

Teonis Batista da Silva
Jenilton Gomes da Cunha
(Orgs.)



BIOTECNOLOGIA E MELHORAMENTO GENÉTICO DE PLANTAS



científica digital



CIENTÍFICA DIGITAL EDITORIAL LTDA

Barueri - São Paulo - Brasil
www.cientificadigital.org - contato@cientificadigital.org

Diagramação e Arte	Edição © 2026 Científica Digital
Diego Santos	Texto © 2026 Os Autores
Diogo Lima	1ª Edição - 2026
Imagens da Capa	Acesso Livre - Open Access
Adobe Stock - 2026	

© COPYRIGHT - TODOS OS DIREITOS RESERVADOS. A editora detém os direitos autorais sobre a edição e o projeto gráfico, enquanto os autores mantêm os direitos autorais de seus respectivos textos. Esta obra está licenciada sob a Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional, permitindo o download e compartilhamento integral ou parcial, desde que a fonte seja devidamente citada e os créditos atribuídos aos autores. É obrigatório que a obra permaneça em formato de Acesso Livre (Open Access), sem qualquer alteração. A catalogação em plataformas de acesso restrito ou com fins comerciais é estritamente proibida.



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

B616 Biotecnologia e melhoramento genético de plantas / Organização de Teonis Batista da Silva, Jenilton Gomes da Cunha. – Barueri/SP: Científica Digital, 2026.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui Bibliografia
ISBN 978-65-6155-XXX-X
DOI 10.37885/978-65-6155-XXX

1. Biotecnologia vegetal. 2. Melhoramento genético de plantas. I. Silva, Teonis Batista da (Organizador). II. Cunha, Jenilton Gomes da (Organizador). III. Título.

CDD 631.53

Elaborado por Janaína Ramos – CRB-8/9166

Índice para catálogo sistemático:

I. Biotecnologia vegetal

E-BOOK

ACESSO LIVRE ON LINE - IMPRESSÃO PROIBIDA

2026

Teonis Batista da Silva
Jenilton Gomes da Cunha
(Org.)

Biotecnologia e Melhoramento Genético de Plantas

1ª EDIÇÃO



científica digital

2026 - BARUERI - SP

CONSELHO EDITORIAL

Prof. Dr. André Cutrim Carvalho
Prof. Dr. Antônio Marcos Mota Miranda
Prof^a. Ma. Auristela Correa Castro
Prof. Dr. Carlos Alberto Martins Cordeiro
Prof. Dr. Carlos Alexandre Oelke
Prof^a. Dra. Caroline Nóbrega de Almeida
Prof^a. Dra. Clara Mockdece Neves
Prof^a. Dra. Claudia Maria Rinhel-Silva
Prof^a. Dra. Clecia Simone Gonçalves Rosa Pacheco
Prof. Dr. Cristiano Marins
Prof^a. Dra. Cristina Berger Fadel
Prof. Dr. Daniel Luciano Gevehr
Prof. Dr. Diogo da Silva Cardoso
Prof. Dr. Ernane Rosa Martins
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes
Prof. Dr. Fabricio Gomes Gonçalves
Prof^a. Dra. Fernanda Rezende
Prof. Dr. Flávio Aparecido de Almeida
Prof^a. Dra. Francine Náthalie Ferraresi Queluz
Prof^a. Dra. Geuciane Felipe Guerim Fernandes
Prof. Dr. Humberto Costa

Prof. Dr. Joachin Melo Azevedo Neto
Prof. Dr. Jónata Ferreira de Moura
Prof. Dr. José Aderval Aragão
Prof. Me. Julianno Pizzano Ayoub
Prof. Dr. Leonardo Augusto Couto Finelli
Prof. Dr. Luiz Gonzaga Lapa Junior
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva
Prof^a. Dra. Maria Cristina Zago
Prof^a. Dra. Maria Otília Zangão
Prof. Dr. Mário Henrique Gomes
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes
Prof. Dr. Nelson J. Almeida
Prof. Dr. Pedro Afonso Cortez
Prof. Dr. Reinaldo Pacheco dos Santos
Prof. Dr. Rogério de Melo Grillo
Prof^a. Dra. Rosenery Pimentel Nascimento
Prof. Dr. Rossano Sartori Dal Molin
Prof. Me. Silvio Almeida Junior
Prof^a. Dra. Thays Zigante Furlan Ribeiro
Prof. Dr. Wescley Viana Evangelista
Prof. Dr. Willian Carboni Viana
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme

Acesse a lista completa dos Membros do Conselho Editorial em www.editoracientifica.com.br/conselho

Parecer e revisão por pares

Os textos que compõem esta obra passaram por avaliação do Conselho Editorial e revisão por pares externos (*Peer Review*), recebendo a devida recomendação para publicação.

Nota: Esta obra é fruto de um processo colaborativo, configurando-se como uma coletânea na qual os direitos autorais permanecem resguardados para os respectivos autores. Alguns capítulos podem ter origem em trabalhos anteriormente apresentados em eventos acadêmicos; no entanto, os autores foram orientados a adotar o devido rigor na prevenção do autoplágio. A responsabilidade pelo conteúdo de cada capítulo, assim como pela originalidade e integridade das informações publicadas, é inteiramente dos respectivos autores e autoras. O conteúdo da obra não reflete, necessariamente, a opinião da editora, dos organizadores ou dos membros do conselho editorial.

APRESENTAÇÃO

Esta obra resulta de um esforço colaborativo que reuniu professores, estudantes e pesquisadores, cujo engajamento qualificou as reflexões desenvolvidas neste espaço formativo. Fruto de iniciativas interinstitucionais de incentivo à pesquisa, o livro congrega especialistas de diversas áreas do conhecimento, vinculados a instituições de educação superior públicas e privadas, no Brasil e no exterior.

O objetivo central é fortalecer a integração entre instituições por meio de redes de pesquisa voltadas à formação continuada de profissionais da educação, promovendo a produção e a ampla disseminação do conhecimento.

Agradecemos aos autores pela dedicação e compromisso na construção desta obra, que se propõe a ser um recurso didático-pedagógico relevante para estudantes, docentes de diferentes níveis de ensino e demais interessados na temática.

Os organizadores

SUMÁRIO

Capítulo 02

AVANÇOS EM RECURSOS GENÉTICOS, MELHORAMENTO E BIOTECNOLOGIA DA CASTANHA-DO-BRASIL (*BERTHOLLETIA EXCELSA* BONPL.): UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Priscila Marlys Sá Rivas; José Ribamar Costa Ferreira-Neto; Claudete Aparecida Mangolim

 10.37885/260521801..... 24

SOBRE OS ORGANIZADORES..... 44

ÍNDICE REMISSIVO..... 45

DEBATE UNIVERSITÁRIO SOBRE O USO DE ORGANISMOS GENETICAMENTE MODIFICADOS EM MOÇAMBIQUE E NOS PAÍSES EM VIAS DE DESENVOLVIMENTO

Edgar Manuel Cambaza

Universidade Aberta ISCED (UnISCED), Rua Carlos Pereira, parcela nº 148/07, Estoril Expansão, Beira,
Moçambique

Alrindo Adolfo Chaúque

Faculdade de Ciências, Universidade Eduardo Mondlane (UEM), 3453 Avenida Julius Nyerere, Maputo

Jossias Alberto Duvane

DepaFaculdade de Ciências, Universidade Eduardo Mondlane (UEM), 3453 Avenida Julius Nyerere, Maputo

RESUMO

O presente artigo analisa criticamente o papel dos Organismos Geneticamente Modificados (OGM) na segurança alimentar, na sustentabilidade ambiental e na saúde pública, a partir de um debate realizado na Universidade Eduardo Mondlane, com estudantes do curso de Biotecnologia Bacteriana e Micológica. O exercício académico teve como objectivo desenvolver competências de argumentação científica, pensamento crítico e reflexão ética sobre o uso de tecnologias genéticas nos países em vias de desenvolvimento. O debate envolveu quinze estudantes e três docentes, que exploraram as dimensões científicas, económicas e morais da biotecnologia moderna. Com base na análise das intervenções e nas reflexões posteriores, conclui-se que o diálogo sobre OGM em Moçambique deve centrar-se na construção de políticas equilibradas, no reforço da capacidade científica e na salvaguarda da soberania alimentar. O artigo propõe, ainda, uma leitura interdisciplinar que articula biotecnologia, ética e desenvolvimento sustentável, salientando a importância de uma abordagem prudente e informada.

Palavras-chave: Organismos geneticamente modificados; biotecnologia; bioética; segurança alimentar.

INTRODUÇÃO

A discussão sobre os Organismos Geneticamente Modificados (OGM) é um dos debates mais emblemáticos da biotecnologia contemporânea. Desde o início da década de 1990 — quando o tomate Flavr Savr recebeu aprovação e chegou ao mercado nos EUA — a controvérsia tem-se estruturado entre leituras optimistas e prudentes; o episódio é frequentemente usado como marco histórico na literatura técnica (RAMAN, 2017). Numa vertente, metanálises indicam que a adopção de culturas GM está associada, em média, à redução do uso de pesticidas químicos e ao aumento da produtividade e do lucro dos produtores, com efeitos particularmente acentuados em países em desenvolvimento (KLÜMPER; QAIM, 2014). Noutra vertente, subsistem preocupações ambientais e agronómicas — por exemplo, a evolução de resistência em infestantes perante regimes herbicidas específicos, tema discutido de forma sistemática na literatura de ecologia de infestantes (MORTENSEN *et al.*, 2012).

Em termos de segurança alimentar e de saúde, revisões com pares sobre estudos de alimentação animal de longo prazo e multigeracionais não encontraram sinais consistentes de toxicidade quando foram utilizados protocolos reconhecidos (p. ex., diretrizes da OCDE), embora tenham ressaltado limites metodológicos e a necessidade de vigilância contínua (SNELL *et al.*, 2012). No plano agroambiental, uma metanálise de 21 anos de dados sobre milho geneticamente modificado reportou ganhos de rendimento, reduções de micotoxinas e efeitos modestos ou nulos sobre muitos insetos não-alvo, consolidando uma leitura mais granular dos impactos consoante o traço e o contexto (PELLEGRINO, ELISA *et al.*, 2018; PELLEGRINO, E. *et al.*, 2018).

Em Moçambique, o debate insere-se num cenário de vulnerabilidade climática e de insegurança alimentar recorrente, factores que moldam a avaliação ética e política de tecnologias agrícolas. Estudos académicos recentes descrevem a exposição do país a secas, cheias e ciclones, com repercussões directas sobre a produção e o acesso a alimentos, o que reforça a necessidade de decisões baseadas em evidências e na precaução proporcional (FEKETE, 2024). No quadro regulatório, a literatura com revisão de pares regista a adesão ao Protocolo de Cartagena e o estabelecimento de mecanismos nacionais de biossegurança;

análises regionais e nacionais discutem a evolução dos instrumentos legais e os desafios de implementação (AKINBO *et al.*, 2021; JOELMA *et al.*, 2022).

O debate aqui analisado decorreu a 21 de Novembro de 2014, no Departamento de Ciências Biológicas da Universidade Eduardo Mondlane, sob a moderação do Dr. Jossias Duvane e com o apoio dos Drs. Arlindo Chaúque e Edgar Cambaza foram concebidos como instrumentos pedagógicos de consolidação dos princípios de biotecnologia e de ética científica, aproximando o conhecimento teórico da prática reflexiva (registo académico interno). À luz da literatura científica acima, procurou-se confrontar argumentos sobre benefícios agronómicos documentados com riscos e incertezas ambientais também documentados, explorando o papel de critérios éticos, como a precaução, a justiça e a equidade, nas decisões públicas.

O presente artigo tem, portanto, um duplo propósito: (i) descrever e interpretar as principais linhas argumentativas apresentadas durante o debate e (ii) contextualizar essas discussões no quadro mais amplo da relação entre biotecnologia, sustentabilidade e desenvolvimento em Moçambique.

MÉTODOS

Desenho do estudo

O artigo baseia-se numa análise qualitativa de natureza descritiva e interpretativa. O material empírico corresponde à transcrição integral de um debate académico realizado com 16 estudantes do curso de Biotecnologia Bacteriana e Micológica, designados neste texto por códigos alfanuméricos (E01 a E16) para garantir a confidencialidade. O debate foi moderado pelo docente Jossias Duvane, com a colaboração de Arlindo Chaúque e Edgar Cambaza, que actuaram como observadores, comentadores e avaliadores pedagógicos.

Procedimentos

O tema proposto — “O uso de organismos geneticamente modificados em Moçambique e nos países em vias de desenvolvimento” — foi previamente comunicado aos estudantes, que tiveram uma semana para preparar

argumentos fundamentados na literatura científica, em relatórios internacionais e em exemplos empíricos.

Durante a sessão, os participantes foram divididos em dois grupos:

- Grupo Pró-OGM (E01, E05, E06, E09, E10, E11, E15, E16);
- Grupo Contra-OGM (E02, E03, E04, E07, E08, E12, E13, E14).

O debate foi gravado e transcrito integralmente para análise de conteúdo. Após a sessão, os estudantes redigiram uma breve reflexão individual sobre as aprendizagens obtidas.

Análise de conteúdo

A análise seguiu o modelo de Bardin (2011), com três fases: (i) pré-análise, (ii) exploração do material e (iii) interpretação. As intervenções foram categorizadas segundo cinco eixos temáticos:

- Segurança alimentar e produtividade;
- Impacto ambiental e biodiversidade;
- Saúde humana e toxicologia;
- Aspectos económicos e sociais;
- Questões éticas e de soberania científica.

Os comentários dos docentes foram analisados separadamente, como parte de uma metacognição pedagógica, ou seja, uma reflexão sobre o próprio processo de aprendizagem científica.

O DEBATE

É aceitável e sustentável o uso de OGMs para garantir a segurança alimentar, considerando questões ambientais e naturais, medicina e saúde, sociais e financeiras?

E01 (pró) – Sim. Devido à fome e para evitar o uso de pesticidas, as plantas selvagens em germoplasma reduzem o acesso do agricultor, o que gera problemas mais graves.

E02 (contra) – O maior problema não é a produção, mas sim a distribuição desigual. Não se precisa de aumento de produção, mas sim de redistribuição. Quanto ao ambiente, o que se espera dos predadores do animal controlado e qual o potencial desequilíbrio ecológico?

E03 (contra) – A produção de OGMs não é barata. Só favorece aos grandes produtores. Procure-se alternativas de melhoramento e adubos orgânicos.

E04 (contra) – Não se tenha medo da produção alimentar daqui a cinquenta anos. O presente é mais relevante. Pode haver riscos à saúde. Nós já consumimos substâncias, como tartarize (na Fanta), que podem provocar cancro.

E05 (a favor) – O melhoramento demora muito tempo em relação à transformação, o que pode não ser viável. OGMs minimizariam a fome em Moçambique. Eles resistem a pragas e infestantes.

Jossias – Transgénicos e selvagens podem coexistir?

E01 (pró) – Sim. Porque cada variedade tem meios de se autoconservar. Não há evidências de que um OGM tenha dominado o selvagem.

E06 (pró) – O transgénico deve ser cultivado separadamente do selvagem.

E07 (contra) – Não pode haver coexistência.

E08 (contra) – Há casos de polinização selvagem. E o que provocou a situação pagou uma indemnização.

E02 (contra) – Há, sim, evidências, e isso ocorreu no Canadá com a soja. O maior vigor dos OGM pode resultar no seu domínio natural.

Jossias – Pode haver o caso da selvagem dominar as transgénicas?

E04 (contra) – Sempre haverá desequilíbrio ecológico.

Jossias – Os OGM podem causar problemas de saúde?

E01 (pró) – Não. Mesmo sendo mamíferos, não haverá transmissão de tumores de animais que consumimos. Esse problema tem mais a ver com produtos químicos. Associou-se o cancro do esófago a OGM na Califórnia, mas o mesmo problema ocorreu também onde não havia OGM.

E09 (pró) – Há muitos outros produtos (ex.: enlatados) que causam o cancro.

E10 (pró) – OGMs não causam cancro. A Organização Mundial da Saúde disse que os OGM não causam efeitos secundários porque são testados antes da venda e que não causariam nada em 35 anos. Em quarenta e cinco dias não podem causar cancro.

E11 (pró) – Há agrotóxicos que podem causar cancro. Não foi comprovado que, em humanos, os OGM causam cancro.

E12 (contra) – Os OGM podem não causar o cancro directamente, mas o seu consumo pode predispor a tal. Por exemplo, os cânceres são mais frequentes agora. A obesidade é uma falta de saúde e, nos países com mais OGM, como os EUA e o Brasil, há também mais casos de obesidade.

E13 (contra) – Há um estudo na França em que cobaias tratadas com milho transgénico desenvolveram cancro. Então, é melhor que ainda se façam testes para que se saiba até que ponto os OGM causam o cancro.

E04 (contra) – Muitos OGMs são resistentes a herbicidas (ex.: Roundup). As empresas não estão interessadas na saúde, mas sim no lucro. A dioxina do glifosato da Monsanto está associada ao desenvolvimento do cancro na pele.

Jossias – Até que ponto companhias como a Monsanto, anteriormente muito confiadas, devem ser confiadas hoje em dia no que respeita aos OGM?

E14 (contra) – A Monsanto é multinacional e tem produzido em quase todo o mundo. Há muitas manipulações das quais não estamos bem informados. O vídeo sobre a Monsanto mostra alguns exemplos de aprovação pela FDA.

E15 (pró) – Questão sobre a ébola. Imagine-se uma vacina que usa OGM, capaz de curar, em pouco tempo, uma demanda da população, como a da ébola. Como encarar este tipo de situação.

E03 (contra) – Deve-se garantir que esta vacina não aumente o risco de outras doenças.

E15 (pró) – Assuma-se que haja pouco tempo.

E04 (contra) – Não se confunda OGMs usadas para a saúde e a alimentação.

E01 (pró) – Deve haver predisposição genética ao desenvolvimento do cancro e da obesidade. Mesmo com boa distribuição de alimentos, o problema está no poder de compra.

Arlindo (pró) – A carcinogenicidade dos OGMs não foi comprovada. A bioinformática é uma saída.

E11 (pró) – Os maiores factores de risco para a obesidade são o sedentarismo e o factor de risco, nunca os OGMs. Para o cancro também há factores de risco diferentes.

Jossias – Que impacto financeiro e social teria o uso de OGMs?

E12 (contra) – Pode reduzir a fome, mas é a questão do poder de compra? Será que os países em vias de desenvolvimento estão preparados para cultivar estas plantas?

E02 (contra) – Teria, sim, impacto socioeconómico. Os pequenos produtores seriam muito afectados. As sementes desfavoreceriam os pequenos produtores devido à competição. Os grandes não teriam problemas.

E15 (pró) - O problema da fome é crítico. Os países africanos precisam de recursos e a melhor solução mais simples e aplicável actualmente são os OGM.

E01 (pró) - Os OGMs são mais caros de obter, mas, para se cultivar, são mais baratos. OGM é mais barato do que os produtos orgânicos. Há outras tecnologias além das OGM.

Edgar - Há OGMs cujas sementes da segunda geração são inviáveis. Comentários?

E02 (contra) - Se as sementes forem inviáveis, os camponeses serão obrigados a comprar sempre, o que pode criar dependência.

E04 (contra) - Até que ponto seria possível o cruzamento entre sementes estéreis de OGMs e as selvagens? No México, verificou-se que 80% dos campos de milho antes selvagens foram contaminados por transgénicos.

E05 (pró) - Esse aspecto pode afectar economicamente os países, pelo facto de as sementes serem caras e de as pessoas se tornarem dependentes.

E10 (pró) - Os produtores criam a dependência deliberadamente.

E05 (pró) - Entretanto, as OGMs apresentam mais vantagens do que desvantagens.

Jossias - Não estarão os criadores a produzir sementes inviáveis para evitar a dispersão das OGMs?

E07 (contra) - Uma solução pode ser a do Japão, que cultiva em cativeiro. Na verdade, eles fazem isso porque sabem que pode haver a polinização cruzada.

E11 (pró) - A produção é lucrativa. E os países estão a beneficiar a si mesmos e às populações que consomem.

E03 (contra) - Se as sementes não forem viáveis para replantação, devem gastar frequentemente dinheiro para comprar OGMs. E ainda há problema da erosão genética.

E01 (pró) – A dependência nunca poderá ser evitada e não se restringe a OGMs.

E04 – O uso de OGMs não implica o não uso de agrotóxicos. Por exemplo, há um estudo da Índia que mostra que, mesmo com OGMs, ainda era necessário o uso de agrotóxicos. Há muitos outros exemplos. Não apoio OGMs para a agricultura, mas sim para a saúde.

E07 – As OGMs são uma forma de domínio dos países em desenvolvimento. Uma solução seria a transferência de conhecimento e de tecnologias.

Reflexões

E02 – É sempre bom ter um bom posicionamento e um bom argumento. O debate foi construtivo e aprendeu-se muito com os colegas, sobretudo nos painéis. A atividade foi muito prática para a aprendizagem e assimilação.

E05 – O debate foi muito interessante. Fez com que aprendêssemos a defender os nossos ideais. Pude aprender muito sobre os OGMs. Ainda acho que os OGMs devem ser introduzidos no nosso país. Deu para conhecer as vantagens e desvantagens.

E07 – Não gostei do desfecho do debate porque os prós se deixaram influenciar pelos contras.

E11 – O debate foi muito produtivo, uma “guerra benéfica”, em que as bombas, em vez de destruir, edificam. Sim, é necessário que as pessoas se deixem influenciar. O mais importante não é ser contra nem a favor, mas sim a simbiose entre as duas partes.

Edgar – É verdade que o debate é uma troca de experiências e influências. Os estudantes demonstraram maturidade na exploração do tema. É importante a pessoa saber se colocar numa posição e defendê-la com lógica e evidências. A ciência é dinâmica e é importante manter a mente aberta. É natural que as opiniões de um cientista mudem com o passar do tempo e o processo de aprendizagem é assim.

Cháuque – Se um grupo quase convenceu o outro a mudar de posicionamento, isso é bom e mostra que o debate é, sim, uma troca de influências. É assim que se aprende.

Jossias – Existem casos em que a biotecnologia pode produzir substâncias prejudiciais ao homem e outros em que não. Cabe a nós explorar estas possibilidades e analisá-las com cuidado, antes de emitirmos um veredicto sobre o nosso posicionamento em relação aos produtos da biotecnologia.

SÍNTESE

O debate revelou uma clara polarização entre posições otimistas e críticas. Os estudantes a favor dos OGM defenderam que as biotecnologias podem constituir um instrumento eficaz no combate à fome, especialmente em países com solos pobres e recursos limitados. Argumentaram que as plantas transgênicas apresentam maior resistência a pragas e a variações climáticas, o que permite maior produtividade com menor dependência de pesticidas. Além disso, enfatizaram o potencial dos OGM na medicina, nomeadamente na produção de vacinas e de fármacos.

Por outro lado, os estudantes contra os OGM centraram-se em preocupações de ordem ecológica e social. Questionaram a equidade na distribuição dos benefícios, a dependência tecnológica em relação a multinacionais, como a Monsanto, e o risco de erosão genética das espécies nativas. Vários participantes destacaram que o problema da fome não reside apenas na produção, mas, sobretudo, na má distribuição de recursos e no poder de compra das populações.

A análise das falas permitiu identificar três eixos de tensão principais:

1. **Progresso científico vs. prudência ecológica:** enquanto o grupo pró-OGM via a biotecnologia como um inevitável avanço civilizacional, o grupo crítico insistia na necessidade de precaução e de estudos independentes de longo prazo.
2. **Autonomia nacional vs. dependência global:** emergiu o receio de que Moçambique possa tornar-se dependente de sementes patenteadas, o que comprometeria a soberania alimentar.

3. Saúde pública vs. incerteza científica: embora a OMS e outras entidades não confirmem efeitos adversos dos OGM em humanos, persistem dúvidas entre os futuros cientistas quanto à suficiência das evidências disponíveis.

Os docentes sublinharam que a ciência é um processo dinâmico, em constante revisão, e que a atitude científica mais responsável é aquela que combina abertura à inovação com espírito crítico e prudência ética.

DISCUSSÃO

A análise do debate evidencia um descompasso entre as expectativas tecnocientíficas e as salvaguardas socioambientais que caracterizam o discurso sobre os Organismos Geneticamente Modificados (OGM) em países em vias de desenvolvimento. Do ponto de vista da segurança alimentar, a literatura científica indica benefícios médios relevantes associados à adoção de culturas geneticamente modificadas, sobretudo as resistentes a insetos. Uma meta-análise global conduzida por KLÜMPER e QAIM (2014) mostrou reduções médias de pesticidas de 37 %, aumento de produtividade de 22 % e incremento dos lucros agrícolas de 68 %, com efeitos mais pronunciados em países em desenvolvimento. Estas conclusões sustentam parcialmente os argumentos apresentados pelos estudantes “pró”, que identificaram nos OGM um instrumento potencial de combate à fome e de mitigação das perdas agrícolas. Contudo, a transposição desses resultados para Moçambique requer cautela, uma vez que as condições agrárias locais — marcadas por défices de extensão rural, de crédito e de infra-estrutura — podem limitar a concretização desses benefícios (KLÜMPER; QAIM, 2014).

Na vertente da saúde pública, revisões sistemáticas e relatórios de referência, como o das Academias Nacionais de Ciências dos Estados Unidos (2016), não identificaram, até hoje, evidências consistentes de efeitos adversos do consumo de OGM sobre a saúde humana. Essa posição científica reforça o princípio de que as avaliações devem basear-se em evidências empíricas acumuladas, e não em percepções. Todavia, tais conclusões são acompanhadas de recomendações claras de monitorização contínua e de avaliação caso

a caso, reconhecendo que a ausência de provas de risco não equivale à prova de ausência de risco. Essa precaução ecoa as preocupações expressas pelos estudantes “contra”, que reivindicaram mais transparência nos estudos toxicológicos e maior rigor na investigação a longo prazo. Revisões críticas, como as de DOMINGO e GINÉ BORDONABA (2011), sublinham lacunas persistentes na literatura, nomeadamente a curta duração dos ensaios, as amostras reduzidas e a subnotificação de resultados negativos, o que reforça a necessidade de protocolos mais robustos e de publicação sistemática de todos os resultados, positivos ou negativos.

No plano ambiental, a evidência é mais fragmentada e depende do tipo de cultura e das práticas agrícolas adoptadas. Estudos europeus, como o de SCHÜTTE *et al.* (2017), demonstram que sistemas agrícolas baseados em plantas resistentes a herbicidas podem exercer pressão ecológica sobre a flora espontânea e organismos não-alvo, alterando a composição da biodiversidade agrícola. Em contrapartida, revisões sobre culturas Bt, como a de BROOKES e BARFOOT (2020), apontam para uma redução substancial do uso de insecticidas e para uma diminuição significativa da contaminação por micotoxinas — um co-benefício com implicações diretas para a saúde pública nos trópicos. Esses resultados sugerem que os impactos ambientais dos OGM não são uniformes, mas altamente contextuais, dependendo do tipo de modificação genética, da cultura e da governança agronómica envolvida. Tal constatação dá razão parcial a ambos os lados do debate estudantil: há benefícios ambientais tangíveis, mas também riscos reais quando a tecnologia é implementada sem uma gestão ecológica adequada.

A questão da resistência a herbicidas e a insetos, levantada por vários estudantes, é amplamente documentada. A expansão de sistemas tolerantes a herbicidas, como o glifosato, favoreceu o surgimento de espécies de ervas invasoras resistentes, fenómeno hoje reconhecido em centenas de casos em nível mundial (HEAP, 2025). A literatura defende a necessidade de estratégias de manejo integrado, incluindo a rotação de culturas e a diversificação de métodos de controlo, para evitar a selecção de resistência. Este ponto demonstra que os riscos não são inerentes à biotecnologia em si, mas à forma como é operacionalizada em contextos de uso intensivo e monocultural.

No domínio económico e social, a meta-análise de KLÜMPER e QAIM (2014) revelou que os ganhos de produtividade e de lucro foram maiores nos países em desenvolvimento, o que, teoricamente, poderia beneficiar Moçambique. Contudo, tais benefícios são condicionados por factores estruturais, como o acesso a sementes certificadas, a propriedade intelectual, a disponibilidade de crédito e a integração nos mercados. O debate entre os estudantes revelou sensibilidade para esta dimensão, com vários participantes a assinalar que a introdução de OGM poderia aumentar a dependência tecnológica de multinacionais, comprometendo a soberania alimentar. Essa preocupação é consistente com a literatura sobre governança global de biotecnologias, que alerta para a assimetria entre países produtores de tecnologia e países utilizadores (TAIT, 2012).

A governança do risco emerge, assim, como eixo central. Modelos como o da Autoridade Europeia para a Segurança Alimentar (EFSA) adoptam uma avaliação caso a caso, combinando caracterização molecular, toxicologia, ecologia e exposição, num processo iterativo de revisão. Tal abordagem ilustra o que os docentes do debate salientaram: a ciência é dinâmica, e as decisões sobre OGM devem ser revistas periodicamente à luz de novas evidências. Para Moçambique, a criação de um sistema regulatório análogo, adaptado às suas capacidades, representaria um passo decisivo para equilibrar inovação e precaução, reforçando a confiança pública e a soberania científica.

LIÇÕES APRENDIDAS

Do ponto de vista pedagógico, a actividade demonstrou a eficácia do ensino por debate como metodologia activa. Por meio da oralidade científica, os estudantes tornaram-se agentes do seu próprio processo de aprendizagem, em vez de meros receptores de conhecimento. A moderação docente, orientada mais pela facilitação do raciocínio do que pela imposição de respostas, permitiu o exercício do diálogo e da escuta crítica.

Foram evidenciadas diversas competências:

- **Científicas:** pela utilização de argumentos fundamentados em evidência;
- **Sociais:** pela negociação de ideias divergentes;

- **Éticas:** pela ponderação das implicações humanas e ambientais da biotecnologia.

As reflexões finais dos estudantes — incluídas no debate original — revelaram um elevado grau de autoavaliação e de consciência crítica. A actividade transformou-se numa experiência formativa de cidadania científica, em consonância com os princípios de ensino superior orientados para a responsabilidade social e para o pensamento interdisciplinar.

CONCLUSÃO

A análise do debate sobre Organismos Geneticamente Modificados confirma que a biotecnologia é, simultaneamente, promessa e desafio. Em Moçambique, a sua implementação requer políticas públicas baseadas em ciência sólida, mas também em prudência ética e equidade social. O ensino superior deve preparar os futuros profissionais não apenas para dominar as técnicas, mas também para compreender o impacto humano das suas decisões. O debate de 2014, realizado na Universidade Eduardo Mondlane, permanece exemplar como exercício de integração entre ciência, ética e sociedade. Mostra que a formação científica deve incluir momentos de confronto argumentativo e de reflexão moral, indispensáveis a uma prática biotecnológica responsável e humanista. Em última análise, mais do que escolher entre ser “a favor” ou “contra” os OGM, importa aprender a pensar criticamente sobre eles — reconhecendo que a ciência é, antes de tudo, um processo de diálogo contínuo com a realidade.

REFERÊNCIAS

AKINBO, O.; OBUKOSIA, S.; OUEDRAOGO, J.; SINEBO, W. *et al.* Commercial Release of Genetically Modified Crops in Africa: Interface Between Biosafety Regulatory Systems and Varietal Release Systems. *Front Plant Sci*, 12, p. 605937, 2021.

BROOKES, G.; BARFOOT, P. GM crops: global socio-economic and environmental impacts 1996-2018. *PG Econ. Ltd.*, p. 1-213. 2020.

DOMINGO, J. L.; GINÉ BORDONABA, J. A literature review on the safety assessment of genetically modified plants. *Environment International*, 37, n. 4, p. 734-742, 2011/05/01/ 2011.

FEKETE, A. Natural Hazards and Climate Change Impacts on Food Security and Rural–Urban Livelihoods in Mozambique—A Bibliometric Analysis and Framework. *Earth*, 5, n. 4, p. 761-783, 2024.

HEAP, I. The international survey of herbicide resistant weeds. 2025. Disponível em: <https://weedsociety.org/graphs/soagraph.aspx>.

JOELMA, L.-B.; OLÍVIA, C. N. P.; AMÉLIA, M. M.; ARTIMÍSIA, M. M. *et al.* Detection of genetically modified organisms in food products commercialized in Mozambique. *African Journal of Food Science*, 16, n. 2, p. 22-29, 2022.

KLÜMPER, W.; QAIM, M. A meta-analysis of the impacts of genetically modified crops. *PLoS One*, 9, n. 11, p. e111629, 2014.

MORTENSEN, D. A.; EGAN, J. F.; MAXWELL, B. D.; RYAN, M. R. *et al.* Navigating a Critical Juncture for Sustainable Weed Management. *BioScience*, 62, n. 1, p. 75-84, 2012.

PELLEGRINO, E.; BEDINI, S.; NUTI, M.; ERCOLI, L. Impact of genetically engineered maize on agronomic, environmental and toxicological traits: a meta-analysis of 21 years of field data. *Scientific Reports*, 8, n. 1, p. 3113, 2018/02/15 2018.

PELLEGRINO, E.; BEDINI, S.; NUTI, M.; ERCOLI, L. Impact of genetically engineered maize on agronomic, environmental and toxicological traits: a meta-analysis of 21 years of field data. *Sci Rep*, 8, n. 1, p. 3113, Feb 15 2018.

RAMAN, R. The impact of Genetically Modified (GM) crops in modern agriculture: A review. *GM Crops Food*, 8, n. 4, p. 195-208, Oct 2 2017.

SCHÜTTE, G.; ECKERSTORFER, M.; RASTELLI, V.; REICHENBECHER, W. *et al.* Herbicide resistance and biodiversity: agronomic and environmental aspects of genetically modified herbicide-resistant plants. *Environmental Sciences Europe*, 29, n. 1, p. 5, 2017/01/21 2017.

SNELL, C.; BERNHEIM, A.; BERGÉ, J. B.; KUNTZ, M. *et al.* Assessment of the health impact of GM plant diets in long-term and multigenerational animal feeding trials: a literature review. *Food Chem Toxicol*, 50, n. 3-4, p. 1134-1148, Mar 2012.

TAIT, J. Adaptive governance of synthetic biology. *EMBO reports*, 13, n. 7, p. 579-579, 2012.

AVANÇOS EM RECURSOS GENÉTICOS, MELHORAMENTO E BIOTECNOLOGIA DA CASTANHA-DO-BRASIL (*BERTHOLLETIA EXCELSA BONPL.*): UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Priscila Marlys Sá Rivas

Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

José Ribamar Costa Ferreira-Neto

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Claudete Aparecida Mangolim

Universidade Estadual de Maringá (UEM)

RESUMO

A castanheira-do-brasil é uma espécie florestal relevante da Amazônia, destacando-se por sua importância ecológica, econômica e sociocultural. Esta revisão analisou publicações entre 2015 e 2025 sobre recursos genéticos, melhoramento genético, biotecnologia. A busca bibliográfica foi realizada nas bases Scopus e SciELO. Foram identificados 193 artigos científicos dentro do recorte dos temas escolhidos. Após triagem e categorização, 23 artigos originais foram usados para compor a revisão bibliográfica. Os estudos mostram que *Bertholletia excelsa* apresenta elevada variabilidade genética, importante para programas de conservação e melhoramento. Avanços recentes incluem o primeiro genoma de referência da espécie, possibilitando novas estratégias de melhoramento baseadas em genoma. Pesquisas sobre melhoramento genético são poucas, mas evidenciam potencial para seleção de genótipos superiores associados à produtividade e adaptação. Na biotecnologia, a espécie apresenta aplicações promissoras envolvendo compostos bioativos, microencapsulação, bebidas vegetais e bioprocessos microbianos. Assim, os avanços apresentados evidenciam a crescente utilização da castanheira-do-brasil como tema de estudos nas áreas de recursos genéticos, biotecnologia e melhoramento, contribuindo para valorização de espécies florestais amazônicas.

Palavras-chave: Genética de arbóreas; melhoramento genético; aplicações biotecnológicas; espécies nativas; biodiversidade amazônica.

INTRODUÇÃO

A Amazônia brasileira abriga enorme biodiversidade vegetal, que desempenha papel central na regulação climática global, no sequestro de carbono e na manutenção dos ciclos hidrológicos (Gatti *et al.*, 2021). Evidências recentes apontam que parte significativa dos serviços ecossistêmicos produzidos por este bioma é sustentada por um conjunto de espécies arbóreas que combinam: elevada abundância, ampla distribuição e grande biomassa (Thomas *et al.*, 2021). Uma destas espécies é a Castanheira-do-pará ou Castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl), que pertence à família Lecythidaceae e é nativa da Amazônia (Gonçalves *et al.*, 2024).

Bertholletia excelsa ocorre naturalmente na maioria das florestas secas da bacia amazônica, encontrando-se no Brasil, Venezuela, Colômbia, Peru, Bolívia e Guianas (Catenacci *et al.*, 2020). Na porção brasileira, a espécie ocorre nos estados do Acre, Amazonas, Rondônia, Pará, Roraima e no norte do Mato Grosso (Tonini & Baldoni, 2019; Baldoni *et al.*, 2020). As castanheiras são árvores de grande porte e consideradas espécies de clímax, com elevada exigência de luz, uma vez que sua regeneração natural depende de níveis moderados de irradiância (Santos *et al.*, 2017).

Suas castanhas são amplamente consumidas na floresta por fauna diversa, que atuam na dispersão de suas sementes, especialmente roedores do gênero *Dasyprocta* spp., além de outros vertebrados (Haugaasen *et al.*, 2010). *Bertholletia excelsa* é considerada o principal produto florestal não-madeireiro da Amazônia, destacando-se pela comercialização da castanha-do-brasil em mercados nacional e internacional. Este interesse econômico está diretamente relacionado ao elevado valor nutricional das sementes, que são ricas em proteínas, ácidos graxos insaturados e micronutrientes essenciais, como magnésio, cobre, zinco e, principalmente, selênio (Lima *et al.*, 2019). Por serem uma das poucas fontes naturais com elevado teor de selênio - micronutriente essencial para humanos e outros mamíferos. Além disso, a presença de compostos fenólicos e tocoferóis contribui para suas propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e potencialmente antimutagênicas (Cardoso *et al.*, 2017). Em conjunto, esses atributos ampliam o interesse da espécie para diferentes setores, incluindo as

indústrias alimentícia, farmacêutica, cosmética e nutracêutica, agregando valor à cadeia produtiva e reforçando sua relevância econômica e biotecnológica.

A comercialização da castanha-do-brasil movimenta cerca de 373 milhões de dólares, abastecendo os mercados nacional e internacional (FAO, 2019). As sementes comercializadas são majoritariamente coletadas por extrativistas, diretamente das populações naturais (Silva *et al.*, 2013, Rockwell *et al.*, 2015). Por isso, sua cadeia produtiva desempenha relevante papel socioeconômico na região, envolvendo aproximadamente 1,2 milhões de coletores de castanha, somente no Brasil (FAO, 2017). Cerca de 43% da renda familiar anual de comunidades amazônicas vem da comercialização das castanhas (Duchelle *et al.*, 2011). Nesse contexto, *Bertholletia excelsa* se destaca como espécie que possibilita aliar a geração de renda à conservação florestal e à manutenção de modos de vida tradicionais (Medeiros *et al.*, 2024).

Embora a espécie tenha seu corte proibido no território brasileiro (Costa *et al.*, 2009), estudos recentes apontam quedas expressivas na produção de castanha-do-brasil nos últimos anos, com reduções que podem chegar a até 80% em determinadas regiões, associadas a eventos climáticos extremos (EMBRAPA, 2025). Além disso, fatores como mudanças no uso da terra, fragmentação de habitats e a redução de polinizadores têm impactado negativamente a estrutura genética das populações (Alarcon-Aguirre *et al.*, 2023). Este conjunto de fatores tende a reduzir o fluxo gênico, aumentar a erosão genética e comprometendo o sucesso reprodutivo, a produtividade e a viabilidade das populações ao longo do tempo (Baldoni *et al.*, 2020). Por isso, a conservação dos recursos genéticos de *Bertholletia excelsa* é urgente e constitui uma responsabilidade, não só nacional, como também global, e demandará o uso de estratégias integradas de conservação, melhoramento e inovação. Assim, torna-se possível aliar o aumento da produtividade, mas também o aproveitamento de subprodutos e resíduos, bem como o fortalecimento da bioeconomia amazônica.

Nesse contexto, a biotecnologia, a gestão de recursos genéticos e a genética aplicada ao melhoramento destacam-se como ferramentas fundamentais para uso sustentável da espécie, contribuindo para a proteção do patrimônio genético e a agregação de valor à cadeia produtiva (Costa *et al.*, 2022). Por isso, este trabalho teve como objetivo realizar um recorte das principais publicações originais sobre

Bertholletia excelsa, nas áreas de recursos genéticos, melhoramento genético e biotecnologia publicadas nos últimos 10 anos, com a finalidade de avaliar os avanços científicos recentes. Esta revisão busca responder às seguintes questões: (1) Quais os avanços recentes no conhecimento científico sobre genética e recursos genéticos de *Bertholletia excelsa* que podem subsidiar estratégias de melhoramento genético?; (2) Quais pesquisas recentes permitem gerar maior agregação de valor à espécie por meio de aplicações biotecnológicas?; (3) Quais lacunas ainda precisam ser preenchidas para consolidar estratégias integradas de conservação, melhoramento genético e aplicações biotecnológicas de *Bertholletia excelsa*?

METODOLOGIA

Estratégia de busca e delineamento da revisão sistemática

Para condução e organização da revisão bibliográfica, foram utilizadas as seguintes etapas: identificação dos artigos, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos (Page *et al.*, 2021). A busca bibliográfica foi realizada nas bases de dados científicas Scopus e SciELO, visando garantir ampla cobertura internacional e regional da literatura científica. A busca direcionada foi realizada utilizando o termo "*Bertholletia excelsa*", aplicado especificamente nos campos de título, resumo e palavras-chave, para selecionar apenas estudos diretamente relacionados à espécie.

Critérios de filtragem, triagem e elegibilidade

Utilizaram-se os seguintes critérios de filtragem para seleção dos artigos: 1) Artigos científicos originais publicados entre 2015 e 2025; 2) estudos publicados em periódicos revisados por pares e com DOI (*Digital Object Identifier*); 3) Publicações nos idiomas Português ou Inglês; 4) trabalhos que abordassem *Bertholletia excelsa*, nas áreas de ciências biológicas, agrárias ou de ciência de alimentos.

Um total de 328 artigos originais foram encontrados nas bases de dados. Dentre estes, apenas 203 estavam disponíveis para download (125 indisponíveis), os quais foram submetidos à triagem, com leitura de títulos e resumos.

Nessa etapa, outros 6 artigos foram excluídos por não atenderem aos critérios de elegibilidade, resultando em 193 artigos originais elegíveis.

Categorização e recorte analítico

Os 193 artigos elegíveis foram organizados em categorias temáticas, tal como evidenciado na Tabela 1. Para garantir o alinhamento com o eixo temático central da revisão, priorizou-se manter todas as pesquisas pertencentes às categorias: Recursos Genéticos, Melhoramento Genético e Biotecnologia, que totalizaram 23 artigos originais, que foram utilizados para fundamentar a presente *short review* da castanha-do-brasil (Tabela 1).

Tabela 1 - Número de artigos selecionados para a revisão, separados por eixo temático.

Eixo Temático	Total	Removidos	Avaliados	Selecionados
Recursos Genéticos	8	0	8	8
Melhoramento Genético	6	0	6	6
Biotecnologia e bioprospecção	9	0	9	9
Outras áreas (não incluídas na revisão)	170	17	153	0
TOTAL	193	17	176	23

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Recursos Genéticos de *Bertholletia excelsa*

As pesquisas sobre recursos genéticos de *Bertholletia excelsa*, dentro do recorte temporal adotado, totalizaram nove artigos. A maioria dos estudos objetivou a caracterização da diversidade e da estrutura genética populacional por meio de marcadores moleculares do tipo ISSR, SSR e AFLP. A Tabela 2 apresenta uma síntese dos trabalhos encontrados.

Tabela 2 - Síntese dos estudos de recursos genéticos de *Bertholletia excelsa*, destacando os marcadores moleculares utilizados, bem como os principais resultados e implicações.

Autores	Localidade	Marcador Utilizado	Nº de locos	Principais resultados e Implicações
Sujii et al., 2015)	Amazônia (Brasil)	SSR	11	Alta diversidade; baixa estrutura fina. Manter diversidade intra-populacional

Autores	Localidade	Marcador Utilizado	Nº de locos	Principais resultados e Implicações
Wadt, 2015	Amazônia (Brasil)	SSR	7-8	Alogamia ($t_m=1$). Maior endogamia em áreas perturbadas. Priorizar coleta em populações naturais
Ramalho et al. 2016	MT (Alta Floresta)	ISSR	52	Alto polimorfismo; 6 grupos; genótipos divergentes. Seleção de genitores
Moura Coelho et al., 2017	AM	AFLP	306	Alta variabilidade; $F_{st}=0,48$ Conservação e manejo
Baldoni et al. (2020)	MT	SSR	7	Maior diversidade entre populações. Coleta entre populações
Carpejani et al., 2020	MT (Sinop)	ISSR	15	Alto polimorfismo; agrupamento eficiente. Pré-melhoramento
Chiriboga-Arroyo et al., 2021	Peru	SSR	13	Redução da diversidade em áreas degradadas. Manter conectividade
Wang et al., 2025	Amazônia	SNP/ Genoma	116.306	Estrutura genética associada ao manejo humano. Importância do manejo tradicional para distribuição

Os estudos sobre recursos genéticos de *Bertholletia excelsa* indicam, de forma consistente, a manutenção de níveis expressivos de variabilidade genética na espécie, mesmo sob diferentes contextos ambientais das populações. Sujii *et al.* (2015), evidenciaram diversidade genética moderada, baixa endogamia e forte indicação de auto-incompatibilidade, reforçando o papel da alogamia na manutenção da variabilidade da espécie. De forma complementar, Wadt *et al.* (2015) demonstraram que o sistema de cruzamento da espécie é predominantemente alógamo, e destacaram a redução no número efetivo de doadores de pólen ocorrendo em populações de ambientes antropizados. Enquanto que em populações naturais, há maior tamanho efetivo de progênie, sendo, portanto, mais indicadas para coleta de sementes com fins de conservação e melhoramento. Ainda nesse contexto, Ramalho *et al.* (2016) identificaram seis grupos geneticamente distintos em genótipos provenientes de áreas de pastagem no Mato Grosso. Os autores destacam que a espécie manteve elevada variabilidade genética mesmo sob influência antrópica.

Similarmente, Coelho *et al.* (2017) observaram altos níveis de polimorfismo e diversidade genética em populações do Amazonas, com predominância da variação intrapopulacional. No entanto, os autores também evidenciaram forte estruturação genética entre populações, sugerindo restrição ao fluxo gênico

e heterogeneidade genética ao longo das populações do estado. Essa heterogeneidade é reforçada pela presença de genótipos altamente divergentes, inclusive em áreas de elevada influência antrópica, indicando a persistência de reservatórios genéticos relevantes mesmo fora de ambientes conservados (Tabela 2). Em conjunto, estes trabalhos revelam que, embora *Bertholletia excelsa* apresente um cenário favorável em termos de diversidade genética, sua estrutura populacional é fortemente influenciada por fatores ecológicos e antrópicos, o que reforça a necessidade de estratégias de conservação e melhoramento que considerem: tanto a variabilidade intrapopulacional quanto a representatividade entre populações geneticamente diferentes.

Esse padrão torna-se ainda mais evidente nos resultados de Baldoni *et al.* (2020), que, utilizando marcadores SSR em populações do sul da Amazônia, também identificaram elevada diversidade genética e baixa endogamia, mas observaram que a maior parte da variação genética estava distribuída entre populações, diferentemente dos demais autores prévios. Esse resultado, associado a baixos níveis de fluxo gênico e ao agrupamento conforme a origem geográfica, indica forte isolamento genético espacial.

Os estudos mais recentes visaram ampliar a compreensão da dinâmica populacional de *Bertholletia excelsa* ao incorporar o papel das mudanças ambientais e da ação humana ao longo do tempo (Tabela 2). Chiriboga-Arroyo *et al.* (2020) investigaram os efeitos da degradação florestal sobre os recursos genéticos e os padrões reprodutivos de *Bertholletia excelsa*, utilizando marcadores SSR. Os autores evidenciaram a presença de estrutura genética em microescala, indicando que indivíduos espacialmente próximos tendem a ser mais aparentados geneticamente. Além disso, constataram que as plântulas tinham menor diversidade genética e maior endogamia que os indivíduos adultos, e associam este padrão a limitações na dispersão de sementes, bem como na redução de indivíduos doadores de pólen. Também evidenciam redução do tamanho efetivo populacional, possivelmente devido a restrições no fluxo gênico.

O trabalho de Chiriboga-Arroyo *et al.* (2020) se destaca por avançar além da caracterização da diversidade genética. Ao utilizar metodologias de análise sofisticadas, os autores souberam extrair de forma consistente e aprofundada o potencial informativo dos marcadores moleculares SSR utilizados. O estudo

permite elucidar diferentes mecanismos ecológicos que afetam o fluxo gênico, o tamanho efetivo populacional e a futura sobrevivência dos recursos genéticos da espécie, ressaltando riscos reais de perda genética da espécie.

Já Carpejani *et al.* (2020) exploraram a distribuição da variabilidade genética em contextos de uso e ocupação do solo, destacando que populações de *Bertholletia excelsa* inseridas em regiões de transição entre floresta-pastagem podem manter níveis consideráveis de diversidade, mas frequentemente apresentam alterações na estrutura genética e na dinâmica de reprodução. Entretanto, o número reduzido de indivíduos amostrados e a restrição da análise (dada pela natureza do marcador dominante utilizado) oferece uma visão mais descritiva do que inferencial, sendo insuficiente para capturar com fidelidade a dinâmica genética populacional da castanheira na região estudada.

Avançando para uma escala temporal mais ampla, Wang *et al.* (2025) integraram dados genômicos e evidências arqueológicas para investigar a história demográfica da espécie *Bertholletia excelsa* na Amazônia. Os autores sequenciaram o primeiro genoma de referência de alta qualidade da espécie, com cerca de 568 Mb, organizadas em 17 pseudo-cromossomos. Os autores demonstraram a natureza estrutural deste genoma, mas usaram essas informações para genotipar muitos indivíduos por ddRAD-seq, inaugurando uma abordagem genômica de alta resolução para recursos genéticos da castanheira. Usando mais de 116 mil SNPs (*Single Nucleotide Polymorphisms*), Wang *et al.* (2025) revelaram: níveis relativamente baixos de diversidade genética, com evidências de declínio desde o final do Pleistoceno, a existência de evidências de maior diversidade em áreas associadas ao manejo humano tradicional e à presença arqueológica, evidenciando que a ação humana teve papel relevante na distribuição da espécie e na ampliação da sua diversidade genética. Portanto, a genômica auxilia na compreensão processos históricos, fluxo gênico, distribuição e adaptação da espécie, abrindo novas perspectivas para conservação assistida, manejo populacional e programas futuros de melhoramento genético da castanheira.

O trabalho de Wang *et al.* (2025) também foi o primeiro a disponibilizar o primeiro genoma de referência de alta qualidade para a espécie. Os dados genômicos de *Bertholletia excelsa*, incluindo o genoma montado e foram depositados no repositório público do *National Center for Biotechnology Information* (NCBI),

com os respectivos números de acesso apresentados na tabela de recursos do artigo (NCBI: RJNA1099931). Esses dados constituem uma base essencial para o avanço de estudos futuros envolvendo seleção assistida por marcadores moleculares, uso de marcadores SNPs, bem como novas pesquisas em recursos genéticos e genômica populacional, ampliando significativamente as possibilidades de aplicações no melhoramento e na conservação de *Bertholletia excelsa*.

Assim, o conjunto atual de trabalhos na área de recursos genéticos parece ser pequeno em relação à importância ecológica e econômica da espécie a nível nacional e global. Portanto, existe uma lacuna significativa no uso de ferramentas genômicas de alta resolução (cuja aplicação é recente), bem como na integração entre genética, ecologia e melhoramento, fundamental para subsidiar estratégias mais robustas de conservação e domesticação da espécie.

Melhoramento genético da Castanha-do-Brasil

As pesquisas relacionadas ao melhoramento genético de *Bertholletia excelsa*, dentro do recorte temporal adotado, totalizaram 6 artigos. Os estudos revelam que o melhoramento da espécie ainda se encontra em estágio inicial de desenvolvimento, com predominância de abordagens baseadas em genética quantitativa, estimativa de parâmetros genéticos e seleção de genótipos superiores. Mas também encontramos avanços recentes na área de genômica da espécie, que podem fornecer bases estruturais para o futuro desenvolvimento de estratégias de melhoramento mais eficientes.

Mondin *et al.* (2025) apresentam em seu trabalho a primeira estimativa do tamanho do genoma de *Bertholletia excelsa*, cerca de 655 Mbp, e caracterizaram o número cromossômico e aspectos do cariótipo, um genoma relativamente pequeno para Angiospermas. Apesar de não ser um trabalho clássico de melhoramento genético, os resultados de Mondin *et al.* (2025) abrem uma gama de possibilidade de uso de abordagens genômicas em larga escala, para viabilizar análises mais detalhadas da relação entre genótipo e fenótipo. Assim, os avanços apresentados por estes autores contribuem diretamente para o desenvolvimento de estratégias mais eficientes de conservação e melhoramento genético da espécie.

Roelis *et al.* (2018) avaliaram a divergência genética entre genótipos de *Bertholletia excelsa* com base em caracteres biométricos de frutos e sementes, evidenciando ampla variabilidade fenotípica entre os indivíduos (21 matrizes de 1 população natural do estado do Mato Grosso). Os autores identificaram que as características peso do fruto e atributos das sementes (eixo menor, massa fresca, seca e unitária) foram as que mais contribuíram para a diferenciação entre os genótipos. Tais caracteres, ligados a semente são eficientes para a seleção de materiais superiores e são justo os que apresentam maior importância econômica direta (foco da produção de sementes de castanhas). Assim, os autores reforçam a importância de avaliar características biométricas nas safras, e empregar esse para melhoramento. Genótipos superiores podem ser empregados tanto na propagação de mudas, quanto na seleção de material para compor bancos de germoplasma, e subsidiar iniciativas de reflorestamento e a implantação de plantios comerciais da espécie.

De forma complementar, Azevedo *et al.* (2020) reforçam ainda mais o potencial de aplicação de estratégias de melhoramento em populações naturais da espécie. Os autores avaliaram o número de frutos produzidos por planta, em 315 castanheiras de populações nativas do Acre. Com uso da metodologia para modelos mistos (REML/BLUP), observaram que os coeficientes de repetibilidade desta característica foram moderados a altos, possibilitando a seleção de genótipos superiores. Além disso, os autores selecionaram 20 matrizes promissoras, com potencial de compor populações significativamente mais produtivas, podendo alcançar incrementos de até 2,4 e 4,2 vezes em relação aos castanhais nativos. Esses achados demonstram que, mesmo em sistemas extrativistas, existe uma base genética e fenotípica explorável, capaz de subsidiar estratégias de seleção e formação de populações melhoradas.

Pedrozo *et al.* (2021) estimaram os coeficientes de repetibilidade de variáveis de interesse do fruto e da castanha, a partir de 10 genótipos de *Bertholletia excelsa* de sistemas agroflorestais. Verificaram coeficientes de repetibilidade moderados, com regularidade na expressão dos caracteres. Os dados indicam que, embora exista controle genético sobre os caracteres avaliados, a influência ambiental ainda é significativa, exigindo mais avaliações para maior precisão na seleção. Ainda assim, a definição de amostragens mínimas eficientes (8 frutos

e 7 castanhas por genótipo) demonstra que é possível conduzir a seleção com adequada confiabilidade, possibilitando a obtenção de reais ganhos genéticos.

Neste mesmo sistema produtivo agroflorestal, Pedrozo *et al.* (2024) avaliaram a repetibilidade de caracteres produtivos ao longo de dez safras em 40 matrizes de castanheira. Ao estimar os parâmetros genéticos por REML/BLUP, a partir de 6 caracteres relacionadas à produção de frutos e castanhas, os autores observaram variabilidade significativa entre os genótipos, mas com forte influência do ambiente. Os coeficientes de repetibilidade para as características apresentaram magnitude moderada. Para atingir um coeficiente de determinação de 80%, foram necessárias de 7 a 9 safras, reforçando o caráter longo e oneroso dos programas de melhoramento de espécies perenes, como a Castanheira. Por outro lado, as características produtivas: número de frutos por planta, número de castanhas produzidas e peso de castanhas, apresentaram correlações altas e positivas, ou seja, possuem elevada possibilidade para seleção indireta. Nesse sentido, o conjunto dos estudos evidencia que, embora exista base genética e metodológica para o melhoramento de *Bertholletia excelsa*, sua consolidação ainda depende da integração entre abordagens quantitativas e genômicas, aliada ao desenvolvimento de estratégias que reduzam o tempo de seleção e aumentem a eficiência dos ganhos genéticos.

E, considerando o longo tempo necessário para avaliações em espécies perenes, Nunes *et al.* (2026) avaliaram 35 famílias de castanheiras, ao longo de 21 anos de avaliação. Os autores usaram 4 variáveis de crescimento e 700 indivíduos, oriundos de polinização aberta, em plantio experimental. As estimativas de herdabilidade individual foram de baixa magnitude, com forte influência ambiental sobre os caracteres avaliados. Mas a acurácia de seleção apresentou valores moderados ($\sim 0,70$), com estabilização dos parâmetros genéticos aos seis anos de idade. O estudo reforça o uso do DAP como critério eficiente de seleção, devido à sua precisão e forte associação com o volume e produtividade. Além disso, houve alta correlação genética entre idades (6 vs. 21 anos), evidenciando que, tanto indivíduos quanto famílias superiores em idades jovens tendem a manter sua superioridade em fases mais avançadas de desenvolvimento, cerca de 80–83% dos indivíduos selecionados cedo continuam selecionados depois. Em termos de ganhos genéticos, estimou-se 25%

de ganho médio. O trabalho demonstra de forma robusta que a seleção precoce (6 anos) com elevada estabilidade genética e a boa acurácia pode aumentar a eficiência dos programas de melhoramento e a produtividade de plantios de castanheira-do-brasil.

Os estudos sobre melhoramento genético de *Bertholletia excelsa* revelam uma base metodológica e genética ainda em estágio inicial de desenvolvimento. Predominam abordagens de genética quantitativa e modelos mistos para estimativa de parâmetros genéticos e identificação de genótipos superiores em populações naturais. Mas os avanços recentes na genômica ampliam as possibilidades de integração entre dados moleculares e fenotípicos, favorecendo o desenvolvimento de estratégias de seleção baseadas no genoma, mais precisas e eficientes. Assim, o balanço indica que o melhoramento da castanheira-do-brasil é um campo promissor, mas ainda em consolidação, sendo necessários mais estudos que integrem abordagens quantitativas e genômicas e viabilizem processos de seleção mais precoces e eficientes.

Uso da Castanheira em Aplicações Biotecnológicas

A castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) reúne atributos que a tornam um recurso de expressivo interesse biotecnológico. Além de seu reconhecido valor nutricional, especialmente em razão do elevado teor de selênio (Lima *et al*, 2019), a espécie oferece um conjunto de recursos biológicos com potencial para aplicações sustentáveis em diferentes frentes da biotecnologia. Ainda assim, apesar de sua importância ecológica, econômica e funcional, a castanheira permanece relativamente subexplorada pela pesquisa biotecnológica, sobretudo quando comparada a espécies agrícolas amplamente domesticadas e incorporadas às agendas de inovação.

Os nove artigos selecionados contemplam a temática biotecnológica de maneira direta ou indireta, seja a partir do aproveitamento de estruturas da própria espécie, seja pela exploração de microrganismos a ela associados. Sob uma perspectiva temporal, os estudos selecionados indicam que a incorporação da castanheira (e de seu microbioma associado) em abordagens voltadas à obtenção, otimização ou agregação de valor a produtos constitui um movimento recente, com registros identificados apenas a partir de 2019. Os trabalhos

analisados revelam que a inserção da castanheira no campo biotecnológico tem ocorrido, sobretudo, por meio de quatro frentes principais: bioprocessos microbianos, extração e estabilização de compostos bioativos e desenvolvimento de alimentos e bebidas funcionais (Tabela 3).

No primeiro eixo, destaca-se o uso de microrganismos associados à espécie como fonte de biocatalisadores e metabólitos de interesse. Dourado *et al.* (2025) demonstraram a biotransformação de progesterona por *Penicillium paxilli* isolado de castanhas, com formação de testololactona e desempenho particularmente promissor quando o fungo foi imobilizado em fibroína de seda. Em outra vertente, Ferreira *et al.* (2023) isolaram *Trichoderma asperellum* de amêndoas de castanheira e evidenciaram que seus metabólitos apresentaram atividade relacionada à modulação da melanogênese, indicando potencial farmacológico e cosmeceutico. Já Silva *et al.* (2019) mostraram que o óleo de castanha pode ser empregado como fonte de carbono em fermentação de *Streptomyces tsukubaensis*, elevando a produção de tacrolimo, um composto de alto valor agregado para a indústria farmacêutica (Tabela 3).

Tabela 3 - Síntese e categorização dos estudos sobre aplicações biotecnológicas da castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), seus derivados e microrganismos associados.

Autores	Eixo biotecnológico	Recurso explorado	Abordagem tecnológica	Principal contribuição
Dourado et al., 2025	Biocatálise e biotransformação microbiana	Fungo endofítico isolado de castanhas (<i>Penicillium paxilli</i>)	Biotransformação de progesterona com células livres e imobilizadas em fibroína de seda e quitina	Demonstrou a conversão de progesterona em testololactona, com melhor manutenção da atividade catalítica quando o biocatalisador foi imobilizado em fibroína.
Santos-Ferreira et al. (2022)	Encapsulação de compostos bioativos	Óleo de castanheira	Formulação de emulsões estabilizadas por proteína isolada de soja termicamente tratada para encapsulação de vitamina D3	Evidenciou o potencial do óleo de castanha como fase oleosa para sistemas de encapsulação com elevada retenção de vitamina após armazenamento.

Autores	Eixo biotecnológico	Recurso explorado	Abordagem tecnológica	Principal contribuição
Fontoura et al. (2023)	Extração de bioativos e modelagem analítica	Casca da castanheira	Otimização da extração de fenólicos e predição da atividade antioxidante por modelagem multivariada e aprendizado de máquina	Indicou condições ótimas de extração e mostrou a viabilidade de métodos preditivos de baixo custo para estimar teor fenólico e atividade antioxidante.
Silva et al. (2019)	Biotecnologia industrial e fermentação	Óleo da castanha	Uso do óleo como fonte de carbono em fermentação de <i>Streptomyces tsukubaensis</i>	Mostrou incremento na produção de tacrolimo, sugerindo aproveitamento do óleo em processo fermentativo de interesse farmacêutico.
Vasquez-Rojas et al., 2023	Tecnologia de bebidas vegetais e conservação	Bebida vegetal à base de castanha	Homogeneização a alta pressão (HPH) para pasteurização e estabilização durante armazenamento refrigerado	Demonstrou que o processo pode ampliar a estabilidade microbiológica, física e sensorial da bebida, com vida útil refrigerada de pelo menos 21 dias.
Vasquez-Rojas et al. (2023)	Valorização de subprodutos e extração de fenólicos	Película/casca desengordurada, subproduto industrial	Extração por líquido pressurizado e por ultrassom, seguida de caracterização dos compostos fenólicos	Confirmou o potencial da película como fonte rica em compostos fenólicos e antioxidantes para obtenção de ingredientes bioativos.
Ferreira et al. (2023)	Bioprospecção de microrganismos associados e aplicação farmacológica	Fungo endofítico (<i>Trichoderma asperellum</i>) isolado das amêndoas da castanha	Cultivo, extração de metabólitos e avaliação <i>in vivo/in silico</i> da modulação da melanogênese	Evidenciou a presença de metabólitos com potencial para modulação da melanogênese, reforçando o valor biotecnológico da microbiota associada à castanheira.
Gomes et al. (2019)	Microencapsulação e ingrediente funcional	Torta de castanha, coproduto da extração de óleo	Microencapsulação com inulina e amido modificado	Gerou pó alimentício funcional estável, rico em compostos fenólicos, tocois e selênio, agregando valor a coproduto agroindustrial.
Paiva et al. (2023)	Desenvolvimento de alimentos funcionais e nanotecnologia	Bebida vegetal de castanha associada a nanodispersão de urucum	Formulação de bebida vegetal com incorporação de nanodispersão e avaliação sensorial/toxicológica	Demonstrou a viabilidade de uma bebida vegetal inovadora com aceitação sensorial e integração de matérias-primas amazônicas de interesse econômico.

A segunda frente reúne estudos voltados à obtenção, concentração e proteção de compostos bioativos (Tabela 3). Nesse contexto, Fontoura *et al.* (2023) exploraram a casca da castanheira como fonte de fenólicos antioxidantes e, ao associarem extração otimizada, modelagem multivariada e aprendizado de máquina, demonstraram que a espécie também pode ser inserida em cadeias de inovação orientadas por ferramentas analíticas de predição (Tabela 3). Vasquez-Rojas *et al.* (2023), por sua vez, avaliaram a película industrial desengordurada da castanha e confirmaram seu elevado potencial como fonte de compostos fenólicos antioxidantes, reforçando a relevância biotecnológica de frações frequentemente tratadas como resíduo. No mesmo sentido de agregação de valor, Gomes *et al.* (2019) desenvolveram um ingrediente funcional em pó a partir do extrato da torta de castanha microencapsulado com inulina e amido modificado, obtendo um produto estável e rico em compostos fenólicos, tocois e selênio (Tabela 3).

No contexto alimentar, a castanheira aparece como matriz promissora para formulações inovadoras e processos de conservação. Santos-Ferreira *et al.* (2022) demonstraram a viabilidade do uso do óleo de castanha em emulsões destinadas à encapsulação de vitamina D3, com elevada retenção do composto durante o armazenamento. Vasquez-Rojas *et al.* (2022), por sua vez, validaram a homogeneização em alta pressão como alternativa à pasteurização convencional de bebidas à base de castanha, com ganhos em estabilidade microbiológica e físico-química por pelo menos 21 dias de refrigeração (Tabela 3). Complementarmente, Paiva *et al.* (2023) desenvolveram uma bebida vegetal à base de castanha acrescida de nanodispersão de urucum, demonstrando aceitação sensorial e ausência de toxicidade aguda no sistema teste empregado, o que evidencia a possibilidade de articular biodiversidade amazônica, nanotecnologia e inovação em alimentos.

Portanto, a análise global de nosso levantamento bibliográfico sugere que o potencial biotecnológico da castanheira não reside apenas na amêndoa como alimento de alto valor nutricional, mas também em seus óleos, cascas, películas, tortas e microrganismos endofíticos, os quais podem ser convertidos em insumos para as indústrias farmacêutica, alimentícia e de ingredientes funcionais. O conjunto dos dados obtidos indica que essa inserção permanece

contida e fragmentada: predominam aplicações pontuais, concentradas na valorização de derivados e subprodutos, enquanto ainda são escassas abordagens mais amplas de domesticação biotecnológica, prospecção sistemática de metabólitos, escalonamento industrial ou integração da espécie a plataformas robustas de inovação. Assim, entre riqueza biológica e aproveitamento tecnológico, a castanheira desponta como recurso de alto potencial, mas ainda insuficientemente incorporado a uma agenda madura de pesquisa e desenvolvimento biotecnológico.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente revisão evidencia que *Bertholletia excelsa* reúne características genéticas, biotecnológicas e econômicas que a consolidam como uma espécie estratégica para a Amazônia. Os estudos demonstram que a castanheira possui relevante diversidade genética, enquanto os avanços recentes na genômica da espécie ampliam as perspectivas para aplicação em programas de conservação e melhoramento genético. Além disso, as pesquisas biotecnológicas evidenciam novas possibilidades de agregação de valor nos setores alimentício, farmacêutico e cosmecêutico. Entretanto, apesar do potencial promissor, ainda persistem lacunas relacionadas à integração entre os diferentes eixos de pesquisa, indicando que o desenvolvimento científico da espécie nessa temática ainda se encontra em processo de consolidação. Assim, os avanços apresentados reforçam o potencial da castanheira-do-brasil como modelo de interesse para estudos em recursos genéticos, biotecnologia e aplicações voltadas a valorização de espécies florestais amazônicas.

REFERÊNCIAS

ALARCON-AGUIRRE, G. *et al.* Forest loss related to Brazil nut production in non-timber forest product concessions in a micro-watershed in the Peruvian Amazon. **Remote Sensing**, v. 15, n. 23, p. 5438, 2023. <https://doi.org/10.3390/rs15235438>.

AZEVEDO, V. R. *et al.* Coeficiente de repetibilidade para produção de frutos e seleção de matrizes de *Bertholletia excelsa* (Bonpl.) em castanhas nativas do estado do Acre. **Ciência Florestal**, v. 30, n. 1, p. 135-144, 2020. <https://orcid.org/0000-0002-0792-8499>.

BALDONI, A. B. *et al.* Genetic diversity of brazil nut tree (*Bertholletia excelsa* bonpl.) in southern Brazilian Amazon. **For Ecol Manag**, v. 458, p. 117795, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117795>.

CARDOSO, B. R. *et al.* Brazil nuts: nutritional composition, health benefits and safety aspects. **Food Research International**, v. 100, p. 9-18, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.08.036>.

Carpejani, A. A. *et al.* Genetic Diversity of *Bertholletia excelsa* Bonpl.: A Native Species of the Amazon Rainforest. **Floresta e Ambiente**, v. 27, n. 4, p. 1-8, 2020. <https://doi.org/10.1590/2179-8087-FLORAM-2018-0180>.

Catenacci, F. S. *et al.* **Bertholletia in Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <http://floradobrasil2020.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB23424>. Acesso em: 22 mar. 2026.

COELHO, L. M. Genetic diversity in populations of Brazil nut. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, n. 4, p. 382-389, 2017. <http://doi.org/10.1590/198470332017v17n4a57>.

COSTA, F. A. *et al.* **Uma bioeconomia inovadora para a Amazônia: conceitos, limites e tendências para uma definição apropriada ao bioma floresta tropical**. São Paulo: WRI Brasil, 2022. Disponível em: https://www.academia.edu/download/120341239/NEA-BR_Bioeconomia_PT.pdf. Acesso em: 20 abr. 2026.

COSTA, J. R. *et al.* Aspectos silviculturais da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) em sistemas agroflorestais na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 39, n. 4, 2009.

Dourado, J. A. E. *et al.* Biotransformation of Progesterone by *Penicillium paxilli* Isolated from *Bertholletia excelsa* Nuts: Immobilization on Silk Fibroin and Chitin. **Waste and Biomass Valorization**, v. 16, n. 11, p. 5863-5871, 2025. <https://doi.org/10.1007/s12649-025-02982-1>.

Duchelle, A. E. *et al.* Resource theft in tropical forest communities: implications for non-timber management, livelihoods, and conservation. **Ecology and Society**, v. 16, n. 1, p. 4, 2011. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/26268825>. Acessado em: 18 abr 2026.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Nota técnica: impactos climáticos na safra 2024/2025: queda drástica na produção da castanha-da-amazônia e orientações para a cadeia produtiva**. Brasília, DF: Embrapa, 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/99403312/nota-tecnica-impactos-climaticos-na-safra-2024-2025-queda-drastica-na-producao-da-castanha-da-amazonia-e-orientacoes-para-a-cadeia-produtiva> Acessado em: 20 abr 2026.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Brazil nuts – Non-wood forest products statistics**. FAOSTAT, 2022. Disponível em: <https://www.fao.org/forestry/nwfp/statistics/brazil-nuts/en>. Acesso em: 16 abr. 2026.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO. (2014) Non-wood forest products: Brazil nuts. FAOSTAT, 2017. Disponível em: <https://www.fao.org/forestry/nwfp/en/>. Acesso em: 18 abr. 2026.

FERREIRA, A. M. *et al.* *Trichoderma asperellum* Extract Isolated from Brazil Nuts (*Bertholletia excelsa* BONPL): In Vivo and In Silico Studies on Melanogenesis in Zebrafish. **Microorganisms**, v. 11, n. 4, p. 1089, 2023. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11041089>.

Fontoura, B. H. Multivariate and Machine Learning Approaches for Prediction of Antioxidant Potential in *Bertholletia Excelsa* Barks. **Journal of King Saud University – Science**, vol. 35, n 7, p. 102792. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.102792>.

Gatti, L. V. *et al.* Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. **Nature**, v. 595, n 7867, p. 388–393, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03629-6>.

Gomes, S. P. *et al.* Microencapsulated Brazil Nut (*Bertholletia Excelsa*) Cake Extract Powder as an Added-Value Functional Food Ingredient. **Lwt** **116**, v. 108495, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108495>.

Gonçalves, E. V. *et al.* Deciphering the role of the morphophysiology of germination and leaves morphoanatomy for differentiation of Brazil nut genotypes. **Revista Brasileira de Botânica**, vol. 47, n. 1, p. 27–45, 2024. <https://doi.org/10.1007/s40415-023-00977-7>.

Haugaasen, J. M. T. *et al.* Seed dispersal of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*) by scatter-hoarding rodents in a central Amazonian forest. **Journal of Tropical Ecology**, vol. 26, n. 3, p. 251–262, 2010. <https://doi.org/10.1017/S0266467410000027>.

Lima, L. W. *et al.* Selenium accumulation, speciation and localization in Brazil nuts (*Bertholletia excelsa* H.B.K.). **Plants**, vol. 8, n. 8, 2019. <https://doi.org/10.3390/plants8080289>.

Medeiros, T. K. A. *et al.* Traditional knowledge of tree “bleeding” in Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*) management. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, vol. 59, p. e1858, 2024. <https://doi.org/10.5327/Z2176-94781858>.

Mondin, M. *et al.* Karyotype and genome size of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*, Lecythidaceae). A technical note. **Tree Genetics & Genomes**, vol. 21, n. 5, p. 23, 2025. <https://doi.org/10.1007/s11295-025-01709-6>.

Nunes, A. C. P. *et al.* Age trends in *Bertholletia excelsa* Bonpl. progeny test reveals high early selection efficiency and support genetically-oriented thinning management. **New Forests**. vol. 57, p. 1, 2026. <https://doi.org/10.1007/s11056-025-10149-y>.

Page, M. J. *et al.* **PRISMA 2020 explanation and elaboration: Updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews**. *In*: The BMJ. Vol. 372, 2021. <https://doi.org/10.1136/bmj.n160>.

Paiva, L. C. *et al.* Preparation of Nut-Based Milk Alternative: Evaluation of an Amazonian Nut (*Bertholletia Excelsa*) Beverage with Annatto Nanodispersion. **Food Chemistry Advances**, vol. 3, 100506, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100506>.

Pedrozo, C. Â. *et al.* Repetibility of the yield traits of Brazil nut cultivated in Roraima. **Scientia Forestalis**, vol. 49, n. 129, p. e3458, 2021. <https://doi.org/10.18671/sciforv49n129.25>.

Pedrozo, C. Â. *et al.* Repeatability and number of harvests for selection of Amazon nut genotypes in an agroforestry cultivation system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 59, p. e03533, 2024. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2024.v59.03533>.

Ramalho, A. B. *et al.* Diversidade Genética de genótipos de *Bertholletia excelsa* por meio de marcadores moleculares. **Floresta**, Curitiba, v. 46, n. 2, p. 207 - 214, 2016.

Rockwell, C. A. *et al.* Nut production in *Bertholletia excelsa* across a logged forest mosaic: implications for multiple forest use. **PLoS One**, v. 10, n.8, p. e0135464, 2015. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135464>.

Roelis, B. V. *et al.* Divergência genética de Castanheira-do-Brasil por meio de caracteres biométricos de frutos e sementes. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, vol. 9, n. 8, p. 249–259, 2018. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.008.0022>.

Santos, C. *et al.* Biomassa, crescimento e respostas ecofisiológicas de plantas jovens de *Bertholletia excelsa* Bonpl. submetidas a diferentes níveis de irradiância. **Ciência Florestal**, vol. 27, n. 2, p. 557–569, 2017.

Silva, A. A. *et al.* Potencial do extrativismo da castanha-do-pará na geração de renda em comunidades da mesorregião baixo Amazonas, Pará. **Floresta e Ambiente**, v. 20, p. 500–509, 2013. <https://doi.org/10.4322/floram.2013.046>.

Silva, S. C. M. *et al.* Streptomyces Tsukubaensis Fermentation Using Brazil Nut Oil to Enhance Tacrolimus Production. **Journal of Applied Biotechnology Reports**. Vol. 6, 3, p. 109–12, 2019. <https://doi.org/10.29252/JABR.06.03.05>.

Sujii, P. S. *et al.* Genetic structure of *Bertholletia excelsa* populations from the Amazon at different spatial scales. **Conservation Genetics**, vol. 16, n. 4, p. 955–964, 2015. <https://doi.org/10.1007/s10592-015-0714-4>.

Thomas, E. *et al.* Habitat Quality Differentiation and Consequences for Ecosystem Service Provision of an Amazonian Hyperdominant Tree Species. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, 2021. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.621064>.

Tonini, H., & Baldoni, A. B. (2019). Structure and regeneration of *Bertholletia excelsa* bonpl. in Brazil nut groves in the amazon. **Ciencia Florestal**, 29(2), 607–621. <https://doi.org/10.5902/1980509822112>.

Vasquez-Rojas, W. V. *et al.* Extraction and Analytical Characterization of Phenolic Compounds from Brazil Nut (*Bertholletia excelsa*) Skin Industrial by-Product. **Trends in Sciences**. Vol. 20, n 8, 2022. <https://doi.org/10.48048/tis.2023.5457>.

Vasquez-Rojas, W. V. *et al.* Validation of High-Pressure Homogenization Process to Pasteurize Brazil Nut (*Bertholletia excelsa*) Beverages: Sensorial and Quality Characteristics during Cold Storage. **Beverages**, vol. 9, n. 1, 2023. <https://doi.org/10.3390/beverages9010022>.

Wadt, L. H. O. (2015). Mating system variation among populations, individuals and within and among fruits in *Bertholletia excelsa*. **Silvae Genetica**, vol. 64, p. 5–6, 2015.

Wang, H. *et al.* (2025). Long-term human influence on the demography and genetic diversity of the hyperdominant *Bertholletia excelsa* in the Amazon Basin. **Current Biology**, vol. 35, n. 3, p. 629–639. e4. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2024.12.023>.

SOBRE OS ORGANIZADORES

Teonis Batista da Silva

Sou Bacharel em Agronomia pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, *Campus* Petrolina Zona Rural. Especialista em Agronomia pela Faculdade FAVENI, Mestre em Agronomia com ênfase em Horticultura Irrigada pela Universidade do Estado da Bahia (UNEB), *Campus* III, Juazeiro (BA), e atualmente curso Doutorado em Ciências Agrárias pela Universidade Federal do Piauí (UFPI). Atuação e experiência: Minha linha de pesquisa concentra-se em propagação e manejo cultural de plantas, com ampla experiência técnica, científica e acadêmica. Atuo na elaboração de projetos, análises laboratoriais e docência em cursos de nível superior e técnico. Tenho expertise em aulas práticas e teóricas, contribuindo para disciplinas como Anatomia Vegetal, Fisiologia Vegetal, agricultura especial I, Botânica Sistemática e Plantas Medicinais.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9667459552094357>

Jenilton Gomes da Cunha

Graduado em Engenharia Agrônômica pela Universidade Estadual do Piauí (2017), Mestrado em Agronomia/Produção Vegetal pela Universidade Federal do Vale do São Francisco (2019) e Doutorado em Ciências Agrárias pela Universidade Federal do Piauí (2024). Atualmente é bolsista de Pós-doutorado Júnior do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Revisor de periódicos científicos nacionais e internacionais. Desenvolve pesquisas nas áreas de Fisiologia de Plantas Cultivadas com ênfase no desenvolvimento de estratégias para mitigação do estresse abiótico em plantas, Manejo e Tratos Culturais e nutrição mineral de plantas.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2273843380199883>

ÍNDICE REMISSIVO

.....



científica digital



VENDA PROIBIDA - ACESSO LIVRE - OPEN ACCESS

