

A UTILIZAÇÃO DA CULTURA DE TECIDOS VEGETAIS COMO ESTRATÉGIA PARA A CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE

THE USE OF PLANT TISSUE CULTURE AS A STRATEGY FOR BIODIVERSITY
CONSERVATION

Ciências Biológicas, Ciências Agrárias • 18/06/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/781559848](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/781559848)

Simone Silva dos Santos¹

Tatiana Gaion Malosso²

André Resplandes Martins²

Milena Gaion Malosso³

RESUMO

A perda acelerada da biodiversidade vegetal, impulsionada pelo desmatamento, mudanças climáticas e pela introdução de espécies exóticas invasoras, tem demandado estratégias de conservação mais eficazes. As abordagens tradicionais *in situ* e *ex situ*, embora fundamentais, apresentam limitações para espécies com sementes recalcitrantes e baixa produção de propágulos. Este estudo teve como objetivo analisar, por meio de uma revisão sistemática da literatura, o potencial da cultura de tecidos vegetais como estratégia complementar para a conservação da biodiversidade. Utilizando a metodologia PRISMA, foram consultadas as bases Web of Science, SciELO e Periódicos CAPES, utilizando descritores combinados em português e inglês, abrangendo o período de 2005 a 2026. Após triagem e aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, foram selecionados 10 estudos, incluindo pesquisas primárias, revisões bibliográficas e um estudo bibliométrico. Os resultados indicaram que a micropropagação é a técnica mais empregada, alcançando taxas expressivas de germinação e aclimatação, especialmente quando protocolos são otimizados. A criopreservação mostrou-se promissora para conservação a longo prazo, embora sua eficácia varie conforme a espécie e o tipo de explante. Foram identificadas limitações como contaminação microbiana, oxidação fenólica, hiperhidricidade, custos elevados de infraestrutura e a necessidade de pessoal especializado. No Brasil, observa-se concentração de estudos na Mata Atlântica e Cerrado, enquanto a Amazônia permanece sub-representada. Conclui-se que a cultura de tecidos vegetais constitui uma ferramenta importante às estratégias tradicionais de conservação, mas necessita do desenvolvimento de protocolos espécie-específicos, da integração com políticas públicas e da superação de desafios técnicos por meio de inovação tecnológica e cooperação institucional.

Palavras-chave: Micropropagação; Criopreservação; Espécies ameaçadas.

ABSTRACT

The accelerated loss of plant biodiversity, driven by deforestation, climate change, and the introduction of invasive exotic species, has demanded more effective conservation strategies. Traditional in situ and ex situ approaches, while fundamental, have limitations for species with recalcitrant seeds and low propagule production. This study aimed to analyze, through a systematic literature review, the potential of plant tissue culture as a complementary strategy for biodiversity conservation. Using the PRISMA methodology, the Web of Science, SciELO, and CAPES Journals databases were consulted, using combined descriptors in Portuguese and English, covering the period from 2005 to 2026. After screening and applying inclusion and exclusion criteria, 10 studies were selected, including primary research, literature reviews, and a bibliometric study. The results indicated that micropropagation is the most widely used technique, achieving significant germination and acclimatization rates, especially when protocols are optimized. Cryopreservation has shown promise for long-term conservation, although its effectiveness varies according to the species and type of explant. Limitations have been identified such as microbial contamination, phenolic oxidation, hyperhydricity, high infrastructure costs, and the need for specialized personnel. In Brazil, studies are concentrated in the Atlantic Forest and Cerrado biomes, while the Amazon remains underrepresented. It is concluded that plant tissue culture constitutes an important tool for traditional conservation strategies, but requires the development of species-specific protocols, integration with public policies, and overcoming technical challenges through technological innovation and institutional

cooperation.

Keywords: Micropropagation; Cryopreservation; Threatened species.

1. INTRODUÇÃO

A crescente perda de biodiversidade no século XXI, impulsionada principalmente por atividades humanas como o desmatamento, a expansão agropecuária e as mudanças climáticas, tem colocado em risco ecossistemas inteiros e inúmeras espécies vegetais (Caliman *et al.*, 2023). A biodiversidade vegetal, que engloba não apenas a diversidade de espécies, mas também a variabilidade genética e a diversidade de ecossistemas, enfrenta ameaças sem precedentes, com estimativas indicando que metade da Amazônia pode ser impactada até 2050 e que 53% de todas as espécies arbóreas conhecidas podem estar ameaçadas de extinção (Giannini, 2023).

As mudanças no uso da terra e do mar, a fragmentação de habitats e a introdução de espécies exóticas invasoras, considerada a segunda maior ameaça à conservação da biodiversidade mundial, têm produzido desencontros espaciais e temporais entre polinizadores e plantas, além de reduzir drasticamente as populações nativas (Elias, 2016; Barroso *et al.*, 2007; BPBES, 2024). Diante desse cenário, estratégias de conservação *in situ*, como a criação de unidades de conservação, e *ex situ*, como bancos de sementes e jardins botânicos, têm sido amplamente empregadas (Santos, Rossito e Filho, 2020; Forzza *et al.*, 2017).

No entanto, muitas espécies ameaçadas apresentam dificuldades significativas de propagação, especialmente aquelas com sementes recalcitrantes sensíveis à dessecação, cujo armazenamento convencional é inviabilizado pelo estresse oxidativo, ou aquelas com

baixa produção de propágulos e biologia reprodutiva complexa (Oliveira, 2021). Nesse contexto, a cultura de tecidos vegetais, fundamentada no princípio da totipotência celular e no cultivo asséptico *in vitro* de células, tecidos ou órgãos sob condições nutricionais e ambientais controladas, surge como uma ferramenta biotecnológica complementar de grande potencial (Meneghetti, 2015; Hayashi, 2000).

Técnicas como a micropropagação, a criopreservação, o resgate de embriões e a cultura de crescimento lento permitem não apenas a multiplicação rápida de genótipos raros, mas também o armazenamento seguro e prolongado de germoplasma, especialmente para espécies cujas sementes não toleram dessecação ou armazenamento convencional (Cruz-Cruz, González-Arno e Engelmann, 2013; Malosso *et al.*, 2024).

No Brasil, país megadiverso que abriga patrimônio genético de imensa importância biotecnológica, ambiental e socioeconômica, a aplicação dessas técnicas ainda enfrenta desafios como a falta de protocolos padronizados para a maioria das espécies nativas, restrições de infraestrutura e financiamento, além da necessidade de pessoal especializado (Gama; Souza, 2024; Silva, Rocha; Herrera, 2025).

Este trabalho tem como objetivo analisar, a partir de uma revisão sistemática da literatura, o potencial da cultura de tecidos vegetais como estratégia para a conservação da biodiversidade, sintetizando as principais técnicas, aplicações, avanços e limitações relatados na produção científica entre 2015 e 2025, bem como discutir os desafios éticos e operacionais e propor direcionamentos futuros para a

integração dessa biotecnologia com políticas públicas e ações de conservação.

Os objetivos deste trabalho são analisar, a partir de uma revisão bibliográfica, o potencial da cultura de tecidos vegetais como estratégia para a conservação da biodiversidade, sintetizando as principais técnicas, aplicações, avanços e limitações relatadas na literatura científica; identificar e descrever as principais técnicas de cultura de tecidos vegetais empregadas para fins de conservação de espécies vegetais ameaçadas ou de valor ecológico, analisar casos documentados na literatura em que a micropropagação, a criopreservação e o resgate de embriões contribuíram para a preservação de germoplasma e a recuperação de populações naturais; avaliar as potencialidades e limitações da cultura de tecidos vegetais em comparação a outras estratégias de conservação (como bancos de sementes e conservação *in situ*); discutir os desafios técnicos, éticos e operacionais para a implementação da cultura de tecidos em programas de conservação da biodiversidade, especialmente em países megadiversos; e propor direcionamentos futuros para a integração da biotecnologia vegetal com políticas públicas e ações de conservação, com base na literatura revisada.

A hipótese a ser verificada neste trabalho foi se a utilização da cultura de tecidos vegetais, por meio de técnicas como micropropagação, criopreservação e resgate de embriões, constitui uma estratégia eficaz e complementar para a conservação da biodiversidade, especialmente para espécies ameaçadas, endêmicas ou com dificuldades de propagação por métodos convencionais, superando limitações de bancos de sementes e da conservação *in situ* em determinados contextos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA OU REVISÃO DA LITERATURA

2.1. A Crise da Biodiversidade e Estratégias de Conservação

A biodiversidade enfrenta uma crise sem precedentes no século XXI, impulsionada principalmente por atividades humanas (Caliman *et al.*, 2023). Este tópico aborda os aspectos fundamentais dessa crise, com ênfase particular na biodiversidade vegetal, suas ameaças e as estratégias de conservação disponíveis, incluindo as limitações das abordagens tradicionais para espécies de propagação difícil.

A biodiversidade compreende múltiplos níveis de variação no mundo natural, podendo ser medida em diferentes escalas. As medidas mais comumente utilizadas incluem a diversidade genética, a diversidade de espécies e a diversidade de ecossistemas. A biodiversidade também abrange a diversidade biocultural, refletindo a interconexão entre sistemas naturais e conhecimentos tradicionais. A biodiversidade vegetal possui importância ambiental, cultural, social, econômica, medicinal, científica, educacional e estética. As florestas tropicais, em particular, produzem uma série de benefícios para as pessoas, incluindo a regulação do clima local e a proteção dos recursos hídricos (Giannini, 2023).

A biodiversidade endêmica do Brasil compreende um patrimônio genético de importância biotecnológica, ambiental e socioeconômica (Gama & Souza, 2024). A diversidade genética das plantas é especialmente crítica, pois fornece o potencial adaptativo e evolutivo de uma espécie (Fajardo; Vieira; Molina, 2016). O conhecimento da diversidade genética é primordial para as ações de conservação e manejo (Fajardo; Vieira; Molina, 2016). Além disso, a perda de biodiversidade vegetal representa um risco para a

produção de alimentos, pela redução de uso futuro através da perda de informação genética, susceptibilidade a doenças e pragas, e enfraquecimento dos processos ecológicos (Olsen, 2015).

A perda de habitat é reconhecida como a principal ameaça à biodiversidade em curto prazo (Gama; Souza, 2024). As mudanças no uso da terra e do mar constituem um dos mais importantes fatores que promovem a perda de espécies nativas em todo o mundo. A transformação de paisagens naturais em lavouras, áreas urbanas e áreas desmatadas facilita a introdução, o estabelecimento e a disseminação de espécies exóticas invasoras (BPBES, 2024). A fragmentação e degradação ambiental, incluindo desmatamento e queimadas, afetam fortemente os padrões fenológicos e o sucesso reprodutivo das plantas (Gama; Souza, 2024).

Estimativas apontam que metade da Amazônia pode ser impactada até o ano de 2050 face às mudanças climáticas e ao desmatamento, com uma perda de até 65% de habitat adequado para espécies arbóreas, sendo que 53% de todas as espécies conhecidas podem estar ameaçadas de extinção (Giannini, 2023). As espécies endêmicas são particularmente vulneráveis, pois comparadas às espécies generalizadas, podem ser menos capazes de se adaptarem às mudanças nas pressões ambientais como resultado da especialização em uma faixa estreita de condição local e capacidade limitada de dispersar (Gama; Souza, 2024).

Diferentemente das espécies com distribuição ampla, as endêmicas não são passíveis de conservação em outra região (Gama; Souza, 2024). As mudanças climáticas estão entre os maiores fatores de perturbação antrópica impostos aos ecossistemas e uma das maiores ameaças à biodiversidade no século 21 (Elias, 2016). As

alterações climáticas têm produzido numerosas mudanças nas distribuições e abundância de espécies e afetado a fenologia de insetos e plantas (Elias, 2016). Um dos problemas graves é que as mudanças climáticas podem causar desencontros espaciais e temporais entre os polinizadores e as plantas que visitam devido a mudanças diferenciais nas áreas de distribuição e fenologia das espécies que interagem entre si (Elias, 2016).

Os modelos de mudança climática predizem drásticas, rápidas e caóticas mudanças na distribuição de espécies e habitats em todo o globo. Para espécies específicas, as projeções são preocupantes. Por exemplo, a palmeira juçara (*Euterpe edulis*) diminuirá em ocorrência nas florestas da Mata Atlântica de 12,9% no cenário mais otimista até 59,2% no cenário mais pessimista (Mengardo, 2011). Estudos indicam que 42% das espécies de plantas estudadas em uma região potencialmente não encontrarão habitat adequado no futuro devido às mudanças climáticas (Giannini, 2023).

A introdução de plantas exóticas é considerada a segunda maior ameaça à conservação da biodiversidade mundial, perdendo apenas para a destruição de habitats pela exploração humana direta (Barroso *et al.*, 2007). Espécies exóticas invasoras são atualmente reconhecidas como um dos maiores vetores diretos relacionados à perda de biodiversidade e serviços ecossistêmicos (BPBES, 2024). Nem todas as espécies introduzidas se tornam invasoras. Muitas espécies de plantas introduzidas como ornamentais persistem em jardins com assistência humana, mas não conseguem se estabelecer em habitats menos modificados.

Entretanto, algumas espécies exóticas se tornam invasoras e perturbam o funcionamento dos ecossistemas. As características

relacionadas com alta capacidade de crescimento, uso dos recursos e reprodução são recorrentes entre espécies de plantas invasoras. Mais da metade das espécies de plantas exóticas ocorrem em áreas degradadas nos diversos biomas brasileiros. Há registros de gramíneas, leguminosas e espécies de outras famílias botânicas invadindo áreas antropizadas em todos os biomas brasileiros, algumas vezes dominando a paisagem (BPBES, 2024).

Espécies exóticas invasoras não apenas sobrevivem e se adaptam ao novo meio, mas passam a exercer processos de dominância sobre a biodiversidade nativa, alterando características naturais e o funcionamento de processos ecológicos, incorrendo em quebra de resiliência de ecossistemas naturais, redução de populações de espécies nativas e perda efetiva de biodiversidade (Silva, 2006). Além das principais ameaças mencionadas, a biodiversidade enfrenta pressões de eutrofização, poluição dos ambientes, uso inadequado do solo, exploração exagerada dos recursos naturais, incêndios, contaminação de solos e mananciais, surtos de doenças, biopirataria e caça predatória (Caliman *et al.*, 2023; Gama; Souza, 2024).

Os principais fatores de ameaça às macrófitas aquáticas incluem mudanças climáticas, eutrofização e diferentes formas de poluição dos ambientes (Caliman *et al.*, 2023). Diante dessas limitações das estratégias tradicionais, a cultura de tecidos vegetais surge como uma alternativa complementar, cujos fundamentos são apresentados a seguir.

2.2. Fundamentos da Cultura de Tecidos Vegetais

A cultura de tecidos vegetais constitui uma técnica fundamental na biotecnologia moderna, pois permite o cultivo asséptico *in vitro* de

células, tecidos, órgãos ou plantas inteiras sob controle nutricional e das condições ambientais, conforme destacado por Meneghetti (2015). Esta metodologia baseia-se em princípios biológicos fundamentais e oferece múltiplas aplicações no melhoramento genético, na conservação de germoplasma e na propagação comercial de plantas, como apontam Oliveira, Dias e Brondani (2013) e González (2002).

O fundamento teórico essencial dessa técnica é a totipotência celular, conceito que se refere à capacidade das células vegetais regenerarem uma planta inteira a partir de um fragmento de tecido ou de uma célula isolada, de acordo com Hayashi (2000) e González (2002). A cultura de tecidos oferece uma excelente oportunidade para estudar os fatores que elucidam a totipotência celular, bem como aqueles que controlam a diferenciação citológica, histológica e organogênica das plantas (Hayashi, 2000).

Um exemplo paradigmático desse fenômeno é a embriogênese somática, processo no qual células somáticas se desenvolvem através de diferentes estádios embriogênicos, formando estruturas bipolares denominadas embriões somáticos (Bartos, 2016). Análises histológicas e histoquímicas identificam células parenquimáticas que atuam como células-tronco, manifestando capacidade morfogênica para toti ou pluripotência, dando origem respectivamente a embriões somáticos e gemas adventícias em resposta aos estímulos *in vitro* (Meneghetti, 2015).

A composição do meio de cultura é crítica para o sucesso da técnica, sendo que a escolha da composição orgânica e mineral do meio é importante para o crescimento de plantas, órgãos, tecidos e células em cultura *in vitro*, uma vez que depende do desenvolvimento de

um meio otimizado para a perfeita interação entre componentes essenciais, tais como fitorreguladores, fonte de carbono e nutrientes minerais (Hayashi, 2000). O nitrogênio constitui o componente principal dos meios nutritivos, diretamente associado ao controle do crescimento, diferenciação e morfogênese (Stachevski; Franciscon; Degenhardt-Goldbach, 2013). O requerimento preferencial por amônio pode ser atribuído ao aumento da síntese de proteína durante a iniciação da embriogênese somática, enquanto o nível e a fonte de nitrogênio também são responsáveis pelo controle da organogênese (Hayashi, 2000).

Além disso, diversos nutrientes minerais influenciam os processos morfogênicos, como o boro, cálcio, potássio e os quelatos de ferro, que interferem no estabelecimento do embrião *in vitro*, e a presença de amido, relacionada à organogênese e à embriogênese somática por fornecer energia durante esses processos (Trevizam, 2001; Meneghetti, 2015). A manutenção de condições assépticas é igualmente fundamental, envolvendo controle do pH, temperatura, trocas gasosas e outros fatores ambientais (Meneghetti, 2015). A desinfestação dos explantes constitui um processo essencial para diminuir a taxa de contaminação por microrganismos exógenos no ambiente *in vitro*, sendo que a contaminação por microrganismos, tanto exógena quanto endógena, representa uma das principais limitações ao estabelecimento das culturas *in vitro* (Barbosa, 2014; Oliveira, 2021; Xavier; Otoni, 2009).

Dentre as principais técnicas, a micropropagação é a mais utilizada na propagação *in vitro* de plantas, apresentando enorme potencial para a multiplicação de genótipos de interesse, especialmente via proliferação de gemas axilares, em razão da maior simplicidade quando comparada à organogênese e à embriogênese somática

(Oliveira; Dias; Brondani, 2013). As respostas das plantas variam conforme a espécie, variedade, época de coleta, tipo de explante e condições de cultivo, sendo que a cultura de meristemas é aplicada com grande sucesso para obter plantas livres de vírus, permitindo a produção em larga escala (Oliveira; Dias; Brondani, 2013).

A organogênese representa um processo complexo de micropropagação *in vitro*, com atuação de múltiplos fatores externos e internos, envolvendo interação entre a fonte de explante, o meio de cultura e fatores do ambiente, dependendo principalmente da ação de reguladores de crescimento, em especial auxinas e citocininas, bem como da habilidade do tecido em responder a essas mudanças hormonais (Oliveira; Dias; Brondani, 2013; Xavier; Otoni, 2009). Vários fatores afetam a organogênese, como a idade e o tipo de explantes, as condições de cultivo e o meio de cultura, e essa técnica representa um modelo para o estudo dos mecanismos regulatórios no desenvolvimento das plantas, destacando-se o controle quase absoluto das respostas morfogênicas que os explantes venham a apresentar (Stachevski; Franciscon; Degenhardt-Goldbach, 2013).

Já a embriogênese somática é definida como o processo pelo qual células somáticas desenvolvem-se através de diferentes estádios embriogênicos, formando uma estrutura bipolar chamado embrião somático, que possui sistema vascular fechado sem conexão com os tecidos do explante inicial, característica que, aliada à bipolaridade, difere os embriões somáticos dos propágulos resultantes da micropropagação e da organogênese (Bartos, 2016; Trevizam, 2001).

Por meio da embriogênese repetitiva, teoricamente uma cultura iniciada de um único explante pode produzir um número ilimitado

de embriões, tornando o processo altamente atrativo para a produção massiva de plantas (Xavier; Otoni, 2009). As metodologias de indução envolvem mudanças no meio de cultura, diferentes tipos e concentrações de reguladores de crescimento, densidade celular, nutrientes e iluminação, sendo também influenciada pelo sistema de cultivo utilizado nos diferentes estádios embriogênicos (Xavier; Otoni, 2009; Barbosa, 2019; Bartos, 2016).

3. METODOLOGIA

Este estudo consistiu em uma revisão sistemática da literatura, com abordagem qualitativa, destinada a analisar como as técnicas de cultura de tecidos vegetais (micropropagação, criopreservação, resgate de embriões, entre outras) têm sido empregadas como estratégia para a conservação da biodiversidade vegetal, especialmente de espécies ameaçadas, endêmicas ou de valor ecológico, conforme documentado na produção científica recente.

A metodologia foi estruturada em cinco etapas principais, seguindo protocolos rigorosos de revisão e análise temática, conforme detalhado a seguir.

3.1. Delineamento da Revisão

A pesquisa pautou-se nos princípios do protocolo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), adaptado para revisões qualitativas e sínteses bibliográficas. O objetivo foi mapear, avaliar e sintetizar evidências sobre a contribuição da cultura de tecidos vegetais para a conservação *ex situ* e *in situ* da biodiversidade, com ênfase em cinco dimensões alinhadas aos objetivos específicos do estudo a seguir:

- 1) Fundamentos e princípios da cultura de tecidos vegetais aplicados

à conservação de germoplasma; 2) Técnicas específicas (micropropagação, criopreservação, resgate de embriões) e seus respectivos potenciais e limitações; 3) Casos documentados de sucesso na aplicação dessas técnicas para espécies ameaçadas da flora; 4) Desafios técnicos, operacionais e éticos para a implementação em programas de conservação e 5) Lacunas de conhecimento e tendências emergentes na interface entre biotecnologia vegetal e conservação da biodiversidade.

3.2. Estratégia de Busca e Seleção de Estudos

Foram consultadas as seguintes bases de dados, selecionadas por sua relevância nas áreas de biotecnologia vegetal, conservação genética, botânica e ciências ambientais: Scopus, Web of Science, SciELO e Periódicos CAPES.

Utilizou-se uma combinação de descritores controlados e não controlados em português e inglês, com os operadores booleanos AND e OR: ("*plant tissue culture*" OR "cultura de tecidos vegetais") AND ("*biodiversity conservation*" OR "conservação da biodiversidade" OR "*germplasm conservation*" OR "conservação de germoplasma") AND ("*micropropagation*" OR "micropropagação" OR "*cryopreservation*" OR "criopreservação" OR "*embryo rescue*" OR "resgate de embriões") AND ("*endangered species*" OR "espécies ameaçadas" OR "*ex situ conservation*" OR "conservação *ex situ*").

3.2.1. Critérios de Inclusão

Foram incluídos no estudo artigos publicados entre 2005 e 2026, em inglês, português ou espanhol, que abordassem de forma teórica, experimental ou crítica o uso de técnicas de cultura de tecidos vegetais para fins de conservação de espécies vegetais. Priorizaram-

se estudos com foco em espécies ameaçadas de extinção, endêmicas ou de relevância ecológica e econômica, incluindo tanto pesquisas com plantas nativas de diferentes biomas quanto revisões sistemáticas sobre o tema.

3.2.2. Critérios de Exclusão

Foram excluídos teses, dissertações, capítulos de livros, resumos de anais de congressos e artigos de opinião não revisados por pares. Também foram descartados estudos que não estabelecessem relação explícita entre as técnicas de cultura de tecidos e a conservação da biodiversidade, aqueles que abordassem apenas melhoramento genético ou produção comercial sem qualquer vínculo com preservação de germoplasma, além de publicações duplicadas ou sem acesso integral ao texto.

3.2.3. Processo de Triagem

O processo de triagem dos artigos seguiu o protocolo PRISMA de forma rigorosa. A partir de um total inicial de artigos identificados nas bases de dados, foi realizada uma triagem preliminar com base na análise de títulos e resumos. Em seguida, os artigos pré-selecionados foram lidos na íntegra para verificar sua adequação aos critérios de inclusão. Desse modo, a amostra final foi composta por um conjunto representativo de estudos, os quais foram incluídos para a subsequente análise qualitativa e síntese crítica.

3.2.4. Extração e Organização dos Dados

Os dados dos artigos selecionados foram catalogados em uma planilha estruturada contendo as seguintes categorias: (i) Metadados: autor(es), ano de publicação, país de origem do estudo,

título, periódico, idioma; (ii) Características da espécie estudada: nome científico, família botânica, status de ameaça (quando informado), bioma de origem; (iii) Técnica de cultura de tecidos empregada: micropropagação, criopreservação, resgate de embriões, organogênese, embriogênese somática, entre outras; (iv) Objetivo da conservação: preservação de germoplasma, reintrodução de espécies, recuperação populacional, banco *in vitro*; (v) Resultados e achados principais: taxas de sucesso, viabilidade pós-criopreservação, número de plantas regeneradas, sobrevivência em campo; (vi) Desafios e limitações relatadas: contaminação, oxidação fenólica, recalcitrância, perda de diversidade genética, custos operacionais; (vii) Recomendações dos autores: aprimoramentos técnicos, integração com políticas públicas, parcerias institucionais.

3.3. Síntese Crítica

Os dados extraídos foram interpretados à luz do referencial teórico da conservação da biodiversidade e da biotecnologia vegetal, com destaque para os seguintes eixos de análise: (1) a eficácia comparativa das diferentes técnicas de cultura de tecidos para a conservação *ex situ* de espécies ameaçadas; (2) os desafios técnicos e biológicos recorrentes (como recalcitrância à criopreservação, variação somaclonal e contaminação endógena); (3) as condições institucionais e de infraestrutura necessárias para a implementação dessas tecnologias em programas de conservação, especialmente em países megadiversos; (4) a integração entre estratégias *in situ* e *ex situ* mediadas pela cultura de tecidos; (5) as lacunas de pesquisa persistentes e as tendências emergentes, como o uso de biorreatores para micropropagação em larga escala e a criopreservação de ápices caulinares para espécies recalcitrantes.

A análise permitiu a construção de quadros sintéticos que organizam visualmente as evidências e facilitam a discussão crítica dos resultados, relacionando as técnicas empregadas, as espécies-alvo, os níveis de sucesso e os principais entraves documentados na literatura.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES OU ANÁLISE DOS DADOS

4.1. Características dos Estudos Incluídos

A revisão incluiu 9 publicações, sendo seis estudos primários, duas revisões bibliográficas e um estudo bibliométrico. A Quadro 1 sintetiza as principais características.

Quadro 1 – Características dos estudos incluídos na revisão

Estudo	Tipo de estudo	Espécie(s) focal(is)	Família	Status de conservação	Técnica utilizada
Kurita et al. (2013)	Estudo primário	<i>Nidularium minutum</i>	Bromeliaceae	Vulnerável	Germinação <i>in vitro</i> de sementes
Marchi (2016)	Estudo primário	<i>Discocactus zehntneri</i>	Cactaceae	Endêmica da Bahia	Multiplicação de brotos

△ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em: <https://revistatopicos.com.br/artigos/a-utilizacao-da-cultura-de-tecidos-vegetais-como-estrategia-para-a-conservacao-da-biodiversidade?noblockage>

Fonte: Elaborado pelo autor (2026) com base nos estudos selecionados.

Os estudos primários concentraram-se em espécies brasileiras, com destaque para os biomas Mata Atlântica (Kurita *et al.*, 2013; Resende *et al.*, 2016; Droste *et al.*, 2005), Cerrado e Amazônia (Silva, Rocha e Herrera, 2025). As principais ameaças identificadas incluíram destruição de habitats por desmatamento (Kurita *et al.*, 2013), pressão antrópica (Cruz-Cruz, González-Arno e Engelmann, 2013), avanço da agriculturização (Lallana *et al.*, 2016) e perda de habitat (Silva, Rocha e Herrera, 2025).

4.2. Técnicas de Cultura de Tecidos Aplicadas à Conservação

4.2.1. Micropropagação e Multiplicação Clonal

A micropropagação foi a técnica mais amplamente reportada. Para *Nidularium minutum*, a germinação *in vitro* de sementes alcançou aproximadamente 60% após 45 dias, utilizando meio MS/2 com 3% de sacarose e temperatura de 26°C (Kurita *et al.*, 2013). A taxa de contaminação foi controlada em 16% mediante desinfestação com etanol 70% por 3 minutos seguido de hipoclorito de sódio 1% por 30 minutos (Kurita *et al.*, 2013).

Para *Vriesea cacuminis*, meios suplementados com 15 µM de BAP + 4,5 µM de ANA produziram altas taxas de propagação, enquanto o enraizamento foi otimizado com 0,2 µM de ANA (Resende *et al.*, 2016). As plântulas foram aclimatizadas com sucesso após seis meses de cultivo *in vitro* (Resende *et al.*, 2016).

Em cactos endêmicos da Bahia, os reguladores testados não superaram o controle na indução de brotos, mas a callogênese foi

potencializada pela adição de auxinas (Marchi, 2016). Brotos normais de *Stephanocereus luetzelburgii* apresentaram 100% de sobrevivência em condições *ex vitro* (Marchi, 2016).

A análise bibliométrica de Silva, Rocha e Herrera (2025) revelou que o meio WPM foi utilizado em 80% dos estudos e o MS em 67%. Entre os reguladores de crescimento, o BAP destacou-se em 30% das pesquisas e o AIB em 20%, especialmente para enraizamento (Silva, Rocha e Herrera, 2025). Explantes nodais foram predominantes (38%), seguidos por sementes (18%) (Silva, Rocha e Herrera, 2025).

4.2.2. Criopreservação e Conservação a Longo Prazo

A criopreservação foi destacada como a única técnica que assegura conservação segura e de baixo custo a longo prazo para uma ampla gama de espécies vegetais (Cruz-Cruz, González-Arno e Engelmann, 2013). O processo envolve exposição a temperaturas entre -150°C e -196°C usando nitrogênio líquido (Malosso *et al.*, 2024). A vitrificação é empregada para inibir a formação de cristais de gelo intracelulares durante o congelamento (Cruz-Cruz, González-Arno e Engelmann, 2013).

No entanto, o protocolo de criopreservação de brotos de *Discocactus zehntneri* não foi eficiente (Marchi, 2016). Por outro lado, o armazenamento de sementes tanto em condições de nitrogênio líquido quanto em ultrafreezer manteve a qualidade fisiológica após 360 e 180 dias, respectivamente (Marchi, 2016). Agentes osmóticos foram eficientes em inibir o crescimento *in vitro* da espécie por um ano sem perda na viabilidade (Marchi, 2016).

4.2.3. Cultura de Crescimento Lento e Bancos In Vitro

A conservação em médio prazo por meio de armazenamento com crescimento lento *in vitro* permite estender subculturas de vários meses a vários anos, dependendo da espécie (Cruz-Cruz, González-Arno e Engelmann, 2013). Esta técnica envolve manter explantes em salas com condições de crescimento lento, como baixas temperaturas, pouca luminosidade e baixa umidade, além do uso de meios de cultura diluídos e adição de altas concentrações de agentes osmóticos (Malosso *et al.*, 2024).

4.3. Eficácia dos Protocolos de Conservação

O Quadro 2 sintetiza os principais resultados quantitativos reportados.

Quadro 2 – Eficácia dos protocolos de cultura de tecidos por espécie

Espécie	Taxa de germinação/propagação	Sobrevivência na aclimatização	Tempo para aclimatização	Condições ótimas	Desafios
<i>Nidularium minutum</i> (Kurita <i>et al.</i> , 2013)	60% após 45 dias	100% após 3 meses	3 meses	MS/2, 26°C	Contaminação (16)
<i>Stephanoc</i>	Regulador	100%	Não	Auxinas	Brotos

⚠ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em: <https://revistatopicos.com.br/artigos/a-utilizacao-da-cultura-de-tecidos-vegetais-como-estrategia-para-a-conservacao-da-biodiversidade?noblockage>

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Os resultados demonstram alta variabilidade entre espécies e protocolos. Enquanto algumas espécies alcançaram 100% de sobrevivência na aclimatização (Kurita *et al.*, 2013; Marchi, 2016), outras enfrentaram desafios como hiperhidricidade e ineficiência da criopreservação (Marchi, 2016).

4.4. Comparação com Estratégias Alternativas de Conservação

4.4.1. Vantagens da Cultura de Tecidos

A cultura de tecidos apresenta vantagens significativas sobre o banco de sementes, especialmente para espécies com sementes recalcitrantes sensíveis à dessecação. A técnica mantém variabilidade genética e serve como alternativa ao banco de sementes, superando a baixa produção de sementes *in situ* (Kurita *et al.*, 2013).

A criopreservação é apontada como a única técnica que assegura conservação segura e de baixo custo a longo prazo (Cruz-Cruz, González-Arno e Engelmann, 2013). A micropropagação é benéfica para plantas difíceis de propagar *in vivo* e permite multiplicação rápida sob condições assépticas (Cruz-Cruz, González-Arno e Engelmann, 2013).

Para espécies com valor comercial, a micropropagação permite exploração sustentável e desenvolvimento econômico, além de auxiliar na escassez de sementes e mudas (Silva, Rocha e Herrera, 2025).

4.4.2. Limitações Comparativas

A micropropagação enfrenta dificuldades em reproduzir a diversidade genética armazenada e manter sua integridade genética. A aplicação em larga escala da criopreservação ainda é limitada (Cruz-Cruz, González-Arno e Engelmann, 2013).

Os desafios técnicos incluem escurecimento fenólico, contaminação microbiana (Shaimaa, 2025) e custos elevados de infraestrutura e materiais, o que pode ser uma limitação devido a restrições de financiamento (Silva, Rocha e Herrera, 2025).

4.4.3. Uso Complementar

A cultura de tecidos pode ser utilizada em conjunto com outros métodos de conservação, como o estabelecimento de plântulas em habitats naturais (Cruz-Cruz, González-Arno e Engelmann, 2013). A integração da micropropagação com iniciativas de conservação potencializa a proteção e o uso sustentável da biodiversidade (Silva, Rocha e Herrera, 2025).

4.5. Limitações Técnicas e Operacionais

4.5.1. Desafios Técnicos Específicos

A contaminação foi reportada como desafio técnico significativo, com taxa de 16% em sementes de *N. minutum* mesmo após desinfestação rigorosa (Kurita *et al.*, 2013). O escurecimento fenólico e a contaminação microbiana foram identificados como desafios que limitam aplicações mais amplas (Shaimaa, 2025).

Desafios específicos de espécies incluem a recalcitrância de muitas espécies lenhosas à cultura de tecidos, requerendo protocolos específicos (Silva, Rocha e Herrera, 2025). A diversidade genética e

ecológica da Amazônia dificulta a padronização de protocolos de micropropagação (Silva, Rocha e Herrera, 2025).

A combinação de citocininas e auxinas aumentou a porcentagem de brotos hiperídricos em *S. luetzelburgii*, que não sobreviveram após aclimatização (Marchi, 2016). A expressão diferencial de genótipos em bromélias justifica a necessidade de pesquisas continuadas para estabelecer condições ideais para tecidos específicos (Droste *et al.*, 2005).

4.5.2. Restrições Econômicas e de Infraestrutura

A técnica requer infraestrutura avançada e materiais de alto custo, que podem ser afetados por questões de financiamento (Silva, Rocha e Herrera, 2025). Soluções baseadas em evidências, como eliciação com nanopartículas, automação de biorreatores e soluções de meios de baixo custo, foram propostas para enfrentar desafios técnicos e econômicos (Shaimaa, 2025).

A falta de conscientização sobre material de plantio e técnicas de cultivo para plantas secundárias implica restrições econômicas (Cruz-Cruz, González-Arno e Engelmann, 2013). A necessidade de biorreatores para produção comercial sugere requisitos de infraestrutura elevados (Cruz-Cruz, González-Arno e Engelmann, 2013).

4.6. Heterogeneidade dos Resultados e Fatores Explicativos

Os estudos analisados apresentam heterogeneidade substancial nos resultados de eficácia, com algumas espécies alcançando 100% de sobrevivência (Kurita *et al.*, 2013; Marchi, 2016) enquanto outras

enfrentam desafios significativos (Marchi, 2016; Droste *et al.*, 2005). Esta variação pode ser explicada por três fatores principais.

Especificidade taxonômica e fisiológica: As diferenças de sucesso entre espécies da mesma família, como as taxas de germinação distintas entre *V. gigantea* e *V. philippocoburgii* (Droste *et al.*, 2005), indicam que a recalcitrância não é uniforme mesmo dentro de grupos próximos. Espécies lenhosas mostram recalcitrância particular à cultura de tecidos (Silva, Rocha e Herrera, 2025), enquanto bromélias e orquídeas apresentam respostas mais favoráveis quando os protocolos são otimizados (Kurita *et al.*, 2013; Resende *et al.*, 2016). A diversidade genética e ecológica, particularmente na Amazônia, dificulta a padronização (Silva, Rocha e Herrera, 2025), sugerindo que protocolos devem ser desenvolvidos especificamente para cada espécie ou grupo taxonômico próximo.

Otimização de protocolos e concentrações: Os estudos que reportam maior sucesso são aqueles que testaram sistematicamente diferentes concentrações de reguladores e meios. Enquanto reguladores não superaram o controle em cactos (Marchi, 2016), as bromélias responderam positivamente a concentrações específicas de BAP e ANA (Resende *et al.*, 2016). A temperatura ótima de 26°C para *N. minutum* (Kurita *et al.*, 2013) versus condições diferentes para outras espécies demonstra que a otimização de cada parâmetro é crítica. Os estudos mais bem-sucedidos testaram sistematicamente variações de meio (MS, WPM, Knudson) e suplementos (carvão ativado, PPM) (Silva, Rocha e Herrera, 2025), sugerindo que o sucesso depende mais da otimização metódica do que de uma fórmula universal.

Estágio de desenvolvimento da técnica: A análise temporal revela evolução nas taxas de sucesso. Estudos mais recentes (Shaimaa, 2025) reportam maior diversidade de soluções para desafios técnicos e integração com tecnologias emergentes como CRISPR e nanotecnologia. A identificação de que 80% dos estudos usam WPM e 67% usam MS (Silva, Rocha e Herrera, 2025) sugere convergência metodológica. Desafios persistentes como criopreservação ineficiente em algumas espécies (Marchi, 2016) e hiperidricidade (Marchi, 2016) indicam áreas que requerem desenvolvimento técnico adicional, mas não invalidam a eficácia geral da abordagem.

Portanto, a heterogeneidade nos resultados não representa falha metodológica, mas reflete a necessidade de protocolos espécie-específicos otimizados. Espécies que receberam otimização sistemática de protocolos demonstram eficácia consistente, enquanto aquelas com protocolos subótimos ou características de recalcitrância particular requerem desenvolvimento metodológico adicional.

4.7. Implicações para Países Megadiversos

Países megadiversos como o Brasil enfrentam desafios particulares na implementação da cultura de tecidos para conservação. A análise de Silva, Rocha e Herrera (2025) revelou que a técnica foi mais aplicada no Cerrado (25%) e na Mata Atlântica (22%), enquanto a Amazônia representou apenas 14% dos estudos, apesar de sua vasta biodiversidade e riscos ambientais. Essa lacuna representa uma oportunidade para direcionar esforços de pesquisa.

A falta de protocolos padronizados para a maioria das espécies nativas, combinada com restrições de financiamento e

infraestrutura, limita a escalabilidade das iniciativas (Silva, Rocha e Herrera, 2025). No entanto, soluções como meios de baixo custo, automação de biorreatores e parcerias público-privadas (Shaimaa, 2025) podem viabilizar a implementação em países em desenvolvimento.

4.8. Aspectos Éticos e Operacionais

A implementação de programas de conservação baseados em cultura de tecidos envolve considerações éticas importantes. A manutenção da integridade genética é fundamental, pois a deriva genética e a seleção *in vitro* podem reduzir a diversidade representada nos bancos de germoplasma. Além disso, a reintrodução de plantas micropropagadas deve ser precedida de estudos de adequação ecológica para evitar impactos negativos sobre as populações naturais remanescentes.

Operacionalmente, a necessidade de pessoal especializado e infraestrutura laboratorial de alto custo (Silva, Rocha e Herrera, 2025) pode ser mitigada por meio de redes colaborativas entre universidades, jardins botânicos e institutos de pesquisa, como exemplificado pelo projeto com orquídeas nativas de Entre Ríos, que enfatizou a transferência de conhecimento para jardins botânicos e viveiristas (Lallana *et al.*, 2016).

CONCLUSÃO/CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente revisão sistemática da literatura evidenciou que a cultura de tecidos vegetais constitui uma ferramenta biotecnológica estratégica para a conservação da biodiversidade, especialmente de espécies ameaçadas, endêmicas ou com limitações de propagação convencional. Os estudos analisados demonstraram que técnicas

como micropropagação, criopreservação e cultura de crescimento lento apresentam potencial significativo para a preservação de germoplasma e recuperação de populações vegetais, destacando-se a micropropagação como a abordagem mais consolidada e eficiente em diferentes grupos taxonômicos. Entretanto, a variabilidade observada nos resultados reforça a necessidade de protocolos específicos para cada espécie, considerando as particularidades fisiológicas, genéticas e ecológicas que influenciam o sucesso das estratégias de conservação. Além disso, verificou-se que a cultura de tecidos não deve ser considerada uma alternativa isolada, mas sim uma ferramenta complementar às estratégias *in situ* e *ex situ* tradicionais, contribuindo para programas integrados de conservação da biodiversidade.

Apesar dos avanços alcançados, persistem desafios técnicos, operacionais e econômicos relacionados à contaminação microbiana, oxidação fenólica, hiperhidricidade, elevados custos de infraestrutura e necessidade de mão de obra especializada. A revisão também revelou uma concentração significativa das pesquisas nos biomas Mata Atlântica e Cerrado, evidenciando uma lacuna importante de estudos voltados à Amazônia e a outros ecossistemas sub-representados. Nesse contexto, recomenda-se que futuras investigações priorizem o desenvolvimento de protocolos mais acessíveis e eficientes para espécies desses biomas, incorporando tecnologias emergentes, como biorreatores de imersão temporária, nanotecnologia e ferramentas de edição gênica. A efetividade da cultura de tecidos como estratégia de conservação dependerá, ainda, da articulação entre instituições de pesquisa, jardins botânicos, órgãos ambientais e formuladores de políticas públicas, visando fortalecer redes colaborativas, ampliar investimentos e

assegurar a manutenção da diversidade genética das espécies conservadas e reintroduzidas em seus habitats naturais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, R. da S. Avaliação da calogênese em explantes juvenis de teca (*Tectona grandis* L. f) visando a indução da embriogênese somática. 2014. DOI: <https://doi.org/10.11606/d.11.2015.tde-08042015-150029>

BARBOSA, R. da S. Bioquímica do estresse, histoquímica e aspectos ultraestruturais de calos de teca (*Tectona grandis* L.f.) visando a indução da embriogênese somática. 2019. DOI: <https://doi.org/10.11606/t.11.2019.tde-02042019-144146>

BARROSO, C. M. *et al.* Considerações sobre a propagação e o uso ornamental de plantas raras ou ameaças de extinção no Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, v. 13, n. 2, 2007. DOI: <https://doi.org/10.14295/rbho.v13i2.210>

BARTOS, P. M. C. Aprimoramento da embriogênese somática de dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.), a partir de folhas de plantas adultas: influência do genótipo e caracterização morfoanatômica e bioquímica. 2016. DOI: <https://doi.org/10.26512/2016.12.t.23214>

BPBES - Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviço Ecosistêmicos. **Relatório temático sobre espécies exóticas invasoras, biodiversidade e serviços ecosistêmicos.** 2024. DOI: <https://doi.org/10.4322/978-65-00-87228-6>

CALIMAN, A. *et al.* **Desafios e Perspectivas na Conservação da *Isoëtes cangae*.** 2023. DOI: <https://doi.org/10.29327/5315078>

CRUZ-CRUZ, C.; GONZÁLEZ-ARNAO, M. T.; ENGELMANN, F. Biotechnology and conservation of plant biodiversity. **Resources**, v. 2, n. 2, p. 73-95, 2013. DOI: <https://doi.org/10.3390/RESOURCES2020073>

DROSTE, A. *et al.* *In vitro* culture of *Vriesea gigantea* and *Vriesea philippocoburgii*: two vulnerable bromeliads native to Southern Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 48, n. 6, p. 907-916, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-89132005000600006>

ELIAS, M. A. da S. Ameaças da perturbação antrópica a abelhas nativas polinizadoras do tomateiro. 2016. DOI: <https://doi.org/10.26512/2016.07.t.22134>

FAJARDO, C. G.; VIEIRA, F. de A.; MOLINA, W. F. Conservação Genética de Populações Naturais: Uma Revisão para Orchidaceae. **Biota Amazônia**, v. 6, n. 3, p. 108–118, 2016. DOI: <https://doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v6n3p108-118>

FORZZA, R. C. *et al.* Coleções biológicas do Jardim Botânico do Rio de Janeiro à luz das metas da GSPC/CDB: onde estamos em 2020? **Museologia & Interdisciplinaridade**, v. 5, n. 9, p. 135–159, 2017. DOI: <https://doi.org/10.26512/museologia.v5i9.17281>

GAMA, D. C.; SOUZA, M. O. de. Recurso genético endêmico ameaçado de extinção: o caso da *Dalbergia nigra* no Recôncavo da Bahia. **Flovet - Boletim do Grupo de Pesquisa da Flora Vegetação e Etnobotânica**, v. 2, n. 13, e2024012, 2024. DOI: <https://doi.org/10.59621/flovet.2024.v2.n13.e2024012>

GIANNINI, T. C. **Capital natural das florestas de Carajás**. 2023. DOI: <https://doi.org/10.29223/book.itv.ds.2023.02.giannini>

GONZÁLEZ, E. R. Transformação genética de *Eucalyptus grandis* e do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* via *Agrobacterium*. 2002. DOI: <https://doi.org/10.11606/t.11.2002.tde-23102002-174613>

HAYASHI, T. Efeito do estado nutricional em N, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ de matrizes de cravo (*Dianthus caryophyllus* L., Caryophyllaceae) na calogênese *in vitro*. 2000. DOI: <https://doi.org/10.11606/d.11.2019.tde-20191218-173835>

KURITA, F. M. K. *et al.* Fenologia, cultivo *in vitro* e aclimatização da bromélia ameaçada de extinção *Nidularium minutum* Mez. **Biotemas**, v. 27, n. 1, p. 59-68, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2014V27N1P59>

LALLANA, V. H. *et al.* Conservación de orquídeas nativas de Entre Ríos utilizando técnicas de cultivo de tejidos “*in vitro*”. **Revista de Ciencia y Tecnología**, n. 25, p. 45-52, 2016.

MALOSSO, M. G. *et al.* Métodos e técnicas biotecnológicas para a conservação de espécies vegetais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIODIVERSIDADE VIRTUAL, 4., 2024. **Anais [...]**. Campinas: Galoá, 2024. DOI: <https://doi.org/10.51189/conbiv2024/29821>

MALOSSO, M. G.; APARÍCIO, D. D.; BARBOSA, E. P.; SANTOS, I. M. dos. A importância do ácido abscísico (ABA) para a cultura de tecido vegetais. 2024. DOI: <https://doi.org/10.37423/240308832>

MALOSSO, M. G.; BATALHA, E. de S.; SOUZA, E. M. e. A importância das poliaminas para a cultura de tecidos vegetais. 2024. DOI: <https://doi.org/10.37423/240308802>

MALOSSO, M. G.; FIGUEIRA, L. E. P.; FURTADO, M. A. S. Técnicas de assepsia em cultura vegetal. 2024. DOI: <https://doi.org/10.37423/240408862>

MALOSSO, M. G.; SILVA, S. S. da; SUPRAVIDA, K. A.; FARIAS, F. N. de. Quarentena em um laboratório de culturas de tecidos. 2024. DOI: <https://doi.org/10.37423/240408857>

MARCHI, M. N. G. **Aspectos fisiológicos, anatômicos e moleculares da propagação e conservação *in vitro* de espécies de cactos endêmicos da Bahia.** 2016. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2016.

MENEGHETTI, E. C. Avaliação morfofisiológica, histológica e histoquímica das vias morfogênicas na micropropagação de *Neoregelia* sp. 2015. DOI: <https://doi.org/10.11606/d.11.2015.tde-26052015-155415>

MENGARDO, A. L. T. Subsídios para o manejo da invasão biológica de uma palmeira em áreas de Mata Atlântica. 2011. DOI: <https://doi.org/10.11606/d.41.2011.tde-09122011-131538>

OLIVEIRA, A. M. S. de. Biologia reprodutiva e interações planta-polinizador em espécies de bromeliaceae no Parque Estadual do Ibitipoca, Minas Gerais, Brasil. 2021. DOI: <https://doi.org/10.34019/ufjf/te/2021/00070>

OLIVEIRA, L. S. de; DIAS, P. C.; BRONDANI, G. E. Micropropagação de espécies florestais brasileiras. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 33, n. 76, p. 439–453, 2013. DOI: <https://doi.org/10.4336/2013.pfb.33.76.481>

OLSEN, L. B. Conservação da agrobiodiversidade: valor econômico das decisões de produtores rurais. 2015. DOI: <https://doi.org/10.26512/2014.10.d.18633>

RESENDE, C. F. de *et al.* *In vitro* culture of *Vriesea cacuminis* L.B. Sm. (Bromeliaceae): an endemic species of Ibitipoca State Park, MG, Brazil. **Iheringia, Série Botânica**, v. 71, n. 1, p. 35-42, 2016.

SANTOS, T. G. D.; ROSSITO, F. D.; FILHO, C. F. M. de S. Biodiversidade, direitos e produção camponesa de alimentos. **Revista da Faculdade de Direito da UFG**, v. 43, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5216/rfd.v43.58665>

SHAIMAA, N.M. FUTURE DIRECTIONS IN PLANT TISSUE CULTURE RESEARCH FOR BIODIVERSITY: A COMPREHENSIVE REVIEW. **International Research Journal of Modernization in Engineering Technology & Science**, v. 7, n. 1, p. 1-20, 2025. DOI: <https://doi.org/10.56726/irjmets82315>

SILVA, G. D.; ROCHA, T. T.; HERRERA, R. Micropropagação de espécies lenhosas nativas: análise do conhecimento científico e perspectivas para a conservação. **Fronteira: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 14, n. 1, p. 267-298, 2025. DOI: <https://doi.org/10.21664/2238-8869.2025v14i1.p267-298>

SILVA, V. dos S. Levantamento florístico e fitossociológico das espécies herbáceas da região de borda do Núcleo Cabuçu, Parque Estadual da Cantareira. 2006. DOI: <https://doi.org/10.11606/t.91.2007.tde-13032007-151503>

STACHEVSKI, T. W.; FRANCISCON, L.; DEGENHARDT-GOLDBACH, J. Efeito do meio de cultura na calogênese *in vitro* a partir de folhas de

erva-mate. Pesquisa Florestal Brasileira, v. 33, n. 75, p. 339–342, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.4336/2013.pfb.33.75.441>

TREVIZAM, R. Atuação de concentrações de boro na morfogênese de *Eucalyptus urophylla* cultivados *in vitro*. 2001.
DOI: <https://doi.org/10.11606/d.11.2019.tde-20191108-124214>

XAVIER, A.; OTONI, W. C. Aplicações da micropropagação na clonagem de *Eucalyptus* no Brasil. Agronomía Costarricense, v. 33, n. 2, 2009. DOI: <https://doi.org/10.15517/rac.v33i2.6728>

¹ Discente do Curso de Bacharelado em Biotecnologia do Instituto de Saúde e Biotecnologia da Universidade Federal do Amazonas.

² Docentes do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – Polo de Tefé.

³ Docente do Curso de Bacharelado em Biotecnologia do Instituto de Saúde e Biotecnologia da Universidade Federal do Amazonas.