

Article

Micropropagação de Espécies Lenhosas Nativas: Análise do Conhecimento Científico e Perspectivas para a Conservação

Gabriel Alves de Souza da Silva¹, Tainá Teixeira Rocha², Raírys Cravo Herrera³

¹ Mestre. Discente Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação (PPGBC), Universidade Federal do Pará. ORCID: 0000-0003-0459-7222. E-mail: gocbalves@gmail.com

² Doutor. Bolsista PNP/PROCAD-AM na Universidade Federal do Pará. ORCID: 0000-0001-6842-2945. E-mail: rochataina@gmail.com

³ Doutora. Docente da Universidade Federal do Pará. ORCID: 0000-0002-9699-8359. E-mail: raírrys@ufpa.br

RESUMO

A micropropagação é uma técnica promissora para a multiplicação em larga escala de plantas, contribuindo para a conservação genética, restauração de ecossistemas e desenvolvimento econômico sustentável, especialmente de espécies medicinais e madeireiras. Este estudo analisou 645 publicações indexadas nas bases *Web of Science* e *Scopus* entre 2013 e 2023. Após excluir duplicatas, 612 publicações foram selecionadas, das quais 31 atenderam aos critérios, focando espécies lenhosas nos domínios fitogeográficos brasileiros. A técnica foi mais aplicada no Cerrado (25%) e na Mata Atlântica (22%), enquanto a Amazônia representou 14%. Três estudos citaram o bioma no título, destacando a importância de contextualizar espécies em seus habitats ecológicos. O meio de cultura WPM foi usado em 80% dos estudos, seguido pelo MS em 67%. Alternativas como JADS, DKW e QL foram menos frequentes, mas promissoras. Entre os reguladores de crescimento, o Benzilaminopurina (BAP) foi destaque em 30% das pesquisas, seguido pelo Ácido Indolbutírico (AIB) em 20%, especialmente para enraizamento. Suplementos como carvão ativado, polivinilpirrolidona (PVP), caseína hidrolisada e Plant Preservative Mixture (PPM) foram usados para otimizar o crescimento. Explantes nodais foram predominantes (38%), seguidos por sementes (18%). Os resultados destacam a importância de ampliar pesquisas voltadas para a conservação *ex situ* e o uso sustentável da biodiversidade brasileira, considerando a necessidade de desenvolver e adaptar protocolos de cultura que atendam às demandas específicas de cada espécie, promovendo avanços significativos na preservação de recursos genéticos e no aproveitamento sustentável das plantas. Além disso, ao analisar a produção científica, torna-se possível direcionar esforços de conservação para biomas específicos sob maior ameaça.

Palavras-chave: biomas brasileiros; cienciométrica; biotecnologia.

ABSTRACT

Micropropagation is a promising technique for large-scale plant multiplication, contributing to genetic conservation, ecosystem restoration, and sustainable economic development, particularly for medicinal and timber species. This study analyzed 645 publications indexed in the *Web of Science* and *Scopus* databases from 2013 to 2023. After excluding duplicates, 612 publications were selected, of which 31 met the criteria, focusing on woody species within Brazilian phytogeographic domains. The technique was most applied in the Cerrado (25%) and Atlantic Forest (22%), while the Amazon accounted for 14%. Three studies mentioned the biome in the title, highlighting the importance of contextualizing species within their ecological habitats. The WPM culture medium was used in 80% of studies, followed by MS in 67%. Alternatives such as JADS, DKW, and QL were less frequent but promising. Among growth regulators, Benzylaminopurine (BAP) stood out in 30% of the studies, followed by Indolebutyric Acid (IBA) in 20%, particularly for rooting. Supplements such as activated charcoal, polyvinylpyrrolidone (PVP), hydrolyzed casein, and Plant Preservative Mixture (PPM) were employed to optimize growth. Nodal explants were predominant (38%), followed by seeds (18%). The findings emphasize the importance of expanding research focused on *ex situ* conservation and the sustainable use of Brazilian biodiversity, highlighting the need to develop and adapt culture protocols to meet the specific demands of each species, thereby promoting significant advancements in the preservation of genetic resources and the sustainable exploitation of plants. Additionally, analyzing scientific production enables conservation efforts to be directed toward biomes under greater threat. The high rate of studies in the Cerrado and Atlantic Forest underscores the urgency of prioritizing conservation actions in these areas.

Keywords: Brazilian biomes; scientometrics; biotechnology.



Submissão: 01/01/2025



Aceite: 21/01/2025



Publicação: 18/02/2025



Introdução

A cultura de tecidos se apresenta como uma abordagem ágil e eficiente para a multiplicação de plantas em ambiente controlado e restrito, esta técnica é independente da estação do ano e das condições climáticas, o que a torna altamente versátil para uma ampla variedade de materiais vegetais (Long et al. 2022; Souza Coccoresse Conceição et al. 2021; Pereira 2012).

Frequentemente, essa técnica é utilizada para a rápida produção de propágulos vegetais, um processo denominado micropropagação, que apresenta um potencial expressivo em áreas como a horticultura (tanto de plantas ornamentais quanto frutíferas): silvicultura e conservação de espécies (Bhatia; Sharma 2015; Burley 1989). Comparada à propagação convencional por sementes ou métodos vegetativos, a micropropagação possibilita a multiplicação em larga escala de diversas plantas, sendo utilizada tanto na pesquisa quanto na produção comercial (Chokheli et al. 2020).

Nessa perspectiva, a micropropagação é utilizada para a propagação de táxons que enfrentam: (i) a necessidade de conservação *ex situ*; (ii) dificuldades na reprodução sexuada ou vegetativa; (iii) limitações no número de plantas:mãe disponíveis; (iv) problemas fitossanitários que podem ser resolvidos pelo cultivo *in vitro*; ou (v) a necessidade de produzir plantas dioicas (Cardoso et al. 2018; Gaidamashvili & Benelli 2021; Phillips & Garda 2019; Xue et al. 2023).

Apesar de sua alta eficiência, os protocolos de micropropagação ainda são limitados para plantas lenhosas, principalmente devido à sua recalcitrância à cultura de tecidos (Bao et al, 2024). No entanto, o campo da ciência vegetal tem presenciado uma série de descobertas inovadoras, especialmente por meio da aplicação da propagação *in vitro*, nas últimas décadas, pesquisas têm se concentrado no desenvolvimento e aprimoramento de técnicas *in vitro* e meios de cultura voltados para a multiplicação em larga escala de plantas lenhosas, como demonstrado pelos estudos de Ahuja (2013): Jain e Häggman (2007): Rathore et al. (2004): San José et al. (2021): e Wijerathna:Yapa e Hiti:Bandaralage (2023).

Embora os protocolos de micropropagação sejam frequentemente específicos para determinadas espécies e cultivares, o que demanda um investimento significativo em pesquisa e infraestrutura (Rammal 2014; Zuzarte 2024; Geoge 2008): a crescente demanda por cultivo de espécies florestais de valor econômico e a necessidade de recuperação de sistemas degradados têm levado a um aumento no foco em estudos que buscam a multiplicação em larga escala (Abhilash 2021; Jesus et al. 2024; Murthy et al. 2023; Santini & Miquelajauregui 2022).

Estes estudos também se concentram na seleção de genótipos adaptados a diferentes condições ambientais e na busca por maior produtividade e superioridade genética, assim, apesar dos custos e desafios, a micropropagação se torna uma ferramenta essencial para atender às exigências do mercado e da conservação ambiental (Begna 2020; Cardoso & Inthurn 2018; Delgado:Paredes et al. 2021; Kulak et al. 2022; Vadell et al. 2016).

Além disso, a importância dos biomas brasileiros, que abrigam uma parte significativa da biodiversidade mundial, é um elemento determinante na aplicação dessas técnicas, pois, combinando elevados níveis de riqueza e endemismo, esses biomas se destacam como importantes centros de diversidade biológicas e potencial financeiro significativo, contribuindo para a economia local por meio de atividades sustentáveis e serviços ecossistêmicos (Aleixo et al. 2010; Fonseca & Venticinque 2018; Mace et al. 2012).

Contudo, essa abundante biodiversidade enfrenta crescentes ameaças devido às atividades antrópicas, comprometendo os serviços ecossistêmicos essenciais fornecidos pelas florestas, como a regulação do clima, a proteção do solo e a manutenção da biodiversidade (Borokini et al., 2010; Khalegh, 2017). A perda da biodiversidade está ligada ao enfraquecimento das cadeias alimentares ecológicas, uma vez que a má gestão do solo em áreas destinadas à agricultura, pecuária e ocupação urbana tem gerado impactos negativos significativos



na fauna e flora locais, exacerbando a fragilidade dos ecossistemas (Cunsolo & Ellis 2018; Gouveia et al. 2016; Prakash & Verma 2022).

Nesse contexto, a micropropagação emerge como uma estratégia eficiente para a conservação da biodiversidade e a restauração de ecossistemas ameaçados, como também responde à crescente demanda econômica, oferecendo soluções para o cultivo de espécies florestais (Salgotra & Chauhan 2023). Diante desse potencial de mercado, o cultivo de espécies lenhosas nativas, ainda se concentra principalmente na recomposição da cobertura florestal para recuperar áreas degradadas e estabelecer reservas legais. No entanto, a aparente simplicidade dessas ações é comprometida pela grave escassez de sementes e mudas disponíveis, que representa um desafio significativo para esses programas (Jesus et al. 2024; Vitt et al. 2022).

Uma vez que, possibilita a multiplicação em larga escala de espécies valiosas, essa técnica pode auxiliar na recuperação de áreas degradadas e na manutenção da integridade ecológica (Burle 2019; Chokheli et al. 2020; Oseni et al. 2018). Portanto, é imperativo identificar e preencher as lacunas de conhecimento, além de compreender os aspectos relacionados às diversas empregabilidades utilizadas na micropropagação *in vitro* de espécies lenhosas.

Diante do exposto, a cienciometria atua como uma ferramenta importante na avaliação da produção científica especialmente aquela divulgada em periódicos, além de orientar o desenvolvimento de políticas científicas mais eficazes (Goode, Hatt 1969; Razera 2016). Por meio de indicadores bibliométricos, ela permite compreender a dinâmica da ciência tanto em nível nacional quanto internacional, fornecendo dados sobre padrões de produtividade e colaboração científica (Bornmann & Leydesdorff 2014; Leta et al. 2013)

Além disso, os estudos bibliométricos e cienciométricos relacionados às plantas no Brasil têm se mostrado variados e relevantes, refletindo a riqueza e a complexidade do patrimônio botânico do país (Conceição et al. 2023; Ritter et al. 2015; Vidal:Couto et al. 2023). Essas investigações são essenciais para compreender as tendências da pesquisa científica e a produção de conhecimento nas áreas de biotecnologia e conservação de plantas, gerando uma rede robusta de antecedentes para futuros pesquisadores interessados na temática (Santos et al. 2023). Assim, a integração entre a micropropagação e a cienciometria não apenas enriquece o campo de estudo, mas também contribui para a formulação de estratégias mais eficazes em conservação e utilização sustentável da biodiversidade.

Nesse contexto, o objetivo deste artigo é avaliar o estado atual da pesquisa sobre micropropagação de espécies lenhosas nos domínios fitogeográficos brasileiros, com foco na aplicação de técnicas *in vitro*. Por meio dessa abordagem, buscamos identificar as principais metodologias aplicadas na área, além de explorar as tendências e lacunas existentes na pesquisa.

Materiais e Métodos

A pesquisa foi realizada no dia 02 de janeiro de 2024. Para obtenção dos dados foi realizado um levantamento bibliográfico no Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior : CAPES do Brasil, utilizando as bases de dados *Web of Science* e *Scopus* devido ao seu sistema fácil para a recuperação de informações gerais das publicações e pela abrangência muitos trabalhos de revistas conceituadas de múltiplas áreas científicas (Santos, 2003; Faria et al., 2011)

Estratégia de busca e recuperação de dados

A delimitação de um recorte temporal em pesquisas cienciométricas é essencial para analisar o desenvolvimento e as mudanças nas áreas de pesquisa ao se adaptarem a desafios contemporâneos, como mudanças tecnológicas, ambientais ou de políticas científicas, por essa razão, a pesquisa foi limitada apenas por tópicos em um intervalo de tempo de 2013 a 2023. Foram utilizadas as seguintes palavras-chaves ("*in vitro*



propagation" OR "*in: vitro multiplication*" OR "*in: vitro growth*" OR *micropropagation*) AND ("*woody plant**" OR "*woody specie*" OR "*forest specie**" OR *tree*). O uso de asterisco em uma palavra permite que na busca sejam incluídos o plural e variações da palavra e o uso de aspas em um termo indica uma limitação para que na busca entre as duas palavras juntas sem nenhuma palavra entre elas.

Processamento e representação de dados

Foram incluídos apenas artigos descritivos com experimentos, sendo dispensados trabalhos de revisão e literatura cinzenta (manuscritos não publicados em periódicos). Posteriormente, foi realizada a mesclagem e exclusão de artigos duplicados utilizando o software R. As listas de matrizes geradas no R foram importadas para o Microsoft Excel para melhor formatação das tabelas e gráficos.

Após a constituição da amostra de artigos, a análise dividiu-se em duas etapas, na primeira a análise dos resultados foi conduzida por meio de estatísticas simples, limitando-se a mensurações descritivas convencionais por análises de frequência, gráficos e tabelas expositivas, elaboradas em planilhas eletrônicas no software Excel, versão 2019. Além disso, os artigos foram importados para o VOSviewer, onde um total de 229 palavras:chave com 3 ocorrências foram selecionadas.

O software VOSviewer é uma ferramenta utilizada para gerar redes de relacionamentos entre conceitos, termos, palavras:chave e para realizar a mineração de texto. Por meio da contagem de palavras e análise de coocorrência, o software cria mapas visuais que facilitam a compreensão das interconexões entre diferentes elementos. Esses mapas são construídos com base no método VOS (Visualização de Similaridades): que organiza os objetos em um espaço de baixa dimensão, de modo que a distância entre os pares reflete suas similaridades com a maior precisão possível (Van Eck & Waltman 2014).

Na segunda etapa, os manuscritos foram avaliados a partir de leitura sistemática de título, resumo, objetivos ou até mesmo de todo o artigo quando necessário. Apenas os artigos dentro deste escopo foram considerados: i) estudos com foco em espécies localizadas nos domínios fitogeográficos (Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal); ii) estudos desenvolvidos com espécies lenhosas; e iii) artigos publicados nos idiomas inglês, espanhol e português. Os estudos que não estavam relacionados ao escopo da pesquisa foram excluídos. Os artigos excluídos eram aqueles que tratavam de plantas que não habitam os domínios fitogeográficos brasileiros ou que não eram plantas lenhosas. Após a leitura sistemática dos títulos e resumos, foram selecionados artigos para serem lidos na íntegra.

Para cada publicação analisada foram registradas as seguintes informações: i) ano de publicação; ii) objetivo da pesquisa; iii) nome do artigo); iv) nome científico e vernacular; v) categoria da União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN); vi) domínio fitogeográfico; vii) técnicas de cultivo; viii) tipo de explante; ix) assepsia; x) meio de cultivo; xi) suplementação; xii) reguladores; e xii) instituição do primeiro autor. A categorização dos domínios fitogeográficos de cada espécie, ocorreu através da pesquisa da espécie estudada e sua classificação site do CNFLORA.



Resultados e discussão

A busca na base de dados Web of Science resultou em 260 artigos, e no Scopus, o resultado foi de 385 artigos, somando um total de 645 publicações encontradas. Destas, 33 foram contabilizadas duas vezes (duplicatas): e uma das cópias foi excluída, totalizando 612 publicações. Dos 612 artigos, apenas 31 se enquadravam nos critérios de inclusão previamente estabelecidos, resultando na exclusão de 581 artigos. Os artigos utilizados no estudo (31 publicações) se enquadraram nos critérios de inclusão, ou seja, utilizaram espécies localizadas nos domínios fitogeográficos e foram desenvolvidos com espécies lenhosas. As etapas do protocolo PRISMA dos estudos que compõem a revisão podem ser visualizadas na (Figura 1).

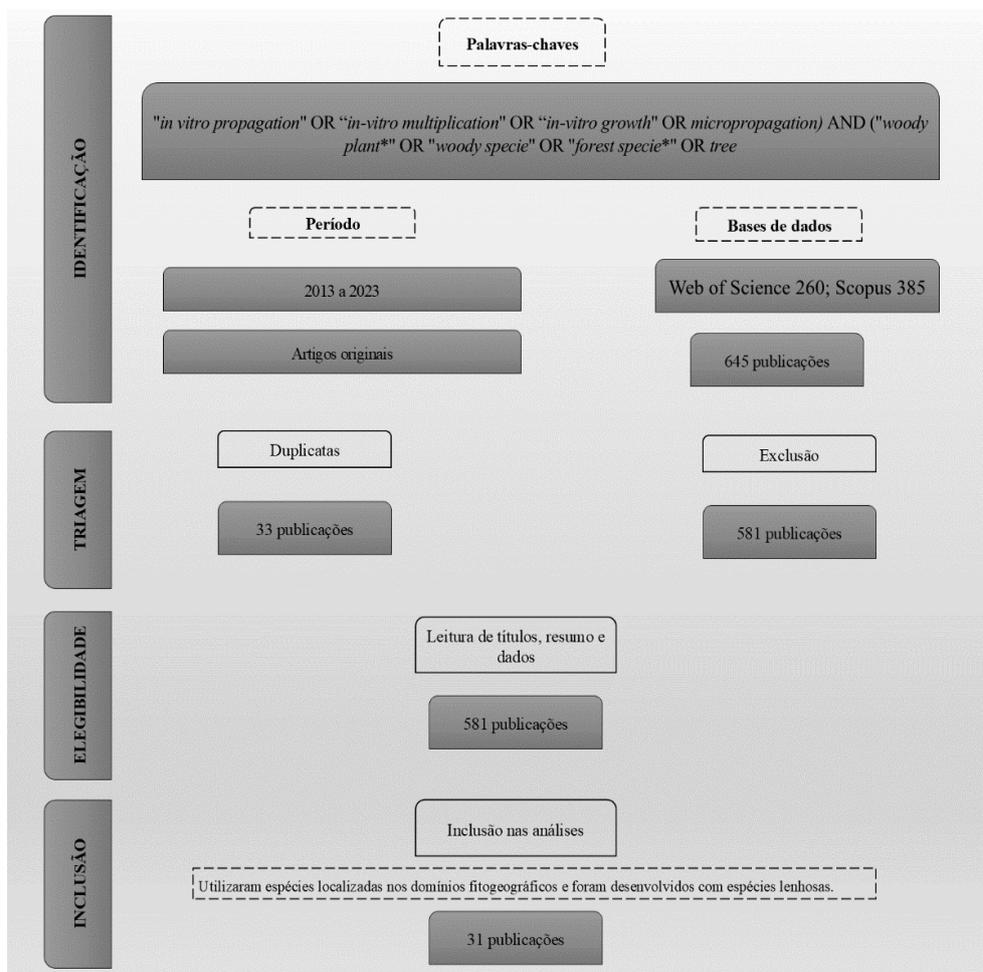


Figura 1. Fluxograma com etapas de acordo com o protocolo adaptado de PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Elaborado pelos autores (2024).



Abordagem Quantitativa

A (Figura 2) de temporalidade das publicações atividades de publicação, com um aumento entre os anos de 2019 e 2020, seguido por uma diminuição nos anos subsequentes, podendo ser atribuído a fatores emergentes relacionados à pandemia, enquanto a um aumento nos anos subsequentes refletindo e mudanças no ambiente de pesquisa.

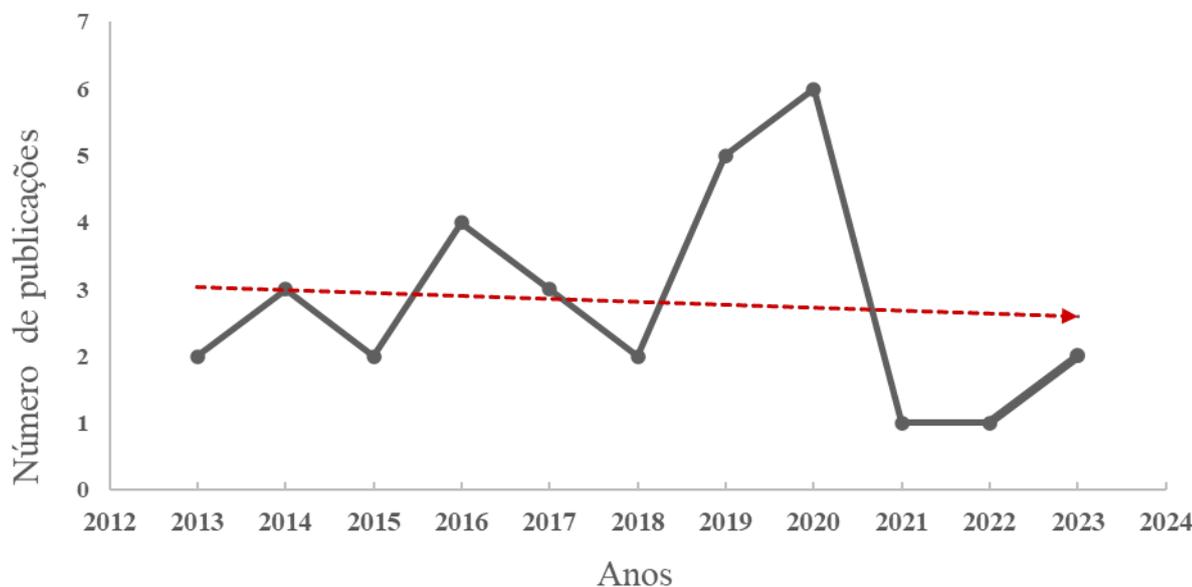


Figura 2. Número de publicações sobre 2013 e 2023 com base dados Web of Science e Scopus. Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

A escolha do intervalo temporal de 2013 a 2023 nesta pesquisa fundamenta-se na relevância de se analisar tendências científicas contemporâneas, identificar lacunas no conhecimento e compreender inovações introduzidas em períodos específicos. Conforme argumentado por Mattedi e Spiess (2017): a produtividade científica deve ser analisada dentro de contextos históricos e temporais, permitindo que recortes temporais evidenciem alterações nas metodologias de pesquisa e nas prioridades das agendas científicas.

Além disso, Henkhaus et al. (2020) destacam que análises decenais são cruciais para mapear avanços estratégicos e explorar conexões entre o progresso científico e os desafios globais, como sustentabilidade e saúde ambiental. A delimitação de uma década recente, portanto, possibilita um exame mais detalhado dos avanços técnicos que moldaram a área de micropropagação de plantas lenhosas, alinhando-se à importância crescente da produção científica para o desenvolvimento econômico e social.

Como destacado por Powell e Snellman (2004) e Godinho (2023): o conhecimento gerado pela pesquisa não apenas impulsiona a capacidade tecnológica, mas também contribui para a inovação, proporcionando soluções práticas e novas tecnologias que têm impactos abrangentes em diversas áreas, incluindo a biotecnologia e a conservação ambiental. Nesse sentido, a análise das tendências de publicações e das métricas de avaliação se torna essencial para compreender como as pesquisas são disseminadas e valorizadas nas diversas áreas da ciência (Corrales:Reyes et al. 2018).

O artigo científico se consolidou como a principal forma de divulgação de pesquisas acadêmicas, refletindo uma tendência crescente observada em diversas disciplinas. Essa predominância é explicada pelo papel central que os periódicos desempenham na avaliação científica, um fenômeno conhecido como “papirocentrismo” que se refere à ênfase na publicação em revistas científicas como critério para medir a produtividade acadêmica e a qualidade das pesquisas realizadas (Mattedi & Spiess 2017).



O aumento nas publicações científicas sobre cultura de tecidos em espécies lenhosas durante o período de 2018 a 2020 pode ser associado ao crescente uso de métricas para avaliação da produção acadêmica, como o fator de impacto e o *h:index*. Essas métricas têm incentivado os pesquisadores a publicar com maior frequência e em revistas de prestígio, visando aumentar sua visibilidade e reconhecimento no campo (Miglioli 2017; Mugnaini et al. 2019). As métricas de avaliação de impacto, tornaram-se parâmetros fundamentais para a avaliação do desempenho acadêmico, incentivando os pesquisadores a aumentar sua produção científica (Calò 2022). Essa produção não apenas é importante para a competitividade de países em um contexto global, mas também sustenta o progresso em setores críticos, reforçando a relevância das publicações acadêmicas (Mazlounian et al. 2013).

A pressão por publicações em periódicos de alto impacto reflete não apenas a ambição de pesquisadores individuais, mas também a exigência das agências de fomento e das instituições de ensino superior por uma produção acadêmica que eleve o prestígio dos programas de pós-graduação (Barata 2019). Assim, a publicação em revistas reconhecidas torna-se um critério fundamental para a avaliação da qualidade e relevância da pesquisa realizada, contribuindo para um ciclo de valorização da ciência no Brasil.

No entanto, o Brasil teve retrocessos no financiamento para ciência e tecnologia tiveram impacto direto no desenvolvimento científico, comprometendo áreas estratégicas. A partir de 2014, o país enfrentou cortes severos no orçamento destinado à pesquisa, intensificados pela crise econômica, o que prejudicou a continuidade de projetos científicos. Em 2019, o CNPq enfrentou uma grave crise financeira, levando à suspensão de bolsas de pesquisa e de investimentos fundamentais para o avanço tecnológico, o que se refletiu na redução significativa do número de publicações científicas nesses anos (Mcmanus et al. 2020; Borges 2021; Ribeiro et al. 2023).

Esse cenário contrasta fortemente com a dinâmica de outros países, como China e Coreia do Sul, que priorizaram investimentos em ciência e tecnologia mesmo durante períodos de crise econômica. Segundo o *Nature Index*, a China, por exemplo, ampliou consideravelmente sua produção científica, especialmente em ciências naturais, graças a investimentos maciços em pesquisa e desenvolvimento (Superpowered Science: Charting China's Research Rise 2021) esse crescimento reflete uma visão estratégica de longo prazo que assegura competitividade global e avanços científicos, enquanto no Brasil os cortes orçamentários limitaram a capacidade de inovação e a produção de conhecimento científico

Os impactos desses retrocessos no Brasil foram particularmente evidentes em áreas de alta especialização, como a micropropagação, reconhecida como uma abordagem segura e custo:efetiva, essa técnica, exige infraestrutura avançada e materiais de alto custo, pode ter sido afetada pela falta de financiamento, uma vez que a manutenção de culturas embrionárias demanda ciclos contínuos de subculturas, monitoramento rigoroso e equipamentos especializados, gerando custos operacionais elevados (Corredoira et al. 2017; Gaidamashvili & Benelli 2021, Ballesteros et al. 2024)

Entretanto, a partir de 2021, observou-se uma queda no número de publicações, com apenas 1 publicação registrada tanto em 2021 quanto em 2022, esse declínio pode sugerir a influência da pandemia de COVID:19, que se espalhou globalmente a partir de março de 2020, e impôs uma série de restrições sanitárias e sociais (Fraser et al. 2021). Nesse contexto, diversos desafios emergiram, gerando uma necessidade premente de ajustes nas rotinas de trabalho e pesquisa.

O fechamento de laboratórios e a realocação de recursos para o combate à COVID:19 resultaram em uma queda significativa na produtividade acadêmica em várias áreas do conhecimento (Omary et al. 2020). As mudanças nas rotinas de trabalho foram particularmente marcantes nas áreas de ciência e engenharia, onde as atividades de pesquisa e ensino dependem fortemente de recursos físicos de laboratório, animais vivos e experimentos que exigem cronologia rigorosa (Mehta et al. 2023).



A visualização das interconexões entre conceitos, palavras-chave e termos dentro de uma área de pesquisa desempenha um papel importante para compreender tendências e identificar lacunas no conhecimento científico. Nesse contexto, ferramentas como o VOSviewer destacam-se pela capacidade de traduzir grandes volumes de dados em mapas visuais claros e informativos (Van Eck & Waltman 2014): na (Figura 3): os resultados dessa análise de coocorrência são apresentados, evidenciando os principais termos e suas relações dentro do corpus de publicações analisadas.

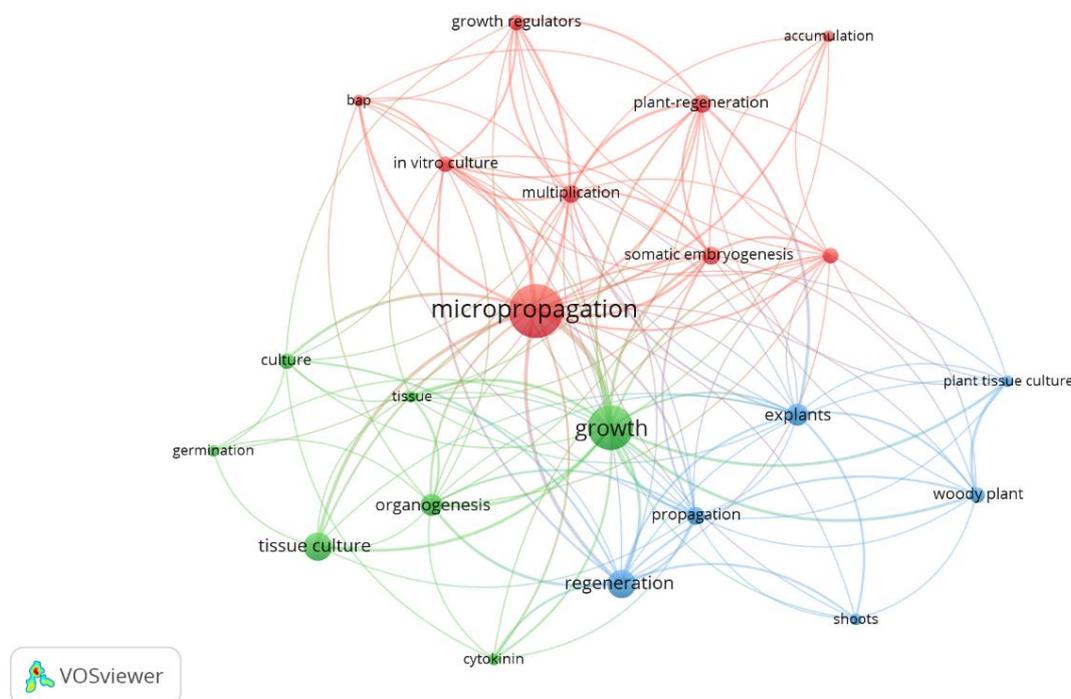


Figura 3. As palavras-chave foram analisadas por agrupamento e desenhado o mapeamento de coocorrência de palavras. Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

As palavras-chave representam a visão geral dos autores sobre os artigos de pesquisa, e a avaliação das palavras-chave em artigos de pesquisa em um campo específico pode identificar de forma ágil os pontos de pesquisa e as fronteiras dentro do campo (Huang et al., 2022; Yang et al., 2021)

Na (Figura 3) os nós representam palavras-chave. A frequência das palavras-chave é determinada pelo tamanho dos nós. As linhas de ligação sinalizam a presença simultânea das palavras-chave. Conforme as diversas tonalidades dos nós de palavras-chave sendo possível categorizá-las em três diferentes tópicos (excluindo pequenos agrupamentos).

Como mostrado na (Figura 3) há três agrupamentos de termos diferentes, representados, respectivamente, no agrupamento um (rede de cores verdes): agrupamento dois (rede de cores azuis) e agrupamento três (rede de cores vermelhas).

O agrupamento do cluster vermelho é centrado no termo "*micropropagation*", que está conectado a termos como "*somatic embryogenesis*", "*growth regulators*", "*multiplication*" e "*in vitro culture*". Esse grupo de termos está fortemente associado a processos de propagação e regeneração de plantas em ambiente controlado, especialmente em laboratório, usando reguladores de crescimento como o BAP (6:benzilaminopurina).



O centro do cluster verde é o termo "growth", que está relacionado com "tissue culture", "cytokinin", "organogenesis" e "germination". Os termos indicam processos biológicos fundamentais para o crescimento vegetal, como a cultura de tecidos e o desenvolvimento de órgãos, influenciados por fitormônios.

No centro do cluster azul é "explants", e está relacionado a "shoots", "woody plant", "propagation" e "plant tissue culture". Ele se concentra em processos de propagação a partir de explantes, com foco em espécies lenhosas e técnicas de cultura de tecidos.

Os clusters de palavras-chave mostram que há uma forte concentração de estudos focados em "micropropagation" e "in vitro culture", enquanto termos relacionados à "conservation" e "ecological restoration" aparecem menos frequentemente. Isso sugere que a pesquisa atual está mais focada em técnicas de propagação do que em aplicações para a conservação.

Na Figura 4, são apresentadas as instituições mais produtivas neste campo de pesquisa, destacando a primeira autoria do manuscrito, que representa o principal responsável pela pesquisa, e a última autoria, que frequentemente indica o coorientador. Essas instituições são aquelas com maior impacto na produção científica relacionada à micropropagação e cultura de tecidos.

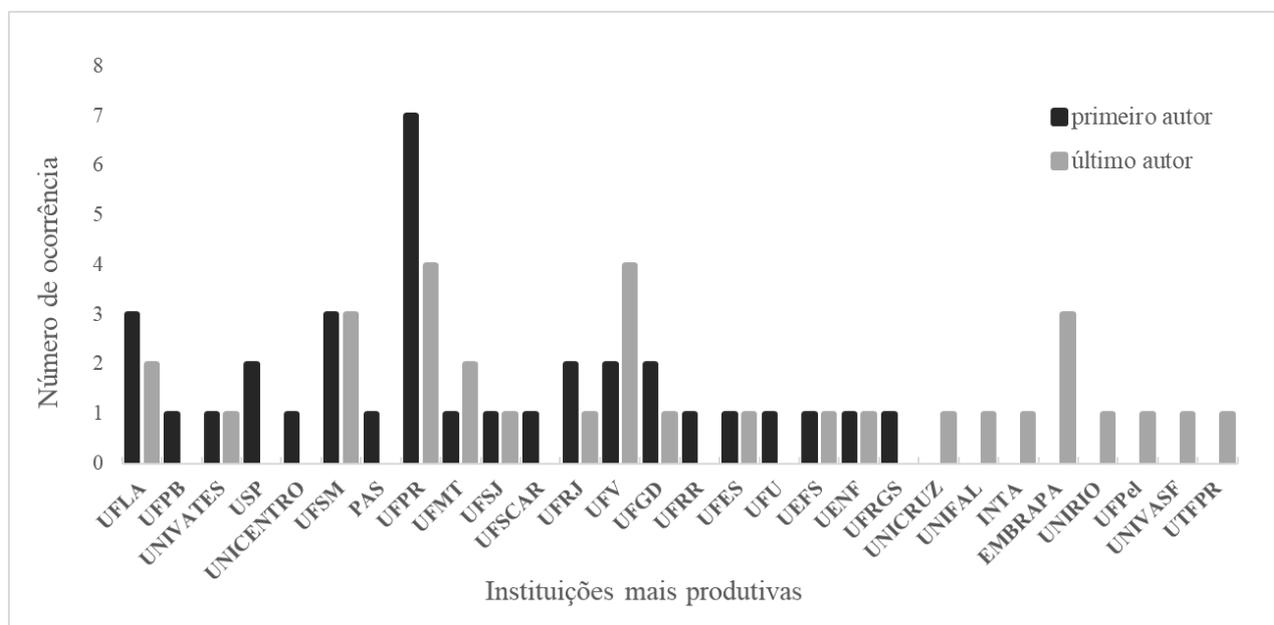


Figura 4. Instituições mais produtivas em publicações entre 2013 e 2023. Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

A concentração de recursos e infraestrutura científica em instituições específicas é uma característica marcante do sistema científico brasileiro. Estudos como os de Leta et al. (2006) analisam a dinâmica da ciência no Brasil e mostram que a concentração da produção científica em algumas universidades públicas, como USP, UFRJ e UFMG, é uma característica marcante do sistema brasileiro.

O crescimento da produção científica está fortemente ligado ao investimento em pesquisa nas Universidades Federais e Autarquias como a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA): o Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG) e o Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro (JBRJ): essas instituições, junto às universidades, criam uma rede científica diversa e robusta, que permite o avanço de múltiplas áreas do conhecimento (Rezende 2011).

Regiões como o Sudeste, com infraestrutura científica robusta e maior acesso a financiamento, produzem a maior parte do conhecimento científico nacional. Segundo estudos, mais de 50% da produção científica brasileira está concentrada nessa região, em parte devido ao papel de agências de fomento regionais como a



FAPESP, que garantem suporte contínuo às instituições locais (Nassi:Caló 2014). Por outro lado, regiões como o Norte e o Nordeste enfrentam limitações em infraestrutura e financiamento, o que restringe sua capacidade de competir em igualdade de condições (Sidone et al., 2016). O Efeito Matthew então que descreve a tendência de recursos e reconhecimento serem concentrados em pesquisadores ou instituições já estabelecidos (Merton 1968): pode ser claramente observado na produção científica brasileira.

Barbosa (2016) argumenta que esse fenômeno pode prejudicar tanto a diversidade no campo científico quanto a qualidade da pesquisa. A preferência editorial por estudos originais que apresentem resultados positivos contribui para um viés que desestimula a replicação de pesquisas existentes, uma prática essencial para validar descobertas e garantir o progresso da ciência. Este cenário favorece práticas como exagero em propostas de impacto ou priorização de métricas de "excelência", que podem ser arbitrárias ou inadequadas para contextos locais, particularmente em países do Sul Global (Catanzaro et al. 2014).

Apesar das críticas ao sistema científico global, como o viés editorial por resultados positivos e a priorização de métricas de impacto, que podem desestimular práticas como a replicação de estudos a análise de Grácio e Oliveira (2014) sobre a produção científica brasileira ao longo de 15 anos revela um crescimento significativo na produção científica, bem como na divulgação dos textos resultantes dessa produção, com as áreas de ciências biológicas e agrárias liderando a produção nacional. O uso de indicadores normalizados permitiu uma comparação do desempenho científico do Brasil em relação a outros países, destacando o país como um dos principais atores emergentes em ciência global.

Já Leta et al. (2013) discutem como as colaborações internacionais têm desempenhado um papel essencial no crescimento do perfil de publicações científicas do Brasil. Eles exploram o aumento das coautorias internacionais, destacando que essas colaborações não apenas aumentam o número de publicações, mas também elevam a sua relevância global, com impacto direto nas citações e no reconhecimento acadêmico.

Essa cooperação entre instituições de diferentes países impulsiona a troca de conhecimentos e eleva o nível de inovação científica. A presença de instituições como o Instituto Nacional de Tecnología Agropecuária:INTA (Argentina) e a Universidad Católica da Argentina: UCA (Argentina) nos artigos analisados, sugere que colaborações internacionais também estão presentes, refletindo a crescente internacionalização da ciência brasileira

Abordagem Sistemática

Conforme a (Figura 5) a maior parte das pesquisas focou nas espécies do Cerrado e da Mata Atlântica, o que é coerente com o fato de esses biomas estarem sob maior ameaça devido à expansão agrícola. Em contrapartida, a Amazônia aparece com menor destaque, Junto com Pampa e Pantanal, o que pode sugerir uma lacuna de conhecimento que necessita de mais atenção dos pesquisadores.

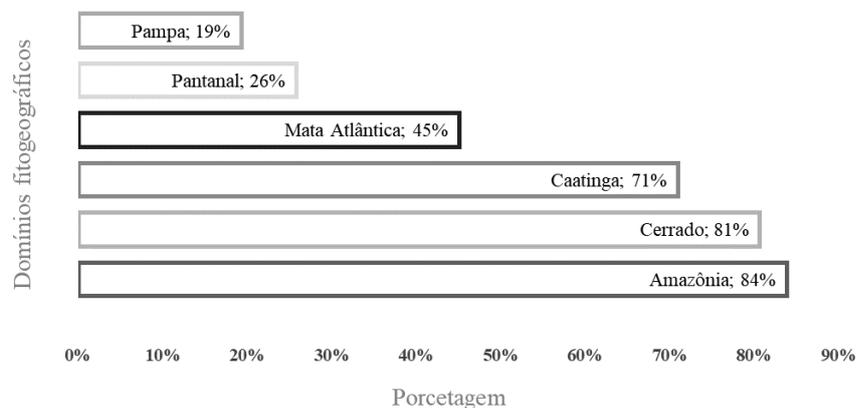


Figura 5. Distribuição de artigos dentre os domínios fitogeográficos brasileiros. Fonte: Elaborado pelos autores (2024).



A contagem das espécies levou em consideração que muitas delas estão presentes em mais de um domínio fitogeográfico. Os dados evidenciam um viés geográfico significativo na distribuição e no conhecimento sobre as espécies nos diferentes domínios fitogeográficos brasileiros. Assim, as porcentagens refletem a ocorrência das espécies em diferentes domínios, indicando que a maior parte das espécies analisadas é distribuída nos domínios fitogeográficos brasileiros com maior extensão territorial. Especificamente, 71% das espécies estudadas (22) pertencem à Amazônia, 84% (26) ao Cerrado, 45% (14) à Caatinga, 81% (25) à Mata Atlântica, 19% (6) ao Pantanal e 26% (8) ao Pampa, evidenciando a diversidade de ambientes nos quais essas espécies estão presentes.

Três artigos mencionaram no título o domínio fitogeográfico brasileiro onde a espécie do estudo é encontrada, essa menção do domínio nos títulos de artigos científicos que abordam espécies específicas é essencial para a contextualização da pesquisa dentro de um marco ecológico claro. Como destacado por (Milojević et al. 2011): as palavras:títulos refletem a estrutura cognitiva da disciplina e servem como indicadores de tendências de pesquisa, permitindo uma identificação mais eficiente dos tópicos abordados.

Uma vez que o domínio fitogeográfico atua como uma palavra:título, ele serve como um ponto de atenção (Bazerman 1985) permitindo que leitores e pesquisadores identifiquem rapidamente o foco do estudo, além disso, trazer essa menção no título destaca a especificidade e a relevância ecológica do estudo, ajudando a delinear claramente o contexto ambiental e geográfico para entender melhor suas estratégias de adaptação e conservação.

Essa prática, alinhada à evolução dos títulos de artigos ao longo do século 20, reflete uma tendência crescente em direção à especificidade e à clareza na comunicação científica (Burns & Islam 2024; Buxton & Meadows 1977; Jiang & Hyland 2023). Os autores dessa forma facilitam a identificação e a seleção dos artigos por outros pesquisadores interessados em estudos de determinadas regiões ou ecossistemas, esse recurso é particularmente útil para quem realiza revisões sistemáticas ou meta:análises, uma vez que permite uma triagem mais eficiente dos estudos relevantes.

Vale notar que essas espécies também são encontradas nos demais domínios fitogeográficos brasileiros do país, o que reforça a importância de indicar claramente a localização no título do artigo para destacar as características específicas do estudo, mas também facilita a identificação da categoria de perigo das espécies conforme a IUCN (Figura 6).

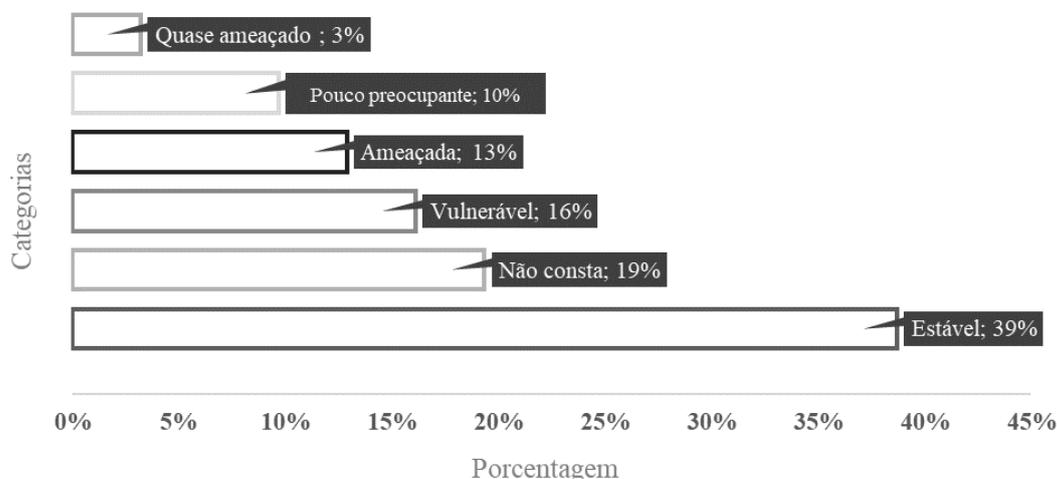


Figura 6. Distribuição das categorias da Lista Vermelha da IUCN dentre os artigos. Fonte: Elaborado pelos autores (2024).



As classificações das espécies encontradas nos artigos de acordo com a Lista Vermelha da IUCN indicaram que a maioria das espécies estudadas estão classificadas com um menor risco de ameaça. A segunda classificação mais frequente foi não avaliada, sugerindo que essas espécies não foram especificamente descritas na lista, embora espécies relacionadas possam estar presentes. Essa falta de avaliação direta não necessariamente reflete o estado atual dessas espécies, destacando a importância de avaliações contínuas e abrangentes para compreender melhor seu status de conservação.

A Lista Vermelha tem como meta principal oferecer informações e análises sobre a situação, as tendências e as ameaças que afetam as espécies, com o intuito de guiar e estimular ações voltadas à conservação da biodiversidade (Schatz 2009; IUCN 2024). A Lista Vermelha classifica cada espécie avaliada em uma das oito categorias. Quando não há dados suficientes para apoiar uma classificação, a espécie é colocada na categoria de dados deficientes.

Os dados incluídos na IUCN passam por um processo rigoroso de coleta e avaliação. Pesquisadores e especialistas de diversas instituições, incluindo universidades e faculdades, contribuem com informações detalhadas sobre a distribuição, população, habitat, ecologia e ameaças enfrentadas pelas espécies. Com base na avaliação, a espécie é classificada em uma das várias categorias de risco, que incluem: Extinta (EX): Extinta na Natureza (EW): Criticamente em Perigo (CR): Em Perigo (EN): Vulnerável (VU): Quase Ameaçada (NT): Pouco Preocupante (LC) e Dados Insuficientes (DD) (IUCN, 2024).

As três categorias principais de risco (CR, EN, VU) indicam diferentes níveis de ameaça, com "Criticamente em Perigo" sendo o nível mais alto de risco antes da extinção. Esses dados são então revisados por pares e categorizados de acordo com os critérios da IUCN, que avaliam o risco de extinção baseado em critérios como redução da população, extensão da área geográfica e número de subpopulações (Keith et al. 2015).

As listas/livros vermelhos são instrumentos objetivos de avaliação e comunicação do risco de extinção das espécies, tornando-se indispensáveis na prática da conservação da natureza (Collar 1996; Mace et al. 2008; Scarano & Martinelli 2010). Além de fornecer dados importantes sobre as espécies ameaçadas, a Lista Vermelha da IUCN também cria um espaço de "calculabilidade", que permite inovações na conservação e facilita a mobilização coletiva em torno da biodiversidade (Cuckston 2018). A utilização dessas ferramentas abre oportunidades para uma colaboração estreita com instituições acadêmicas, as quais desempenham importante ferramenta ao conduzir pesquisas de campo e fornecer dados ecológicos (Cazalis et al. 2022).

As pesquisas sobre a conservação da biodiversidade têm mostrado impacto significativo tanto no ambiente acadêmico quanto além dele, reforçando a necessidade de uma colaboração estreita entre cientistas, instituições acadêmicas e outros atores envolvidos na preservação da natureza (Lavery et al. 2021). Além disso, o impacto da pesquisa acadêmica se estende além do ambiente universitário, influenciando políticas públicas e práticas de conservação.

Um aspecto central nas pesquisas de cultura de tecidos é a origem dos explantes utilizados. Conforme ilustrado na (Figura 7) 65% dos estudos recorreram a explantes provenientes de plântulas cultivadas *in vitro*, o que demonstra a eficiência desse método na redução de contaminação e na promoção do desenvolvimento uniforme das culturas.

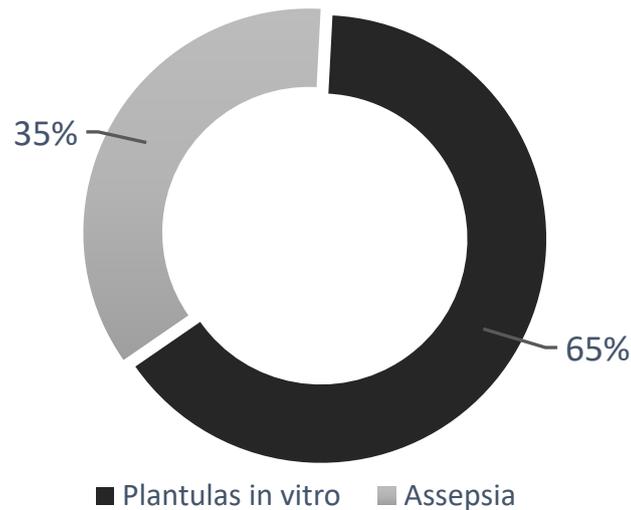


Figura 7. Procedência dos explantes utilizados nos artigos Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Este valor foi obtido considerando o momento específico da coleta dos explantes, que foi selecionado de acordo com os objetivos dos artigos. A assepsia foi realizada no início do processo, quando as culturas *in vitro* foram estabelecidas, assegurando a descontaminação do material vegetal e contribuindo para o sucesso das culturas subsequentes.

Utilizar plantas estabelecidas *in vitro* para pesquisas futuras oferece uma série de vantagens consideráveis. Uma delas é a capacidade de controlar e padronizar rigorosamente as condições de crescimento, o que elimina variáveis ambientais que poderiam introduzir viés nos resultados experimentais (Custódio et al. 2022). De acordo com a análise realizada, 20 (65%) dos artigos revisados optaram por essa abordagem, o que reforça sua relevância e aplicação em estudos que demandam condições experimentais altamente controladas.

Um exemplo é o trabalho de Máximo et al., 2020 que indica a eficiência do uso de explantes estabelecidos *in vitro* para a propagação rápida e uniforme da planta, permitindo a produção em larga escala de indivíduos geneticamente semelhantes, eliminando variações indesejadas. Além disso, as plantas cultivadas *in vitro* são menos suscetíveis a doenças e pragas, o que garante materiais de pesquisa mais saudáveis e homogêneos, por isso o estabelecimento de uma cultura asséptica é um pré-requisito para uma base sólida e confiável para estudos subsequentes, contribuindo para a consistência e reprodutibilidade dos resultados científicos (Ranghoo:Sanmukhiya 2021).

Os 11 (35%) dos artigos restantes dos explantes utilizados nos artigos analisados foram submetidos a diversas condições experimentais, incluindo diferentes concentrações de soluções, tempos de imersão e tipos de soluções utilizadas. Essas variações foram avaliadas para determinar os efeitos sobre o desenvolvimento e a viabilidade dos explantes. Estudos relevantes que ilustram essas práticas incluem. Esses estudos ofereceram informações sobre as diferentes condições de cultivo *in vitro* para o sucesso da propagação.

A escolha adequada dos explantes é um fator determinante para o sucesso da cultura *in vitro*. Como visto na (Figura 8): as análises dos explantes utilizados nos manuscritos apontam uma distribuição variada entre os diferentes tipos de tecidos vegetais.

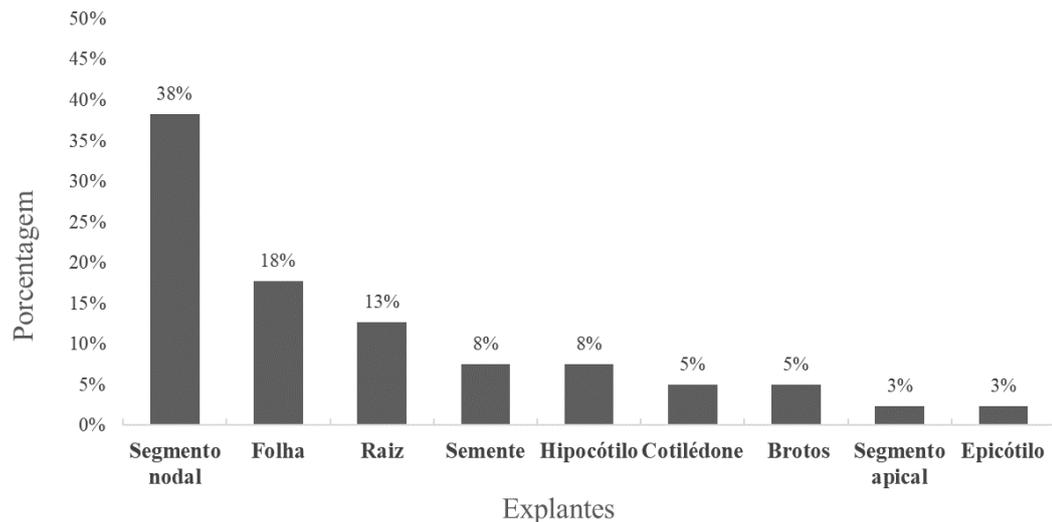


Figura 8. Distribuição dos tipos de explantes utilizados nos artigos analisados. Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

As análises dos explantes utilizados em estudos de cultura *in vitro* demonstraram uma distribuição variada entre os diferentes tipos de tecidos vegetais. O segmento nodal se destacou como o explante mais utilizado, representando 38% (15) do total, devido à sua alta capacidade de regeneração e à facilidade de obtenção e manipulação em laboratório (Shahzad et al., 2011).

Os explantes nodais apresentam maior potencial de desenvolvimento devido à presença de meristemas, regiões caracterizadas por intensa atividade celular e crescimento (Oprins 2004). Além disso, o uso desses explantes para organogênese oferece a vantagem de reduzir a chance de variações somaclonais, garantindo maior uniformidade nas plantas regeneradas (Viswanath et al. 2013). Essa combinação de alta capacidade regenerativa e menor variabilidade genética torna os segmentos nodais uma escolha eficaz para a propagação de plantas em cultura de tecidos (Suwal et al. 2020).

Em contrapartida, folhas e raízes foram os explantes menos utilizados, cada um representando apenas 5% (2) do total. A baixa taxa de uso de folhas pode ser explicada pela dificuldade na indução de organogênese a partir de tecidos foliares, em parte devido à variabilidade hormonal que esses tecidos necessitam (Phillips & Garda 2019). A presença de tecidos diferenciados (como epiderme e mesofilo) torna mais difícil induzir a plasticidade celular, que é uma etapa importante para a regeneração de órgãos ou para a formação de calos (Ikeuchi et al. 2013).

As raízes, por sua vez, não apresentam desafios na regeneração como as folhas além de serem mais frequentemente utilizadas com sucesso na cultura de tecidos devido à sua capacidade intrínseca de dediferenciação. Isso está relacionado à presença de células menos diferenciadas em regiões como o meristema radicular (Gurel & Wren 1995; Hussain et al. 2012).

As sementes foram o segundo tipo de explante mais utilizado, constituindo 18% (7) das amostras. O uso de sementes é comum devido à facilidade de obtenção e à assepsia inerente, que muitas vezes não requer processos complexos de desinfestação (George et al. 2008). Além disso, as sementes podem servir como fonte de múltiplos tipos de tecidos em estágios iniciais de desenvolvimento, aumentando sua versatilidade em pesquisas sobre desinfestação (Thorpe 2007)

O hipocótilo e o cotilédone, com 13% (5) e 8% (3) respectivamente, também tiveram uma presença significativa nos estudos analisados. Esses explantes são frequentemente utilizados em estudos de desenvolvimento inicial de plântulas e têm boa resposta a regeneração em diferentes tratamentos hormonais



para indução de organogênese e embriogênese somática (Aydin et al. 2004; Kuczak & Kurczyńska 2020; Tambarussi et al. 2017).

Brotos, segmentos apicais e epicótilos tiveram menos representatividade, com 8% (3): 3% (1) e 3% (1) respectivamente. Apesar de menos utilizados, os brotos são uma fonte importante de explantes devido à sua capacidade de formar novas plantas completas. Segmentos apicais e epicótilos, embora pouco frequentes, são essenciais em certos protocolos específicos de propagação e regeneração de plantas (García:Luis et al. 2006; Liu et al. 2023; Uchida & Torii 2019).

Esta distribuição entre os tipos de explantes reflete as diferentes necessidades e objetivos dos estudos de cultura *in vitro*. A predominância do segmento nodal sugere uma preferência por explantes com alto potencial de regeneração e facilidade de manipulação. Em contraste, a menor utilização de folhas e raízes indica os desafios associados a esses tecidos. A escolha do tipo de explante é, portanto, uma decisão importante que depende das características biológicas do tecido e dos objetivos específicos de cada estudo.

Assim como a escolha dos reguladores de crescimento já que desempenham um papel fundamental na micropropagação e cultura de tecidos, influenciando diretamente o desenvolvimento dos explantes. A (Figura 9) demonstra a porcentagem de uso de diferentes reguladores de crescimento nos artigos analisados.

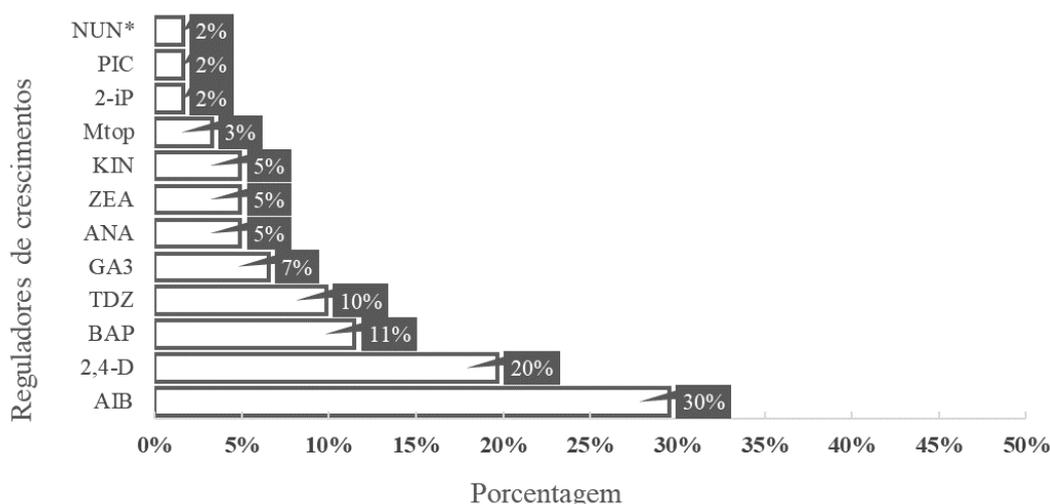


Figura 9. Porcentagem de uso de diferentes reguladores de crescimento. Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

A análise dos artigos indicou predominância do uso de diferentes reguladores de crescimento nos trabalhos desenvolvidos. O Benzilaminopurina (BAP) foi o mais frequentemente utilizado, representando 30% dos estudos. Esta predominância pode ser atribuída à sua eficácia na promoção da formação de brotos e calos, o que é profusamente documentado na literatura como a citocinina sintética mais utilizada devido à sua estabilidade e custo:benefício, sendo uma escolha padrão em muitos protocolos de micropropagação (Amirova et al. 2022; Kumar et al. 2024).

O Ácido Indolbutírico (AIB): que foi utilizado em 20% dos estudos, é aplicado na indução de raízes, especialmente em combinação com citocininas como a BAP. Essa combinação de AIB e BAP é relatada em diversos protocolos de propagação *in vitro*, onde o equilíbrio entre auxinas e citocininas é fundamental para o sucesso da formação de órgãos (Yancheva & Kondakova 2016). Por outro lado, o Ácido Naftalenoacético (ANA): utilizado em 10% dos artigos, tem papel central na organogênese, sendo preferido em situações que requerem a regeneração de brotos ou raízes a partir de calos (Bradley & Cheney 1990; Song et al. 2023).

O uso do ácido 2,4-Diclorofenoxiacético (2,4:D): que apareceu em 7% dos estudos, é geralmente associado à indução de calos, especialmente em culturas de suspensão. A escolha desse regulador para esses fins é bem



estabelecida, dado seu papel na promoção da divisão celular e formação de calos em várias espécies (Garcia et al. 2019; Phillips & Garda 2019).

Outros reguladores de crescimento, como o Ácido Giberélico (GA3): Zeatina (ZEA) e Cinetina (KIN): tiveram menor representatividade, aparecendo em apenas 5% dos estudos. Estes reguladores são frequentemente usados em situações específicas, como em espécies ou condições experimentais que requerem estímulos particulares de crescimento e desenvolvimento (Sharma 2017).

A literatura sugere que a zeatina, apesar de ser uma citocinina natural, tem custo elevado e é menos estável em meio de cultura, o que explica seu uso limitado (Bairu et al. 2007; Letham 1967). Por fim, o Tidiazuron (TDZ): utilizado em apenas 3% dos estudos, é um regulador de crescimento poderoso, mas seu uso restrito deve-se aos efeitos adversos que pode provocar, como hiperplasia (Ali et al. 2022; Yancheva & Kondakova 2016).

Menos comuns foram o meta:topolin (Mtop): a isopentenil adenina (2:iP): e o Picloram (PIC): cada um com 2%. Notavelmente, 11% dos artigos não utilizaram nenhum regulador de crescimento. Estes resultados indicam uma preferência clara pelo BAP entre os pesquisadores, possivelmente devido à sua eficácia comprovada em vários estudos, enquanto outros reguladores são utilizados de acordo com necessidades específicas das experimentações.

A escolha dos meios de cultura é importante para o sucesso das técnicas de micropropagação, uma vez que eles fornecem os nutrientes e o ambiente necessários para o crescimento das plantas *in vitro*. (A Figura 10) ilustra os meios de cultura utilizados nos artigos analisados, destacando a diversidade de formulações empregadas pelos pesquisadores para atender às necessidades específicas de suas experimentações.

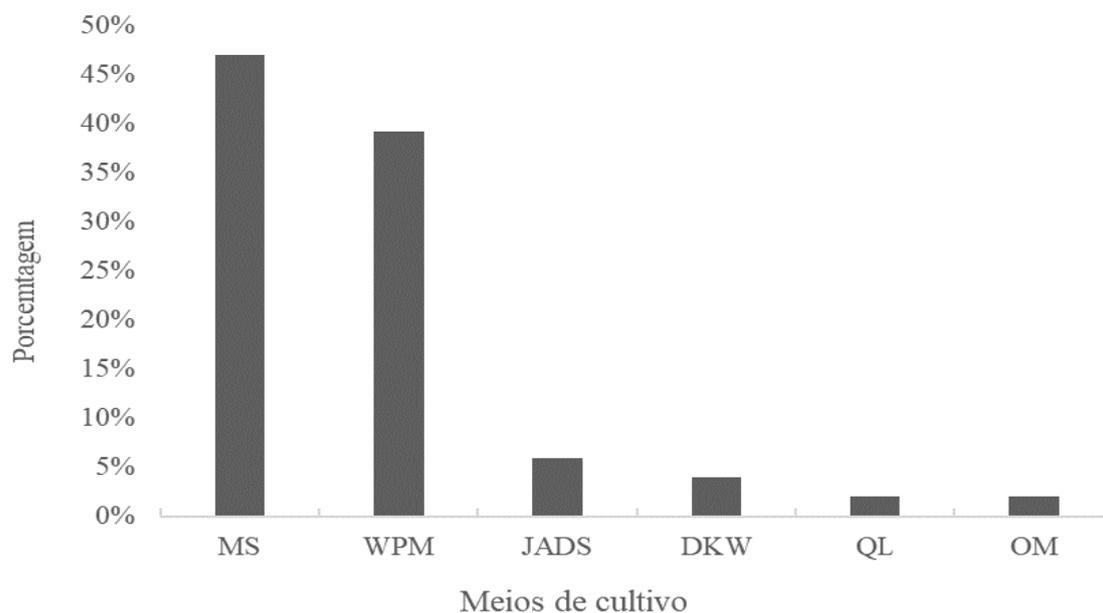


Figura 10. Meios de cultura utilizado dentre os artigos. Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Entre os meios de cultura analisados, observou-se que o meio WPM (Wood Plant Medium): foi utilizado com maior frequência, representando 47% (24) dos estudos examinados. Em seguida, o meio MS (Murashige and Skoog) foi identificado como o segundo mais utilizado, com uma representação em 39% (20) dos artigos. Por outro lado, os meios JADS Correia *et al.* medium, DKW (Driver and Kuniyuki Walnut medium): QL (Quoirin e Lepoivree OM (Rugini médium) foram menos comuns, sendo encontrados em 6%, (3) 4% e 2% (1) dos estudos, respectivamente.



Esses resultados sugerem uma clara preferência dos pesquisadores pelo uso dos meios WPM e MS em estudos envolvendo cultura de tecidos vegetais de espécies lenhosas. Essa predominância pode ser atribuída à eficácia comprovada desses meios em promover o crescimento e desenvolvimento celular *in vitro* em uma variedade de espécies vegetais (Phillips & Garda 2019).

O WPM é frequentemente escolhido para plantas lenhosas devido à sua menor concentração de sais em comparação com o MS, promovendo o desenvolvimento de raízes e brotos em plantas como árvores e outras perenes lenhosas (Lloyd & McCown 1980; McCown & Sellmer 1987). O meio MS é versátil e é comumente modificado para diferentes plantas, ajustando-se as concentrações de nutrientes conforme as necessidades específicas. Sua popularidade também pode ser atribuída à sua capacidade de fornecer nutrientes balanceados para uma grande variedade de plantas (Kyte & L Kleyne 1996; Tran 2023). A ampla disponibilidade e familiaridade com esses meios podem ter contribuído para sua popularidade na comunidade científica.

A menor frequência de utilização dos meios JADS, DKW, QL e OM sugere que esses meios podem ser menos reconhecidos ou menos eficazes em certos contextos de pesquisa. Entretanto, é importante observar que nos estudos em que foram encontrados, estavam associados a protocolos de meio específicos. Isso sugere que esses meios podem ser mais especializados e direcionados para determinados tipos de experimentos ou condições de cultura (dos Santos et al. 2020; Oliveira Junior et al. 2024; Shahzad et al. 2017; Silva et al. 2019; Rahman 2018)

Estudos como descrito no artigo Silva et al. (2019) são fundamentais para testar e otimizar meios de cultura em espécies específicas. Esse tipo de pesquisa avalia como diferentes formulações de meio impactam o desenvolvimento morfofisiológico das plantas *in vitro*, o que é importante para identificar os nutrientes e as condições ideais para a propagação eficiente e o crescimento saudável. A análise da utilização de diferentes suplementações em estudos de cultura de tecidos vegetais revelou uma variedade de aditivos empregados para otimizar o crescimento e desenvolvimento das plantas. As suplementações e suas respectivas citações estão detalhadas na (Tabela 1).

Os resultados indicam que, em 14 dos estudos analisados, não foram utilizados aditivos nos meios de cultura. Para diversas espécies ou protocolos, a utilização de meios básicos é suficiente para atingir os objetivos experimentais. No entanto, a suplementação com carvão ativado foi a segunda mais frequente, sendo utilizada em 6 estudos. O carvão ativado é conhecido por suas propriedades de adsorção de fenóis, assim, privando as enzimas do meio de cultivo, necessárias para gerar os polímeros que induzem o escurecimento (Fridborg et al. 1978; Johansson 1983).

O trabalho de Máximo et al. (2020) relatou que o carvão ativado foi fundamental para melhorar o enraizamento *in vitro*, reduzindo o escurecimento dos explantes e favorecendo o crescimento radicular saudável. Isso ocorre porque o carvão adsorve compostos fenólicos que, de outra forma, inibiriam o desenvolvimento radicular e causariam necroses.

No caso do barueiro no trabalho de De Jesus Silva et al. (2016): o uso do carvão ativado também foi efetivo na manutenção de um meio de cultivo adequado, prevenindo o acúmulo de compostos tóxicos e permitindo um melhor estabelecimento inicial da planta. A adsorção de fenóis pelo carvão ativado foi essencial para manter as condições ideais de cultivo e desenvolvimento, especialmente nas fases iniciais, onde o escurecimento poderia comprometer o sucesso da cultura (Silva et al. 2016).

Assim, a aplicação de carvão ativado, conforme descrito por Fridborg et al. (1978) e Johansson (1983): é comprovada em diferentes espécies vegetais, como evidenciado nos estudos de *Handroanthus impetiginosus* e *Dipteryx alata*, destacando sua importância na superação dos efeitos negativos dos compostos fenólicos no cultivo *in vitro*. Dessa forma, a adoção de estratégias para minimizar o escurecimento, como a suplementação



com carvão ativado, torna-se essencial para preservar a viabilidade dos explantes e garantir o sucesso do cultivo *in vitro*, favorecendo o desenvolvimento saudável dos tecidos vegetais.

Tabela 1. Diferentes suplementações encontradas no meio de cultura dos artigos.

Suplementação	N. De citações nos artigos
Antibióticos	1
Cepa bacteriana	1
Cloreto de mercúrio	1
Cisteína	1
Ácido ascórbico	1
Ácido cítrico	1
Óleos essenciais	1
Alumínio (Al3)	1
Ferro (Fe3)	1
Manganês (Mn2)	1
Caseína hidrolisada	2
Plant Preservative Mixture	2
Vitamina B5	2
Polivinilpirrolidona	3
Carvão ativado	6
Nenhum	14

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Outras suplementações, como polivinilpirrolidona (PVP) tem sido utilizado na cultura de tecidos vegetais devido à sua capacidade de inibir o escurecimento. Podendo ter resultados positivos quando combinados em protocolo já empregadas no âmbito da cultura de tecidos, como no estudo de (Cai et al. 2020). Nesse experimento, a imersão do explantes de pétalas de *Paeonia lactiflora* (peônia herbácea) em solução de NaCl foi eficaz para mitigar o escurecimento nas culturas de tecidos da peônia, apresentando um efeito sinérgico com o PVP. A combinação dessas substâncias suprimiu o escurecimento e induziu a formação de calos, reduzindo o escurecimento em até 95% e possibilitando a indução de calos a partir de explantes de pétalas.

O PVP atua ligando-se aos compostos fenólicos liberados pelos tecidos vegetais, que de outra forma causariam o escurecimento oxidativo (Raghuvanshi & Srivastava 1995). Assim, essa substância favorece o crescimento e a diferenciação dos tecidos em cultura. Essa abordagem tem sido eficaz em diversas espécies, graças às propriedades antioxidantes do PVP (Bejaoui et al. 2023).

No artigo de Silveira et al. (2016) sobre intitulado Micropropagation of *Calophyllum brasiliense* (Cambess.) from nodal segments, o foco nos segmentos nodais pode ser relacionado à importância de reduzir o estresse oxidativo durante a cultura inicial, momento em que o PVP poderia ser uma solução útil para controlar o escurecimento.

Já no trabalho de Paranhos et al. (2017) sobre a propagação *in vitro* de *Casearia Sylvestris Swartz*, que também é uma planta com grande produção de compostos secundários, pode-se discutir a importância da escolha de



aditivos para prevenir o escurecimento e otimizar a formação de calos e brotos, ligando isso à eficácia da suplementação com PVP. Essa suplementação é importante em culturas que lidam com espécies lenhosas e ricas em compostos fenólicos.

O escurecimento dos explantes pode ser influenciado por diversos fatores, como os pré-tratamentos aplicados, a composição do meio de cultura, a temperatura de incubação e a frequência das subculturas realizadas (Tian 2008). Esses elementos afetam o metabolismo fenólico das células vegetais e a oxidação de compostos fenólicos, contribuindo para o fenômeno do escurecimento, que é prejudicial ao desenvolvimento dos tecidos *in vitro* (Koleva et al. 2016). Assim, a adoção de estratégias para minimizar o escurecimento é importante para preservar a viabilidade dos explantes e garantir o sucesso do cultivo *in vitro*.

George et al., 2008 discutem o uso da caseína hidrolisada como um suplemento orgânico que fornece aminoácidos e peptídeos, promovendo o crescimento celular. Esse trabalho confirma que a caseína hidrolisada é eficaz para estimular o desenvolvimento de tecidos vegetais. Além disso, Bister:Miel et al. (1985) identificaram a glutamina como um componente chave da caseína hidrolisada, que ajuda no cultivo de células vegetais, especialmente em condições de deficiência de fósforo, o que reforça o seu valor em cultura de tecidos.

A adição de caseína hidrolisada em culturas de tecidos vegetais tem indicado resultados promissores para a regeneração de plantas. Estudos recentes apontam que, em culturas onde o meio nutritivo é suplementado com uma combinação de caseína hidrolisada e hormônios vegetais, tem-se um aumento significativo na frequência de formação de calos e regeneração de (Amirova et al. 2022; Fizikova et al. 2024; Usenbekov et al. 2024).

Este suplemento tem se mostrado um forte agente auxiliador na indução de embriogênese somática, um processo crítico na regeneração de plantas a partir de calos (Artunduaga et al. 1989). Esses resultados destacam a relevância dos suplementos orgânicos no aprimoramento de técnicas de cultura de tecidos, no qual a inclusão de caseína hidrolisada em meios de cultura, pode potencializar o desenvolvimento de protocolos mais eficientes para a propagação *in vitro* de espécies vegetais, ampliando sua aplicação em espécies de difícil regeneração.

Tal achado ressalta o papel central da caseína hidrolisada como fonte de aminoácidos e peptídeos que promovem o crescimento celular (Sánchez:Cuevas & Salaverría 2004; George et al. 2008). Dada a eficácia observada em várias espécies não lenhosas, é importante que testes preliminares semelhantes sejam conduzidos em espécies lenhosas brasileiras, seguindo os resultados obtidos de Araujo et al. (2019) Estudos preliminares sobre propagação *in vitro* de Camu:Camu (*Myrciaria dubia*): um importante de valor econômico e medicinal.

A adição de PPM[®] no meio de cultivo mostrou-se um agente eficaz no controle de contaminação, especialmente em cenários de baixa contaminação, como transmissões aéreas e contaminantes microbianos endógenos. Sua natureza não termossensível permite a autoclavagem, ampliando sua aplicabilidade no cultivo de tecidos vegetais (Grimaldi & Assunção 2023; Niedz & Bausher 2002).

Adicionalmente, Ho et al. (2022) destacaram a importância do PPM[®] na mitigação da contaminação em meios de cultura para um grupo de acácia, evidenciando sua capacidade de promover ambientes de cultivo mais seguros. Esses resultados reforçam a versatilidade e a eficácia do PPM[®] como uma solução promissora para o cultivo *in vitro* de espécies vegetais, contribuindo para a obtenção de culturas saudáveis e produtivas. Na perspectiva das espécies lenhosas brasileiras é observado no artigo de Silveira et al. (2016) que descreve a micropropagação de *Calophyllum brasiliense* (Cambess.) a partir de segmentos nodais. A utilização de PPM[®] contribui para o aumento das taxas de sobrevivência e desenvolvimento de explantes, o que é importante para a preservação.

Outras suplementações, como antibióticos, cepas bacterianas, cloreto de mercúrio, e cisteína, foram utilizadas apenas uma vez, refletindo sua aplicação em contextos muito específicos. Os antibióticos podem ser usados para eliminar contaminações bacterianas, embora eficazes no controle de patógenos, os antibióticos



podem gerar efeitos fitotóxicos, prejudicando o desenvolvimento do explante (Falkiner 1997; Tambarussi et al. 2015).

Embora o cloreto de mercúrio (HgCl_2) seja um desinfetante potente utilizado ocasionalmente na descontaminação de explantes, sua toxicidade pode comprometer os tecidos vegetais, especialmente com exposições prolongadas ou em concentrações elevadas, resultando em necrose ou no atraso do desenvolvimento dos explantes (A. et al. 2012; Cassells & Curry, 2001; Hashim et al. 2021). A diversidade de suplementações empregadas destaca a necessidade de personalização dos meios de cultura para atender às demandas específicas de diferentes espécies vegetais e objetivos experimentais.

Perspectivas para a Conservação (Desafios e Oportunidades)

Apresentamos uma análise abrangente sobre a pesquisa de micropropagação de espécies lenhosas em biomas brasileiros, utilizando uma abordagem de quantitativa e sistemática. Ao longo da última década, os estudos nessa área mostraram um crescimento constante, especialmente entre 2015 e 2020, com um aumento no número de publicações focadas em aplicações conservacionistas e comerciais das técnicas de propagação *in vitro*. Os resultados do estudo indicaram que o Brasil, particularmente através de universidades federais como a UFPR e a UFLA, lidera as pesquisas nessa área

Desafios

A grande diversidade genética e ecológica da Amazônia dificulta a padronização de protocolos de micropropagação. Muitas espécies lenhosas apresentam comportamento recalcitrante quando cultivadas *in vitro*, necessitando de protocolos específicos. Essa diversidade torna os estudos mais complexos e menos generalizáveis em comparação com outros biomas, onde há maior homogeneidade. Conforme citado por Bao (2024): os protocolos de micropropagação ainda são limitados para plantas lenhosas devido à sua recalcitrância à cultura de tecidos. Esse desafio técnico é exacerbado pela dificuldade de acesso a muitas áreas da Amazônia e pelo alto custo logístico, que limitam a coleta de material vegetal e a realização de estudos *in situ*. Essas barreiras logísticas tornam a pesquisa na Amazônia mais complexa e cara do que em outros biomas (Leeds University 2023).

Além disso, a análise indica que o bioma amazônico aparece com menor destaque junto com o Pampa e o Pantanal, sugerindo a necessidade de mais atenção por parte dos pesquisadores. Enquanto isso, o Cerrado e a Mata Atlântica, que enfrentam um risco imediato de destruição, atraem uma priorização em estudos de conservação e micropropagação. Isso leva a uma concentração de esforços e recursos de pesquisa nesses ecossistemas, como apontado por Guimarães et al., (2023) e Rodrigues et al. (2022). De fato, a maior parte das pesquisas focou nas espécies do Cerrado e da Mata Atlântica, enquanto a Amazônia tem menor representatividade nos estudos. Essa priorização reflete as pressões imediatas sobre os biomas e o direcionamento de recursos de pesquisa.

A urgência dessa situação é evidenciada pela perda anual de mais de 1 bilhão de árvores e palmeiras nativas na Floresta Amazônica, resultando em significativas perdas econômicas e comprometendo a sustentabilidade das comunidades que dependem desses recursos. Essa diminuição da importância econômica das espécies vegetais ocorre em diferentes escalas temporais, ressaltando a urgência de medidas que promovam a valorização e a conservação da biodiversidade na região (Brandão et al. 2022). Assim, se torna importante desenvolver iniciativas que não apenas valorizem economicamente as plantas nativas, mas também incentivem a aplicação de técnicas de propagação eficazes, como a micropropagação *in vitro*, para a preservação da biodiversidade e a recuperação de ecossistemas degradados.



Oportunidades

A aplicação da micropropagação na Amazônia oferece uma abordagem para diminuir a perda de espécies endêmicas e promover o desenvolvimento de usos sustentáveis das plantas nativas, como a produção de plantas medicinais e madeireiras, que poderiam ser exploradas de forma mais controlada e sustentável. Nesse contexto, a micropropagação se apresenta como uma ferramenta para a exploração sustentável de espécies amazônicas com valor comercial, abrangendo plantas medicinais, madeireiras e frutíferas. Ao otimizar a produção *in vitro*, é possível reduzir a pressão sobre a coleta de plantas da floresta, equilibrando conservação e desenvolvimento econômico (Hasnain et al. 2022).

Entretanto, a eficácia dessas iniciativas depende de uma compreensão abrangente do estado das espécies lenhosas. No que respeita à categoria da Lista Vermelha da IUCN, uma elevada proporção de espécies lenhosas se enquadra nas categorias de menor risco, e a maioria ainda é classificada como “não avaliada”. Isso significa uma enorme lacuna de informação sobre o estado atual dessas espécies, deixando a maior parte delas sem um risco declarado. Essa falta de dados ressalta a importância de realizar mais estudos sobre e a expansão dessa vegetação e a inclusão de mais espécies lenhosas autóctones nas avaliações de risco. A micropropagação pode ser determinante para a preservação de várias dessas espécies em risco de extinção, especialmente aquelas que não foram bem estudadas ou catalogadas em termos de risco de extinção (Normah et al. 2013).

Além disso, ao analisar a produção científica, torna-se possível direcionar esforços de conservação para biomas específicos que estão sob maior ameaça. A alta taxa de produção científica no Cerrado e na Mata Atlântica, conforme mostrado em análises recentes, destaca a urgência de focar as ações conservacionistas nessas áreas. Os resultados dessas análises podem fornecer subsídios valiosos para o desenvolvimento de estratégias de florestamento e recuperação, que são fundamentais para a restauração de ecossistemas degradados. A integração das estratégias de micropropagação com as iniciativas de conservação pode, assim, potencializar os esforços de proteção e uso sustentável da rica biodiversidade amazônica (Jiang & Hyland 2023; Pinto et al. 2020; Xu et al. 2022).

Conclusão

Este estudo destacou a relevância da micropropagação como ferramenta estratégica para a conservação da biodiversidade de espécies lenhosas nativas dos biomas brasileiros, especialmente em contextos onde os recursos naturais enfrentam crescentes ameaças antropogênicas. Por meio da análise a, identificaram-se tendências e lacunas significativas na pesquisa, como o baixo número de estudos focados na Amazônia, um bioma de importância em foco para a conservação global.

Os resultados evidenciaram a predominância do uso de meios de cultura WPM e MS e reguladores de crescimento como o BAP, refletindo sua eficiência para o desenvolvimento *in vitro* de plantas lenhosas. Além disso, a utilização de suplementações como carvão ativado mostrou-se essencial para a superação de desafios técnicos, como a prevenção do escurecimento dos explantes.

A concentração de estudos em biomas como o Cerrado e a Mata Atlântica reforça a necessidade de ampliar os esforços de pesquisa na Amazônia, considerando sua vasta biodiversidade e os riscos associados às mudanças ambientais. Assim, a adaptação de protocolos de cultura e o incentivo a novas pesquisas são indispensáveis para garantir a conservação *ex situ* e promover a utilização sustentável das espécies nativas.

Portanto, este trabalho contribui para a compreensão do panorama atual da micropropagação no Brasil, oferecendo subsídios para políticas públicas, além de fomentar a integração entre biotecnologia e conservação como pilares para a sustentabilidade e preservação da biodiversidade.



Referências

- A SS et al. 2012. Efficacy and Utilization of Fungicides and Other Antibiotics for Aseptic Plant Cultures. Fungicides for Plant and Animal Diseases. InTech. USA, p. 245–254
- Abhilash P 2021. Restoring the Unrestored: Strategies for Restoring Global Land during the UN Decade on Ecosystem Restoration (UN-DER). *Land (Basel)* 10: 201.
- Aleixo A, Luisa Albernaz A, Eduardo Viveiros Grelle C, et al. 2010. Mudanças Climáticas e a Biodiversidade dos Biomas Brasileiros: Passado, Presente e Futuro. *Natureza & Conservação* 08: 194–6.
- Ali HM, Khan T, Khan MA, Ullah 2022. The multipotent thidiazuron: A mechanistic overview of its roles in callogenesis and other plant cultures in vitro. *Biotechnol Appl Biochem* 69: 2624–40.
- Ahuja MR 2013. Micropropagation of woody plants. Vol. 41 Springer Science Business Media.p. 370
- Amirova A, Dossymbetova S, Rysbayeva Y, et al. 2022. Multiple Plant Regeneration from Embryogenic Calli of *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud. *Plants* 11: 1020.
- Artunduaga IR, Taliaferro CM, Johnson B 1989. Induction and growth of callus from immature inflorescences of “Zebra” bermudagrass as affected by casein hydrolysate and 2,4-D concentration. *In Vitro Cellular & Developmental Biology* 25: 753–6.
- Araujo MCR, Vendrame WA, Chagas EA, Ribeiro MIG, Vilaca R 2019. Preliminary Studies on In Vitro Propagation of Camu-Camu (*Myrciaria dubia*): an Important Medicinal Plant. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 128:52–54.
- Aydin Y, Ipekci Z, Talas-Oğraş T, et al. 2004. High Frequency Somatic Embryogenesis in Cotton. *Biol Plant* 48: 491–5.
- Barbosa, A S. 2016 Implicações éticas do efeito Mateus na ciência. *Mediações Revista De Ciências Sociais* 21(1): 286
- Bairu MW, Stirk WA, Dolezal K, Staden J Van. 2007. Optimizing the micropropagation protocol for the endangered *Aloe polyphylla*: can meta-topolin and its derivatives serve as replacement for benzyladenine and zeatin? *Plant Cell Tissue Organ Cult* 90: 15–23.
- Ballesteros D, Fanega-Sleziak N, Davies, RM 2021. Cryopreservation of Seeds and Seed Embryos in Orthodox-, Intermediate-, Recalcitrant-Seeded Species *2180:663-682*
- Bao J, O’Donohue B, Sommerville KD, et al. 2024. Tissue Culture Innovations for Propagation and Conservation of Myrteae—A Globally Important Myrtaceae Tribe. *Plants* 13: 2244.
- Barata R 2019. Mudanças necessárias na avaliação da pós-graduação brasileira. *Interface - Comunicação, Saúde, Educação* 23.
- Bazerman 1985. Physicists Reading Physics. *Writ Commun* 2: 3–23.



- Bazerman C 1988. Shaping written knowledge: The genre and activity of the experimental article in science. The University of Wisconsin Press google schola p. 345-348.
- Begna T 2020. The Role of Genotype by Environmental Interaction in Plant Breeding. *Journal of Natural Sciences Research* 209–15.
- Bejaoui M, Galai H, Touati F, Kouass 2023. Multifunctional Roles of PVP as a Versatile Biomaterial in Solid State. *Dosage Forms - Innovation and Future Perspectives*. IntechOpen.
- Bister-Miel F, Guignard JL, Bury M, Agier 1985. Glutamine as an active component of casein hydrolysate: Its balancing effect on plant cells cultured in phosphorus deficient medium. *Plant Cell Rep* 4: 161–3.
- Bhatia S, Sharma K 2015. Chapter 14. Plant Tissue Culture-Based Industries. *Modern Applications of Plant Biotechnology in Pharmaceutical Sciences* 14:405-417.
- Borges MN 2021. Perspectivas de Financiamento da Pesquisa Científica no Brasil: O século XXI, conhecido como o século do conhecimento, tem apresentado avanços científicos e tecnológicos muito rápidos e impressionantes. *Inovação Desenvolvimento: A Revista da FACEPE*, 1(7):20-28
- Bornmann L and Leydesdorff 2014. Scientometrics in a changing research landscape. *EMBO Rep* 15: 1228–32.
- Borokini TI, Okere AU, Olusesan Giwa A, et al. 2010. Biodiversity and conservation of plant genetic resources in Field Genebank of the National Centre for Genetic Resources and Biotechnology, Ibadan, Nigeria.
- Bradley PM, Cheney D 1990. Some effects of plant growth regulators on tissue cultures of the marine red alga *Agardhiella subulata* (Gigartinales, Rhodophyta). *Hydrobiologia* 204–205: 353–60.
- Brandão DO, Barata LES, Nobre C 2022. The Effects of Environmental Changes on Plant Species and Forest Dependent Communities in the Amazon Region. *Forests* 13: 466.
- Burley J 1989 *Applications of Biotechnology in Forestry and Rural Development*. Em *Applications of Biotechnology in Forestry and Horticulture* Springer US. p. 9–20
- Burns CS, Islam Md 2024. A citation analysis examining geographical specificity in article titles. *Scientometrics* 129: 4317–28.
- Buxton AB, Meadows A 1977. THE VARIATION IN THE INFORMATION CONTENT OF TITLES OF RESEARCH PAPERS WITH TIME AND DISCIPLIN *Journal of Documentation* 33: 46–52.
- Cai X, Wei H, Liu C, et al. 2020. Synergistic Effect of NaCl Pretreatment and PVP on Browning Suppression and Callus Induction from Petal Explants of *Paeonia Lactiflora* Pall. ‘Festival Maxima.’ *Plants* 9: 346.
- Calò L 2022. Métricas de impacto y evaluación de la ciencia. *Rev Peru Med Exp Salud Publica* 39: 236–40.



- Cardoso JC and Inthurn AC 2018. Easy and efficient chemical sterilization of the culture medium for in vitro growth of gerbera using chlorine dioxide (ClO₂). *Ornamental Horticulture* 24: 218–24.
- Cardoso JC, Sheng Gerald LT, Teixeira da Silva J 2018. Micropropagation in the Twenty-First Century.
- Cassells AC, Curry R 2001. Oxidative stress and physiological, epigenetic and genetic variability in plant tissue culture: implications for micropropagators and genetic engineers. *Plant Cell Tissue Organ Cult* 64: 145–57.
- Catanzaro M, Miranda G, Palmer L, Bajak A 2014 South American science: Big players. *Nature*, 510(7504): 204–206
- Cazalis V, Marco M Di, Butchart SHM, et al. 2022. Bridging the research-implementation gap in IUCN Red List assessments. *Trends Ecol Evol* 37: 359–70.
- Chokheli VA, Dmitriev PA, Rajput VD, et al. 2020. Recent Development in Micropropagation Techniques for Rare Plant Species. *Plants* 9: 1733.
- Collar N 1996. Species concepts and conservation: a response to Hazevoet. *Bird Conserv Int* 6: 197–200.
- Conceição BC da, Silva TA da, Pantoja LVP da S, et al. 2023. Amazonian Plants: A Global Bibliometric Approach to *Petiveria alliacea* Pharmacological and Toxicological Properties. *Plants* 12: 3343.
- Corrales-Reyes IE, Fornaris-Cedeño Y, Reyes-Pérez J 2018. Análisis bibliométrico de la revista investigación en educación médica. Período 2012-2016. *Investigación en Educación Médica* 7: 18–26.
- Corredoira E, Martínez MT, Sanjosé MC, Ballester A 2017. Conservation of Hardwood Forest Species p. 421–453
- Cuckston 2018. Making extinction calculable. *Accounting, Auditing & Accountability Journal* 31: 849–74.
- Cunsolo A and Ellis N 2018. Ecological grief as a mental health response to climate change-related loss. *Nat Clim Chang* 8: 275–81.
- Custódio L, Charles G, Magné C, et al. 2022. Application of In Vitro Plant Tissue Culture Techniques to Halophyte Species: A Review. *Plants* 12: 126.
- Delgado-Paredes GE, Vásquez-Díaz C, Esquerre-Ibañez B, et al. 2021. In vitro tissue culture in plants propagation and germplasm conservation of economically important species in Peru. *Scientia agropecuaria* 12: 337–49.
- De Jesus S et al. 2016. In vitro establishment and early development of barueiro (*Dipteryx alata* Vogel Semina Ciências Agrárias, 37(4): 1779.
- dos Santos MAC et al. 2020. In vitro growth performance of *Psidium guajava* and *P. guineense* plantlets as affected by culture medium formulations. *Vegetos*, 33(3): 435–445.



Eck NJ van and Waltman 2014a. *Visualizing Bibliometric Networks. Measuring Scholarly Impact*. Cham: Springer International Publishing.

Eck NJ van and Waltman 2014b. *Visualizing Bibliometric Networks. Measuring Scholarly Impact*. Cham: Springer International Publishing.

Falkiner, F 1997 Antibiotics in Plant Tissue Culture and Micropropagation — What are We Aiming at? p. 155–160

FAO/IAE 2002 Low-Cost Options for Tissue Culture Technology in Developing Countries. In *Proceedings of the Technical Meeting Organized by the Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture, Vienna, Austria*, p 26–30; Available from: https://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/te_1384_web.pdf

Faria LIL et al. 2011 Análise da produção científica a partir de publicações em periódicos especializados. In: *fun-dação de amparo à pesquisa do estado de são paulo. Indicadores de ciência, tecnologia e inovação em São Paulo 2010*. São Paulo p. 10-41

Fizikova A, Subcheva E, Kozlov N, et al. 2024. Agrobacterium Transformation of Tea Plants (*Camellia sinensis* ()) KUNTZE): A Small Experiment with Great Prospects. *Plants* 13: 675.

Fonseca CR and Venticinque E 2018. Biodiversity conservation gaps in Brazil: A role for systematic conservation planning. *Perspect Ecol Conserv* 16: 61–7.

Fraser N, Brierley L, Dey G, et al. 2021. The evolving role of preprints in the dissemination of COVID-19 research and their impact on the science communication landscape. *PLoS Biol* 19: e3000959.

Fridborg G, Pedersén M, Landström L, Eriksson 1978. The Effect of Activated Charcoal on Tissue Cultures: Adsorption of Metabolites Inhibiting Morphogenesis. *Physiol Plant* 43: 104–6.

Gaidamashvili M and Benelli 2021. Threatened Woody Plants of Georgia and Micropropagation as a Tool for In Vitro Conservation. *Agronomy* 11: 1082.

Garcia C, Furtado de Almeida A-A, Costa M, et al. 2019. Abnormalities in somatic embryogenesis caused by 2,4-D: an overview. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)* 137: 193–212.

García-Luis A, Molina RV, Varona V, et al. 2006. The influence of explant orientation and contact with the medium on the pathway of shoot regeneration in vitro in epicotyl cuttings of Troyer citrange. *Plant Cell Tissue Organ Cult* 85: 137–44.

George, EF, Hall MA, Klerk GJ 2008. *Micropropagation: Uses and Methods*. Em *Plant Propagation by Tissue Culture* Springer Netherlands. p. 29–64

Glänzel, W, Heeffer, S 2014 Cross-national preferences and similarities in downloads

and citations of scientific articles: A pilot study. In *Proceedings of the 19th International*

Conference on Science and Technology Indicators



Netherlands: Leiden University. p. 207–215

Gouveia SF, Souza-Alves JP, Rattis L, et al. 2016. Climate and land use changes will degrade the configuration of the landscape for titi monkeys in eastern Brazil. *Glob Chang Biol* 22: 2003–12.

Grácio MCC and Oliveira EFT de. 2014. Indicadores cientométricos normalizados: um estudo na produção científica brasileira internacional (1996 a 2011). *Perspectivas em Ciência da Informação* 19: 118–33.

Grimaldi F and Assumpção Bastos F. 2023. Control of in vitro contamination during the establishment of *Pyrus communis* explants using Plant Preservative MixtureT. *Plant Cell Culture & Micropropagation*.

Goode WJ, Hatt, PF 1969. Alguns problemas na análise qualitativa e na análise de caso. In Goode WJ, Hatt (Orgs.): *Métodos em pesquisa social* São Paulo: Companhia Editora Nacional. p. 398-433

Guimarães P de O, Santos AM dos, Silva CFA da, et al. 2023. Spatial analysis of deforestation factors in the Atlantic Forest Biome/Brazil. *Revista Geografias* 19: 1–19.

Gurel E and Wren 1995. development from leaf explants of sugar beet (*L.*). Rhizogenesis and the effect of sequential exposure to auxin and cytokinin. *Ann Bot* 75: 31–8.

Hashim SN, Ghazali SZ, Sidik NJ, et al. 2021. Surface sterilization method for reducing contamination of *Clinacanthus nutans* nodal explants intended for in-vitro culture. *E3S Web of Conferences* 306: 01004.

Hasnain A, Naqvi SAH, Ayesha SI, et al. 2022. Plants in vitro propagation with its applications in food, pharmaceuticals and cosmetic industries; current scenario and future approaches. *Front Plant Sci* 13.

Henkhaus N et al. 2020. Plant science decadal vision 2020–2030: Reimagining the potential of plants for a healthy and sustainable future. *Plant Direct*, 4(8): 00252

Ho WJ, Huang YK, Huang WW, et al. 2022. Effective in vitro culture using dormant bud of nodal sections from a mature *Acacia* tree. *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant* 58: 437–46.

Huang Y-J, Cheng S, Yang F-Q, Chen 2022. Analysis and Visualization of Research on Resilient Cities and Communities Based on VOSviewer. *Int J Environ Res Public Health* 19: 7068.

Hussain A, Ahmed I, Nazir H, Ullah 2012. Plant Tissue Culture: Current Status and Opportunities. *Recent Advances in Plant in vitro Culture*. InTech.

IUCN. 2024, “Overview of The IUCN Red List, Available from: www.iucnredlist.org/about/overview. Accessed 3 out. 2024.

Ikeuchi M, Sugimoto K, Iwase 2013. Plant Callus: Mechanisms of Induction and Repression. *Plant Cell* 25: 3159–73.

Jain SM, Häggman H 2007. *Protocols for micropropagation of woody trees and fruits*. Springer Sciencep Dordrecht p3-10



- Jesus R da S, Oliveira LS, Silva LM, Carvalho L. 2024. RESGATE E CONSERVAÇÃO IN VITRO DE ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS AMEAÇADA. Tópicos Especiais em Engenharia Florestal - Volume 2. Editora Científica Digital.
- Jiang FK and Hyland 2023. Titles in research articles: Changes across time and discipline. *Learned Publishing* 36: 239–48.
- Johansson 1983. Effects of activated charcoal in anther cultures. *Physiol Plant* 59: 397–403.
- Keith DA, Rodríguez JP, Brooks TM, et al. 2015. The IUCN Red List of Ecosystems: Motivations, Challenges, Applications. *Conserv Lett* 8: 214–26.
- Khaleghi M. 2017. The influence of deforestation and anthropogenic activities on runoff generation. *J For Sci (Prague)* 63: 245–53.
- Koleva P, Petrova N, Krumova S, et al. 2016. Effect of activated charcoal on the developmental patterns, polyphenolics productivity and photosynthetic activity of *Sideritis scardica* in vitro. *Planta Med* 81: S1–381.
- Krob AO et al. 2021. Contribution of southern Brazil to the climate and biodiversity conservation agenda. *Bio Diverso* Available from: <https://seer.ufrgs.br/index.php/biodiverso/article/view/120228>
- Kuczak M and Kurczyńska 2020. Cell Wall Composition as a Marker of the Reprogramming of the Cell Fate on the Example of a *Daucus carota* () Hypocotyl in Which Somatic Embryogenesis Was Induced. *Int J Mol Sci* 21: 8126.
- Kulak V, Longboat S, Brunet ND, et al. 2022. In Vitro Technology in Plant Conservation: Relevance to Biocultural Diversity. *Plants* 11: 503.
- Kumar T, . R, Sethiya R, et al. 2024. A comprehensive review of Plant Growth Regulators (PGRs) and their impact on flowering and ornamental crops with insights into effective application methods. *International Journal of Advanced Biochemistry Research* 8: 254–67.
- Kyte, L; Kleyn, J O. H. N. 1996 *Plants from test tubes: an introduction to micropropagation*. P. 15
- Lavery TH, Morgain R, Fitzsimons JA, et al. 2021. Impact Indicators for Biodiversity Conservation Research: Measuring Influence within and beyond Academia. *Bioscience* 71: 383–95.
- Leeds University. 2023 Amazon: Challenges of science in the rainforest. University of Leeds. Available from: <https://environment.leeds.ac.uk/geography/news/article/5639/amazon-challenges-of-science-in-the-rainforest>. Accessed: 22 abril 2024.
- Leta J, Glänzel W, Thijs 2006. Science in Brazil. Part 2: Sectoral and institutional research profiles. *Scientometrics* 67: 87–105.
- Leta J, Thijs B, Glänzel 2013. A macro-level study of science in Brazil: seven years later. *Encontros Bibli: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação* 18: 51–66.
- Letham D. 1967. Regulators of cell division in plant tissues. *Planta* 74: 228–42.



- Liu X, Zhu K, Xiao 2023. Recent advances in understanding of the epigenetic regulation of plant regeneration. *aBIOTECH* 4: 31–46.
- Long Y, Yang Y, Pan G, Shen 2022. New Insights Into Tissue Culture Plant-Regeneration Mechanisms. *Front Plant Sci* 13.
- Lloyd G, B McCown 1980. Commercially-feasible micropropagation of mountain laurel, *Kalmia latifolia*, by use of shoot-tip culture. 30, 421-427.
- Mace GM, Collar NJ, Gaston KJ, et al. 2008. Quantification of Extinction Risk: IUCN's System for Classifying Threatened Species. *Conservation Biology* 22: 1424–42.
- Mace GM, Norris K, Fitter A 2012. Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship. *Trends Ecol Evol* 27: 19–26.
- Mattedi MA and Spiess M 2017. A avaliação da produtividade científica. *Hist Cienc Saude Manguinhos* 24: 623–43.
- Máximo WPF, Barbosa S, Martins JPR, et al. 2020. Multiplication and *in vitro* rooting of *Handroanthus impetiginosus* (Mart. Ex D) Mattos. *Ciência Florestal* 30: 658–68.
- Mazloumian A, Helbing D, Lozano S, et al. 2013. Global Multi-Level Analysis of the ‘Scientific Food Web’? *Sci Rep* 3: 1167.
- Mcmanus CM, Neves AA, Maranhão BAQ 2020. Brazilian Publication Profiles: Where and How Brazilian authors publish. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 92:2. Available from: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020200328>
- Mccown BH, Sellmer JC 1987. General media and vessels suitable for woody plant culture. *Cell and tissue culture in forestry: general principles and biotechnology*. Dordrecht: Springer Netherlands, 4-16.
- Mehta N, Inamdar V, Puthillam A, et al. 2023. Assessing the impact of COVID-19 on STEM (science, technology, engineering, mathematics) researchers in India. *Wellcome Open Res* 7: 157.
- Merton, R K. 1968 The Matthew Effect in Science. *Science*, 159(3810): 56–63.
- Milojević S, Sugimoto CR, Yan E, Ding 2011. The cognitive structure of Library and Information Science: Analysis of article title words. *Journal of the American Society for Information Science and Technology* 62: 1933–53.
- Miglioli, S 2018. Influência E Limites Do Fator De Impacto Como Métrica De Avaliação Na Ciência. *PontodeAcesso*, 11(3): 17–33, Available from: <https://periodicos.ufba.br/index.php/revistaici/article/view/17263>. Accessed 3 out. 2024.
- Mng'omba, Simon A. et al. 2012 Efficacy and utilization of fungicides and other antibiotics for aseptic plant cultures. In *Tech Open Access Publisher*.



- Mugnaini R, damaceno RJP, DIGIAMPIETRI LA, MENA-CHALCO J 2019. Panorama da produção científica do Brasil além da indexação: uma análise exploratória da comunicação em periódicos. *Transinformação* 31.
- Murthy HN, Joseph KS, Paek KY, Park S 2023. Bioreactor systems for micropropagation of plants: present scenario and future prospects. *Front Plant Sci* 14.
- Nassi-Caló, L 2014 A ciência na América do Sul na Nature. Scielo em Perspectiva. Available from: <https://blog.scielo.org/blog/2014/07/04/a-ciencia-na-america-do-sul-na-nature/>. Accessed 20 nov 2024.
- Niedz RP and Bausher M 2002. Control of In vitro contamination of explants from greenhouse- and field-grown trees. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant* 38: 468–71.
- Normah MN, chin HF, reed bm. 2013. Conservation of Tropical Plant Species. (MN Normah, HF Chin, BM Reed, Eds). New York, NY: Springer New York.
- Oliveira Junior MA de, Brogio Colli B do A, Libório Stipp LC, et al. 2024. In vitro culture of Rio Grande cherry (*Eugenia involucrata* D). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)* 157: 21.
- Oprins J et al. 2004 Micropropagation: a general method for commercial bamboo production. In: World bamboo congress. p. 1-11.
- Omary MB, Eswaraka J, Kimball SD, et al. 2020. The COVID-19 pandemic and research shutdown: staying safe and productive. *Journal of Clinical Investigation* 130: 2745–8.
- Oseni OM, Pande V, Nailwal T 2018. A Review on Plant Tissue Culture, A Technique for Propagation and Conservation of Endangered Plant Species. *Int J Curr Microbiol Appl Sci* 7: 3778–86.
- Paranhos JT, Löbler L, Cechin J, et al. 2017. PROPAGAÇÃO IN VITRO DE *Casearia sylvestris*; SWARTZ (SALICACEAE). *Ciência Florestal* 27: 1191–9.
- Pereira JE 2012. Contaminações microbianas na cultura de células, tecidos e órgãos de plantas 2ª ed. Brasília, DF: Embrapa.p. 187-202
- Phillips GC and Garda 2019a. Plant tissue culture media and practices: an overview. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant* 55: 242–57.
- Phillips GC and Garda 2019b. Plant tissue culture media and practices: an overview. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant* 55: 242–57.
- Pinto AS, Monteiro FK da S, Ramos MB, et al. 2020. Invasive plants in the Brazilian Caatinga: a scientometric analysis with prospects for conservation. *Neotropical Biology and Conservation* 15: 503–20.
- Powell WW and Snellman 2004. The Knowledge Economy. *Annu Rev Sociol* 30: 199–220.
- Prakash S and Verma A 2022. ANTHROPOGENIC ACTIVITIES AND BIODIVERSITY THREAT International Journal of Biological Innovations 04: 94–103.



- Raghuvanshi SS and Srivastava 1995. Plant regeneration of *Mangifera indica* using liquid shaker culture to reduce phenolic exudation. *Plant Cell Tissue Organ Cult* 41: 83–5.
- Ranghoo-Sanmukhiya V 2021. Somaclonal Variation and Methods Used for Its Detection. *Propagation and Genetic Manipulation of Plants*. Singapore: Springer Singapore.
- Razera JC 2016. Contribuições da cienciometria para a área brasileira de Educação em Ciências. *Ciência & Educação (Bauru)* 22: 557–60.
- Rezende S 2011. Produção científica e tecnológica no Brasil: conquistas recentes e desafios para a próxima década. *Revista de Administração de Empresas* 51: 202–9.
- Ribeiro DB et al. 2023. Retrocessos no financiamento da Ciência, Tecnologia e Inovação no Brasil: o caso do CNPq. *Serviço Social Sociedade*, 146(3):326
- Ritter MR, Silva TC da, Araújo E de L, Albuquerque U 2015. Bibliometric analysis of ethnobotanical research in Brazil (1988-2013). *Acta Bot Brasilica* 29: 113–9.
- Rodrigues AA, Macedo MN, Silvério D, et al. 2022. Cerrado deforestation threatens regional climate and water availability for agriculture and ecosystems. *Glob Chang Biol* 28: 6807–22.
- Salgotra RK and Chauhan B 2023. Genetic Diversity, Conservation, Utilization of Plant Genetic Resources. *Genes (Basel)* 14: 174.
- Sánchez-Cuevas, M C Salaverría, J L. 2004 Control de la oxidación y la contaminación en el cultivo in vitro de fresa (*Fragaria X ananassa* Duch. *Revista UDO Agrícola* 4(1): 21-26.
- San José MC, Cernadas MJ, aneiro LV 2021. Optimization of Micropropagation Protocols in Some Woody Plants Using Meta-topolin. *Em Meta-topolin: A Growth Regulator for Plant Biotechnology and Agriculture* Springer Singapore p. 221–240
- Santini NS and Miquelajauregui 2022. The Restoration of Degraded Lands by Local Communities and Indigenous Peoples. *Frontiers in Conservation Science* 3.
- Santos MAC dos, Rêgo MM do, Queiróz MA de, et al. 2020. In vitro growth performance of *Psidium guajava* and guineense plantlets as affected by culture medium formulations. *Vegetos* 33: 435–45.
- Santos R M 2003. Indicadores estratégicos em ciência e tecnologia: refletindo a sua prática como dispositivo de inclusão/exclusão. *Transinformação*, 15: 129–140.
- Scarano FR and Martinelli 2010. Brazilian List of Threatened Plant Species: Reconciling Scientific Uncertainty and Political Decision-Making. *Natureza & Conservação* 08: 13–8.
- Schatz G 2009. Plants on the IUCN Red List: setting priorities to inform conservation. *Trends Plant Sci* 14: 638–42.
- Shahzad A, Parveen S, Fatema 2011. Development of a regeneration system via nodal segment culture in *Veronica anagallis-aquatica* – an amphibious medicinal plant. *J Plant Interact* 6: 61–8.



- Shahzad A et al. 2017 Historical Perspective and Basic Principles of Plant Tissue Culture. Em *Plant Biotechnology: Principles and Applications* (p. 1–36 Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-2961-5_1
- Sharma. 2017. ROLE OF GROWTH REGULATORS IN MICROPROPAGATION OF WOODY PLANTS-A REVIE Int J Adv Res (Indore) 5: 2378–85.
- Sidone OJ, Haddad EA, Mena-Chalco JP 2016. A ciência nas regiões brasileiras: evolução da produção e das redes de colaboração científica. *Transinformação*, 28(1): 15–32.
- Silva HF de J, Asmar SA, Oliveira RC de et al. 2016. In vitro establishment and early development of barueiro (*Dipteryx alata* Vogel). *Semin Cienc Agrar* 37: 1779.
- Silva TD, Chagas K, Batista DS, et al. 2019. Morphophysiological in vitro performance of Brazilian ginseng (*Pfaffia glomerata* (Spreng.) Pedersen) based on culture medium formulations. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant* 55: 454–67.
- Silveira SS, Cordeiro-Silva R, Degenhardt-Goldbach J, Quoirin 2016. Micropropagation of *Calophyllum brasiliense* (Cambess.) from nodal segments. *Brazilian Journal of Biology* 76: 656–63.
- Song W, Song Y, Liu X, et al. 2023. Improvement of Culture Conditions and Plant Growth Regulators for In Vitro Callus Induction and Plant Regeneration in *Paeonia lactiflora* Pall. *Plants* 12: 3968.
- Souza Coccoresse Conceição I, Portela Carmo L, Lima-Brito 2021. Costreduction in the micropropagation of *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*. *COLLOQUIUM AGRARIAE* 17: 12–20.
- Suwal MM, Lamichhane J, Gauchan D 2020. Regeneration Technique of Bamboo Species through Nodal Segments: A Review. *Nepal Journal of Biotechnology* 8: 54–68.
- Tambarussi E, Rogalski M, Galeano E, et al. 2017. Efficient and new method for *Tectona grandis* in vitro regeneration. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 17: 124–32.
- Tambarussi EV, Rogalski M, Nogueira FTS, et al. 2015. Influence of antibiotics on indirect organogenesis of Teak. *Ann For Res* 58: 1.
- Thorpe T 2007. History of plant tissue culture. *Mol Biotechnol* 37: 169–80.
- Tran, Nam. 6 plant tissue culture media for beginners. 27 Sep. 2023. Lab Associates. Available from: <https://labassociates.com/6-plant-tissue-culture-media-for-beginners>.
- Accessed 3 out. 2024.
- Uchida N and Torii K 2019. Stem cells within the shoot apical meristem: identity, arrangement and communication. *Cellular and Molecular Life Sciences* 76: 1067–80.
- Usenbekov B, Amirova A, Zeinalov Z, et al. 2024. Creation of rice doubled haploids with low amylose content using in vitro anther culture. *Brazilian Journal of Biology* 84.



- Van-Eck NJ, Waltman L 2014. Visualizing Bibliometric Networks. Em *Measuring Scholarly Impact* Springer International Publishing p. 285–320
- Vadell E, de-Miguel S, Pemán 2016. Large-scale reforestation and afforestation policy in Spain: A historical review of its underlying ecological, socioeconomic and political dynamics. *Land use policy* 55: 37–48.
- Vidal-Couto DB, Brito CR de, Andrade ILMM, et al. 2023. Tree species used in urban forestry in Brazil: a scientometric review. *Rodriguésia* 74.
- Viswanath, S 2013 *Dendrocalamus stocksii* (Munro.): A potential multipurpose bamboo species for Peninsular India. Institute of Wood Science and Technology. *Dendrocalamus stocksii* (Munro.): A Potential Multipurpose Bamboo Species for Peninsular India Accessed 15 setembro 2024
- Vitt P, Finch J, Barak RS, et al. 2022. Seed sourcing strategies for ecological restoration under climate change: A review of the current literature. *Frontiers in Conservation Science* 3.
- Xu J, Xiao P, Li T, Wang 2022. Research Progress on endangered plants: a bibliometric analysis. *Biodivers Conserv* 31: 1125–47.
- Xue Y, Hiti-Bandaralage JCA, Mitter 2023. Micropropagation of *Duboisia* Species: A Review on Current Status. *Agronomy* 13: 797.
- Yancheva S and Kondakova 2016. *Plant Tissue Culture Technology: Present and Future Development*. p. 1–26
- Yang Q, Yang D, Li P, et al. 2021. Resilient City: A Bibliometric Analysis and Visualization. *Discrete Dyn Nat Soc* 2021: 1–17.