 7-23, 2006. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/578153/1/AcaiDesafiosTendencias.pdf>. Acesso em: 31 jan. 2026.

HUSSAIN, A.; QARSHI, I.; NAZIR, H.; ULLAH, I. Plant tissue culture: current status. In: **Recent Advances in Plant *in vitro* Culture**. IntechOpen, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.5772/50568>. Acesso em: 01 fev. 2026.

ILHAM, M.; ERNAYUNITA; RAHMADI, H. Y. Microorganism identification of contaminant on oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) tissue culture. **Jurnal Penelitian Kelapa**

Sawit, v. 33, n. 1, p. 41–54, 2025. Disponível em:

<https://doi.org/10.22302/iopri.jur.jpks.v33i1.279>. Acesso em: 27 jul. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção Agrícola Municipal 2024**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457#resultado>. Acesso em: 06 jan. 2026.

JARDIM, M. A. G. A cadeia produtiva do açaizeiro para frutos e palmito: implicações ecológicas e socioeconômicas no estado do Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi – Antropologia**, v. 18, n. 2, p. 287-305, 2002.

KHAN, F. S.; LI, Z.; SHI, P.; ZHANG, D.; HTWE, Y.; YU, Q.; WANG, Y. Transcriptional regulations during somatic embryogenesis in coconut. **Forests**, v. 14, n. 9, p. 1800, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/f14091800>. Acesso em: 02 fev. 2026.

KONG, E.; BIDDLE, J.; FOALE, M.; PANIS, B.; ADKINS, S. Potential to propagate coconut clones. **Scientia Horticulturae**, v. 289, p. 110400, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110400>. Acesso em: 02 fev. 2026.

LEDO, A. D. S., LAMEIRA, O. A., BENBADIS, A. K., MENEZES, I. C. D., LEDO, C. A. D. S., OLIVEIRA, M., & DO SOCORRO PADILHA, D. E. Cultura *in vitro* de embriões zigóticos de açaizeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 23, p. 468-472, 2001.

Disponível em:

<https://www.semanticscholar.org/reader/821f3b8098dfaa8d586a025959cdaa67b704e4bf>.

Acesso em: 31 jan. 2026.

LEDO, A. S.; LAMEIRA, O. A.; BENBADIS, A. K.; MENEZES, I. C.; OLIVEIRA, M. S. P.; MEDEIROS FILHO, S. Somatic embryogenesis from zygotic embryos of *Euterpe oleracea* Mart. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, p. 601-603, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452002000300004>. Acesso em: 31 jan. 2026.

LINDOLFO, M. M.; MATOS, G. S. B.; PEREIRA, W. V. S.; FERNANDES, A. R. Productivity and nutrition of fertigated açai palms according to boron fertilization. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 42, n. 2, e-601, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0100-29452020601>. Acesso em: 09 nov. 2025.

LIU, C.; FAN, H.; ZHANG, J.; WU, J.; ZHOU, M.; CAO, F.; TAO, G.; ZHOU, X. Combating browning: mechanisms and management strategies in *in vitro* culture of economic woody plants. **Forestry Research**, v. 4, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.48130/forres-0024-0026>. Acesso em: 04 jul. 2026.

LONG, Y.; YANG, Y.; PAN, G.; SHEN, Y. Insights into tissue culture regeneration. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 926752, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.926752>. Acesso em: 01 fev. 2026.

LOYOLA-VARGAS, V.; OCHOA-ALEJO, N. Somatic embryogenesis: an overview. In: *Somatic Embryogenesis: Fundamental Aspects and Applications*. Cham: Springer, 2016. p. 1-8. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-33705-0_1. Acesso em: 02 fev. 2026.

MATOS, C. B. E.; SAMPAIO, P.; RIVAS, A. A. A.; MATOS, J. C. S.; HODGES, D. G. Economic profile of two species of genus *Euterpe*. **International Journal of Environment**,

Agriculture and Biotechnology, v. 2, n. 4, p. 1822-1828, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.22161/ijeab/2.4.46>. Acesso em: 07 jan. 2026.

MAZRI, M.; MEZIANI, R.; BELKOURA, I.; MOKHLESS, B.; NOUR, S. Combined pathway for propagation in date palm. **3 Biotech**, v. 8, n. 4, p. 215, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13205-018-1235-x>. Acesso em: 02 fev. 2026.

MEHBUB, H.; AKTER, A.; AKTER, A.; MANDAL, M. S. N.; HOQUE, M. A.; TULEJA, M.; MEHRAJ, H. Tissue culture in ornamentals: cultivation factors, propagation techniques, and its application. **Plants**, v. 11, 3208, 2022. DOI: 10.3390/plants11233208. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants11233208>. Acesso em: Acesso em 26 jun. 2026.

MEZIANI, R.; JAITI, F.; MAZRI, M. A.; HASSANI, A.; BEN SALEM, S.; ANJARNE, M.; AIT CHITT, M.; ALEM, C. Organogenesis of *Phoenix dactylifera* L. cv. Mejhoul: influences of natural and synthetic compounds on tissue browning, and analysis of protein concentrations and peroxidase activity in explants. **Scientia Horticulturae**, v. 204, p. 145–152, 2016. Disponível em: <https://doi-org.ez4.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.scienta.2016.04.009>. Acesso em: 25 de jul de 2026.

MURASHIGE, T.; SKOOG, F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. **Physiologia Plantarum**, v. 15, p. 473-497, 1962. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>. Acesso em: 25 jan. 2025.

NASCIMENTO, W. M. O.; CICERO, S. M.; NOVENBRE, A. D. Conservação de sementes de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, p. 24-33, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbs/a/BpDj4NrFRBcnQ6qkpp3dRh/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 18 nov. 2025.

NASCIMENTO, W. M. O.; CARVALHO, J. E. U.; OLIVEIRA, M. **Produção de mudas de açaizeiro a partir de perfilhos**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2011. (Comunicado Técnico, 231).

NASCIMENTO, W. M. O.; SILVA, W. R. Comportamento fisiológico de sementes de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) submetidas à desidratação. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, p. 349-351, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/3PQ5dH5CGTq5JvLgMyc9Mcg/?lang=pt>. Acesso em: 18 nov. 2025.

NIMAVAT, N.; PARIKH, P. Innovations in date palm (*Phoenix dactylifera* L.) micropropagation: detailed review of *in vitro* culture methods and plant growth regulator applications. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 159, n. 1, p. 6, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11240-024-02866-7>. Acesso em: 02 fev. 2026.

NOGUEIRA, O. L.; FIGUEIREDO, J. F. C.; MÜLLER, A. A. (ed.). **Açaí**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2005.

OLIVEIRA, M.; FARIAS NETO, J. T.; MATTIETTO, R. D. A.; MOCHIUTTI, S.; CARVALHO, A. **Açaí: *Euterpe oleracea***. Buenos Aires: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura/PROCISUR, 2017.

OLIVEIRA, M. S. P.; CARVALHO, J. E. U.; NASCIMENTO, W. M. O.; MULLER, C. H. **Cultivo do açaizeiro para produção de frutos**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2002. (Circular Técnica, 26).

OLIVEIRA, M. S. P.; MATTIETTO, R. A.; DOMINGUES, A. F. N.; CARVALHO, A. V.; OLIVEIRA, N. P.; FARIAS NETO, J. T. *Euterpe oleracea* e *E. precatoria*. In: CORADIN, L.; CAMILLO, J.; VIEIRA, I. C. G. (ed.). **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro – região Norte**. Brasília: MMA, 2022a. p. 1199-1214.

OLIVEIRA, M.; OLIVEIRA, N. P.; DOMINGUES, A.; MATTIETTO, R. A.; TEIXEIRA, D.; FARIAS NETO, J. T. *Euterpe oleracea* e *E. precatoria*: açaí. In: CORADIN, L.; CAMILLO, J.; VIEIRA, I. C. G. (ed.). **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro – região Norte**. Brasília: MMA, 2022b. p. 379-393.

OLIVEIRA, M. S. P.; NAVEGANTES, P.; COSTA, L. J. **Obtenção de pólen e polinização controlada em espécies do gênero *Euterpe***. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2019. (Documentos, 450).

PASTERNAK, T. P.; STEINMACHER, D. Plant growth regulation in cell and tissue culture *in vitro*. **Plants**, v. 13, n. 2, p. 327, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants13020327>. Acesso em: 02 fev. 2026.

PRATIWI, D. R.; WENING, S.; NAZRI, E.; YENNI, Y. The use of alcohol and sodium hypochlorite as single sterilizing agents for oil palm explant sterilization. **Jurnal Penelitian Kelapa Sawit**, v. 29, n. 1, p. 1–10, 2021. Disponível em: [10.22302/iopri.jur.jpks.v29i1.120](https://doi.org/10.22302/iopri.jur.jpks.v29i1.120). Acesso em: 24 de jul de 2026.

PEREIRA, J. A. F.; COUTINHO, Í. A. C.; SOARES, E. L.; SOARES, A. A.; CAETANO, A. P. S.; CAMPOS, F. A. P. Morphoanatomical and histochemical studies of the seed development of *Euterpe oleracea* (Arecaceae). **Rodriguésia**, v. 72, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2175-7860202172048>. Acesso em: 07 jan. 2026.

PESCE, C. **Oleaginosas da Amazônia**. 2. ed. rev. e atual. Belém: Núcleo de Estudos Agrários e Desenvolvimento Rural, 2009.

PHILLIPS, G. C., GARDA, M. Plant tissue culture media and practices: an overview. **In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant**, V. 55, p. 242-257, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11627-019-09983-5>. Acesso em: 25 de jul de 2026.

ROCHA, S. Y. N.; FERREIRA, M. J.; CLEMENT, C. R.; LOPES, R. Systematic review of the state of knowledge about açaí-do-Amazonas. **Plants**, v. 14, p. 2439, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants14152439>. Acesso em: 29 jun. 2025.

ROMYANON, K.; MOSALEEYANON, K.; KIRDMANEE, C. Direct-shoot organogenesis in oil palm. **Scientia Horticulturae**, v. 195, p. 1-7, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.038>. Acesso em: 02 fev. 2026.

SALDANHA, C. W., MARTINS-CORDER, M. P., STEINMACHER, D., GUERRA, M. P. *In vitro* morphogenesis in zygotic embryos and leaf sheaths of *Euterpe edulis* Martius (Arecaceae). **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 6, p.228-235, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.12702/1984-7033.v06n03a07>. Acesso em: 24 de jul de 2026.

SANÉ, D.; ABERLENC-BERTOSSI, F.; GASSAMA-DIA, Y.; SAGNA, M.; TROUSLOT, M.; DUVAL, Y.; BORGEL, A. Histocytological analysis of callogenesis and somatic embryogenesis from cell suspensions of date palm. **Annals of Botany**, v. 98, n. 2, p. 301-308, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/aob/mcl104>. Acesso em: 02 fev. 2026.

SANTOS, M. R. A. dos; FERREIRA, M. das G. R.; CORREIA, A. de O.; ROCHA, J. F. da. *In vitro* establishment and callogenesis in shoot tips of peach palm. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 1, p. 40–44, 2010. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/878759/1/INVITROESTABLISHMENT.pdf>. Acesso em: 23 de jul de 2026.

SCHERWINSKI-PEREIRA, J. E.; GUEDES, R. S.; SILVA, R. A.; FERMINO JÚNIOR, P. C. P.; LUIS, Z. G.; FREITAS, E. O. Somatic embryogenesis and plant regeneration in açai palm (*Euterpe oleracea*). **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 109, n. 3, p. 501-508, 2012. Disponível em: <https://doi-org.ez4.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s11240-012-0115-z>. Acesso em: 31 jan. 2026.

SIDIK, N.; AGHA, H.; ALKAMIL, A.; ALSAYADI, M.; MOHAMMED, A. Mini review of plant tissue culture. **AUIQ Complementary Biological System**, v. 1, n. 2, p. 96-109, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.70176/3007-973x.1019>. Acesso em: 01 fev. 2026.

SILVA-CARDOSO, I. M. A.; MEIRA, F. S.; GOMES, A. C. M. M.; SCHERWINSKI-PEREIRA, J. E. Histology, histochemistry and ultrastructure of pre-embryogenic cells in *Syagrus oleracea*. **Physiologia Plantarum**, v. 168, n. 4, p. 845-875, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ppl.13026>. Acesso em: 02 fev. 2026.

SILVA-CARDOSO, I. M. A.; MEIRA, F. S.; SCHERWINSKI-PEREIRA, J. E. The maturity level of explant plays a key role in somatic embryogenesis of the palm tree *Syagrus oleracea* [Mart.] Becc. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 44, n. 8, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11738-022-03420-8>. Acesso em: 29 jun de 2026.

SILVA, R. G. C.; SEVALHO, E. S.; MIRANDA, I. P. A. Potencial bioeconômico de palmeiras e seus recursos naturais no Amazonas. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 11, p. 102019–102041, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n11-057>. Acesso em: 13 set. 2026.

SOLANGI, N.; MIRANI, A.; JATOI, M.; ABUL-SOAD, A.; BHANBHRO, L.; MARKHAND, G. Field evaluation of tissue culture-derived date palm. **Frontiers in Plant Science**, v. 16, p. 1516983, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1516983>. Acesso em: 01 fev. 2026.

SOUZA, P. A.; SANTOS, A. F.; GONÇALVES, D. S.; VENTURIN, N. Efeito da reidratação na germinação de sementes de açai. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, n. 2, p. 286-291, 2018. Disponível em: <https://www.revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/8394>. Acesso em: 18 nov. 2025.

SULAKSONO, G.; HASMEDA, M.; HANUM, L.; WENDRA, F.; SANTIKA, B. Effect of media and plant growth regulator on proliferation of somatic embryogenic callus of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). **AGRIVITA Journal of Agricultural Science**, v. 46, n. 2, p. 367–

379, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.17503/agrivita.v46i2.4234>. Acesso em: 14 set. 2026.

TAHA, R.; ALLAM, M.; HASSAN, S.; BAKR, B.; HASSAN, M. Thidiazuron-induced organogenesis from date palm. **Journal of Genetic Engineering and Biotechnology**, v. 19, n. 1, p. 14, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s43141-021-00115-4>. Acesso em: 02 fev. 2026.

TAVARES, G. S.; HOMMA, A. K. O.; MENEZES, A. A.; PALHETA, M. P. Análise da produção e comercialização de açaí no estado do Pará, Brasil. In: HOMMA, A. K. O. (ed.). **Sinergias de mudança da agricultura amazônica: conflitos e oportunidades**. Brasília: Embrapa, 2022. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1143144/1/LV-Sinergias-446-465.pdf>. Acesso em: 09 nov. 2025.

TAVARES, M. S. **Fenologia, viabilidade do pólen, emergência de semente e conteúdo de DNA nuclear de açaizeiros (*Euterpe spp.*)**. Orientadora: Maria Teresa Gomes Lopes. Coorientadores: Ricardo Lopes; Marcelo Domingues Martins Raizer. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2020. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1138043/1/Dissertacao-MarlesonTavares-PPGCIFA.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2025.

TELGAD, P. Plant growth regulators (PGRs) and their applications: a review. **Journal of Survey in Fisheries Sciences**, v. 12, n. 2, 2025. Disponível em: <https://sifisherliessciences.com/index.php/journal/article/view/3766>. Acesso em: 02 fev. 2026.

THAKUR, S.; HASHMI, S.; MISHRA, S.; EKKA, S.; KUSHWAHA, A.; KUJUR, R. Review on plant tissue culture. **Asian Journal of Biology**, v. 20, n. 2, p. 14-18, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.9734/ajob/2024/v20i2387>. Acesso em: 01 fev. 2026.

THOMAS, T. D. The role of activated charcoal in plant tissue culture. **Biotechnology Advances**, v. 26, p. 618–631, 2008. Disponível em: [10.1016/j.biotechadv.2008.08.003](https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.08.003). Acesso em: 25 de jul de 2026.

VERMA, V.; RAVINDRAN, P.; KUMAR, P. Plant hormone-mediated regulation of stress responses. **BMC Plant Biology**, v. 16, n. 1, p. 86, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12870-016-0771-y>. Acesso em: 02 fev. 2026.

WECKX, S.; INZÉ, D.; MAENE, L. Tissue culture of oil palm: finding the balance between mass propagation and somaclonal variation. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00722>. Acesso em: 05 jul. 2026.

YAMAGUCHI, K. K. L.; PEREIRA, L. F. R.; LAMARÃO, C. V.; LIMA, E. S.; VEIGA JÚNIOR, V. F. Amazon açaí: chemistry and biological activities: a review. **Food Chemistry**, v. 179, p. 137-151, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814615000576>. Acesso em: 06 jan. 2026.

YOKOMIZO, G. K.-I.; SANTOS, G. R.; FURTADO, R. G.; BRANDÃO, A. P.; COLARES, I. B. Desempenho de progênies de açaizeiros. **Revista de Agricultura**, v. 88, n. 1, p. 1-11, 2013. Disponível em: <https://bdpa.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 06 jan. 2026.

YIRMİBEŞ, B.; LACHIN, A.; ÜLGER, N.; KARAÇAM, E. The utilization of plant growth regulators (PGRs) in agricultural application and the effecting mechanisms. **Research in Agricultural Sciences**, v. 56, n. 2, p. 180-185, 2025. Disponível em: <https://dergipark.org.tr/en/pub/agricultureatauni/article/1540336>. Acesso em: 27 jan. 2026.

3. RESPOSTA MORFOGÊNICA DE EXPLANTES DE AÇAIZEIRO PARA REGENERAÇÃO DE PLANTAS *IN VITRO*

3.1. INTRODUÇÃO

A região amazônica abriga uma diversidade de espécies frutíferas, entre as quais se destacam as palmeiras (Arecaceae), reconhecidas por sua importância ecológica, econômica e social, uma vez que fornecem alimentos, matérias-primas e outros recursos de interesse humano (Muscarella *et al.*, 2020; Rocha; Silva, 2005; Salm; Jardim; Albernaz, 2011). Dentre elas, o açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) destaca-se como um dos principais produtos agrícolas da Região Norte do Brasil, especialmente no estado do Pará, onde possui importância cultural, alimentar e econômica consolidada (Muscarella *et al.*, 2020; Oliveira *et al.*, 2019).

Em virtude da demanda por frutos e derivados de açaí, intensificou-se a necessidade de sistemas produtivos mais eficientes e voltados ao cultivo em escala comercial, refletida na expansão de açaizais manejados em áreas de terra firme, com práticas como a irrigação (Farias Neto *et al.*, 2011; Freitas *et al.*, 2016) e o uso de cultivares melhoradas, a exemplo da BRS Pará (Oliveira e Farias Neto, 2004) e BRS Pai d'Égua (Farias Neto, 2019) adaptadas às condições de terra firme. Apesar desses avanços, a propagação do açaizeiro ainda representa uma limitação para a produção de mudas em grande escala, uma vez que permanece predominantemente dependente de sementes, resultando em populações geneticamente heterogêneas e pouco uniformes (Farias Neto *et al.*, 2005; Nogueira *et al.*, 2005; Yokomizo *et al.*, 2013).

Diante dessas limitações, as técnicas de cultivo *in vitro* surgem como uma estratégia biotecnológica promissora para a propagação do açaizeiro, com aplicações potenciais na produção de mudas, conservação de germoplasma e melhoramento genético. Na cultura de tecidos, a regeneração vegetal pode ocorrer pelas vias morfogênicas de organogênese e embriogênese somática (Bettoni; Wang; Wang, 2024). Nesse contexto, a embriogênese somática, sobretudo a partir de embriões zigóticos, tem sido a via mais investigada para a espécie, com estudos envolvendo a regeneração de plântulas e a indução de estruturas embriogênicas (Lédo *et al.*, 2002; Scherwinski-Pereira *et al.*, 2012; Freitas *et al.*, 2016; Freitas *et al.*, 2018).

O sucesso dessas vias de regeneração é condicionado pelo tipo de explante, pelas condições de cultivo, pela composição do meio e pelo tipo e pela concentração dos reguladores de crescimento utilizados (Mehbub *et al.*, 2022). Auxinas e citocininas exercem papel central nos processos de regeneração vegetal e, conforme o tipo, a concentração e a combinação

empregados, podem direcionar diferentes respostas morfogênicas (Long *et al.*, 2022; Pasternak; Steinmacher, 2024). Em *E. oleracea*, essa influência é observada tanto em relação ao explante quanto aos reguladores de crescimento: diferentes tipos de explantes apresentam respostas embriogênicas distintas (Freitas *et al.*, 2018), enquanto a formação de calos embriogênicos varia de acordo com o tipo e a concentração da auxina utilizada (Scherwinski-Pereira *et al.*, 2012; Freitas *et al.*, 2016).

Apesar desses avanços, a predominância do uso de embriões zigóticos nos estudos com o gênero *Euterpe* reforça a necessidade de explorar outras fontes de explantes, a fim de ampliar a compreensão do potencial regenerativo de *E. oleracea*. Além disso, limitações como contaminação, oxidação e baixa responsividade dos tecidos ainda representam entraves ao estabelecimento de protocolos eficientes de cultivo *in vitro* em palmeiras. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o potencial morfogênico no cultivo *in vitro* de embriões zigóticos, explantes foliares e ápices caulinares de açaí sob diferentes concentrações de auxinas (ácido naftalenoacético, NAA; e ácido 2,4-diclorofenoxiacético, 2,4-D) e de citocinina (6-benzilaminopurina, BAP).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Material Vegetal e obtenção dos explantes

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Biotecnologia, da Universidade Federal Rural da Amazônia (Belém, Brasil), sendo dividido em quatro experimentos independentes. Nos Experimentos I e II foram utilizados embriões zigóticos imaturos (iZE) como explantes, os quais foram obtidos de frutos verdes coletados de plantas adultas de populações naturais em Belém, Brasil. Nos Experimentos III e IV foram utilizados fragmentos foliares e ápices caulinares obtidos de plântulas produzidas em casa de vegetação a partir de sementes da cultivar BRS-Pai d'égua. Importante ressaltar que o uso de materiais vegetais diferentes foi decorrente da disponibilidade de sementes na ocasião da instalação dos referidos experimentos.

A obtenção dos iZE para os Experimentos I e II foi realizada a partir de frutos imaturos de açaí coletados aleatoriamente de palmeiras adultas em Belém, Brasil. Os frutos verdes foram destacados dos cachos, lavados em água corrente e detergente neutro, imersos em solução de etanol 70% (v/v) por 5 min e em solução de 2–2.5% hipoclorito de sódio por 30 min. Após lavagem em água destilada autoclavada, os frutos foram incubados por 48 h em água destilada autoclavada para amolecer o tegumento e permitir a secção do fruto. A temperatura inicial da água foi de 40 °C, resfriando naturalmente à temperatura ambiente (~25 °C) ao longo do tempo

de incubação. Posteriormente, em câmara de fluxo laminar, os frutos foram incubados em etanol 70% (v/v) por 5 min e depois incubados em 5–6% (v/v) hipoclorito de sódio acrescido de quatro gotas de Tween 20®, sob agitação, por 30 min. Os frutos foram transferidos para uma solução fungicida de 1% Benomyl (v/v) por 5 min e em seguida enxaguados três vezes em água destilada autoclavada. Por fim, os frutos foram segmentados e os iZE obtidos foram submetidos a desinfecção adicional por 1 min em etanol 70% (v/v) e 1 min em 2–2,5% (v/v) hipoclorito de sódio, seguindo-se de três lavagens em água destilada autoclavada antes das inoculações nos meios de cultura.

Para os Experimentos III e IV, sementes de açaí da cultivar BRS Pai d'Égua foram semeadas em bandejas de polietileno preenchidas com vermiculita como substrato. As bandejas foram dispostas em casa de vegetação e a irrigação foi realizada diariamente ou a cada dois dias a fim de manter o substrato umedecido, mas sem encharcamento. Após três meses da emergência, as plântulas foram coletadas e as raízes separadas. A parte aérea foi lavada em água corrente e detergente neutro e depois levada à câmara de fluxo laminar, onde a assepsia foi realizada pela incubação em etanol 70% (v/v) por 5 min, passando para 5–6% (v/v) hipoclorito de sódio acrescido de quatro gotas Tween 20® por 30 minutos sob agitação e posteriormente em solução fungicida de 1% Benomyl (v/v) por 5 min. Por fim, o material vegetal foi lavado três vezes em água destilada autoclavada seguindo-se da remoção das folhas até a obtenção do ápice caulinar. Das folhas foram obtidos os segmentos foliares de 1 cm de comprimento. Esses explantes foram submetidos a mais uma série de desinfecção em etanol 70% (v/v), 2–2,5% (v/v) hipoclorito de sódio e 1% (v/v) Benomyl, com incubações de 1 min em cada solução, seguindo-se de três lavagens em água destilada autoclavada antes das inoculações nos meios de cultura.

4.2. Meio de cultura e condições de cultivo

Após o procedimento de assepsia, os explantes foram cultivados em tubos de ensaio de 150 mL contendo 15 mL de meio MS (Murashige & Skoog 1962), suplementados com 30 g L⁻¹ de sacarose, 2 g L⁻¹ de carvão ativado e com os reguladores de crescimento de acordo com cada experimento conforme descrito na Tabela 1. O pH foi ajustado para 5,8 antes da adição de 2 g L⁻¹ de Phytigel®. Os meios de cultura foram autoclavados por 20 min a 121 °C e 1 atm. Em seguida, os explantes foram inoculados nos respectivos meios de cultura conforme cada tratamento de cada experimento.

Os tubos referentes aos Experimentos I e IV foram dispostos em sala de crescimento a 25 ± 2 °C e fotoperíodo de 16 h, provido por lâmpadas fluorescentes. Para os Experimentos II e III, os tubos foram dispostos na mesma sala de crescimento, porém, na ausência de luz por

oito semanas até serem expostos ao mesmo fotoperíodo e intensidade de luz dos Experimentos I e IV.

Os Experimentos I, II e III foram realizados em delineamento inteiramente casualizado cujos tratamentos corresponderam as doses do regulador de crescimento utilizado (BAP ou 2,4 D; Tabela 1). O Experimento IV foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 2, resultante da combinação de quatro doses de BAP e duas doses de NAA (Tabela 1). Todos os experimentos foram realizados com dez repetições por tratamento, sendo cada repetição constituída por um tubo contendo um explante.

Tabela 1. Reguladores de crescimento e concentrações utilizadas nos Experimentos I, II, III e IV.

Experimento	Explante	Regulador de crescimento	Concentração (mg L ⁻¹)
I	Embriões zigóticos imaturos	BAP	0; 1 e 2
II	Embriões zigóticos imaturos	2,4-D	0; 5 e 10
III	Segmento foliar	2,4-D	0; 2,5; 5; 7,5; 10; 12,5 e 15
IV	Ápice caulinar	Controle	0
		BAP	2,5; 5; e 7,5
		NAA	0,1
		BAP + NAA	2,5+0,1; 5+0,1; 7,5+0,1

4.3. Avaliação dos experimentos

Todos os experimentos foram avaliados ao final de 150 dias de cultivo por meio da determinação das seguintes variáveis: Experimento I: porcentagens de embriões que apresentaram indução de brotações, indução de gemas, indução apenas de radícula, indução apenas de parte aérea (PA), indução de radícula e PA, e porcentagem de embriões sem indução de estruturas visíveis (embriões não responsivos). Experimento II: porcentagens de embriões que apresentaram indução de calos, de embriões somáticos, indução apenas de radícula, indução apenas de PA, indução de radícula e PA, e porcentagem de embriões não responsivos. Experimento III: porcentagens de segmentos foliares que apresentaram indução de calos, de calos embriogênicos, de embriões somáticos, e porcentagem de embriões não responsivos. Experimento IV: porcentagens de ápices caulinares que apresentaram indução de brotações, de gemas, indução apenas de radícula, indução apenas de PA, indução de radícula e PA, porcentagem de ápices caulinares que apresentaram alongamento apical, e porcentagem de ápices não responsivos.

4.4. Análise Estatística

As variáveis avaliadas foram de natureza binária, sendo os eventos para cada unidade experimental registrados como ausência (0) ou presença (1). Assim, os dados foram analisados por meio de Modelos Lineares Generalizados (GLM), assumindo distribuição binomial e função de ligação logit, conforme proposto por McCullagh e Nelder (1989).

A significância do efeito dos tratamentos foi avaliada por meio da análise de Deviance, utilizando o teste da razão de verossimilhança (*Likelihood Ratio Test*), obtido pela comparação entre o modelo completo e o modelo nulo. A deviance constitui uma medida análoga à soma de quadrados residual empregada em modelos lineares clássicos, sendo amplamente recomendada para variáveis binomiais por não exigir pressupostos de normalidade e homogeneidade de variâncias (Dobson & Barnett, 2018).

Quando identificado efeito significativo dos tratamentos ($p \leq 0,05$), foram estimadas as probabilidades de ocorrência dos eventos para cada tratamento por meio das médias marginais estimadas (Estimated Marginal Means – EMMs). As comparações múltiplas entre tratamentos foram realizadas utilizando contrastes pareados com ajuste de Tukey para controle da taxa de erro do tipo I. Nos casos em que a variável apresentou frequências extremas (0% ou 100% de ocorrência em um ou mais tratamentos), situação que pode ocasionar separação completa ou quase completa dos dados e comprometer a estabilidade dos contrastes baseados em razões de chances, a interpretação dos resultados foi fundamentada prioritariamente na significância global da Análise de Deviance e nas proporções observadas, procedimento recomendado para dados binomiais com baixa frequência de eventos (Agresti, 2013).

Para fins de apresentação dos resultados, os tratamentos foram agrupados por letras. Tratamentos que compartilharam a mesma letra foram considerados estatisticamente semelhantes, enquanto tratamentos identificados por letras distintas foram considerados diferentes ao nível de 5% de probabilidade. Quando a Análise de Deviance não indicou efeito significativo dos tratamentos ($p > 0,05$), todos os tratamentos foram representados pela mesma letra.

Todas as análises foram realizadas no software R (v. 4.3.3, R Core Team, 2025).

5. RESULTADOS

5.1. Experimento I- embriões zigóticos imaturos cultivados na presença de BAP

Não foram observadas induções de gemas ou brotações adventícias em nenhum dos tratamentos. Em termos absolutos, 10% dos explantes cultivados na presença de 2 mg L⁻¹ de

BAP apresentaram indução apenas de radícula (Fig. 1A), enquanto 10% dos explantes apresentaram indução apenas de PA nos tratamentos com 0 e 1 mg L⁻¹ de BAP (Fig. 1B). A indução de radícula e parte aérea pelo mesmo explante foi observada em 30% dos iZE na presença de 1 mg L⁻¹ de BAP (Fig. 1C). Imagens representativas dos iZE apresentando, ao final dos 150 dias de experimento, apenas indução de radícula, apenas indução de parte aérea e indução de radícula + parte aérea são apresentadas na Figura 2. Além disso, foi observada uma alta porcentagem de iZE que não apresentaram respostas (Fig. 1D).

Em termos estatísticos, a análise de deviance dos GLM não indicou diferenças significativas para indução somente de radícula ($\chi^2 = 2,27$ e $p = 0,322$) e nem para a indução somente de PA ($\chi^2 = 1,69$ e $p = 0,429$) (Tabela 2). Aos explantes sem resposta visível (Fig. 1D), também não houve efeito significativo dos tratamentos ($\chi^2 = 1,11$ e $p = 0,574$) (Tabela 2). O tratamento 0 mg L⁻¹ apresentou 70% de embriões sem resposta, enquanto os tratamentos 1 e 2 mg L⁻¹ BAP apresentaram 50% de embriões sem resposta (Tabela 3). Em contraste, a GLM indicou efeito global significativo dos tratamentos para explantes que apresentaram indução de radícula e PA ($\chi^2 = 7,29$ e $p = 0,026$; Tabela 2). No entanto, as comparações pareadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade não evidenciaram diferenças significativas entre as concentrações de BAP (Fig. 1). As probabilidades estimadas também não mostraram aumento progressivo das respostas com o incremento da concentração de BAP. Para a emissão de radícula e parte aérea, a resposta ficou concentrada em 1 mg L⁻¹ de BAP (IC 95% de 0,10–0,62), enquanto a emissão apenas de radícula foi observada na maior concentração 2 mg L⁻¹ de BAP (IC 95% de 0,01 –0,47). Por outro lado, a emissão apenas de PA nessa concentração não foi registrada, ficando restrita aos tratamentos com 0 e 1 mg L⁻¹ de BAP, ambos com IC 95% de 0,0–0,47, não sendo registrada na maior concentração (Tabela 3).

Figura 1. Efeito de diferentes concentrações de BAP (0; 1; e 2 mg L⁻¹) na porcentagem de embriões zigóticos imaturos de açaí que apresentaram indução somente de radícula (A), somente de parte aérea (B), de radícula e parte aérea (C) e porcentagem de embriões não-responsivos (D). Os dados foram obtidos ao final de 150 dias de experimento e cada tratamento foi formado por dez repetições.

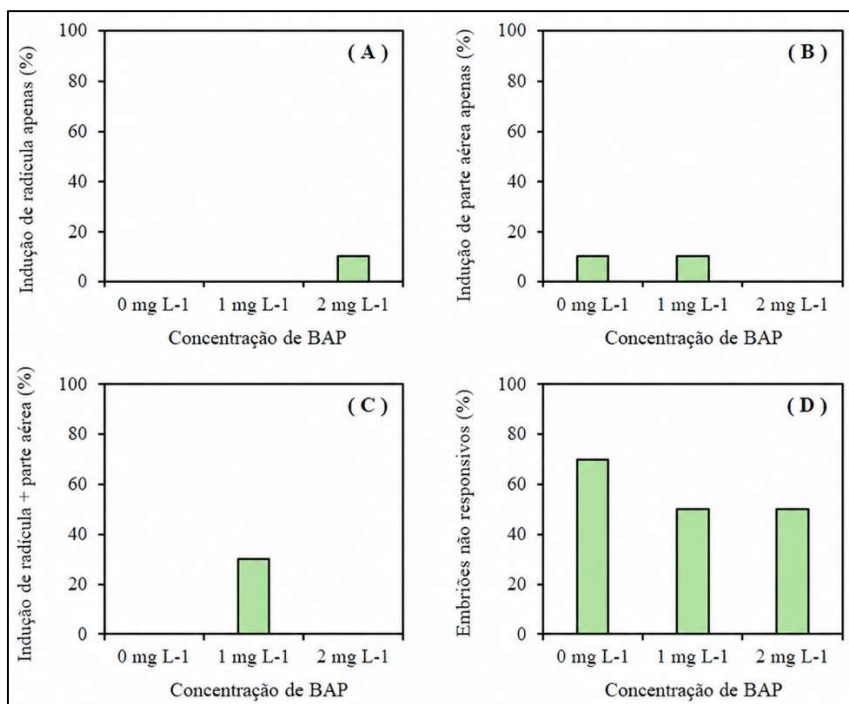
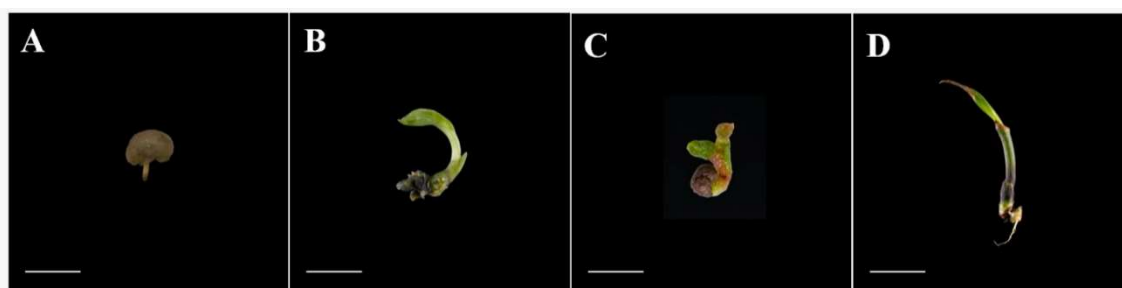


Figura 2. Embriões zigóticos imaturos de açaí apresentando apenas indução de radícula sob 2 mg L⁻¹ BAP (A), de parte aérea sob 0 (B) e 1 mg L⁻¹ BAP (C) e de radícula + parte aérea sob 1,0 mg L⁻¹ BAP (D). As imagens foram obtidas ao final dos 150 dias de experimento. As barras nas imagens correspondem a 1 cm.



Fonte: Autora

Tabela 2. Análise de modelos lineares generalizados (GLM) para a estimativa da deviança (χ^2), grau de liberdade (GL) e significância (p-valor) referente ao efeito das concentrações de BAP no desenvolvimento de estruturas a partir de embriões zigóticos imaturos de açaí.

Variável	χ^2	GL	p-valor	Efeito do tratamento
Apenas radícula	2,27	2	0,322	Não significativo
Apenas parte aérea	1,69	2	0,429	Não significativo
Radícula + parte aérea	7,29	2	0,026	Significativo
Explantos sem resposta	1,11	2	0,574	Não significativo

Tabela 3. Probabilidades estimadas e intervalo de confiança ($\pm$ IC 95%) para o efeito das concentrações de BAP no desenvolvimento de estruturas a partir de embriões zigóticos imaturos de açaí.

Variável	BAP		
	0 mg L ⁻¹	1 mg L ⁻¹	2 mg L ⁻¹
Apenas radícula	0,00	0,00	0,10 (0,01 – 0,47)
Apenas parte aérea	0,10 (0,01 – 0,47)	0,10 (0,01 – 0,47)	0,00
Radícula + parte aérea	0,00	0,30 (0,10 – 0,62)	0,00
Explantos sem resposta	0,70 (0,38 – 0,90)	0,50 (0,23 – 0,78)	0,50 (0,23 – 0,78)

5.2. Experimento II- embriões zigóticos imaturo cultivados na presença de 2,4 D

Em termos absolutos, a indução de calos foi observada em apenas 10% dos explantes dos tratamentos 0 e 10 mg L⁻¹ de 2,4-D (Fig. 3A). A emissão somente de radícula foi observada em 10% dos embriões cultivados em presença de 5 mg L⁻¹ de 2,4-D (Fig. 4B), enquanto a emissão somente de PA foi de 30% nos embriões do tratamento controle (0 mg L⁻¹ 2,4-D) e de 20% nos embriões dos tratamentos 5 e 10 mg L⁻¹ de 2,4-D (Fig. 4C). A indução de radícula + PA foi observada em 20% dos iZE cultivados nas concentrações de 0 e 5 mg L⁻¹ de 2,4-D (Fig. 4D). Foi ainda observado que 30% dos embriões dos tratamentos 0 e 5 mg L⁻¹ de 2,4-D e 60% dos embriões cultivados na presença de 10 mg L⁻¹ não apresentaram resposta alguma (Fig. 4E). As imagens representativas de iZE que apresentaram indução de calos, de radícula, de parte aérea, e de radícula e parte aérea cultivados na ausência e na presença de 5 e 10 mg L⁻¹ 2,4 D são apresentadas na Figura 5.

Em termos estatísticos, a análise de deviance dos GLM não indicou diferenças significativas para formação de calos ($\chi^2 = 1,69$ e $p = 0,429$), indução apenas de radícula ($\chi^2 = 2,27$ e $p = 0,322$), emissão apenas de PA ($\chi^2 = 0,360$ e $p = 0,834$), indução de radícula + PA ($\chi^2 = 3,540$ e $p = 0,170$) e nem para explantes sem resposta ($\chi^2 = 2,490$ e $p = 0,289$) (Tabela 4). As probabilidades estimadas também não mostraram aumento progressivo das respostas com o incremento da concentração de 2,4-D. A formação de calos concentrou-se nas concentrações extremas no controle e 10 mg L⁻¹ (IC 95%: 0,01–0,47), enquanto a emissão apenas de radícula ficou restrita a dose intermediária de 5 mg L⁻¹ (IC 95%: 0,10–0,62). Para emissão apenas de PA foi favorecida no controle (IC 95%: 0,10–0,62), enquanto a emissão de radícula e parte aérea ocorreu nas menores concentrações - controle e 5 mg L⁻¹ (IC 95%: 0,05–0,54). Em contrapartida, a maior concentração (10 mg L⁻¹) elevou a proporção de explantes sem resposta, cuja incerteza foi refletida pela maior dispersão no intervalo de confiança (IC 95%: 0,30–0,84),

enquanto as demais variáveis mantiveram faixas mais estreitas (IC 95%: 0,01–0,47 a 0,05–0,54) (Tabela 5).

Figura 3. Efeito de diferentes concentrações de 2,4 D (0; 5; e 10 mg L⁻¹) na porcentagem de embriões zigóticos imaturos de açaí que apresentaram indução de calos (A), indução somente de radícula (B), indução somente de parte aérea (C), indução de radícula + parte aérea (D) e porcentagem de embriões não-responsivos (E). Os dados foram obtidos ao final de 150 dias de experimento e cada tratamento foi formado por dez repetições.

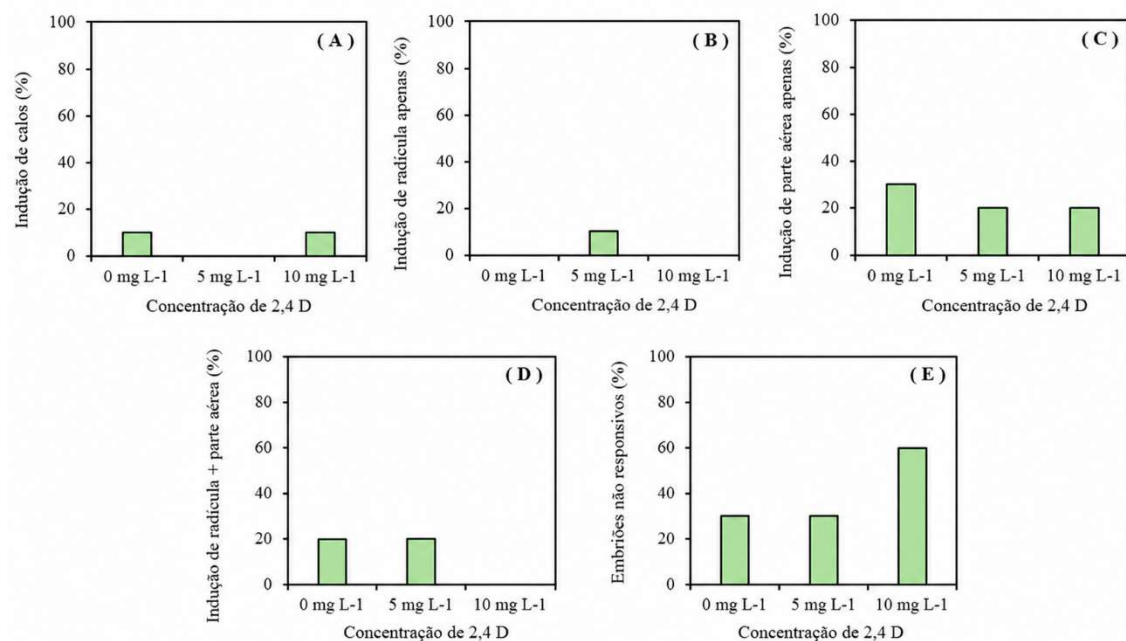
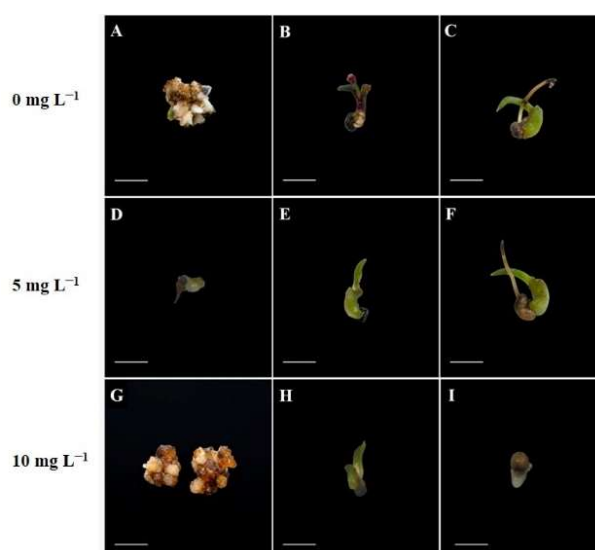


Figura 4. Indução de calos, de radícula, de parte aérea, e de radícula e parte aérea simultaneamente a partir de embriões zigóticos imaturos de açaí cultivados na ausência de 2,4 D (A, B e C) e na presença de 5 mg L⁻¹ 2,4 D (D, E e F) e 10 mg L⁻¹ 2,4 D (G, H e I). Indução de calos (A e G), apenas indução de radícula (D), apenas indução de parte aérea (B, E e H), indução de radícula + parte aérea (C e F) e embriões sem resposta (I). As imagens foram obtidas ao final dos 150 dias de experimento. As barras nas imagens correspondem a 1 cm.



Fonte: Autora.

Tabela 4. Análise de modelos lineares generalizados (GLM) para a estimativa da deviança (χ^2), grau de liberdade (GL) e significância (p -valor) referente ao efeito das concentrações de 2,4 D no desenvolvimento de estruturas a partir de embriões zigóticos imaturos de açaí.

Variável	χ^2	GL	p -valor	Efeito do tratamento
Indução de calos	1,69	2	0,429	Não significativo
Apenas radícula	2,27	2	0,322	Não significativo
Apenas parte aérea	0,36	2	0,834	Não significativo
Radícula + parte aérea	3,54	2	0,170	Não significativo
Explantes sem resposta	2,49	2	0,289	Não significativo

Tabela 5. Probabilidades estimadas e intervalo de confiança ($\pm$ IC 95%) para o efeito das concentrações de 2,4 D no desenvolvimento de estruturas a partir de embriões zigóticos imaturos de açaí.

Variável	2,4 D		
	0 mg L ⁻¹	5 mg L ⁻¹	10 mg L ⁻¹
Indução de calos	0,10 (0,01–0,47)	0,00	0,10 (0,01–0,47)
Apenas radícula	0,00	0,10 (0,01 – 0,47)	0,00
Apenas parte aérea	0,30 (0,10–0,62)	0,20 (0,05 – 0,54)	0,20 (0,05 – 0,54)
Radícula + parte aérea	0,20 (0,05–0,54)	0,20 (0,05 – 0,54)	0,00
Explantes sem resposta	0,30 (0,10–0,62)	0,30 (0,10 – 0,62)	0,60 (0,30 – 0,84)

5.3. Experimento III - segmentos foliares cultivados na presença de 2,4 D

Não houve formação de calos a partir dos segmentos foliares em nenhuma das concentrações de 2,4 D utilizadas dos tratamentos. Durante o período de cultivo, observou-se elevada ocorrência de oxidação dos explantes.

5.4. Experimento IV - ápice caulinares cultivados na presença de BAP e NAA

Não houve formação de gemas ou brotações adventícias em nenhum dos tratamentos. À exceção do tratamento 5 mg L⁻¹, foi observado um alongamento apical visível em vários explantes dos demais tratamentos (Fig. 5A). Nesse caso, a maior porcentagem de explantes com alongamento apical visível (40%) foi observada nos tratamentos controle e na combinação de 2,5 e 7,5 mg L⁻¹ de BAP com 0,1 mg L⁻¹ de NAA, enquanto os menores percentuais de explantes (10%) com alongamento apical foram observados nos tratamentos 2,5 mg L⁻¹ de BAP e 0,1 mg L⁻¹ de NAA (Fig. 5). Os percentuais de ápices sem respostas foram de 30% no tratamento 2,5 mg L⁻¹ de BAP + 0,1 mg L⁻¹ de NAA; 20% no tratamento com 5,0 mg L⁻¹ de BAP e em sua combinação com 0,1 mg L⁻¹ de NAA; e 10% nos demais tratamentos (Fig. 5B).

Em termos estatísticos, a análise de deviance dos GLM não indicou efeitos significativos de BAP ($\chi^2 = 1,409$; $p = 0,704$) ou NAA ($\chi^2 = 1,771$; $p = 0,183$) isoladamente sobre o alongamento apical, porém revelou interação significativa entre os reguladores ($\chi^2 = 8,949$; $p = 0,030$) (Tabela 6). Entretanto, no desdobramento da interação, as comparações pareadas não apresentaram diferenças significativas após o ajuste de Tukey (p ajustado $> 0,05$). Para os explantes sem resposta, não foram observados efeitos significativos de BAP ($\chi^2 = 3,123$; $p = 0,373$), NAA ($\chi^2 = 0,994$; $p = 0,319$) ou da interação BAP x NAA ($\chi^2 = 1,742$; $p = 0,628$).

As probabilidades estimadas de alongamento apical foram maiores no controle e nas combinações de 2,5 e 7,5 mg L⁻¹ de BAP com 0,1 mg L⁻¹ de NAA (IC 95%: 0,16–0,70), enquanto o tratamento com 5,0 mg L⁻¹ de BAP apresentou probabilidade próxima de zero (Tabela 7). Para os explantes sem resposta, os intervalos de confiança apresentaram ampla sobreposição entre os tratamentos, com maior amplitude no controle (IC 95%: 0,00 –1,00) e na combinação de 2,5 mg L⁻¹ de BAP + 0,1 mg L⁻¹ de NAA (IC 95%: 0,10–0,62); nos demais tratamentos, os intervalos variaram entre 0,01–0,47 e 0,05–0,54 (Tabela 7). Cabe ressaltar que o experimento apresentou elevada ocorrência de contaminação.

Figura 5. Porcentagem de ápices caulinares de açaí que apresentaram alongação caulinar (A) e porcentagem de ápice não responsivos (B) na ausência de reguladores de crescimento (Controle) e na presença de BAP (2,5; 5,0 e 7,5 mg L⁻¹), de NAA (0,1 mg L⁻¹), e das combinações de BAP (2,5; 5,0 e 7,5 mg L⁻¹) e NAA (0,1 mg L⁻¹). Os dados foram obtidos ao final de 150 dias de experimento e correspondem a porcentagem obtida para cada tratamento a partir de dez repetições.

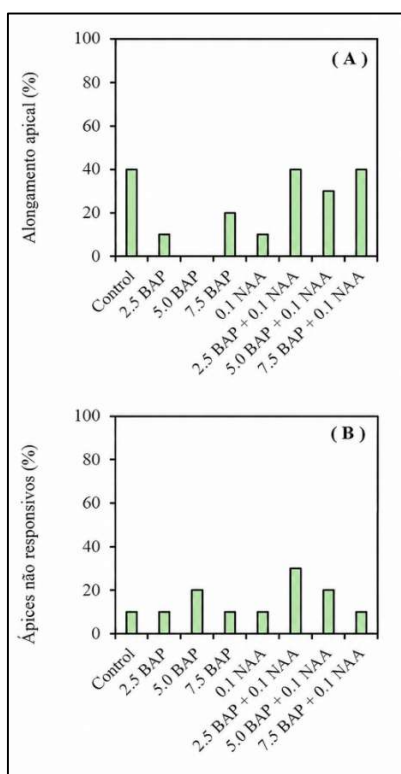


Tabela 6. Análise de modelos lineares generalizados (GLM) para a estimativa da deviança (χ^2), grau de liberdade (GL) e significância (p -valor) referente ao efeito das concentrações de BAP, NAA e combinações entre BAP e NAA no desenvolvimento de estruturas a partir de ápices caulinares de açaí.

Variável	Fonte de variação	χ^2	GL	p-valor	Efeito do tratamento
Alongamento apical	BAP	1,409	3	0,704	Não significativo
	NAA	1,771	1	0,183	Não significativo
	BAP x NAA	8,949	3	0,030	Significativo
Explantos sem resposta	BAP	3,123	3	0,373	Não significativo
	NAA	0,994	1	0,319	Não significativo
	BAP x NAA	1,742	3	0,628	Não significativo

Tabela 7. Probabilidades estimadas e intervalo de confiança ($\pm$ IC 95%) na ausência de reguladores de crescimento e na presença de BAP, de NAA e de BAP + NAA no desenvolvimento de estruturas a partir de ápices caulinares de açaí.

Tratamento	Alongamento apical	Explantos sem resposta
0 mg L ⁻¹	0,40 (0,16–0,70)	$\approx$ 0,00 (0,00–1,00)
2,5 mg L ⁻¹ BAP	0,10 (0,01–0,47)	0,10 (0,01–0,47)
5,0 mg L ⁻¹ BAP	$\approx$ 0,00 (0,00–1,00)	0,20 (0,05–0,54)
7,5 mg L ⁻¹ BAP	0,20 (0,05–0,54)	0,10 (0,01–0,47)
0,1 mg L ⁻¹ NAA+	0,10 (0,01–0,47)	0,10 (0,01–0,47)
2,5 mg L ⁻¹ BAP + 0,1 mg L ⁻¹ NAA	0,40 (0,16–0,70)	0,30 (0,10–0,62)
5,0 mg L ⁻¹ BAP + 0,1 mg L ⁻¹ NAA	0,30 (0,10–0,62)	0,20 (0,05–0,54)
7,5 mg L ⁻¹ BAP + 0,1 mg L ⁻¹ NAA	0,40 (0,16–0,70)	0,10 (0,01–0,47)

6. DISCUSSÃO

6.1. Experimento I- embriões zigóticos imaturo cultivados na presença de BAP

No Experimento I, as concentrações de BAP avaliadas não promoveram a formação de gemas ou brotações adventícias nos embriões zigóticos imaturos de açaí. Entretanto, parte dos explantes apresentou emissão de radícula e/ou parte aérea. A emissão simultânea dessas estruturas ocorreu em maior proporção na presença de 1 mg L⁻¹ de BAP. Considerando o baixo número de repetições e a baixa frequência de ocorrência dessas respostas, as comparações entre os tratamentos não evidenciaram diferenças estatisticamente significativas. Dessa forma, os resultados permitem apenas sugerir uma tendência de maior resposta nessa concentração, sem caracterizá-la como superior às demais.

A ocorrência de desenvolvimento embrionário sem a formação de novas brotações é relevante para a interpretação desses resultados, pois a formação de gemas adventícias envolve diferentes estados de desenvolvimento, incluindo competência morfogênica, determinação

caulogênica e diferenciação, cuja expressão pode ser influenciada pelo estágio de desenvolvimento do explante e pela ação dos reguladores de crescimento em diferentes momentos do processo morfogênico (Lakshmanan *et al.*, 1997). Nesse sentido, a ausência de novas brotações, mesmo com a suplementação de BAP, pode estar relacionada à interação entre as condições hormonais de cultivo e as características do explante, uma vez que a organogênese *de novo* também é influenciada pela interação entre auxinas e citocininas (Bidabadi; Jain, 2020; Long *et al.*, 2022). Em dendezeiro (*Elaeis guineensis*), por exemplo, a indução direta de brotos variou em função do tipo e da concentração da citocinina, do período de exposição ao regulador e do estágio de desenvolvimento do explante (Romyanon; Mosaleeyanon; Kirdmanee, 2015). Em tamareira (*Phoenix dactylifera*), Zaid e Tisserat (1983) também observaram respostas morfogênicas distintas em função do tipo e da origem dos explantes, com menor resposta *in vitro* em tecidos provenientes de plantas fisiologicamente mais maduras. Esses resultados mostram que a resposta organogênica não é determinada apenas pela suplementação com citocinina, mas depende também das características fisiológicas do material vegetal e das condições em que o regulador é empregado.

Resultados obtidos com embriões zigóticos de palmeiras também ajudam a interpretar essa resposta. Em *E. oleracea*, Léo *et al.* (2001) observaram o desenvolvimento *in vitro* de embriões zigóticos maduros cultivados sob diferentes combinações de NAA e BAP, sem diferenças entre os tratamentos quanto à frequência de conversão em plântulas. Em *Arenga pinnata*, Abdullah *et al.* (2015) avaliaram embriões zigóticos provenientes de frutos parcialmente maduros na presença de BAP e não observaram formação de brotos após oito semanas de cultivo. Embora os estudos difiram quanto à espécie, ao estágio de desenvolvimento dos embriões e às condições hormonais empregadas, eles reforçam que a resposta de embriões zigóticos ao BAP não depende apenas da presença desse regulador no meio.

6.2. Experimento II- embriões zigóticos imaturo cultivados na presença de 2,4 D

No Experimento II a baixa capacidade de indução de calos indica que o 2,4-D, nas concentrações testadas, não favoreceu a calogênese, corroborando a dependência dessa resposta ao tipo de auxina, à concentração, ao explante e ao meio de cultura em palmeiras (Scherwinski-Pereira *et al.*, 2012; Ferreira *et al.*, 2022a). Além da baixa formação de calos, foram observadas emissão de radícula, parte aérea e desenvolvimento simultâneo de radícula e parte aérea, sem diferenças significativas entre as concentrações avaliadas. Essas respostas estiveram relacionadas à germinação e ao desenvolvimento dos embriões zigóticos, sem progressão para a embriogênese somática.

Essa baixa resposta calogênica pode estar relacionada à resposta dos embriões zigóticos imaturos às condições de indução utilizadas, uma vez que, em palmeiras, a calogênese é influenciada pelo tipo de explante, pela composição do meio e pelo tipo e concentração dos reguladores de crescimento (Yarra *et al.*, 2019). Além disso, a indução de calos e sua posterior diferenciação correspondem a etapas distintas da resposta morfogênica, podendo requerer diferentes condições hormonais ao longo do cultivo (Yusnita; Hapsoro, 2011). Embora o 2,4-D possa induzir formação de calos em embriões zigóticos de outras espécies do gênero, como em *Euterpe edulis*, essa resposta foi obtida em concentrações molares significativamente superiores às avaliadas neste experimento, visto que o regulador apresentou desempenho inferior quando comparado a outras auxinas sintéticas, como o Picloram (Oliveira *et al.*, 2022a).

Tendência semelhante foi observada em *E. oleracea* e *E. precatoria*, espécies nas quais as respostas mais eficientes para a indução de calos são associadas ao uso de Picloram, enquanto o 2,4-D apresenta desempenho inferior ou variável (Scherwinski-Pereira *et al.*, 2012; Ferreira *et al.*, 2022a). Esse comportamento também é reportado em outras palmeiras, como *Butia odorata* e *Syagrus oleracea*, nas quais o Picloram superou o 2,4-D na formação de massas pró-embriogênicas (Campos *et al.*, 2020; Silva-Cardoso *et al.*, 2022). Desse modo, os resultados sugerem que a baixa responsividade observada pode estar relacionada o regulador e às doses avaliadas. Entretanto, fatores relacionados ao estágio de desenvolvimento dos explantes e ao genótipo do material vegetal também podem contribuir para a variação da resposta morfogênica em Arecaceae (Saleh; Scherwinski-Pereira, 2016).

6.3. Experimento III- segmentos foliar cultivados na presença de 2,4 D

No Experimento III, a ausência de formação de calos foi acompanhada por intensa oxidação dos segmentos foliares, que se tornou mais evidente ao longo do cultivo. Essa resposta pode estar relacionada ao estresse provocado pelo seccionamento dos tecidos e à exposição às condições *in vitro*, uma vez que o ferimento dos explantes pode favorecer a exsudação e a oxidação de compostos fenólicos (Campos-Boza *et al.*, 2022). O escurecimento decorrente desse processo pode comprometer o desenvolvimento dos tecidos, pois a oxidação de compostos fenólicos resulta na formação de quinonas, que podem interferir na atividade enzimática e no crescimento celular (Al-Mayahi; Ali; Shareef, 2018). Assim, a intensa oxidação observada ao longo do cultivo pode ter reduzido a sobrevivência e a capacidade de resposta dos segmentos foliares, contribuindo para a ausência de formação de calos. Essa interpretação é consistente com a menor resposta à indução embriogênica observada em tecidos com maior oxidação de *Euterpe edulis* (De Mello *et al.*, 2024).

Além da oxidação, características próprias do explante podem ter influenciado a resposta. A competência morfogênica de tecidos foliares não é necessariamente uniforme ao longo do explante, podendo variar conforme a região de origem e o estado de diferenciação celular. Em *Euterpe precatoria*, a formação de calos foi observada em segmentos das regiões apical e mediana de folhas imaturas (Ferreira *et al.*, 2022b), e, em tamareira, a capacidade calogênica também variou de acordo com a posição do segmento foliar e o estado de diferenciação das células (Gueye *et al.*, 2009). Assim, a utilização de tecido foliar jovem, por si só, não assegura que todos os segmentos apresentem a mesma competência para iniciar uma resposta calogênica.

A resposta calogênica dos tecidos foliares também pode depender das condições de indução, particularmente do tipo e da concentração da auxina e do período de cultivo. Em tecidos foliares de *Acrocomia aculeata*, a resposta variou conforme a região do explante, a auxina utilizada e o tempo de permanência no meio, com maior formação de calos associada ao picloram (Meira *et al.*, 2020). Em folhas jovens de dendezeiro, diferentes concentrações de 2,4-D também resultaram em respostas distintas de formação de calos, e a progressão da resposta embriogênica ocorreu ao longo de sucessivos subcultivos (Yusnita; Hapsoro, 2011). Nesse contexto, a continuidade dos subcultivos durante a fase de indução pode constituir um componente importante para o estabelecimento da resposta, uma vez que subcultivos sucessivos em meio fresco favoreceram a formação de calos embriogênicos em dendezeiro (Monteiro *et al.*, 2018). No presente estudo, entretanto, nenhuma das concentrações de 2,4-D avaliadas promoveu a formação de calos nos segmentos foliares de açaí. Desse modo, a ausência de calogênese não deve ser atribuída a um único fator, mas pode estar relacionada à interação entre diferentes fatores, incluindo a intensa oxidação observada durante o cultivo, a competência e a região de origem dos segmentos foliares, as condições de indução com 2,4-D e o manejo dos explantes ao longo do cultivo.

6.4. Experimento IV- ápices caulinares cultivados na presença de BAP e NAA

No Experimento IV, os ápices caulinares mantiveram o alongamento apical durante o cultivo, sem formação de qualquer outra estrutura. Embora tenha sido observada interação significativa entre BAP e NAA para o alongamento apical, as comparações pareadas não permitiram identificar uma combinação específica dos reguladores que favorecesse essa resposta. A ocorrência de alongamento sem a formação de novas gemas pode estar relacionada às diferentes respostas envolvidas na organogênese, uma vez que essa via envolve iniciação de gemas, proliferação e alongamento de brotos e enraizamento, e sua ativação e progressão são

influenciadas pela concentração e pelo período de exposição à citocinina (Romyanon; Mosaleeyanon; Kirdmanee, 2015). Além disso, o crescimento e o desenvolvimento da parte aérea não necessariamente são acompanhados pela indução de novas gemas, indicando que essas respostas podem ocorrer de maneira distinta durante o cultivo *in vitro* (Graner *et al.*, 2013).

Em *E. oleracea*, o crescimento de ápices caulinares na presença de NAA e BAP também foi observado por Cavalcante (2001); naquele estudo, entretanto, o desenvolvimento progrediu para a formação de plântulas completas aos 40 dias de cultivo. No presente experimento, o desenvolvimento permaneceu restrito ao alongamento do ápice, sem progressão para formação de plântulas. Desse modo, embora o crescimento inicial dos ápices tenha sido observado em ambos os estudos, a continuidade do desenvolvimento diferiu entre as condições avaliadas.

Durante o cultivo dos ápices caulinares, foi observada elevada ocorrência de contaminação, mesmo após os procedimentos de desinfestação. Esse comportamento pode estar relacionado à presença de microrganismos internos ou latentes no material vegetal, que podem permanecer nos tecidos e manifestar-se após o estabelecimento *in vitro* (Cassells, 2012; Dunaeva; Osledkin, 2015). A ocorrência tardia de contaminação sugere a permanência de microrganismos associados aos tecidos, como observado em ápices caulinares de pupunheira (Almeida; Yara; Almeida, 2005). A elevada ocorrência de contaminação reduziu o número de explantes disponíveis para avaliação, constituindo uma limitação experimental.

7. CONCLUSÃO

Nas condições avaliadas, os diferentes explantes de *Euterpe oleracea* apresentam respostas distintas ao cultivo *in vitro*, porém limitado potencial para a indução dos processos morfogênicos avaliados. As concentrações e combinações dos reguladores de crescimento avaliados não favorecem, de forma consistente, a indução de organogênese adventícia ou embriogênese somática, predominando, nos explantes, respostas associadas principalmente ao desenvolvimento de estruturas preexistentes. Além disso, não se evidencia um padrão consistente de resposta relacionado ao aumento das concentrações ou às combinações dos reguladores de crescimento. Esses resultados indicam a necessidade de ajustes nas concentrações e combinações dos reguladores de crescimento e nas condições de estabelecimento *in vitro*, visando favorecer a indução de organogênese adventícia e embriogênese somática na espécie.

REFERÊNCIAS

- ABDULLAH, N.; AZIZ, N. A.; AWAL, A. Establishment of sugar palm (*Arenga pinnata*) shoot from zygotic embryo in MS medium supplemented with different concentrations of benzylaminopurine. **Malaysian Applied Biology**, v. 44, p. 31-35, 2015.
- AGRESTI, A. **Categorical data analysis**. 3. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2013.
- AL-MAYAH, A. M. W.; ALI, A. H.; SHAREEF, H. J. Influence of cold pretreatment on shoot regeneration from callus in date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cv. 'Barhee'. **Journal of Genetic Engineering and Biotechnology**, v. 16, n. 2, p. 607–612, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2018.07.002>. Acesso em: 25 de jul de 2026.
- ALMEIDA, C. V.; YARA, R.; ALMEIDA, M. Fungos endofíticos isolados de ápices caulinares de pupunheira cultivada in vivo e in vitro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 467-470, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000500007>. Acesso em: 24 de jun. de 2026.
- BETTONI, J. C.; WANG, M. R.; WANG, Q. C. In vitro regeneration, micropropagation and germplasm conservation of horticultural plants. **Horticulturae**, v. 10, n. 1, p. 45, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-7524/10/1/45>. Acesso em: 31 jan. 2026.
- BIDABADI, S.; JAIN, S. Cellular aspects of in vitro plant regeneration. **Plants**, v. 9, n. 6, p. 702, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants9060702>. Acesso em: 01 fev. 2026.
- CAMPOS, S. S.; SCHERWINSKI-PEREIRA, J. E.; BERND, R. B.; FIOR, C. S.; SCHWARZ, S. F. Somatic embryogenesis as an alternative for in vitro multiplication of *Butia odorata* from mature zygotic embryos. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, e20181215, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020181215>. Acesso em: 01 jul. 2026.
- CAMPOS-BOZA, S.; VIÑAS, M.; SOLÓRZANO-CASCANTE, P.; HOLST, A.; STEINMACHER, D.; GUERRA, M. P.; JIMÉNEZ, V. Somatic embryogenesis and plant regeneration from transverse thin cell layers of adult peach palm (*Bactris gasipaes*) lateral offshoots. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.995307>. Acesso em: 01 jul. 2026.
- CASSELLS, A. Pathogen and biological contamination management in plant tissue culture: phytopathogens, vitro pathogens, and vitro pests. In: Plant Cell Culture Protocols. Totowa: Humana Press, 2012. p. 57-80. Disponível em: https://link.springer.com/protocol/10.1007/978-1-61779-818-4_6. Acesso em: 15 jun. 2026.
- CAVALCANTE, A. da S. L. **Respostas morfogênicas in vitro de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) e de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) Schaub.)**. 2001. 143 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2001. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/71420>. Acesso em: 01 jul. 2026.
- DE MELLO, T., ZANARDO, T. É. C., SILVA, T. D., COSTA, J. S., FAGUNDES, D. P., DE ARAUJO, C. P., ... E ALEXANDRE, R. S. Chronological age, changes in DNA methylation,

and endogenous hormone levels of explants promote somatic embryogenesis of *Euterpe edulis* Martius. **Plant Cell Tiss Organ Cult**, v. 157, n.38, 2024. Disponível em: <https://doi.org.ez4.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s11240-024-02757-x>. Acesso em: 02 jul. 2026.

DOBSON, A. J.; BARNETT, A.G. An **Introduction to Generalized Linear Models**. 4. ed. Boca Raton: CRC Press, 2018.

DUNAEVA, S. E.; OSLEDKIN, Y. S. Bacterial microorganisms associated with the plant tissue culture: identification and possible role: review. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya* **Agricultural Biology**, v. 50, n. 1, p. 3-15, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.1.3eng>. Acesso em: 03 jul. 2026.

FARIAS NETO, J. T.; OLIVEIRA, M. D. S. P.; MULLER, A. A.; NOGUEIRA, O. L.; ANAISSI, D. F. D. S. P. Variabilidade genética em progênies jovens de açaizeiro. **Cerne**, v. 11, n. 4, p. 336-341, 2005. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/744/74411403.pdf>. Acesso em: 31 jan. 2026.

FARIAS NETO, J. T. **BRS Pai d'Égua: cultivar de açaí para terra firme com suplementação hídrica**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2019. (Comunicado Técnico, 317).

FARIAS NETO, J. T.; RESENDE, M. D. V.; OLIVEIRA, M. D. S. P. Seleção simultânea em progênies de açaizeiro irrigado para produção e peso do fruto. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, p. 532-539, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000200025>. Acesso em: 31 jan. 2026.

FERREIRA, J. C. B.; SILVA-CARDOSO, I.; MEIRA, R.; SCHERWINSKI-PEREIRA, J. Somatic embryogenesis and plant regeneration from zygotic embryos of the palm tree *Euterpe precatoria*. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 148, n. 3, p. 667-686, 2022a. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11240-022-02227-2>. Acesso em: 02 fev. 2026.

FERREIRA, J. C. B.; SILVA-CARDOSO, I. M. A.; MEIRA, R. O.; COSTA, F. H. S.; SCHERWINSKI-PEREIRA, J. E. Towards development of an efficient somatic embryogenesis protocol for the palm tree *Euterpe precatoria* (Mart.) from leaf tissues of adult plants. **In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant**, v. 58, p. 750-768, 2022b. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11627-022-10310-8>. Acesso em: 02 fev. 2026.

FREITAS, E. O.; MONTEIRO, T. R.; NOGUEIRA, G. F.; SCHERWINSKI-PEREIRA, J. E. Somatic embryogenesis from immature and mature zygotic embryos of the açaí palm (*Euterpe oleracea*). **Scientia Horticulturae**, v. 212, p. 126, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.09.044>. Acesso em: 31 jan. 2026.

FREITAS, E. O.; SILVA-CARDOSO, I. M. A.; FERREIRA, J. C. B.; COSTA, F. H. S.; SCHERWINSKI-PEREIRA, J. E. Somatic embryogenesis in açaí palm (*Euterpe oleracea* Mart.). In: **Step Wise Protocols for Somatic Embryogenesis of Important Woody Plants**. Cham: Springer, 2018. p. 267-290. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-79087-9_22. Acesso em: 31 jan. 2026.

GRANER, E. M.; OBERSCHHELP, G. P. J.; BRONDANI, G. E.; BATAGIN-PIOTTO, K. D.; ALMEIDA, C. V. de; ALMEIDA, M. de. TDZ pulsing evaluation on the *in vitro*

morphogenesis of peach palm. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 19, n. 2, p. 283–288, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12298-012-0160-4>. Acesso em: 11 de set. de 202.

GUEYE, B.; MORCILLO, F.; COLLIN, M.; GARGANI, D.; OVERVOORDE, P.; ABERLENC-BERTOSSI, F.; TRANBARGER, T. J.; SANÉ, D.; TREGGAR, J. W.; BORGEL, A.; VERDEIL, J.-L. Acquisition of callogenic capacity in date palm leaf tissues in response to 2,4-D treatment. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 99, n. 1, p. 35-45, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11240-009-9573-3>. Acesso em: 04 de jul de 2026.

LAKSHMANAN, P.; NG, S. K.; LOH, C. S.; GOH, C. J. Auxin, cytokinin and ethylene differentially regulate specific developmental states associated with shoot bud morphogenesis in leaf tissues of mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) cultured *in vitro*. **Plant and Cell Physiology**, v. 38, n. 1, p. 59–64, 1997. Disponível em: <https://academic.oup.com/pcp/article/38/1/59/1852796>. Acesso em: 12 set. 2026.

LEDO, A. D. S., LAMEIRA, O. A., BENBADIS, A. K., MENEZES, I. C. D., LEDO, C. A. D. S., OLIVEIRA, M., & DO SOCORRO PADILHA, D. E. Cultura *in vitro* de embriões zigóticos de açaizeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v 23, p. 468-472, 2001. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/reader/821f3b8098dfaa8d586a025959cdaa67b704e4bf>. Acesso em: 31 jan. 2026.

LEDO, A. S.; LAMEIRA, O. A.; BENBADIS, A. K.; MENEZES, I. C.; OLIVEIRA, M. S. P.; MEDEIROS FILHO, S. Somatic embryogenesis from zygotic embryos of *Euterpe oleracea* Mart. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, p. 601-603, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452002000300004>. Acesso em: 31 jan. 2026.

LONG, Y.; YANG, Y.; PAN, G.; SHEN, Y. Insights into tissue culture regeneration. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 926752, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.926752>. Acesso em: 01 fev. 2026.

MCCULLAGH, P.; NELDER, J. A. **Generalized linear models**. 2. ed. London: Chapman and Hall, 1989.

MEHBUB, H.; AKTER, A.; AKTER, A.; MANDAL, M. S. N.; HOQUE, M. A.; TULEJA, M.; MEHRAJ, H. Tissue culture in ornamentals: cultivation factors, propagation techniques, and its application. **Plants**, v. 11, 3208, 2022. DOI: 10.3390/plants11233208. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants11233208>. Acesso em: 26 jun. 2026.

MEIRA, F. S.; LUIS, Z. G.; CARDOSO, I. M. A. S.; SCHERWINSKI-PEREIRA, J. E. Somatic embryogenesis from leaf tissues of macaw palm [*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.]. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, n. 3, e20180709, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020180709>. Acesso em: 03 jul. 2026.

MONTEIRO, T.; FREITAS, E. O.; NOGUEIRA, G. F.; SCHERWINSKI-PEREIRA, J. E. Assessing the influence of subcultures and liquid medium during somatic embryogenesis and plant regeneration in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). **The Journal of Horticultural**

Science and Biotechnology, v. 93, p. 196-203, 2018. DOI: 10.1080/14620316.2017.1360156. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14620316.2017.1360156>. Acesso em: 05 jul.2026.

MURASHIGE, T.; SKOOG, F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. **Physiologia Plantarum**, v. 15, p. 473-497, 1962. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>. Acesso em: 25 jan. 2025.

MUSCARELLA, R.; EMILIO, T.; PHILLIPS, O. L.; LEWIS, S. L.; SLIK, F.; BAKER, W. J.; POEDJIRAHADJOE, E. The global abundance of tree palms. **Global Ecology and Biogeography**, v. 29, n. 9, p. 1495-1514, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/geb.13123>. Acesso em: 29 jun. 2025.

NOGUEIRA, O. L.; FIGUEIREDO, J. F. C.; MÜLLER, A. A. (ed.). **Açaí**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2005.

OLIVEIRA, L. B.; DE MELLO, T.; DE ARAUJO, C. P.; DE OLIVEIRA, J. P. G.; FERREIRA, A.; ZANARDO, T. C.; VIEIRA, L.; OTONI, W.; ALEXANDRE, R. S.; CARVALHO, V. S. Morphoanatomical aspects of auxin herbicides-induced somatic embryogenesis in *Euterpe edulis* Martius, a symbol and threatened species of the Atlantic Forest. **Scientia Horticulturae**, 2022a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111051>. Acesso em: 04 jul. 2026.

OLIVEIRA, M.; FARIAS NETO, J. T. **Cultivar BRS-Pará: açaizeiro para produção de frutos em terra firme**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2004.

OLIVEIRA, M. S. P.; NAVEGANTES, P.; COSTA, L. J. **Obtenção de pólen e polinização controlada em espécies do gênero *Euterpe***. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2019. (Documentos, 450).

PASTERNAK, T. P.; STEINMACHER, D. Plant growth regulation in cell and tissue culture *in vitro*. **Plants**, v. 13, n. 2, p. 327, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants13020327>. Acesso em: 02 fev. 2026.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2025. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

REE, J. F.; GUERRA, M. P. Palm (Arecaceae) somatic embryogenesis. **In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant**, v. 51, n. 6, p. 589-602, 2015. DOI: 10.1007/s11627-015-9722-9. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11627-015-9722-9>. Acesso em: 01 jul. 2026.

ROCHA, A. E. S.; SILVA, M. F. F. Aspectos fitossociológicos das palmeiras em Bragança, PA. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, p. 657-667, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abb/a/W46TtqBD6pphGzMs9MDg7Tb/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 29 jun. 2025.

ROMYANON, K.; MOSALEEYANON, K.; KIRDMANEE, C. Direct-shoot organogenesis as an alternative protocol for in vitro regeneration of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). **Scientia Horticulturae**, v. 195, p. 1-7, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.038>. Acesso em: 02 fev. 2026.

SALM, R.; JARDIM, M. A. G.; ALBERNAZ, A. L. K. M. Abundância e diversidade de palmeiras no Distrito Florestal Sustentável da rodovia BR-163, Pará, Brasil. **Biota Neotropica**, v. 11, n. 3, p. 99-105, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bn/a/4YZBG9ytfRC5CHTStnTJcGQ/?lang=pt>. Acesso em: 29 jun. 2025.

SALEH, E. O. L., SCHERWINSKI-PEREIRA, J. E. Advances in somatic embryogenesis of palm trees (Arecaceae): fundamentals and review of protocols. In: **SOMATIC embryogenesis in ornamentals and its applications**. New Delhi: Springer India, p. 231-254. 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-81-322-2683-3_15. Acesso em: 08 ago. 2026.

SCHERWINSKI-PEREIRA, J. E.; GUEDES, R. S.; SILVA, R. A.; FERMINO JÚNIOR, P. C. P.; LUIS, Z. G.; FREITAS, E. O. Somatic embryogenesis and plant regeneration in açaí palm (*Euterpe oleracea*). **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 109, n. 3, p. 501-508, 2012. Disponível em: <https://doi-org.ez4.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s11240-012-0115-z>. Acesso em: 31 jan. 2026.

SILVA-CARDOSO, I. M. A.; MEIRA, F. S.; SCHERWINSKI-PEREIRA, J. E. The maturity level of explant plays a key role in somatic embryogenesis of the palm tree *Syagrus oleracea* [Mart.] Becc. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 44, n. 8, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11738-022-03420-8>. Acesso em: 29 jun de 2026.

SPARJANBABU, D. S.; KUMAR, P.; MOTUKURI, S.; RAMAJAYAM, D.; SUSANTHI, B.; PRASANNA, H. Effect of culture media, auxins and genotypes on plantlet regeneration from oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) zygotic embryos through somatic embryogenesis. **Revista de Biologia Ambiental**, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.22438/jeb/42/5/mrn-1706>. Acesso em: 04 jul. 2026.

SPARJANBABU, D. S.; PRATHAPANI, N.-K.; KRISHNA, M.; RAMAJAYAM, D.; SUSANTHI, B. Differential response of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) genotypes on somatic embryogenesis and plantlet regeneration from zygotic embryo. **Journal of Applied Biology & Biotechnology**, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.7324/jabb.2023.106137>. Acesso em: 04 jul. 2026.

TRAAS, J. Organogenesis at the shoot apical meristem. **Plants**, v. 8, p. 6, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants8010006>. Acesso em: 21 jun. 2026.

YARRA, R.; JIN, L.; ZHAO, Z.; CAO, H. Progress in tissue culture and genetic transformation of oil palm: an overview. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 20, n. 21, art. 5353, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/20/21/5353>. Acesso em: 12 set. 2026.

YOKOMIZO, G. K.-I.; SANTOS, G. R.; FURTADO, R. G.; BRANDÃO, A. P.; COLARES, I. B. Desempenho de progênies de açaizeiros. **Revista de Agricultura**, v. 88, n. 1, p. 1-11, 2013. Disponível em: <https://bdpa.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 06 jan. 2026.

YUSNITA; HAPSORO, D. *In vitro* callus induction and embryogenesis of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) from leaf explants. **HAYATI Journal of Biosciences**, v. 18, n. 2, p. 61-65, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.4308/hjb.18.2.61>. Acesso em: 05 jul. 2026.

ZAID, A.; TISSERAT, B. Morphogenetic responses obtained from a variety of somatic explant tissues of date palm. **The Botanical Magazine**, *Tokyo*, v. 96, p. 67–73, 1983.
Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02488178>. Acesso em: 12 set. 2026.