



Perspectivas da criopreservação de embriões somáticos vegetais: uma avaliação cientométrica de duas décadas

Gabriel Alves de Souza da Silva ^a, Dayane Sousa Araújo ^a, Kelly da Costa Braga ^a,
Tainá Teixeira Rocha ^{a*}, Raíry Cravo Herrera ^a, Luciano Coutinho Silva ^b

^a Universidade Federal do Pará, Brasil

^b Universidade Federal da Paraíba, Brasil

Autor correspondente (rochataina@gmail.com)

INFO

Keywords

cryopreservation
somatic embryos
scientometrics
conservation

Palavras-chaves

criopreservação
embriões somáticos
cienciometria
conservação

ABSTRACT

Perspectives on cryopreservation of plant somatic embryos: a two-decade scientometric assessment

Cryopreservation, importante for genetic resource conservation, involves storing embryos at extremely low temperatures, ensuring long-term tissue viability. This article presents a scientometric analysis of somatic embryo cryopreservation in plants from 2003 to 2023. The study identified 318 publications in the Web of Science and Scopus databases, with 239 eligible articles after removing duplicates and reviews. Scientific production fluctuated over the years, with peaks in 2004, 2007, 2013, and 2021, indicating increased research activity during those periods. Leading journals in the field include *Cryoletters* and *Plant Cell Tissue and Organ Culture*. Noteworthy institutions such as the Federal University of Santa Catarina and the Galician Institute of Agro-biological Research contributed significantly to the research. The analysis concludes that somatic embryo cryopreservation is a constantly evolving field driven by global challenges such as biodiversity loss and climate change, underscoring the technique's importance for the conservation and recovery of endangered species.

RESUMO

A técnica de criopreservação, essencial para a conservação de recursos genéticos, envolve o armazenamento de embriões em temperaturas extremamente baixas, preservando a viabilidade dos tecidos a longo prazo. Este artigo apresenta uma análise cientométrica sobre a criopreservação de embriões somáticos vegetais, abrangendo o período de 2003 a 2023. A pesquisa identificou 318 publicações nas bases de dados Web of Science e Scopus, sendo 239 artigos elegíveis após a remoção de duplicatas e revisões. A produção científica apresentou variações ao longo dos anos, com picos em 2004, 2007, 2013 e 2021, indicando maior atividade de pesquisa nesses períodos. As principais revistas científicas publicando sobre o tema incluem *Cryoletters* e *Plant Cell Tissue and Organ Culture*. Instituições de destaque, como a Universidade Federal de Santa Catarina e o Instituto de Investigação Agrobiológica da Galícia, foram as que mais contribuíram com as pesquisas. A análise conclui que a criopreservação de embriões somáticos vegetais é um campo em constante evolução, impulsionado por desafios globais, como a perda de biodiversidade e as mudanças climáticas, destacando a importância dessa técnica para a conservação e recuperação de espécies ameaçadas.



INTRODUÇÃO

A conservação genética vegetal desempenha um papel importante na preservação e recuperação de populações, pois está intimamente ligada à capacidade de manter e reabilitar essas comunidades futuramente¹. Essa prática envolve a conservação da diversidade genética das espécies vegetais por meio da coleta, armazenamento e manutenção de sementes, tecidos ou outros propágulos, assegurando sua sobrevivência a longo prazo².

Existem diversos métodos de conservação *in situ* e *ex situ* para a manutenção da biodiversidade vegetal³. Na conservação *in situ*, os recursos genéticos são preservados em seus habitats naturais. Isso inclui estratégias como, áreas protegidas, reservas naturais, corredores ecológicos e outras iniciativas que promovem a manutenção da biodiversidade no local⁴⁻⁵. Já a conservação *ex situ* envolve a preservação de recursos genéticos fora de seus ambientes naturais, utilizando principalmente, bancos de sementes, coleções de *in vivo* a campo, cultivo *in vitro* e criopreservação⁶.

Essas abordagens visam proteger recursos genéticos ameaçados e sujeitos à sobreexploração, mitigando os riscos iminentes de destruição e extinção⁷. Além disso, os recursos genéticos vegetais asseguram o armazenamento a longo prazo do material vegetal que seja viável e geneticamente estável, através da criopreservação utilizando temperaturas ultra baixas com intuito de conservar a biodiversidade e a sustentabilidade agrícola⁸.

No contexto da conservação da biodiversidade, a embriogênese somática desempenha um papel fundamental ao permitir que células somáticas sejam reprogramadas para originar embriões semelhantes aos zigóticos⁹. Essa capacidade de regeneração oferece uma base valiosa para aplicações em biotecnologia vegetal, no qual a criopreservação de tecidos e embriões somáticos, contribuindo para a conservação de genótipos e a manutenção da variabilidade genética de espécies vegetais ameaçadas e de interesse¹⁰⁻¹¹⁻¹²⁻¹³.

Essa técnica possibilita a conservação de genótipos específicos e pode ter sua eficiência aprimorada pela desidratação controlada e uso de crioprotetores: elevando as taxas de sobrevivência pós-reaquecimento¹⁴⁻¹⁵. Os embriões somáticos formados desse processo são empregados para investigar a regulação do desenvolvimento dos embriões, além de servirem como um recurso para a multiplicação vegetativa em grande escala¹⁶. Este método é especialmente eficaz para plantas que produzem sementes recalcitrantes ou que são propagadas majoritariamente por vias assexuadas,

fornecendo uma solução prática para a conservação fora do ambiente natural¹⁷.

Nesse contexto, é essencial realizar uma revisão bibliográfica para sintetizar o conhecimento atual sobre criopreservação de embriões somáticos e identificar as principais linhas de tendências na literatura. Essa abordagem permite ter uma visão geral sobre a técnica e os avanços, além de trazer um olhar mais atencioso sobre as áreas promissoras para futuras pesquisas. Com isso, este estudo tem por objetivo realizar uma análise cientométrica sobre a criopreservação de embriões somáticos no período de 2003 a 2023. A pesquisa visa destacar os direcionamentos dado a esse campo e identificar as principais famílias de plantas abordadas nas publicações científicas que utilizam essa técnica.

METODOLOGIA

Foram utilizados os bancos de dados Web of Science e Scopus. Foi estabelecido para as buscas de dados os seguintes parâmetros como período de publicação de janeiro de 2003 a dezembro de 2023; e descritores definidos em língua inglesa para as buscas: "cryopreservation" AND "plant" AND "somatic" AND "embryo". Os critérios de elegibilidade dos artigos foram: 1) artigos completos; 2) publicados em inglês ou português; 3) metodologias empregadas que demonstram o progresso nas técnicas de criopreservação de embriões somáticos.

Foram incluídos apenas artigos descritivos com experimentos, sendo dispensados trabalhos de revisão e literatura cinzenta (manuscritos não publicados em periódicos). Após a seleção inicial, foi realizada a mesclagem e exclusão de artigos duplicados. A análise dos dados foi realizada utilizando o software R versão 4.1.1¹⁸ e o pacote Bibliometrix 4.0¹⁹, conforme os critérios estabelecidos no estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A busca na base de dados Web of Science resultou em 183 artigos, enquanto no Scopus foram encontrados 135, totalizando 318 publicações. Dessas, 68 eram duplicatas, sendo uma das cópias excluída, e outras 13 eram artigos de revisão, resultando em um total final de 237 publicações das bases Web of Science e Scopus. Após a leitura dos títulos e resumos, foram selecionados artigos para serem lidos na íntegra e foram incluídos na análise 236. As etapas para seleção dos estudos que compõem a revisão podem ser visualizadas na figura 1.

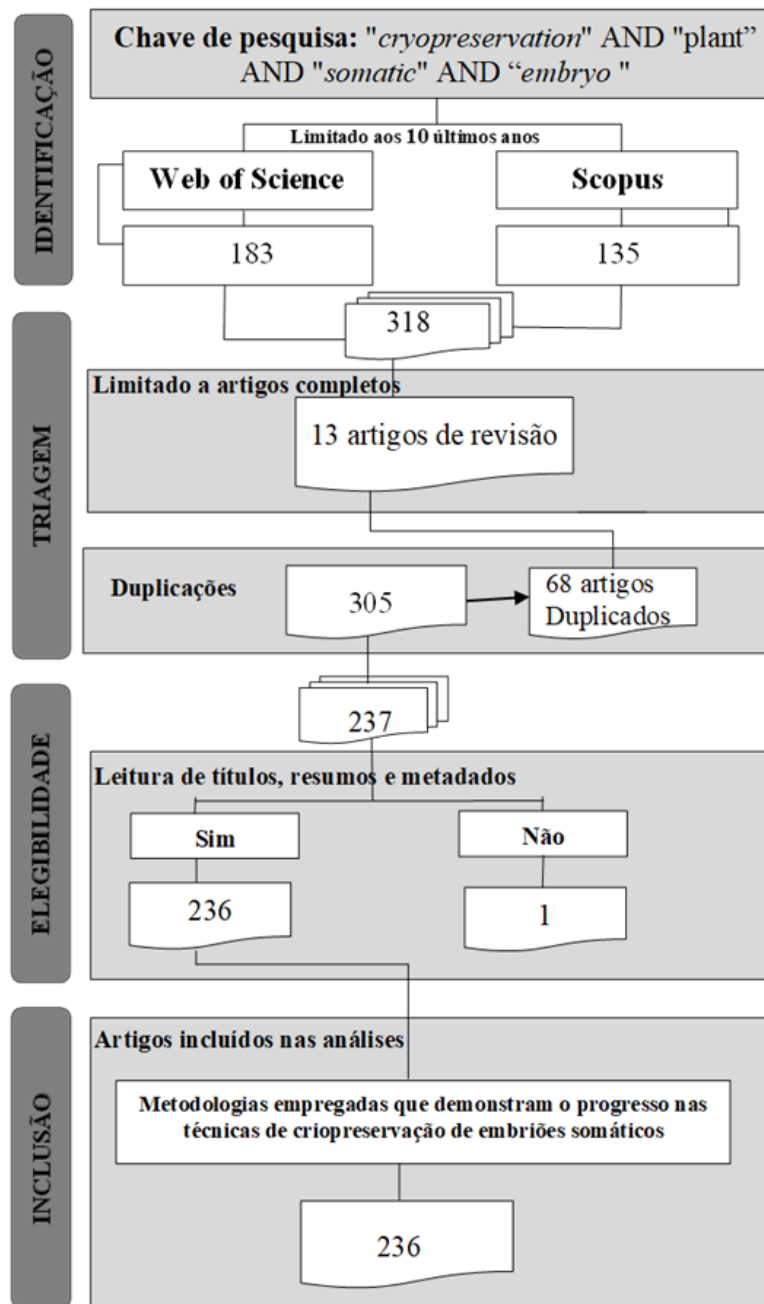


Figura 01 - Fluxograma com etapas de acordo com o protocolo adaptado de PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) de Muhl e Oliveira (2022)19. Fonte: Autores (2024).

A evolução da produção científica relacionada à criopreservação de embriões somáticos vegetais ao longo de duas décadas pode ser observada através da temporalidade das

publicações apresentada na FIGURA 2. A análise dos dados evidencia variações no número de artigos publicados no período, refletindo oscilações no interesse científico e nos avanços na área.

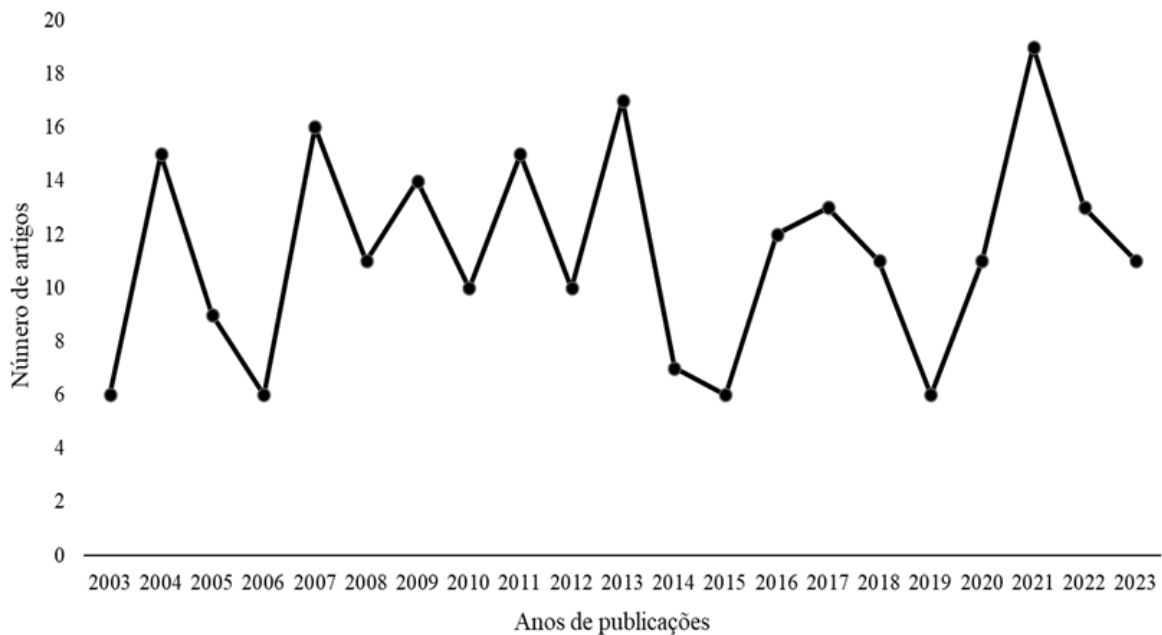


Figura 2 - Número de artigos publicados sobre criopreservação de embriões somáticos vegetais por ano (2003-2023).

A evolução da produção científica relacionada à criopreservação de embriões somáticos vegetais ao longo de duas décadas evidencia oscilações que refletem tanto fatores econômicos e institucionais quanto avanços tecnológicos e mudanças nas prioridades de pesquisa. Conforme apresentado na Figura 2, as tendências gerais de crescimento de publicações em determinados períodos podem estar associados ao surgimento de novos protocolos e aperfeiçoamentos metodológicos que ampliaram a viabilidade da técnica. Avanços como a otimização de meios de maturação e crioprotetores, a consolidação da vitrificação e o desenvolvimento de abordagens combinando embriogênese somática e criopreservação em espécies lenhosas impulsionaram o interesse científico e o número de estudos publicados²⁰⁻²¹.

No cenário global, países com forte investimento em ciência e tecnologia, como China, Coreia do Sul e Estados Unidos, apresentaram crescimento expressivo na área, especialmente após 2010, quando políticas de incentivo à biotecnologia vegetal e programas de conservação *ex situ* passaram a integrar estratégias nacionais de sustentabilidade agrícola. Dados do *Nature Index* mostram que, nesses países, a ampliação dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento coincidiu com um aumento na publicação de artigos em ciências, incluindo criopreservação de tecidos vegetais²².

Por outro lado, em países que enfrentaram restrições orçamentárias, como o Brasil, pode ter influenciado na desaceleração na tendência de crescimento das publicações, especialmente após

2014, em decorrência dos cortes nos recursos destinados à ciência e tecnologia. Esse cenário afetou diretamente a manutenção de projetos de maior custo operacional, como os relacionados à criopreservação, que demandam infraestrutura laboratorial, insumos específicos e equipes especializadas. Em 2019, as dificuldades financeiras enfrentadas por agências de fomento, como o CNPq, culminaram na suspensão de bolsas e investimentos, refletindo-se na redução de trabalhos publicados naquele período²³⁻²⁴⁻²⁵.

Além disso, treinamento capacitado, os insumos necessários, como meios de cultura e soluções crioprotetoras, tornam a execução desses experimentos ainda mais onerosa, limitando a viabilidade de sua aplicação em larga escala em um contexto de baixo financiamento²⁶⁻²⁷⁻²⁸. A falta de recursos pode ter prejudicado a inovação e a continuidade de projetos, refletindo-se na produção científica irregular e na dificuldade de manter experimentos dispendiosos, como os de criopreservação. Os dados indicam um campo de estudo em evolução, caracterizado por ciclos de intensificação e consolidação da produção científica. A distribuição temporal das publicações sugere que a pesquisa em criopreservação de embriões somáticos vegetais permanece relevante.

Embora o aumento das publicações sobre o tema demonstre o potencial da técnica em diferentes áreas de aplicação, é importante reconhecer as limitações associadas às distintas respostas das espécies vegetais aos protocolos empregados. Como apontado por Engelmann (2010)¹⁴ e Li et al. (2017)²⁹ o avanço do campo depende da otimização

e da adaptação de métodos específicos para cada espécie, a fim de garantir maior eficiência, estabilidade genética e reprodutibilidade dos resultados ao longo do tempo.

Complementarmente, as fontes destacadas representam os principais veículos de divulgação de es-

tudos na área, refletindo a diversidade de abordagens e interesses acadêmicos. A FIGURA 3, com 11 revistas, foi baseado na análise dos periódicos mais citados e influentes na criopreservação, garantindo uma viabilidade.

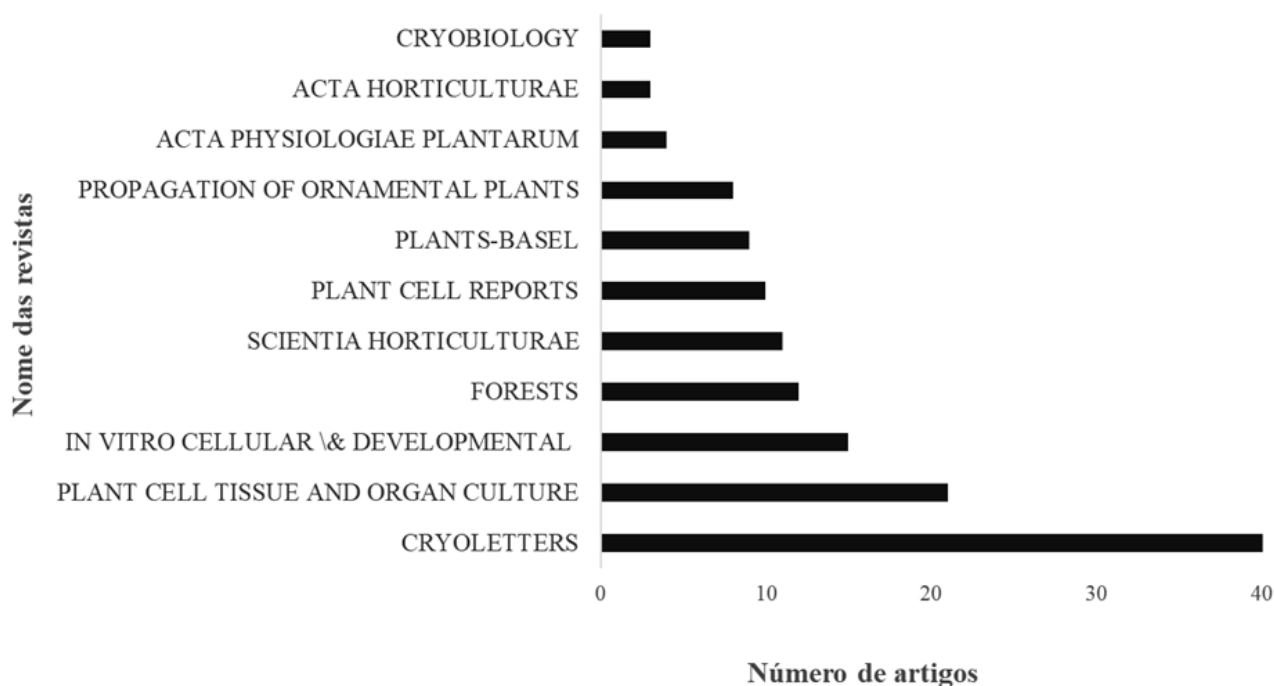


Figura 3 - Principais revistas científicas analisadas na pesquisa.

Estas fontes representam os principais veículos de disseminação de pesquisas na área, refletindo a diversidade de abordagens e interesse acadêmico. A revista *Cryoletters* destaca-se pelo maior número de publicações que abordam aspectos científicos e técnicos da criopreservação. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* concentra-se na biotecnologia vegetal, incluindo técnicas inovadoras voltadas para a conservação da biodiversidade. Já a *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant* especializa-se na biologia *in vitro* de plantas. Outras revistas relevantes para disseminação de avanços na temática biotecnologia e conservação de espécies vegetais são: *Forests*, *Scientia Horticulturae*, *Plant Cell Reports*, *Plants-Basel* e *Propagation of Ornamental Plants*.

Nesse cenário, a publicação de artigos em periódicos especializados exerce papel fundamental na difusão de descobertas recentes, incluindo novos protocolos e técnicas, contribuindo para a constante evolução das práticas científicas. A troca contínua de informações e resultados de pesquisa, especialmente em áreas como a biotecnologia vegetal, é essencial para o avanço do conhecimento e para o fortalecimento da colaboração entre grupos de pesquisa³⁰. Como

destacado por Dias et al. (2011)³¹ e Cilibrasi (2024)³², essa interação científica é particularmente relevante na biotecnologia vegetal, onde o compartilhamento e a disseminação de métodos eficazes podem acelerar as estratégias de conservação de espécies e promover a segurança alimentar baseada em recursos vegetais³³.

Nesse contexto, o acesso à literatura científica e o modelo de acesso aberto impactam diretamente a difusão do conhecimento de achados atuais³⁴, como podemos reforçar a importância da democratização da publicação científica como um processo essencial para reduzir desigualdades no acesso ao conhecimento³⁵⁻³⁶. Fiala e Diamandis, (2019)³⁷ destacam que o modelo tradicional de publicação científica cria barreiras financeiras que restringem o acesso a conteúdo importantes para pesquisadores e o público em geral, especialmente em regiões com menos recursos. Os autores sustentam que a transição para o acesso aberto, apesar de seus desafios, é uma mudança fundamental para tornar o conhecimento científico mais acessível e transparente.

Contudo, o progresso nessa área depende de uma base de conhecimento amplamente acessível, que possa apoiar cientistas de diferentes regiões,

incluindo aquelas com menos recursos financeiros e tecnológicos. A democratização do acesso à pesquisa científica não só facilita a troca de informações e protocolos entre pesquisadores³⁸, com isso garante que as inovações na criopreservação sejam disseminadas globalmente

por meio das revistas científicas.

As dez instituições com maior número de artigos publicados na área de criopreservação de embriões somáticos vegetais estão representadas na figura 4.

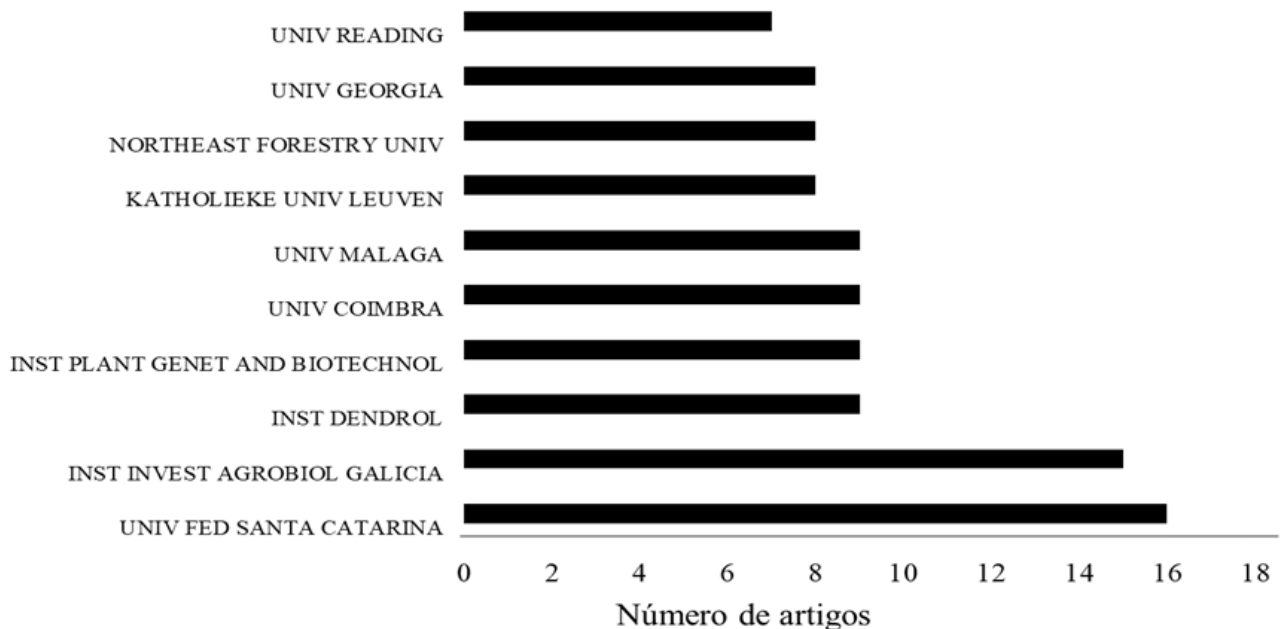


Figura 4 - Top 10 das afiliações que participaram dos 236 artigos completos analisados.

Ao analisar as principais afiliações no campo da criopreservação de embriões somáticos no Brasil, observa-se que a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) se destaca como a instituição mais produtiva, refletindo a crescente relevância da pesquisa científica brasileira em áreas como ciências agrárias e biotecnológicas. De acordo com relatório da Clarivate Analytics, disponível no portal do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações, 15 universidades públicas no período de 2013 a 2018 foram responsáveis por cerca de 60% da produção científica nacional, destacando a importância dessas instituições como pilares do desenvolvimento científico do país. Isso corrobora o destaque da UFSC como uma das principais contribuidoras na área de criopreservação de embriões somáticos, evidenciando que o aumento da produção científica está intimamente relacionado ao investimento em pesquisa nas universidades federais e em outras instituições de pesquisa³⁹⁻⁴⁰. Uma vez que, o aumento na produção científica está intimamente relacionado ao investimento em pesquisa nas universidades federais e em instituições não universitárias, que

desempenham um papel fundamental no avanço das pesquisas no Brasil⁴¹.

Os dados indicam, como têm sido os esforços de instituições internacionais nessa área, desempenhando um papel fundamental no estudo global e na implementação da criopreservação de plantas. Um exemplo é o *Institute of Agroecological Research of Galicia (IIAG)*, situado na Europa, exercendo influência significativa em pesquisas de criopreservação de embriões somáticos, devido a sua especialização em biotecnologia vegetal e conservação de recursos genéticos. Pesquisas conduzidas com espécies agrícolas, alinhadas com o método de criopreservação baseado em vitrificação de embriões somáticos de castanheiro europeu (*Catanea sativa*)⁴², indicam a importância da técnica em diversos contextos mundiais para a conservação de germoplasmas selecionados e para manter a diversidade genéticos.

O Quadro 1 sintetiza as diferentes finalidades atribuídas às 57 famílias, destacando elementos centrais para a compreensão e contextualização dos resultados obtidos.

Quadro 1 - Destinação para o uso das Famílias/Espécies vegetais encontradas nos artigos de criopreservação de embriões somáticos.

Nº	SETOR	FAMÍLIA	ESPÉCIE	REFERÊNCIA
1	Agrícola	Malvaceae	<i>Theobroma cacao</i> L.	Adu-Gyamfi e Wetten (2012)
2	Agrícola	Rutaceae	<i>Ruta graveolens</i> L.	Ahmad et al. (2012)
3	Ornamental	Cupressaceae	<i>Platycladus orientalis</i> (L.) Franco	Ahn e Choi (2017)
4	Ornamental	Cupressaceae	<i>Chamaecyparis thyoides</i> (L.) Britton Stern & Poggenb	Ahn et al. (2017)
5	Madereira	Pinaceae	<i>Tsuga ulleungensis</i>	Ahn et al. (2018)
6	Ornamental	Cupressaceae	<i>Thuja koraiensis</i> Nakai	Ahn et al. (2019)
7	Agrícola	Arecaceae	<i>Phoenix dactylifera</i> L.	Al-Bahrany e Al-Khayri (2012)
8	Agrícola	Arecaceae	<i>Phoenix dactylifera</i> L. cv. Sagai	Alansi et al. (2019)
9	Madereira	Pinaceae	<i>Pinus pinaster</i> (Ait.)	Alvarez et al. (2012)
10	Madereira	Pinaceae	<i>Pinus pinaster</i> (Ait.)	Alvarez et al. (2012)
11	Madereira	Pinaceae	<i>Pinus pinaster</i> (Ait.)	Alvarez et al. (2013)
12	Ornamental	Orchidaceae	<i>Mokara Broga</i> Giant	Antony et al. (2013)
13	Madereira	Pinaceae	<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst.	Aronen et al. (2021)
14	Medicinal	Apocynaceae	<i>Cantharanthus roseus</i> (L.) G. Don.	Aslam et al.(2011)
15	Madereira	Fagaceae	<i>Quercus ilex</i> L.	Ballesteros et al. (2020)
16	Madereira	Fagaceae	<i>Quercus ilex</i> L.	Barra-Jiménez et al. (2015)
17	Agrícola	Vitaceae	<i>Vitis</i> spp.	Ben-Amar et al. (2007)
18	Agrícola	Vitaceae	<i>Vitis</i> spp./ <i>Vitis vinifera</i> /	Ben-Amar et al. (2013)
19	Agrícola	Arecaceae	<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.	Beulé et al. (2018)
20	Ornamental	Liliaceae	<i>Lilium</i> spp.	Bi et al. (2006)
21	Agrícola	Oleaceae	<i>Olea europaea</i> L.	Bradai e Sanchez-Romero (2020)
22	Agrícola	Oleaceae	<i>Olea europaea</i> L.	Bradai e Sanchez-Romero (2021)
23	Agrícola	Oleaceae	<i>Olea europaea</i> L.	Bradai et al. (2017)
24	Agrícola	Oleaceae	<i>Olea europaea</i> L.	Bradai et al. (2023)
25	Ornamental	Orquidaceae	<i>Orchid</i> spp.	Bunn et al. (2007)
26	Ornamental	Orchidaceae	<i>Ludisia discolor</i>	Burkhan et al. (2022)
27	Madereira	Fagaceae	<i>Quercus ilex</i> L.	Cano et al. (2020)
28	Madereira	Pinaceae	<i>Picea pungens</i> Engelm.	Cao et al. (2022)
29	Agrícola	Vitaceae	<i>Vitis vinifera</i> L	Carimi et al. (2016)
30	Madereira	Pinaceae	<i>Pinus pinea</i> L.	Carneros et al. (2017)
31	Agrícola	Vitaceae	<i>Vitis</i> spp.	Carra et al. (2016)
32	Alimentícia	Apiaceae	<i>Daucus carota</i> L.	Chen e Wang (2003)
33	Madereira	Fagaceae	<i>Quercus robur</i> L.	Chmielarz et al. (2011)
34	Medicinal	Malpighiaceae	<i>Byrsonima intermedia</i> Juss.	Correa da Silva et al. (2018)
35	Madereira	Fagaceae	<i>Castanea sativa</i> Mill	Corredorira et al. (2004)
36	Madereira	Fagaceae	<i>Castanea sativa</i> Mill.	Corredorira et al. (2007)
37	Madereira	Fagaceae	<i>Castanea sativa</i> Mill.	Corredorira et al. (2008)
38	Madereira	Fagaceae	<i>Castanea sativa</i> Mill	Corredorira et al. (2012)
39	Madereira	Fagaceae	<i>Castanea sativa</i> Mill.	Corredorira et al. (2016)

40	Alimentícia	Solanaceae	<i>Solanum betaceum</i> Cav.	Correia et al. (2019)
41	Madereira	Pinaceae	<i>Picea glauca</i> (Moench) Voss	Cui et al. (2021)
42	Alimentícia	Euphorbiaceae	<i>Manihot esculenta</i> Crantz	Danso e Ford-Lloyd (2004)
43	Alimentícia	Euphorbiaceae	<i>Manihot esculenta</i> Crantz	Danso e Ford-Lloyd (2011)
44	Alimentícia	Euphorbiaceae	<i>Manihot esculenta</i> Crantz	Danso et al. (2003)
45	Industrial	Agavaceae	<i>Agave tequilana</i> Weber var. Azul	Delgado-Aceves et al. (2021)
46	Madereira	Araucariaceae	<i>Araucaria angustifolia</i> (Bert. O. Kuntze)	Demarchi et al. (2014)
47	Madereira	Araucariaceae	<i>Araucaria angustifolia</i> (Bert. O. Kuntze)	Dorigan et al. (2021)
48	Científica	Brassicaceae	<i>Arabidopsis thaliana</i> L.	Ekinici et al. (2021)
49	Agrícola	Malvaceae	<i>Theobroma cacao</i> L.	Fang e Wetten (2011)
50	Agrícola	Malvaceae	<i>Theobroma cacao</i> L.	Fang e Wetten (2011)
51	Agrícola	Malvaceae	<i>Theobroma cacao</i> L.	Fang et al. (2004)
52	Agrícola	Malvaceae	<i>Theobroma cacao</i> L.	Fang et al. (2008)
53	Agrícola	Malvaceae	<i>Theobroma cacao</i> L.	Fang et al. (2009)
54	Madereira	Pinaceae	<i>Pinus koraiensis</i>	Fang et al. (2020)
55	Madereira	Pinaceae	<i>Pinus koraiensis</i>	Fang et al. (2020)
56	Medicinal	Apocynaceae	<i>Catharanthus roseus</i> (L.) G. Don	Fatima et al. (2009)
57	Agrícola	Arecaceae	<i>Phoenix dactylifera</i> L.	Fki et al. (2011)
58	Madereira	Pinaceae	<i>Picea sitchensis</i> (Bong.) Carrière LC.	Gale et al. (2007)
59	Madereira	Pinaceae	<i>Picea sitchensis</i> (Sitka spruce)	Gale et al. (2008)
60	Madereira	Pinaceae	<i>Picea sitchensis</i> (Bong.) Carrière LC.	Gale et al. (2013)
61	Madereira	Pinaceae	<i>Picea sitchensis</i> (Bong.) Carrière LC.	Gale et al. (2013)
62	Madereira	Pinaceae	<i>Picea sitchensis</i> (Sitka spruce)	Gale et al. (2007)
63	Agrícola	Bromeliaceae	<i>Ananas comosus</i> L.	Gámez-Pastrana et al. (2004)
64	Agrícola	Arecaceae	<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.	Gantait et al. (2015)
65	Madereira	Pinaceae	<i>Picea koraiensis</i>	Gao et al. (2021)
66	Madereira	Pinaceae	<i>Abies alba</i> Mill.	Gao et al. (2022)
67	Madereira	Pinaceae	<i>Pinus koraiensis</i>	Gao et al. (2023)
68	Agrícola	Lauraceae	<i>Persea americana</i> Mill.	García et al. (2013)
69	Alimentícia	Musaceae	<i>Musa</i> spp.	Georget et al. (2009)
70	Alimentícia	Musaceae	<i>Musa</i> spp.	Georget et al. (2009)
71	Medicinal	Lamiaceae	<i>Satureja spicigera</i> (K. Koch) Boiss	Ghaffarzadeh-Namazi et al. (2017)
72	Agrícola	Rutaceae	<i>Citrus</i> [C. paradisi Macf. ('Duncan') × C. reticulata Blanco. ('Dancy')]	Gholami et al. (2018)
73	Ornamental	Theaceae	<i>S. ovata</i> e <i>S. malacodendron</i>	Gladfelter et al. (2021)
74	Madereira	Araucariaceae	<i>Araucaria angustifolia</i> (Bert. O. Kuntze)	Goeten et al. (2023)

75	Madereira	Pinaceae	<i>Pinus pinea</i> L.	Gonzalez-Cabrero et al. (2018)
76	Medicinal	Gentianaceae	<i>Swertia chirayita</i>	Gupta e Sood (2022)
77	Agrícola	Malvaceae	<i>Theobroma cacao</i> L.	Gyamfi et al. (2016)
78	Madereira	Pinaceae	<i>Pine</i> spp.	HÄggan et al. (2005)
79	Madereira	Pinaceae	<i>Pinus radiata</i> D. Don.	Hargreaves et al. (2004)
80	Madereira	Pinaceae	<i>Pinus radiata</i> D. Don.	Hargreaves et al. (2004)
81	Madereira	Pinaceae	<i>Pinus radiata</i> D. Don.	Hargreaves et al. (2011)
82	Madereira	Pinaceae	<i>Picea</i> spp.	Hazubska-Przybyl e Mdering et al. (2017)
83	Madereira	Pinaceae	<i>Picea abies</i> (L.) H.Karst.	Hazubska-Przybyl et al. (2013)
84	Madereira	Pinaceae	<i>Picea</i> spp.	Hazubska-Przybyl et al. (2022)
85	Alimentícia	Musaceae	<i>Musa</i> spp.	Helliot et al. (2023)
86	Agrícola	Arecaceae	<i>Calamus thwaitesii</i> Becc.	Hemanthakumar et al. (2013)
87	Agrícola	Arecaceae	<i>Bactris gasipaes</i> Kunth	Heringer et al. (2013)
88	Agrícola	Arecaceae	<i>Bactris gasipaes</i> Kunth	Heringer et al. (2013)
89	Agrícola	Caricaceae	<i>Carica papaya</i> L.	Hervani et al. (2018)
90	Ornamental	Caryophyllaceae	<i>Dianthus nardiformis</i> Janka	Holobiuc et al. (2023)
91	Ornamental	Caryophyllaceae	<i>Dianthus nardiformis</i> Janka	Holobiuc et al. (2023)
92	Alimentícia	Myristicaceae	<i>Myristica fragrans</i> Houtt.	Indira et al. (2009)
93	Agrícola	Vitaceae	<i>Vitis vinifera</i> L	Jasayasankar et al. (2005)
94	Alimentícia	Rosaceae	<i>Crataegus</i> spp	Kami et al. (2009)
95	Ornamental	Liliaceae, Meliaceae, Theaceae	<i>Lilium ledebourii</i> (Baker) Bioss., <i>Melia azedarach</i> L., <i>Camellia sinensis</i> L.	Kaviani (2010)
96	Ornamental	Liliaceae	<i>Lilium ledebourii</i> (Baker) Bioss.	Kaviani et al. (2008)
97	Agrícola	Rutaceae	<i>Poncirus trifoliata</i> Raf. / <i>Citrus sinensis</i> Osb. / <i>Citrus limônia</i> Osbeck/ <i>Poncirus trifoliata</i> Raf./ <i>C. sinensis</i> Osb./ <i>Fortunella margarita</i> (Lour.) Swingle) / <i>C. jambhiri</i> Lush.	Kaya et al. (2017)
98	Alimentícia	Amaryllidaceae	<i>Allium sativum</i> L.	Kim et al. (2004)
99	Ornamental	Orchidaceae	<i>Coelogyne speciosa</i> subsp. <i>fimbriata</i> (J.J.Sm.) Gravendeel	Kolomeitseva et al. (2023)
100	Agrícola	Arecaceae	<i>Elaeis guineensis</i> Jacq	Konan et al. (2007)
101	Madereira	Pinaceae	<i>Picea glauca</i> (Moench) Voss X <i>P. engelmannii</i> Parry ex Engelm, <i>Pseudotsuga menziesii</i> subsp. <i>menziesii</i>	Kong e Von-Aderkas (2011)
102	Madereira	Pinaceae	<i>Abies cephalonica</i> Loud	Krajnakova et al. (2011)
103	Madereira	Pinaceae	<i>Abies alba</i> Mill.	Krajnakova et al. (2013)
104	Alimentícia	Euphorbiaceae	<i>Hevea brasiliensis</i> Müll. Arg.	Lardet et al. (2007)

105	Alimentícia	Euphorbiaceae	<i>Hevea brasiliensis</i> Mull. Arg. Seringueira	Lardet et al. (2009)
106	Madereira	Pinaceae	<i>Pinus sylvestris</i>	Latutrie e Aronen (2013)
107	Alimentícia	Poaceae	<i>Triticum aestivum</i> L.	Le et al. (2016)
108	Medicinal	Araliaceae	<i>Panax ginseng</i> C. A. Meyer	Lei et al. (2021)
109	Madereira	Pinaceae	<i>Laris eurolepis</i> ; <i>Laris marschlinii</i>	Lelu-Walter e Paques (2009)
110	Madereira	Pinaceae	<i>Pinus pinaster</i> (Ait.)	Lelu-Walter et al. (2009)
111	Alimentícia	Euphorbiaceae	<i>Manihot esculenta</i> Crantz	Li et al. (2010)
112	Madereira	Pinaceae	<i>Pinus radiata</i> D. Don.	Lineros et al. (2018)
113	Agrícola	Malvaceae	<i>Theobroma cacao</i> L.	Lopez et al. (2010)
114	Agrícola	Oleaceae	<i>Olea europaea</i> L.	Lynch et al. (2011)
115	Alimentícia	Amaryllidaceae	<i>Allium sativum</i> L.	Lynch et al. (2016)
116	Ornamental	Liliaceae	<i>Veratrum californicum</i> Durand	Ma et al. (2006)
117	Ecológica	Taxaceae	<i>Torreya taxifolia</i>	Ma et al. (2012)
118	Madereira	Pinaceae	<i>Larix kaempferi</i>	Ma et al. (2023)
119	Madereira	Pinaceae	<i>Pinus roxburghii</i> Sarg	Malabadi e Nataraja (2004)
120	Forragem	Fabaceae	<i>Clitoria ternatea</i> L.	Malabadi e Nataraja (2004)
121	Madereira	Pinaceae	<i>Pinus roxburghii</i> Sarg	Malabadi e Nataraja (2006)
122	Madereira	Pinaceae	<i>Pinus patula</i> Scheide et Deppe.	Malabadi e Staden (2005)
123	Madereira	Fagaceae	<i>Quercus robur</i> L.	Mallon et al. (2013)
124	Alimentícia	Dioscoreaceae	<i>Dioscorea bulbifera</i> L.	Mandal et al. (2009)
125	Ornamental	Orchidaceae	<i>Spathoglottis plicata</i>	Manokari et al. (2021)
126	Madereira	Fagaceae	<i>Quercus ilex</i> L.	Martínez et al. (2020)
127	Madereira	Fagaceae	<i>Quercus ilex</i> L.	Martínez et al. (2022)
128	Alimentícia	Poaceae	<i>Saccharum officinarum</i> L.	Martínez-Monteiro et al. (2008)
129	Ornamental	Cupressaceae	<i>Chamaecyparis pisifera</i> Sieb. et Zucc.	Maruyama et al. (2003)
130	Alimentícia	Amaryllidaceae	<i>Narcissus</i> L. 'Carlton'	Maslanka et al. (2016)
131	Alimentícia	Amaryllidaceae	<i>Narcissus</i> L. 'Carlton'	Maslanka et al. (2016)
132	Madereira	Pinaceae	<i>Pinus roxburghii</i> Sarg	Mathur et al. (2003)
133	Agrícola	Oleaceae	<i>Olea europaea</i> L.	Mazri et al. (2020)
134	Madereira	Pinaceae	<i>Tsuga canadensis</i> e <i>Tsuga caroliniana</i>	Merkle et al. (2014)
135	Medicinal	Gentianaceae	<i>Gentiana</i> spp.	Mikula et al. (2008)
136	Medicinal	Gentianaceae	<i>Gentiana cruciata</i> L.	Mikula et al. (2005)
137	Medicinal	Gentianaceae	<i>Gentiana tibetica</i> King ex Hook.fil. e <i>Gentiana cruciata</i> L.	Mikula et al. (2008)
138	Agrícola	Arecaceae	<i>Cocos nucifera</i> L.	MK et al. (2014)
139	Ornamental	Gesneriaceae	<i>Saintpaulia ionantha</i> Wendl.	Moges et al. (2004)
140	Ornamental	Orchidaceae	<i>Dendrobium densiflorum</i> Lindl. ex Wall.	Mohanty e Das (2013)
141	Agrícola	Arecaceae	<i>Phoenix dactylifera</i> L.	Mona et al. (2016)

142	Madereira	Pinaceae	<i>Pinus radiata</i> D. Don.	Montal e Moncalean (2017)
143	Madereira	Pinaceae	<i>Pinus radiata</i> D. Don.	Montalbán e Moncaleán (2017)
144	Medicinal	Apocynaceae	<i>Catharanthus roseus</i> (L.) G. Don	Mujib et al. (2022)
145	Alimentícia	Euphorbiaceae, Myrtaceae, Asphodelaceae	<i>Manihot esculenta</i> Crantz, <i>Eucalyptus globulus</i> Labill. <i>Haworthia</i> ssp.	Mycock et al. (2004)
146	Agrícola	Lythraceae	<i>Punica granatum</i> L.	Naik e Chand
147	Madereira	Pinaceae	<i>Pinus elliottii</i> var. <i>elliottii</i> e <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	Nunes et al. (2017)
148	Agrícola	Rutaceae	<i>Citrus nobilis</i> brastepu	Nurwahyuni et al. (2014)
149	Alimentícia	Solanaceae	<i>Solanum tuberosum</i> L.	Nyende et al. (2003)
150	Agrícola	Lauraceae	<i>Persea americana</i> Mill.	O'brien et al. (2016)
151	Agrícola	Lauraceae	<i>Persea americana</i> Mill.	O'brien et al. (2020)
152	Agrícola	Lauraceae	<i>Persea americana</i> Mill.	O'brien et al. (2021)
153	Agrícola	Lauraceae	<i>Persea americana</i> Mill.	O'brien et al. (2021)
154	Industrial	Linaceae	<i>Linum usitatissimum</i> L.	Obert et al. (2005)
155	Ornamental	Menyanthaceae	<i>Nymphoides coreana</i>	Oh et al. (2010)
156	Agrícola	Lauraceae	<i>Persea americana</i> Mill.	Olivares-Garcia et al. (2020)
157	Medicinal	Apocynaceae, Rosaceae, Oleaceae	<i>Nerium oleander</i> L, <i>Photinia fraseri</i> Dress, <i>Syringa vulgaris</i> L	Ozden-Tokstli et al. (2008)
158	Agrícola	Oleaceae	<i>Fraxinus excelsior</i> L.	Ozudogru et al. (2010)
159	Agrícola	Sapindaceae	<i>Litchi chinensis</i> Sonn.	Padilla et al. (2009)
160	Agrícola	Sapindaceae	<i>Litchi chinensis</i> Sonn.	Padilla et al. (2009)
161	Agrícola	Arecaceae	<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.	Palanyandy et al. (2020)
162	Medicinal	Berberidaceae	<i>Podophyllum hexandrum</i> Royle	Parasher et al. (2023)
163	Madereira	Pinaceae	<i>Pinus koraiensis</i>	Peng et al. (2021)
164	Medicinal	Phytolaccaceae	<i>Petiveria alliacea</i> L.	Pettinelli et al. (2017)
165	Ornamental	Orchidaceae	<i>Dendrobium sonia</i> Earsakul	Poobathy et al. (2013)
166	Alimentícia	Apiaceae	<i>Coriandrum sativum</i> L.	Popova et al. ((2010)
167	Medicinal	Zingiberaceae	<i>Kaempferia galanga</i> L.	Preetha et al. (2015)
168	Medicinal	Zingiberaceae	<i>Kaempferia galanga</i> L.	Preetha et al. (2015)
169	Forragem	Fabaceae	<i>Desmodium gangeticum</i> L.	Puhan e Rath (2012)
170	Medicinal	Lamiaceae	<i>Teucrium polium</i> L.	Rabba'a et al. (2012)
171	Alimentícia	Apiaceae	<i>Ferula gummosa</i> Boiss.	Rajae et al. (2012)
172	Medicinal	Apocynaceae	<i>Rauvolfia serpentina</i> Benth. ex Kurz	Ray e Bhattacharya (2008)
173	Madereira	Pinaceae	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	Reeves et al. (2018)
174	Forragem	Fabaceae	<i>Clitoria ternatea</i> L.	Reeves et al. (2018)
175	Medicinal	Fabaceae	<i>Arachis pintoi</i> Krapov. & W.C.Greg.	Rey et al. (2013)
176	Forragem	Fabaceae	<i>Arachis pintoi</i> Krapov. & W.C.Greg.	Rey et al. (2013)
177	Alimentícia	Musaceae	<i>Musa</i> spp.	Roostika et al. (2022)

178	Ecológica	Ditrichaceae	<i>Ditrichum plumbicola</i> Crundw	Rowntree et al. (2007)
179	Agrícola	Juglandaceae	<i>Juglans regia</i> L	Sadat-Hosseini et al. (2019)
180	Agrícola	Arecaceae	<i>Cocos nucifera</i> L.	Sajini et al. (2011)
181	Madereira	Pinaceae	<i>Pinus nigra</i> Arn.	Salaj et al. (2007)
182	Madereira	Pinaceae	<i>Pinus nigra</i> Arn.	Salaj et al. (2007)
183	Madereira	Pinaceae	<i>Pinus nigra</i> Arn.	Salaj et al. (2011)
184	Madereira	Pinaceae	<i>Abies alba</i> Mill.	Salaj et al. (2020)
185	Madereira	Pinaceae	<i>Abies alba</i> Mill.	Salaj et al. (2022)
186	Ecológica	Betulaceae	<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Ga- ertn	San-José et al. (2015)
187	Madereira	Fagaceae	<i>Quercus robur</i> L.	Sanchez et al. (2008)
188	Madereira	Fagaceae	<i>Quercus robur</i> L.	Sanchez et al. (2008)
189	Medicinal	Meliaceae	<i>Melia azedarach</i> L.	Scocchi et al. (2007)
190	Medicinal	Meliaceae	<i>Melia azedarach</i> L.	Scocchi et al. (2007)
191	Medicinal	Asteraceae	<i>Saussurea obvallata</i> (DC.) Edgew.	Sharma e Mukherjee (2023)
192	Científica	Brassicaceae	<i>Arabidopsis thaliana</i> L.	Sheng et al. (2022)
193	Agrícola	Caricaceae	<i>Carica papaya</i> L.	Silva (2014)
194	Agrícola	Rubiaceae	<i>Coffea</i> spp.	Simões-Costa et al. (2009)
195	Agrícola	Rutaceae	<i>Citrus nobilis</i> Lour/C- DELICIOSA	Singh et al. (2007)
196	Alimentícia	Musaceae	<i>Musa</i> spp.	Singh et al. (2021)
197	Alimentícia	Musaceae	<i>Musa</i> spp.	Sipen et al. (2011)
198	Alimentícia	Rosaceae	<i>Fragaria vesca</i> L., var. <i>alpine</i>	Solov'eva et al. (2016)
199	Ornamental	Orchidaceae	<i>Paphiopedilum niveum</i> (Rchb.f.) Stein	Soonthornkalump et al. (2020)
200	Agrícola	Rutaceae	<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	Souza et al. (2017)
201	Alimentícia	Gramineae	<i>Triticale calli.</i>	Sowa et al. (2005)
202	Agrícola	Arecaceae	<i>Bactris gasipaes</i> Kunth	Steinmacher et al. (2007)
203	Medicinal	Gentianaceae	<i>Gentiana scabra</i> Bunge	Suzuki et al. (2006)
204	Madereira	Pinaceae	<i>Norway spruce</i>	Vondráková et al. (2010)
205	Alimentícia	Apiaceae	<i>Daucus carota</i> L. subsp. <i>halophilus</i> (Brot.)	Tavares et al. (2010)
206	Madereira	Pinaceae	<i>Pinus pinaster</i> Sol. ex Ai- ton	Tereso et al. (2006)
207	Madereira	Pinaceae	<i>Picea abies</i> (L.) H.Karst.	Tikkinen et al. (2018)
208	Ornamental	Ericaceae	<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	Tovar et al. (2016)
209	Ecológica	Ulmaceae	<i>Ulmus americana</i> L.	Uchendu et al. (2013)
210	Agrícola	Rubiaceae	<i>Coffea arabica</i> L.	Valdés et al. (2021)
211	Madereira	Fagaceae	<i>Quercus suber</i> L.	Valladares et al. (2004)
212	Madereira	Fagaceae	<i>Quercus suber</i> L.	Valladares et al. (2004)
213	Madereira	Pinaceae	<i>Picea abies</i> (L.) H.Karst.	Varis et al. (2017)
214	Madereira	Pinaceae	<i>Picea abies</i> (L.) H.Karst.	Varis et al. (2022)
215	Medicinal	Acanthaceae	<i>Hygrophila spinosa</i> T Ander,	Varshney et al. (2009)
216	Agrícola	Vitaceae	<i>Vitis vinifera</i> L	Vasanth et al. (2011)
217	Ornamental	Ericaceae	<i>Rhododendron simsii</i> Planch.	Verleysen et al. (2005)

218	Madereira	Fagaceae	<i>Castanea sativa</i> Mill e <i>Quercus</i> spp.	Vidal et al. (2010)
219	Madereira	Pinaceae	<i>Picea sitchensis</i> (Bong.) Carrière LC.	Von-Aderkas et al. (2021)
220	Madereira	Pinaceae	<i>Picea sitchensis</i> (Bong.) Carrière LC.	Von-Aderkas et al. (2021)
221	Madereira	Pinaceae	<i>Picea abies</i> (L.) H.Karst.	Von-Arnold et al. (2005)
222	Agrícola	Vitaceae	<i>Vitis</i> spp.(<i>V. berlandieri</i> <i>V. rupestris</i> / <i>V. vinifera</i> / <i>V. berlandieri</i> e <i>Vitis vi-</i> <i>nifera</i>)	Wang et al. (2004)
223	Agrícola	Vitaceae	<i>Vitis vinifera</i> L	Wang et al. (2005)
224	Alimentícia	Poaceae	<i>Triticum aestivum</i> L.	Wang et al. (2014)
225	Ornamental	Orchidaceae	<i>Dendrobium nobile</i> Lindl.	Wei (2018)
226	Agrícola	Arecaceae	<i>Elaeis guineensis</i> Jacq	wei et al. (2023)
227	Ornamental	Primulaceae	<i>Cyclamen persicum</i> Mill.	Winkelmann (2010)
228	Ornamental	Primulaceae	<i>Cyclamen persicum</i> Mill.	Winkelmann et al. (2004)
229	Agrícola	Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i> L. var Zihua	Wu et al. (2007)
230	Ecológica	Polytrichaceae.	<i>Pogonatum e</i> <i>Polytrichum</i>	Yamazaki et al. (2009)
231	Agrícola	Bromeliaceae	<i>Ananas comosus</i> L.	Yapo et al. (2011)
232	Medicinal	Asteraceae	<i>Artemisia sieversiana</i> Ehrh. Ex Willd.	Yong et al. (2019)
233	Agrícola	Oleaceae	<i>Fraxinus mandshurica</i> Rupr.	Yu et al. (2022)
234	Ornamental	Ranunculaceae	<i>Pulsatilla vulgaris</i> Mill.	Żabička et al. (2021)
235	Alimentícia	Euphorbiaceae	<i>Elateriospermum tapos</i> Blume	Zaimah e Benson (2007)
236	Madereira	Pinaceae	<i>Pinus radiata</i> e <i>Pinus syl-</i> <i>vestris</i>	Zdravkovic-Korac et al. (2022)

Os dados levantam questões sobre as reais motivações por trás da conservação de recursos genéticos vegetais, sugerindo que, em muitos casos, a conservação *ex situ* tem sido orientada para atender a demandas econômicas específicas, como as de indústrias madeireira, agrícola e alimentícia. Estudos demonstram que, embora a criopreservação seja uma ferramenta vital para conservar espécies ameaçadas, como apontado por Malhotra et al. 2019⁷, o foco em espécies com alto valor econômico pode ser visto nesta análise.

Embora seja promissor o desenvolvimento de pesquisas sobre criopreservação em diversos campos de estudos, como foi analisado nesta pesquisa, é importante considerar as limitações associadas a diferentes respostas de espécies vegetais à técnica. Como sugerido por Engelmann, 2010¹⁶, estudos futuros devem focar na otimização de protocolos específicos para cada espécie, a fim de garantir resultados eficazes e consistentes a longo prazo.

Esse olhar direcionado à preservação dos

recursos naturais e uso de plantas cujo interesse predomina na agricultura, ecologia e atributos medicinais para planos de conservação, remete a importância para o desenvolvimento de aspectos econômicos e globais^{15-43-44- 45}.

A avaliação das famílias vegetais revela uma interconexão entre as demandas econômicas, sociais contemporâneas e a conservação da biodiversidade. É essencial observar como as famílias vegetais analisadas refletem as principais áreas de interesse econômico, agrícola e medicinal, destacando a relevância da criopreservação na preservação desses²⁹⁻⁴⁶. A diversidade das famílias mencionadas, demonstra o amplo espectro de aplicações da criopreservação, desde o setor madeireiro e agrícola até a produção de alimentos e a indústria ornamental.

As principais famílias vegetais, como *Pinaceae*, *Fagaceae*, *Arecaceae*, *Oleaceae*, *Euphorbiaceae*, *Orchidaceae* e *Malvaceae*, são amplamente utilizadas, refletindo a importância da criopreservação em áreas como a produção

agrícola, madeireira, ornamental e medicinal⁴⁷.

Ficou iminente que o setor agrícola se destacou pelo maior número de famílias e espécies estudadas. A família *Arecaceae*, representada pela espécie *Elaeis guineensis*, tem uma ligação direta com a agricultura, destacando-se na extração de óleo de palma ou dendê⁵². O campo madeireiro também se distingue pela relevância e a quantidade de estudos encontrados nesta área, como por exemplo a famílias *Pinaceae* e *Fagaceae*, especialmente espécies como *Pinus radiata* e *Castanea sativa*, são amplamente utilizadas pela indústria madeireira, realçando a importância de preservar essas espécies de grande valor econômico¹⁵⁻²¹.

De forma igualmente significativa, a indústria alimentícia tem demonstrado forte interesse em famílias como *Euphorbiaceae* e *Malvaceae*, apresentando vários estudos com *Manihot esculenta* e *Theobroma cacao*, espécies amplamente investigadas pelo seu valor nutritivo e socioeconômico⁴⁸⁻⁴⁹. Famílias como *Apocynaceae* e *Gentianaceae* estão associadas ao uso medicinal⁵⁰⁻⁵¹, o que reforça a relevância da criopreservação na conservação de plantas produtoras de compostos bioativos empregados tanto na medicina tradicional quanto na moderna. No âmbito da família *Apocynaceae*, a espécie *Catharanthus roseus*, apresenta um potencial alvo de estudo em criopreservação em virtude da produção de alcaloides com reconhecida ação antineoplásica, largamente utilizados pela indústria farmacêutica⁵²⁻⁵³.

Neste contexto, o Brasil, detentor de uma vasta diversidade de plantas medicinais com reconhecidas propriedades terapêuticas, enfrenta ameaças significativas à conservação de sua flora. Como estratégia eficaz para a manutenção das variedades vegetais, a criopreservação tem sido amplamente empregada, assegurando a preservação dessa biodiversidade⁵⁴. Tais avanços evidenciam que a biotecnologia vegetal desempenha papel central no desenvolvimento de novos fármacos, abrindo perspectivas promissoras para a exploração sustentável dos recursos vegetais.

Além disso, as famílias *Orchidaceae* e *Liliaceae* destacam-se no setor ornamental, em que a conservação das espécies é essencial devido ao seu elevado valor comercial e estético^{55,56,57,58}. Isso demonstra que a criopreservação, tem sido frequentemente aplicada à espécies comerciais, priorizando a conservação de famílias vegetais de interesse econômico, conforme evidenciado na análise.

Nesse contexto, a realização de estudos científicos assumem papel estratégico no

levantamento de dados, na reavaliação das prioridades de pesquisa, e na alocação de recursos, assegurando que espécies de menor valor econômico, porém de alta importância ecológica, recebam a devida atenção em programas de criopreservação⁵⁹.

CONCLUSÕES

A pesquisa descreve indicativos importantes acerca do uso da criopreservação de embriões somáticos vegetais, consolidando-a como uma ferramenta essencial para a conservação *ex situ* de recursos genéticos, especialmente para espécies de relevância econômica e ecológica. Além disso, a análise ciutométrica destaca o crescimento significativo da produção científica ao longo das últimas duas décadas, com picos de publicações que contemplam os avanços tecnológicos e mudanças nas prioridades de pesquisa.

A técnica tem sido amplamente aplicada em 57 famílias de plantas, com destaque para o setor agrícola, onde espécies como *Elaeis guineensis* e *Theobroma cacao* se sobressaem, desse modo, evidenciando a sua inteira relevância nos setores madeireiro, medicinal e ornamental. O uso da técnica de criopreservação estima um papel importante na conservação de espécies ameaçadas, especialmente diante dos desafios globais impostos pelas mudanças climáticas, destacando também a técnica inovadora de vitrificação como um avanço significativo no campo das biotecnologias.

A preservação de espécies como *Pinus radiata* e *Castanea sativa* destaca a importância da técnica para a manutenção da biodiversidade e dos recursos genéticos. Portanto, a criopreservação surge, assim, como uma estratégia fundamental para assegurar o desenvolvimento de soluções inovadoras.

Complementarmente, as fontes destacadas representam os principais veículos de divulgação de estudos na área, refletindo a diversidade de abordagens e interesses acadêmicos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Universidade Federal do Pará e o Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Conservação (PPGBC) a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Projeto PROCAD-AM edital 21/2018.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Burle, Marília Lobo. Conservação de recursos genéticos vegetais na Embrapa—histórico e perspectivas futuras. Brasília: **Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia**, p. 1-15, 2019.

- Priyanka, Veerala; Kumar, Rahul; Dhaliwa, Inderpreet; Kaushik, Prashant. Germplasm Conservation: Instrumental in Agricultural Biodiversity—A Review. **Sustainability**, v. 13, n. 12, p. 6743, 2021. <https://doi.org/10.3390/su13126743>
- Salgotra, Romesh Kumar; Chauhan, Bhagirath Singh. Genetic Diversity, Conservation, and Utilization of Plant Genetic Resources. **Genes**, v. 14, n. 1, p. 174, 2023.
- Pandotra, Pankaj; Gupta, Suphla. Biotechnological Approaches for Conservation of Plant Genetic Resources and Traditional Knowledge. **Plant Genetic Resources and Traditional Knowledge for Food Security**. Singapore: Springer Singapore, 2016, p. 121–135. https://doi.org/10.1007/978-981-10-0060-7_7
- Mestanza-Ramón, Carlos; Henkanathgedara, Sujana M.; Vásquez Duchicela, Paola; Vargas Tierras, Yadira; Sánchez Capa, Maritza; Constante Mejía, Diana; Gutierrez, Miriam Jimenez; Guamán, Manuel Charco; Ramón, Paúl Mestanza. In-Situ and Ex-Situ Biodiversity Conservation in Ecuador: A Review of Policies, Actions and Challenges. **Diversity**, v. 12, n. 8, p. 315, 2020.
- Oseni, Ojo Michael; Pande, Veena; Nailwal, Tanpan Kumar. A Review on Plant Tissue Culture, A Technique for Propagation and Conservation of Endangered Plant Species. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 7, n. 07, p. 3778–3786, 2018. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.707.438>
- Malhotra, Nikhil; Panatu, Sweetey; Singh, Badal; Negi, Narender; Singh, Dayal; Singh, Mohar; Chandora, Rahul. Genetic Resources: Collection, Conservation, Characterization and Maintenance. **In: Lentils**. Elsevier, p. 21–41. 2019.
- Zamecnik, Jiri; Faltus, Milos; Bilavcik, Alois. Vitrification Solutions for Plant Cryopreservation: Modification and Properties. **Plants**, v. 10, n. 12, p. 2623, 2021..
- Andrade, Solange Rocha Monteiro. Princípios da Cultura de Tecidos Vegetais. Planaltina: **Embrapa Cerrados**, 1. ed., 2002.
- Salaün, Camille; Lepiniec, Loïc; Dubreucq, Bertrand. Genetic and Molecular Control of Somatic Embryogenesis. **Plants**, v.10, n. 7, p. 1467, 2021.
- Vicent, Carlos M.; Martínez, F. Xavier. The potential uses of somatic embryogenesis in agroforestry are not limited to synthetic seed technology. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 10, n. 1, p. 1-12, 1998.
- Kartha, K.K. Engelmann, F. Cryopreservation and germplasm storage. In : Vasil I.K. (ed.), Thorpe T.A. (ed.). **Plant cell and tissue culture**. Dordrecht: Kluwer Academic, p.195-230, 1994
- Von Arnold, Sara; Sabala, Izabela; Bozhkov, Peter; Dyachok, Julia; Filonova, Lada. Developmental pathways of somatic embryogenesis. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 69, p. 233–249, 2002. <https://doi.org/10.1023/A:1015673200621>
- Reed, Barbara M. Cryopreservation—practical considerations. In: **Plant cryopreservation: a practical guide**. New York, NY: Springer New York, p. 3-13, 2008.
- González-Arno, M. T.; Martínez-Montero, M. E.; Cruz-Cruz, C. A.; Engelmann, F. Advances in cryogenic techniques for the long-term preservation of plant biodiversity. **Biotechnology and biodiversity. Sustainable Development and Biodiversity, Springer, Cham**. v. 4, p. 129 - 170, 2014. <https://doi.org>.
- Engelmann, F. Cryopreservation of Embryos: An Overview. **Methods in Molecular Biology**, v. 710, p. 155–184, 2010. https://10.1007/978-1-61737-988-8_13
- Ballesteros D., Martínez M. T., Sánchez-Romero C., Montalbán I. A., Sales E., Moncaleán P., Arrillaga I., Corredoira E. Current status of the cryopreservation of embryogenic material of woody species. **Frontiers in Plant Science**, vl. 14, 2024.
- R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: **R Foundation for Statistical Computing**, 2024. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.
- Aria, M.; Cuccurullo, C. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, v. 12, n. 4, p. 959–975, 2024. Disponível em: .
- Benelli, Carla. Plant Cryopreservation: A Look at the Present and the Future. **Plants**, v. 10, n. 12, p. 2744, 2021.
- Muhl, Diego Durante; Oliveira, Leticia. Tecnologias para a economia circular na agropecuária. **Iheringia, Série Botânica**, v. 77, 2022.
- Superpowered Science: Charting China’s Research Rise. **Nature**, v. 593, n. 7860, p. S4–S5, 2021.
- Mcmanus, Concepta M.; Neves, Abilio A. Baeta; Maranhão, Andrea Q. Brazilian Publication Profiles: Where and How Brazilian authors publish. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, n. 2, p. e20200328, 2020.
- Borges, Mário Neto. 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**, v. 1, n. 7, p. 20-28, 2021.
- Ribeiro, Daniella Borges; Oliveira, Edineia Figueira Anjos; Garcia, Maria Lúcia Teixeira. Retrocessos no financiamento da Ciência, Tecnologia e Inovação no Brasil: o caso do CNPq. **Serviço Social & Sociedade**, v. 146, n. 3, 2023.
- Pence, Valerie C.; Ballesteros, Daniel; Walters, Christina; Reed, Barbara M.; Philpott, Megan; Dixon, Kingsley W.; Pritchard, Hugh W.; Culley, Theresa M.; Vanhove, Anne-Catherine. Cryobiotechnologies: Tools for expanding long-term ex situ conservation to all plant species. **Biological Conservation**, v. 250, p. 108736, 2020.
- Trounson, A.; Peura, A.; Kirby, C. Ultrarapid freezing: a new low-cost and effective method of embryo cryopreservation. **Fertility and Sterility**, v. 48, n. 5, p. 843–850, 1987. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/s0015-0282\(16\)59542-9](https://doi.org/10.1016/s0015-0282(16)59542-9).
- Martínez, Maria Teresa; Suárez, Sonia; Moncaleán, Paloma; Corredoira, Elena. Cryopreservation of Holm Oak Embryogenic Cultures for Long-Term Conservation and Assessment of Polyploid Stability. **Plants**, v. 11, n. 9, p. 1266, 2022.

- Li, Jing-Wei; Ozudogru, Elif Aylin; Li, Jiao; Wang, Min-Rui; Bi, Wen-Lu; Lambardi, Maurizio; Wang, Qiao-Chun. Cryobiotechnology of forest trees: recent advances and future prospects. **Biodiversity and Conservation**, v. 27, n. 4, p. 795–814, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1481-y>
- Engelmann, F. Plant cryopreservation: Progress and prospects. **In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant**, v. 40, n. 5, p. 427–433, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1079/ivp2004541>.
- De Oliveira Dias, W.; Neto, J. E. B.; Da Cunha, J. V. A. A comunicação do conhecimento científico: dados sobre a celeridade do processo de avaliação e de publicação de artigos científicos em periódicos da área de Contabilidade. **Revista Contemporânea De Contabilidade**, v. 8, n. 15, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.5007/2175-8069.2011v8n15p41>.
- Cilibrasi, C. Empowering scientific progress: the vital role of open-access, peer-reviewed methods and protocols. **Deleted Journal**, v. 1, n. 1, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s44330-024-00001-8>.
- Henkhaus, N., et., al. Plant science decadal vision 2020–2030: Reimagining the potential of plants for a healthy and sustainable future. **Plant Direct**, v. 4, n. 8, 2020. Disponível em: .
- Holbrook, J. Britt. Open science, open access, and the democratization of knowledge. **Issues in science and technology**, v. 35, n. 3, p. 26–28, 2019.
- Tostes, Raimundo Alberto. A importância da divulgação científica. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, v. 4, n. 4, p. 73-74, 2006.
- Mueller, S. P. M. A comunicação científica e o movimento de acesso livre ao conhecimento. **Ciência Da Informação**, v. 35, n. 2, p. 27–38, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-19652006000200004>.
- Fiala, C.; Diamandis, E. P. The democratization of scientific publishing. **BMC Medicine**, v. 17, n. 1, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12916-019-1249-1>.
- Neto, R. R.; De Magalhães Porto, C.; Conceição, V. A. D. S. AS REDES Sociotécnicas No Processo De Difusão Científica: A Democratização Do Conhecimento. **Interfaces Científicas Educação**, v. 10, n. 2, p. 154–164, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.17564/2316-3828.2020v10n2p154-164>.
- USP. 15 universidades públicas produzem 60% da ciência brasileira. **Jornal da USP**, 25 out. 2023. Disponível em: Acesso em: 7 nov. 2024.
- De Souza, D. L.; Zambalde, A. L.; Mesquita, D. L.; De Souza, T. A.; Da Silva, N. L. C. A perspectiva dos pesquisadores sobre os desafios da pesquisa no Brasil. **Educação E Pesquisa**, v. 46, 2020. Disponível em: .
- REZENDE, S. M. Produção científica e tecnológica no Brasil: conquistas recentes e desafios para a próxima década. **Revista De Administração De Empresas**, v. 51, n. 2, p. 202–209, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0034-75902011000200007>.
- Vieitez, A. M.; San-José, M. C.; Corredoira, E. Cryopreservation of zygotic embryonic axes and somatic embryos of European chestnut. **Methods in molecular biology (Clifton, N.J.)**, v. 710, p. 201–213, 2011.
- Sharma, Monika; Kumar, Prasann; Dwivedi, Padmanabh. Artificial Seed Production and Cryopreservation Technology for Conservation of Plant Germplasm with Special Reference to Medicinal Plants. **Sustainable development and biodiversity**, p. 581–593, 2023.
- Amankwaah Victor Acheampong, Prempeh Ruth Naa, Quain Mariah Dorcas. Plant Cryopreservation Importance, Approaches and Future Trends. **Cryopreservation - Applications and Challenges**, v.18, p. 2-13, 2022. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.108806>
- Mihai, Raluca A; Heras, Erly J. Melo; Valdiviezo, Eliza A. Pinto; Caiza, Iván A. Espinoza; Insuaste, Nelson S. Cubi; Mejía, Jean Pierre; Catana, Rodica D.; Moldoveanu, Mi-rela M.; Florescu, Larisa L. Somatic Embryogenesis of Representative Medicinal Trees in South America—Current Status. **Forests**, v. 14, n. 10, p. 2066–2066, 2023. <https://doi.org/10.3390/forests14102066>
- Asigbaase M., Aduso D., Anaba L., Abugre S. Conservation and economic benefits of medicinal plants: Insights from forest-fringe communities of Southwestern Ghana. **Trees, Forests and People**, v. 14, p. 100462, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2023.100462>
- Popova, Elena.; Shukla, Mukund.; Kim, Haeng-Hoon; Saxena, Praveen K. **Plant Cryopreservation for Biotechnology and Breeding**. Springer Books, 2015. p. 63–93.
- Pereira, Paulo Henrique F.; Souza, Nágila F.; Ornaghi, Heitor Luiz; Freitas, Morsyleide Rosa. Comparative analysis of different chlorine-free extraction on oil palm mesocarp fiber. **Industrial Crops and Products**, v. 150, p. 112305, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112305>
- Ernst, Madeleine; Grace, Olwen M.; Saslis-Lagoudakis, C. H.; Nilsson, Niclas; Simonsen, H. T.; Rønsted, N. Global medicinal uses of *Euphorbia* L. (Euphorbiaceae). **Journal of Ethnopharmacology**, v. 176, p. 90–101, 2015.
- Montoya, Tatiana Osorio; Henao, Ana; de La Hoz Vasquez, Tatiana; Urrea, Aura. Propagation of IMC67 Plants, Universal Cacao (*Theobroma Cacao* L.) Rootstock via Somatic Embryogenesis. **International Journal of Fruit Science**, v. 22, n. 1, p. 78–94, 2022. <https://doi.org/10.3390/ijfs22010078>
- Mirzaee, Fatemeh; Hosseini, Amirsaeed.; Jouybari, Hossein Bakhshi; Davoodi, Ali; Azadbakht, Mohammad. Medicinal, biological and phytochemical properties of Gentiana species. **Journal of Traditional and Complementary Medicine**, v. 7, n. 4, p. 400–408, 2017. <https://doi.org/10.3390/jtcm7040400>
- Islam, Md. S.; Lucky, R. A. A study on different plants of apocynaceae family and their medicinal uses. **Universal Journal of Pharmaceutical Research**, v. 4, p. 40-44, 2019. <https://doi.org/10.22270/ujpr.v4i1.235>
- Farhadi, H.; Hassanpouraghdam, M. B.; Aazami, M. A. The induction and development of somatic embryos from the in vitro culture of *Catharanthus roseus* (L.) G. Don. **Advances in Horticultural Science**, v. 35, n. 1, 2021. <https://doi.org/10.36253/ahsc-9874>

- Mujib, Abdul; Fatima, Samar; Malik, Moien Qadir. Cryo-derived plants through embryogenesis showed same levels of vinblastine and vincristine (anticancer) in *Catharanthus roseus* and had normal genome size. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, 2022.
- Gowthami, R.; Martinez-Montero, M. E.; Rajasekharan, P. E. Cryoconservation of antiallergic medicinal plants: Techniques and applications. **Biotechnology of Medicinal Plants with Antiallergy Properties**. Singapore: Springer Nature Singapore. p. 611–634, 2024.
- Jin, X.; Li, J.; Ye, D.; Wang, Y.; Li, Z. Introduction to Orchid Plants. In: **Atlas of Chinese Native Orchids**. Springer, Singapore. p. 3–11, 2023.
- LU, Rui-Sen; YANG, T.; CHEN, Y.; WANG, Shen-Yi; CAI, Min-Qi; CAMERON, K. M; LI, P.; FU, Cheng-Xin. Comparative plastome genomics and phylogenetic analyses of Liliaceae. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 196, n. 3, p. 279–293, 2020.
<https://doi.org/10.1093/botlinnean/boaa109>
- Souza, Ueric José Borges; Campos, Mariana Pires Telles; Diniz-Filho, José Alexandre Felizola. Tendências da literatura científica sobre genética de populações de plantas do Cerrado. **Hoehnea**, v. 43, n. 3, p. 461–477, 2016.
- Vieira, Leide Jane Cruz; Silva, Ilaydiany Cristina Oliveira. A produção científica sobre os estudos bibliométricos no Brasil: uma análise a partir da Brapci. **Em Questão**, vol. 29, 1 Jan. 2023..