MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SOCIOBIOECONOMIA NO AMAPÁ: IMPACTOS NA PRODUÇÃO DE AÇAÍ E CASTANHA-DA-AMAZÔNIA (2013–2023)

CLIMATE CHANGE AND SOCIO-BIOECONOMY IN AMAPÁ: IMPACTS ON AÇAÍ AND BRAZIL NUT PRODUCTION (2013–2023)

Grupo de Trabalho (GT): GT04 – Sociobioeconomia e exploração dos recursos naturais na Amazônia

Argemiro Midonês Bastos – Instituto Federal do Amapá (IFAP), e-mail: argemiro.bastos@ifap.edu.br
Marilia Gabriela Silva Lobato – Universidade Federal do Amapá (UNIFAP), e-mail: mariliaunifap@gmail.com

Resumo
As mudanças climáticas impactam diretamente a biodiversidade e a economia das regiões tropicais, alterando a distribuição e o ciclo de vida de espécies-chave da bioeconomia. Este estudo investiga a relação entre variáveis climáticas e a produção agrícola de açaí (*Euterpe oleracea Mart.*) e castanha-da-Amazônia (*Bertholletia excelsa Bonpl.*) no estado do Amapá, Brasil, entre os anos de 2013 e 2023. Utilizando técnicas de regressão múltipla, analisamos o impacto da temperatura e da precipitação sobre a produtividade dessas culturas. Os achados sugerem que o aumento da temperatura média anual está positivamente correlacionado com a produção de açaí e negativamente correlacionado com a produção de castanha. As conclusões destacam implicações para estratégias de manejo sustentável e políticas de adaptação frente às mudanças climáticas. A pesquisa pavimenta o caminho para estudos futuros que explorem a resiliência das espécies aos eventos climáticos extremos e alerta para a criação de políticas públicas baseadas em evidências para mitigar os impactos ambientais. Ademais, o desenvolvimento de tecnologias para monitorar essas alterações em tempo real poderia transformar o cenário de gestão de recursos naturais na Amazônia, promovendo uma base sustentável que coordene esforços locais e globais. Estas ações não só protegeriam o ecossistema, mas também potencializariam a economia baseada em recursos naturais, alimentando um ciclo de inovação e sustentabilidade.
Palavras-chave: Bioeconomia. Mudanças Climáticas. Regressão Múltipla. Amapá. Açaí. Castanha-da-Amazônia.

Abstract
Climate change directly affects biodiversity and the economy of tropical regions, altering the distribution and life cycle of key bioeconomy species. This study examines the relationship between climatic variables and the agricultural production of açaí (Euterpe oleracea Mart.) and Brazil nut (Bertholletia excelsa Bonpl.) in the state of Amapá, Brazil, from 2013 to 2023. Using multiple regression techniques, we analyzed the impact of temperature and precipitation on the productivity of these crops. The findings suggest that an increase in average annual temperature is positively correlated with açaí production and negatively correlated with Brazil nut production. The conclusions highlight implications for sustainable management strategies and adaptation policies in response to climate change. The research paves the way for future studies exploring species resilience to extreme climatic events and emphasizes the need for evidence-based public policies to mitigate environmental impacts. Furthermore, the development of technologies to monitor these changes in real time could transform natural resource management in the Amazon, fostering a sustainable foundation that coordinates local and global efforts. These actions would not only protect the ecosystem but also enhance the natural resource-based economy, fueling a cycle of innovation and sustainability.
***Keywords**: Bioeconomy. Climate Change. Multiple Regression. Amapá. Açaí. Brazil Nut.*

1. Introdução

A Amazônia brasileira representa uma das maiores reservas de biodiversidade e serviços ecossistêmicos do planeta. O estado do Amapá, inserido nesse contexto, destaca-se pela produção de recursos florestais não madeireiros, especialmente o açaí (*Euterpe oleracea Mart.*) e a castanha-da-Amazônia (*Bertholletia excelsa Bonpl.*). A produção desses recursos além de sustentar a economia local, também integra mercados internacionais que valorizam produtos

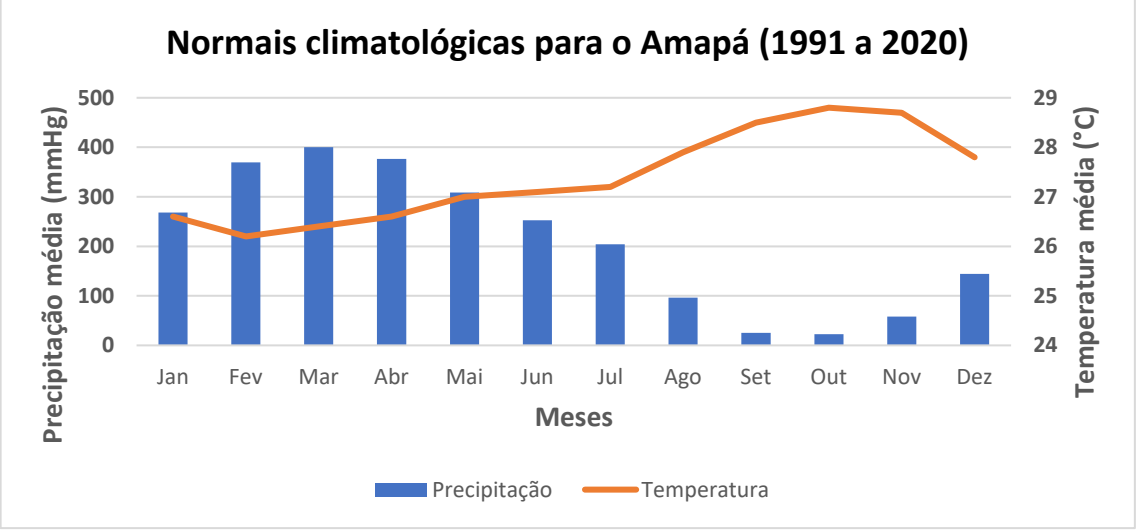
sustentáveis da floresta (da Silva et al., 2023). Contudo, a crescente preocupação com os impactos das mudanças climáticas sobre a produção agrícola e florestal motiva investigações mais aprofundadas. Estudos como os de Marengo et al. (2018) apontam alterações nos padrões de temperatura e precipitação na Amazônia, os quais podem influenciar tanto o crescimento quanto a produtividade dessas culturas.

O Amapá, parte integrante da Amazônia brasileira, enfrenta desafios específicos em termos de mudança climática que ameaçam a sua biodiversidade e, consequentemente, as espécies que sustentam a bioeconomia local. Com o aquecimento global intensificando eventos climáticos e alterando ecossistemas, a região tem visto modificações na distribuição de espécies, que afetam ecossistemas inteiros e os serviços aos quais fornecem suporte. Espécies-chave cujos ciclos de vida são críticos para a economia local, como a castanha-do-Brasil e o açaí, podem enfrentar riscos de sobrevivência e distribuição que impactam diretamente a produção e o sustento das comunidades dependentes desses recursos.

Além disso, a literatura carece de análises quantitativas específicas para o estado do Amapá, onde peculiaridades climáticas e edafológicas podem modificar respostas fisiológicas das plantas. A compreensão desses fatores é fundamental para a construção de políticas públicas alinhadas à bioeconomia e à segurança alimentar.

Devido sua localização próxima à linha do equador, o clima no Amapá é quente e úmido. Os totais pluviométricos, superiores a 2.500 mm, distribuem-se em dois períodos distintos: um chuvoso, de janeiro a junho, com uma máxima de 403 mm em março e outro menos chuvoso, nos meses restantes, quando ocorre um mínimo de 26 mm em outubro (Souza e Cunha, 2010). Em média, no período chuvoso incidem mais de 85% das precipitações registradas anualmente. A variação anual da temperatura é pequena (+/- 3 °C). A Figura 1 apresenta as normais climatológicas para o estado.

Figura 1. Normais climatológicas da precipitação e temperatura média do ar para o amapá entre 1991 e 2020.



Fonte NHMET – IEPA. 2025.

Segundo Souza et al (2009), a característica intrínseca do clima da Amazônia é a presença de um amplo espectro de variações no tempo e no espaço da atividade convectiva tropical e da precipitação, as quais se tornam as variáveis climáticas mais importantes da região.

De acordo com Souza e Cunha (2010), alguns dos mecanismos climáticos moduladores de chuva acima ou abaixo do normal no Amapá é a composição das anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) nos Oceanos Pacífico e Atlântico e as fases do Dipolo de Temperatura no Atlântico Tropical (positivo e negativo), correspondentes aos eventos de chuva acima do normal associadas ao fenômeno El Niño (aquecimento com anomalias negativas de precipitação) /La Niña (anomalias positivas de precipitação).

As interconexões entre mudanças climáticas e biodiversidade são complexas e multifacetadas, envolvendo retroalimentações que amplificam ou mitigam os efeitos climáticos. A variação na distribuição das espécies devido ao aquecimento global pode levar à perda de interações ecológicas, como a polinização, fundamental para a reprodução de muitas plantas. Estas interações destacam a necessidade de estratégias integradas de conservação e mitigação dos impactos climáticos.

No contexto da bioeconomia, as espécies-chave referem-se àquelas que desempenham um papel central nos ecossistemas, influenciando a estrutura, os processos e seu funcionamento (Mace et al., 2012). No Amapá, tais espécies são vitais não apenas para a manutenção da biodiversidade, como para as comunidades que dependem de seus recursos para sustento e desenvolvimento econômico. Essas espécies são selecionadas com base em critérios como abundância, papel ecológico e valor econômico, contribuindo decisivamente para atividades que vão desde o manejo sustentável de florestas até a produção de fitoterápicos e produtos alimentícios tradicionais. As espécies-chave da bioeconomia no Amapá mostram-se vulneráveis às mudanças climáticas devido à sua sensibilidade a alterações no clima e no habitat. Mudanças na temperatura e padrões de precipitação afetam diretamente a distribuição e a sobrevivência dessas espécies, comprometendo sua capacidade de adaptação e persistência. A degradação do habitat e a ocorrência de eventos climáticos extremos aumentam os riscos de declínios populacionais, impactando não apenas a biodiversidade, mas também as comunidades que dependem dessas espécies para subsistência. Medidas de mitigação e adaptação são essenciais para proteger essas espécies e seus papéis ecológicos.

O açaí (*Euterpe oleracea Mart.*) é uma palmeira nativa da Amazônia amplamente distribuída nas várzeas e áreas de igapó da região Norte do Brasil, com destaque para os estados do Pará e do Amapá, onde exerce papel central tanto ecológica quanto economicamente. No Amapá, o açaí é considerado uma espécie-chave por seu papel nos ecossistemas de várzea, influenciando a estrutura e o funcionamento desses ambientes, além de sustentar práticas extrativistas que garantem segurança alimentar, geração de renda e identidade cultural para comunidades ribeirinhas e urbanas (Homma, 2012a). A produção do fruto ocorre predominantemente entre os meses de julho e dezembro, sendo fortemente dependente das condições climáticas locais, como regime de chuvas e níveis dos rios (Faleiro et al., 2021). Diante das projeções das mudanças climáticas, que indicam alterações nos padrões de precipitação e aumento das temperaturas médias na Amazônia, há riscos consideráveis para a produtividade do açaí, incluindo mudanças no ciclo fenológico da planta, maior incidência de pragas e redução na oferta hídrica (Rais et al., 2022). Esses impactos podem comprometer tanto a economia regional, como os serviços ecossistêmicos associados ao açaizal, como a conservação da biodiversidade e a proteção dos recursos hídricos.

A castanha-da-Amazônia (*Bertholletia excelsa Bonpl.*), também conhecida como castanha-do-Pará ou castanha-do-Brasil, é uma espécie nativa da floresta amazônica, com distribuição natural concentrada nos estados do Acre, Amazonas, Pará, Rondônia e Amapá, além de ocorrer em áreas da Bolívia e do Peru. Trata-se de uma espécie-chave para a conservação da floresta, pois depende da integridade do ecossistema amazônico para sua reprodução, polinização e dispersão (Peres et al., 2003). No estado do Amapá, a castanha

representa uma importante fonte de renda para comunidades extrativistas e populações tradicionais localizadas no sul do estado, além de desempenhar papel relevante na segurança alimentar e na bioeconomia regional. A produção ocorre principalmente por meio do extrativismo sustentável, entre os meses de dezembro e março, e depende de fatores ecológicos como a presença de polinizadores (abelhas do gênero Euglossa) e a estabilidade climática (Wadt et al., 2008). Mudanças climáticas, com a intensificação de eventos extremos, alteração do regime de chuvas e aumento da temperatura média, podem impactar negativamente a produção da castanha, comprometendo o florescimento, a fecundação e a frutificação da espécie (Thornton et al., 2021). Isso coloca em risco não apenas a economia de base florestal, mas também a conservação da biodiversidade e a resiliência dos sistemas socioecológicos amazônicos.

A hipótese orientadora deste estudo é de que a variação anual da temperatura e da precipitação afeta de maneira diferenciada a produção de açaí e castanha. O objetivo geral é modelar essas relações e projetar cenários futuros que subsidiem estratégias adaptativas. Dessa forma, este trabalho contribui para o avanço da literatura sobre a interação clima-produção, além de constituir uma ferramenta adicional para tomadores de decisão e agricultores no Amapá.

2. Cadeias produtivas na Amazônia e no estado do Amapá

A bioeconomia tem emergido como uma alternativa promissora à promoção do desenvolvimento sustentável na Amazônia, especialmente ao integrar conservação ambiental, valorização da biodiversidade e geração de renda para populações tradicionais e comunidades locais. Nesse contexto, o fortalecimento das cadeias produtivas regionais baseadas em recursos da sociobiodiversidade apresenta-se como um dos pilares à consolidação de uma economia de base sustentável. No estado do Amapá, inserido integralmente na região amazônica e com uma das maiores proporções de áreas protegidas do país, os arranjos produtivos locais ligados à bioeconomia assumem papel estratégico para a promoção de políticas públicas voltadas ao desenvolvimento regional.

As cadeias produtivas na Amazônia são profundamente marcadas pela diversidade biológica e cultural. Produtos como açaí (*Euterpe oleracea Mart.*), castanha-da-Amazônia (*Bertholletia excelsa*), copaíba (*Copaifera spp.*), andiroba (*Carapa guianensis*), pirarucu (*Arapaima gigas*), e o camarão amazônico (*Macrobrachium amazonicum*) exemplificam cadeias com alto potencial econômico e ecológico, dada sua origem em sistemas de manejo tradicional, extrativismo sustentável ou aquicultura de baixo impacto. Autores como Homma (2012b), ao propor o modelo de transição da economia extrativista para a economia de plantio, destacam os limites e oportunidades da domesticação de espécies nativas e a inserção dessas atividades no mercado formal. Já Pinto et al. (2018) ressaltam a importância das políticas públicas de incentivo à produção sustentável e à agregação de valor, como estratégias para aumentar a competitividade das cadeias produtivas amazônicas.

No caso do Amapá, produtos como o açaí e o pescado oriundo da pesca artesanal destacam-se como os mais representativos em termos econômicos. O estado é reconhecido nacionalmente pela qualidade de seu açaí, cuja cadeia envolve milhares de produtores familiares e ribeirinhos (IBGE, 2021). Além disso, iniciativas de manejo sustentável do pirarucu e projetos de aquicultura com espécies nativas, como o camarão da Amazônia, têm ganhado relevância em programas de pesquisa e extensão. Políticas públicas devem ser elaboradas de forma territorializada, considerando as especificidades socioeconômicas e culturais de cada comunidade. A implementação de instrumentos como os Planos de Cadeia de Valor e os Arranjos Produtivos Locais (APLs) pode favorecer a governança e o planejamento

integrado das cadeias produtivas. Além disso, o fortalecimento de iniciativas de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I), com o envolvimento das universidades, institutos de pesquisa e centros de inovação tecnológica locais, é fundamental para agregar valor aos produtos da biodiversidade e estimular empreendimentos bioeconômicos de base comunitária. Estudos sobre os eventuais impactos nesta bioeconomia, a partir de um cenário cada vez mais evidente de mudanças climáticas, é então, imprescindível.

3. Sociobioeconomia na Amazônia e no estado do Amapá

A sociobioeconomia surge como uma evolução conceitual e prática da bioeconomia, incorporando dimensões sociais, culturais e territoriais ao uso sustentável da biodiversidade. Na região amazônica, essa abordagem se mostra particularmente relevante por reconhecer o protagonismo de povos indígenas, comunidades tradicionais, ribeirinhos e agricultores familiares na construção de modelos econômicos sustentáveis baseados em saberes locais, diversidade biológica e justiça social. O estado do Amapá, com mais de 70% de seu território coberto por áreas protegidas e uma rica diversidade sociocultural, representa um cenário estratégico para a implementação de práticas sociobioeconômicas. A integração entre conservação ambiental, valorização dos saberes tradicionais e inclusão socioeconômica configura-se como eixo estruturante para políticas públicas que buscam promover o desenvolvimento com equidade e respeito à diversidade. A sociobioeconomia diferencia-se da bioeconomia tradicional por enfatizar, além da exploração sustentável de recursos naturais, as relações sociais e os modos de vida associados a esses recursos. Conforme apontam Grinspun e Coraggio (2021), essa abordagem demanda uma perspectiva de desenvolvimento endógeno, territorializado e orientado pelos princípios da economia solidária, da justiça ambiental e da soberania alimentar.

No contexto amazônico, autores como Sabourin et al. (2017) e Piketty et al. (2020) defendem que a sociobioeconomia representa uma via promissora para superar a lógica extrativista predatória e promover alternativas produtivas sustentáveis que respeitam os direitos territoriais e os sistemas de conhecimento das populações locais. Essas alternativas envolvem cadeias produtivas vinculadas a produtos florestais não madeireiros, pesca artesanal, agricultura de base agroecológica, turismo de base comunitária e etnoconhecimento aplicado à saúde e à alimentação. O Amapá destaca-se como um dos estados com maior proporção de territórios ocupados por unidades de conservação e terras indígenas, o que confere à região um papel fundamental na manutenção dos serviços ecossistêmicos e da diversidade cultural amazônica. Nesse contexto, está a cadeia do açaí agroextrativista, amplamente manejada por ribeirinhos e pequenos produtores em sistemas agroflorestais, com impacto significativo na geração de renda e segurança alimentar.

4. Impactos das mudanças climáticas nas cadeias produtivas do Amapá e o papel da sociobioeconomia na mitigação de riscos

O aquecimento global e as mudanças climáticas associadas têm provocado transformações significativas em ecossistemas, ciclos hidrológicos e padrões meteorológicos, com impactos diretos e indiretos sobre as cadeias produtivas dependentes de recursos naturais. Na Amazônia, onde predomina a agricultura familiar, o extrativismo e sistemas agroflorestais tradicionais, os efeitos dessas mudanças são potencialmente severos e desproporcionalmente distribuídos. O estado do Amapá, apesar de sua vasta cobertura florestal e menor índice de desmatamento em relação a outros estados amazônicos, está longe de ser imune aos efeitos do clima. O aumento da temperatura média, a alteração no regime de chuvas e a maior frequência de eventos extremos já afetam a dinâmica ecológica e produtiva da região. Cadeias produtivas

essenciais como a do açaí (*Euterpe oleracea*) e da castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*), pilares da sociobioeconomia local, encontram-se entre as mais vulneráveis.

De acordo com o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2016), a região Norte do Brasil tende a enfrentar uma elevação de até 3°C na temperatura média até 2050, associada à redução do volume pluviométrico em até 20% em determinadas áreas. Tais alterações impactam diretamente espécies sensíveis a variações hídricas e térmicas, como o açaízeiro e a castanheira, cujos ciclos reprodutivos dependem fortemente da sincronia entre precipitação e fenologia.

Estudos recentes (Silva et al., 2021; Brondízio et al., 2016) alertam para o aumento da mortalidade de castanheiras em áreas afetadas por seca prolongada, queimadas e mudanças no padrão hídrico. No caso do açaí, a elevação da temperatura e a diminuição da umidade podem comprometer a floração e a frutificação, além de favorecer pragas e doenças. O Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM, 2022) destaca que comunidades extrativistas e ribeirinhas, que tradicionalmente operam com pouca infraestrutura e dependem diretamente do clima para suas práticas, tendem a ser as mais impactadas. No Amapá, isso é agravado pela baixa presença do Estado em regiões de difícil acesso, o que compromete ações preventivas e de apoio técnico.

O açaí é o principal produto agrícola do Amapá, responsável por movimentar milhões de reais por ano e gerar emprego e renda para milhares de famílias. Produzido majoritariamente em várzeas e áreas de igapó, o açaízeiro requer condições hídricas específicas e alta umidade relativa do ar para frutificar adequadamente. Já a castanha-da-Amazônia, espécie nativa de florestas maduras e de crescimento lento, a castanheira depende de polinizadores específicos (principalmente abelhas de grande porte) e de longos períodos secos para a dispersão eficiente das sementes. Alterações no regime de chuvas afetam diretamente esse ciclo (Wadt et al., 2018).

A sociobioeconomia, ao articular conhecimento tradicional, uso sustentável da biodiversidade e organização comunitária, apresenta-se como uma estratégia eficaz de enfrentamento dos desafios impostos pelas mudanças climáticas. No Amapá, iniciativas sociobioeconômicas têm promovido práticas resilientes e adaptativas, como: Diversificação produtiva agroflorestal, que reduz a dependência de uma única espécie e aumenta a estabilidade ecológica dos sistemas; Valorização do manejo tradicional adaptativo, em que comunidades ajustam práticas conforme o comportamento climático local, com base em observações empíricas; Fortalecimento das organizações de base comunitária, como associações e cooperativas, que ampliam o acesso a políticas públicas e mercados diferenciados; Promoção de cadeias de valor sustentáveis, com inclusão de critérios socioambientais, certificações e pagamento por serviços ambientais (PSA).

Autores como Altieri e Nicholls (2017) argumentam que sistemas produtivos baseados em agroecologia e sociobioeconomia são mais resilientes às mudanças climáticas por sua estrutura policultural, foco na biodiversidade funcional e uso eficiente dos recursos naturais. As mudanças climáticas representam uma ameaça real e crescente às cadeias produtivas amapaenses, especialmente aquelas vinculadas à sociobiodiversidade, como o açaí e a castanha-da-Amazônia. Diante deste cenário, a sociobioeconomia surge como alternativa tanto de mitigação, como de construção de um modelo resiliente de desenvolvimento sustentável para a Amazônia. Integrar políticas climáticas às políticas de sociobioeconomia é essencial para garantir a segurança alimentar, a manutenção dos modos de vida tradicionais e a conservação dos ecossistemas amazônicos. O fortalecimento das capacidades locais, a valorização dos saberes tradicionais e a promoção de sistemas produtivos diversificados são, portanto, estratégias centrais para enfrentar os desafios do clima e construir um futuro sustentável para o Amapá e toda a Amazônia.

5. Procedimentos metodológicos

Este estudo adotou uma abordagem quantitativa e exploratória, com foco na análise estatística de séries temporais de produção agrícola e variáveis climáticas no estado do Amapá, Brasil, durante o período de 2016 a 2022. Os dados de produção de o açaí (*Euterpe oleracea Mart.*) e a castanha-da-Amazônia (*Bertholletia excelsa Bonpl.*) foram obtidos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), enquanto os dados de temperatura média anual e precipitação anual foram obtidos do Núcleo de Hidrometeorologia do Amapá (INHMET). A escolha dessas culturas baseou-se em sua relevância socioeconômica para a bioeconomia regional e sua sensibilidade a variações climáticas, conforme discutido por Nogueira et al. (2020) e Fearnside (2021).

Inicialmente, foi realizada uma análise descritiva para caracterizar a distribuição das variáveis e identificar tendências temporais. Para assegurar a adequação dos dados às análises paramétricas subsequentes, aplicou-se o teste de normalidade de Shapiro-Wilk a cada conjunto de dados (produção de açaí, castanha, temperatura e precipitação). Esta etapa permitiu validar o pressuposto de normalidade, fundamental para a robustez das análises de correlação e regressão linear (Tabela 1). O software R (versão 4.3.2) foi utilizado para todas as análises estatísticas, conforme as práticas recomendadas por Crawley (2012).

Tabela 1. Dados de entrada utilizados na modelagem

Ano	Açaí (t)	Castanha (t)	Temperatura (°C)	Precipitação (mm)
2013	2036	438	28,0	235
2014	2225	466	27,9	209
2015	2413	473	28,5	193
2016	2627	489	28,2	209
2017	2770	476	28,2	192
2018	2873	437	27,8	219
2019	3059	405	28,3	244
2020	3067	416	28,5	188
2021	3207	397	28,3	220
2022	3298	400	28,2	212
2023	3296	384	28,7	194

Fonte: Os autores, 2025. A partir de dados do IBGE e INMET.

Posteriormente, investigou-se as associações bivariadas entre as variáveis por meio do coeficiente de correlação de Pearson. A correlação foi escolhida devido à sua capacidade de medir a intensidade e a direção da relação linear entre variáveis contínuas. A interpretação dos coeficientes seguiu os critérios de Dancey & Reidy (2017), considerando correlações fracas ($|r| < 0,3$), moderadas ($0,3 \leq |r| < 0,7$) e fortes ($|r| \geq 0,7$). O nível de significância adotado foi de 5% ($\alpha = 0,05$). Adicionalmente, gráficos de dispersão com linhas de tendência (regressão simples) foram construídos para visualizar as relações entre variáveis de produção e variáveis climáticas.

A seguir, foram ajustados modelos de regressão linear simples, com a produção de açaí e castanha como variáveis dependentes e a temperatura média anual e precipitação como variáveis independentes. Esta modelagem teve como objetivo quantificar o impacto específico de cada variável climática sobre a produção agrícola. O critério de seleção dos modelos baseou-se na significância estatística dos coeficientes, no coeficiente de determinação (R^2) e na análise dos resíduos, conforme diretrizes de Kutner et al. (2004). Os modelos que apresentaram resíduos homocedásticos e normalmente distribuídos foram considerados adequados.

A regressão múltipla foi empregada para modelar a produção como função das variáveis climáticas. O modelo geral assume a forma:

$$\mathbf{acai = \beta0 + \beta1 * temperatura + \beta2 * chuva + \epsilon}$$

$$\mathbf{castanha = \beta0 + \beta1 * temperatura + \beta2 * chuva + \epsilon}$$

Diagnósticos de pressupostos do modelo (normalidade dos resíduos, homocedasticidade, multicolinearidade) foram realizados com gráficos de resíduos e testes estatísticos. Finalmente, predições foram realizadas para o período de 2024 a 2026, considerando tendências observadas.

Por fim, todas as análises e visualizações foram organizadas em tabelas e gráficos para facilitar a interpretação dos resultados. Esta abordagem metodológica permite a compreensão das relações estatísticas entre clima e produção, além de fundamentar recomendações práticas à gestão sustentável da agricultura no contexto da variabilidade climática do Amapá.

6. Resultados e discussão

Os testes de Shapiro-Wilk indicaram normalidade em todos os conjuntos de dados ($p > 0,05$). Correlações de Pearson revelaram associações significativas entre a produção de açaí e a temperatura ($r = 0,75$, $p < 0,01$), bem como entre a produção de castanha e a temperatura ($r = -0,56$, $p < 0,01$).

Tabela 2. Correlações de Pearson entre variáveis

Variáveis	Coeficiente (r)	Valor-p
Açaí ~ Temperatura	0,78	< 0,01
Castanha ~ Temperatura	-0,56	< 0,01
Açaí ~ Precipitação	0,13	0,63
Castanha ~ Precipitação	-0,11	0,048

Fonte: Dados da pesquisa, 2025.

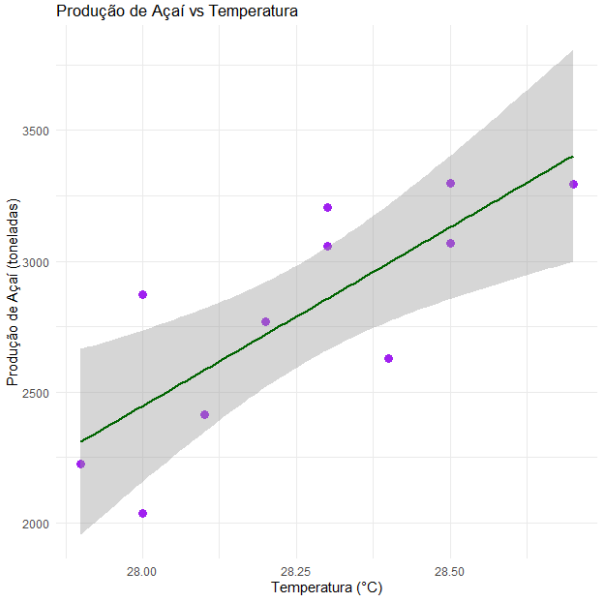
A relação positiva entre temperatura e produção de açaí confirma a adaptabilidade dessa espécie a condições mais quentes, corroborando Santos et al. (2020). O açaizeiro, adaptado a áreas de várzea, demonstra plasticidade fenotípica que favorece seu crescimento em climas quentes e úmidos. A equação estimada para o modelo de regressão evidencia que a produção de açaí no Amapá, no período de 2013 a 2023, é influenciada por variáveis climáticas, especificamente temperatura média anual. O modelo obtido:

$$\widehat{acai} = \mathbf{-35.802,2 + 136,6 \cdot temperatura}$$

apresenta um coeficiente de determinação (R^2) de 0,615, indicando que aproximadamente 62% da variação observada na produção de açaí é explicada, pela variável climática analisada. Este valor de R^2 sugere um excelente ajuste do modelo aos dados empíricos, reforçado ainda pela significância estatística global do modelo ($p < 0,001$).

Considerando que a variável precipitação mostrou-se pouco significativa, optamos por um modelo de regressão para o açaí somente com a variável temperatura. O modelo apresentou R^2 ajustado de 62% ($p < 0,01$), com efeito positivo significativo da temperatura ($\beta = 1366$; $p < 0,01$) (Figura 2).

Figura 2. Relação entre produção de açaí e temperatura



Fonte: Dados da pesquisa, 2025.

A análise dos coeficientes individuais revela que a temperatura exerce um efeito positivo e significativo sobre a produção de açaí: um aumento de 0,1°C na temperatura média está associado a um acréscimo estimado de 136,6 toneladas de açaí, mantendo constante o nível de precipitação. Estes resultados corroboram estudos anteriores (Nogueira et al., 2020; Fearnside, 2021) que destacam a adaptabilidade do açaí a climas mais quentes, porém sensível ao excesso de umidade. Portanto, o modelo sugere que o aumento da temperatura, dentro de certos limites, favorece a produtividade do açaí no Amapá.

A aplicação do modelo preditivo desenvolvido neste estudo permite projetar cenários futuros da produção de açaí no estado do Amapá com base em tendências climáticas observadas. Considerando um cenário de aumento da temperatura média anual para 29,0°C em 2026, o modelo estima uma produção de aproximadamente 3.812 toneladas de açaí. Este valor reflete um incremento de 16% em relação à produção de 2023, corroborando a evidência empírica de que o açaí responde positivamente a elevações moderadas de temperatura. O intervalo de predição calculado, entre 3.181 e 4.443 toneladas (com nível de confiança de 95%), oferece uma estimativa robusta e confiável para o planejamento agrícola regional.

Este resultado indica que, mantidas as demais condições constantes (notadamente os níveis de precipitação próximos à média histórica), o aquecimento gradual pode favorecer a expansão da produtividade do açaí (Tabela 3), reforçando o papel estratégico desta cultura para a bioeconomia amazônica. Contudo, ressalta-se a importância de monitorar continuamente os efeitos de extremos climáticos, como estiagens prolongadas ou eventos de chuvas excessivas, que podem alterar a dinâmica produtiva a longo prazo. Esses achados fornecem subsídios valiosos para o desenvolvimento de políticas públicas de adaptação e manejo sustentável da produção de açaí no Amapá, em consonância com os objetivos de mitigação e adaptação às mudanças climáticas.

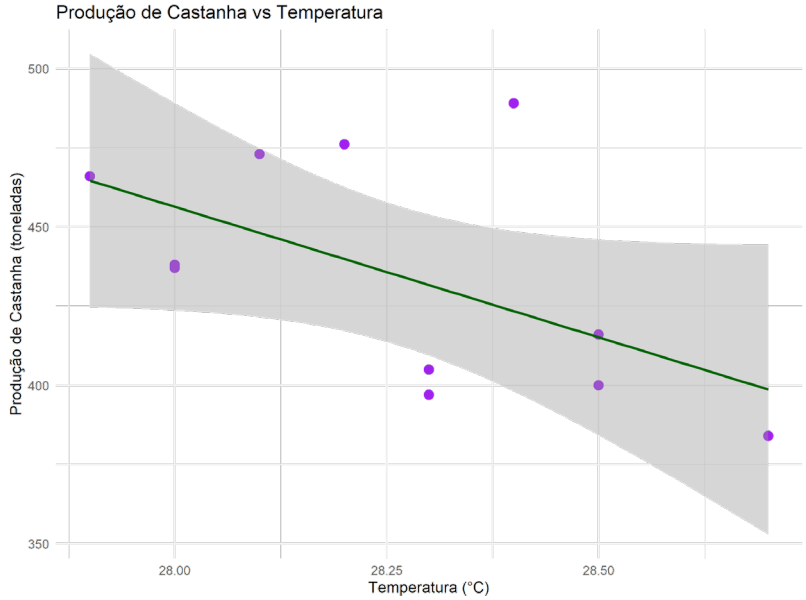
Tabela 3: Projeção de cenário para produção de açaí no período 2024–2026 com temperaturas projetadas

Ano	Temp (°C)	Predição (Toneladas)	Aumento na produção (%)	IC Inferior	IC Superior
2024	28,8	3539,137	7	3060,722	4017,552
2025	28,9	3675,738	4	3121,857	4229,620
2026	29,0	3812,340	4	3181,487	4443,193

Fonte: Dados da pesquisa, 2025.

O modelo sugere que a relação entre produção de açaí e temperatura existe, mas não explica toda a variação — há outros fatores influenciando a produção de açaí (como manejo, solo, políticas públicas etc.) não avaliadas neste estudo. Considerando que a variável precipitação mostrou-se pouco significativa, optamos por um modelo de regressão para a castanha somente com a variável temperatura. O modelo obteve R^2 ajustado de 32% ($p < 0,01$), com efeitos negativos de temperatura ($\beta = -82,41$; $p < 0,01$). (Figura 3).

Figura 3. Relação entre produção de castanha e temperatura



Fonte: Dados da pesquisa, 2025.

Em contraste, ao comportamento do açaizeiro, a castanha-da-Amazônia revelou sensibilidade à elevação da temperatura, como sugerido por Zuidema & Boot (2002). O estresse hídrico e térmico pode comprometer a floração e frutificação dessa espécie de floresta de terra firme.

A equação estimada para a produção de castanha-da-Amazônia no Amapá:

$$\widehat{castanha} = 2.763,92 - 8,24 \cdot temperatura$$

revela que a variável climática analisada exerce influência negativa sobre o desempenho produtivo desta cultura no período de 2013 a 2023. O modelo apresentou um coeficiente de determinação (R^2) de 31,36, indicando que aproximadamente 31% da variação observada na produção de castanha é explicada pela temperatura média anual. A significância global do modelo ($p < 0,001$) demonstra a robustez estatística da relação estimada. A análise dos

coeficientes individuais evidencia que a temperatura possui um impacto substancialmente negativo sobre a produção: um aumento de 0,1°C na temperatura média anual está associado a uma redução de aproximadamente 8,24 toneladas na produção de castanha, mantendo-se constante o nível de precipitação.

Esses resultados estão alinhados com a literatura que destaca a sensibilidade da castanheira a alterações térmicas, uma vez que esta espécie apresenta requisitos ecológicos mais restritos e maior dependência de estabilidade climática para processos como floração, frutificação e dispersão (Nogueira et al., 2020; Fearnside, 2021).

Em síntese, o modelo sugere que o aumento de temperatura, conforme as tendências projetadas para a Amazônia, poderá representar um fator limitante para a sustentabilidade da produção de castanha no Amapá, exigindo estratégias de manejo adaptativo e conservação genética para mitigar esses impactos.

A aplicação do modelo preditivo para a produção de castanha-da-Amazônia no Amapá revela uma tendência de declínio da produtividade em cenários de aumento da temperatura média anual. Com base nas projeções climáticas para o ano de 2026, a produção estimada é de aproximadamente 274 toneladas, representando uma redução de cerca de 3% em relação às 384 toneladas produzidas em 2023 (Tabela 4). Este resultado indica que, caso a temperatura continue a se elevar conforme as tendências observadas na região amazônica, a sustentabilidade da cadeia produtiva da castanha poderá ser comprometida no curto e médio prazo.

Apesar de o modelo demonstrar média robustez estatística e poder explicativo (R^2 = 32%), tais evidências enfatizam a necessidade de estratégias adaptativas, como o desenvolvimento de sistemas agroflorestais mais resilientes, a conservação de áreas de floresta madura — onde as castanheiras se desenvolvem melhor — e o monitoramento de condições climáticas críticas.

Em síntese, o modelo aponta riscos significativos para a produção de castanha sob o cenário de aquecimento regional, fornecendo subsídios valiosos para gestores públicos, agricultores e formuladores de políticas no desenvolvimento de ações de mitigação e adaptação no contexto da bioeconomia amazônica.

Tabela 4: Projeção de cenário para produção de castanha-da-Amazônia no período 2024–2026 com temperaturas projetadas

Ano	Temp (°C)	Predição (Toneladas)	Aumento na produção (%)	IC Inferior	IC Superior
2024	28,8	390,43	3	444,40	2024
2025	28,9	382,19	2	444,67	2025
2026	29,0	373,95	2	445,11	2026

Fonte: Dados da pesquisa, 2025.

7. Considerações Finais

Este estudo demonstrou, por meio de modelagem estatística, que o açaí tende a se beneficiar do aumento da temperatura média anual no Amapá, ao passo que a castanha-da-Amazônia pode sofrer reduções significativas de produtividade.

A metodologia empregada mostrou-se eficaz na identificação de padrões e projeções, oferecendo subsídios relevantes para o planejamento agrícola e ambiental.

As implicações para o Amapá são relevantes. O fortalecimento da cadeia produtiva do açaí pode ser estratégico frente ao aquecimento regional, enquanto medidas de conservação e manejo da castanha devem ser priorizadas.

Além disso, políticas públicas de apoio à pesquisa, extensão e infraestrutura são recomendadas para garantir a resiliência dessas cadeias produtivas.

Este trabalho contribui para a literatura e pode servir como base para estratégias de sustentabilidade e segurança alimentar no Amapá.

Recomenda-se a realização de estudos complementares que incorporem variáveis edafoclimáticas e aspectos socioeconômicos para uma abordagem integrada.

8. Referencias

Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. Agroecology: A brief account of its origins and currents of thought in Latin America. Agroecology and Sustainable Food Systems, 41(3–4), 231–237. 2017.

Brondízio, E. S. et al. The role of small farmers in the promotion of sustainable development in the Amazon. Philosophical Transactions of the Royal Society B, 371(1707), 20150461. 2016.

Crawley, M. J. The R Book. 2. ed. Chichester: Wiley, 2012. 1051 p.

da Silva, G.R., Tabarelli, M., Jardim, M.A.G., Cruz, E.D. & Barros, M.F. Açaí palm management disturbs seed rain and soil seed bank of an Amazonian estuarine forest. Austral Ecology, 48, 1132–1153. 2023. Available from: https://doi.org/10.1111/aec.13347

Dancey, C. P.; Reidy, J. Statistics Without Maths for Psychology: Using SPSS for Windows. 7. ed. Harlow: Pearson, 2017. 644 p.

Faleiro, F. G. et al. Açaí: produção, agroindustrialização e mercado. Brasília, DF: Embrapa, 2021. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1135687 . Acesso em: 08 mai de 2025.

Fearnside, P. M. Mudanças climáticas e as florestas da Amazônia. Acta Amazonica, Manaus, v. 51, n. 1, p. 1–9, 2021. DOI: https://doi.org/10.1590/1809-4392202002731.

Grinspun, R., & Coraggio, J. L. Sociobioeconomia e alternativas ao desenvolvimento hegemônico. Fundação Perseu Abramo. 2021.

Homma, A. K. O. O avanço da fronteira agrícola na Amazônia: do boom da madeira ao cultivo do dendê. Estudos Sociedade e Agricultura, Rio de Janeiro, v. 20, n. 1, p. 77–102, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.36920/esa-v20n1-4 . Acesso em: 09 mai de 2025.

Homma, A. K. O. A modernização da agricultura amazônica: o caso da domesticação de espécies nativas. Embrapa Amazônia Oriental. 2012.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa: 2016–2022. Brasília: INMET, 2023. Disponível em: https://bdmep.inmet.gov.br . Acesso em: 07 mai de 2025.

Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM). Amazônia e o Clima: Relatórios de Vulnerabilidade Climática. 2022.

Kutner, M. H. et al. Applied Linear Statistical Models. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 2004. 1396 p.

Mace, G. M. et al. Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship. Trends in Ecology & Evolution, Volume 27, Issue 1, 19 – 26. 2012.

Marengo J. A, Souza C. M. Jr, Thonicke K, Burton C, Halladay K, Betts R. A, Alves L. M. and Soares W. R. Changes in Climate and Land Use Over the Amazon Region: Current and Future Variability and Trends. Front. Earth Sci. 6:228. 2018. doi: 10.3389/feart.2018.00228.

Nogueira, E. M. et al. Impacts of climate change on Amazonian ecosystems and human well-being. Environmental Research Letters, Bristol, v. 15, n. 9, p. 093005, 2020. DOI: https://doi.org/10.1088/1748-9326/abaad1 .

Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC). Sumário Executivo do Relatório de Avaliação Nacional: Mudanças Climáticas e Cidades. 2016.

Piketty, M. G., Poccard-Chapuis, R., & Sabourin, E. Sociobioeconomia na Amazônia: aprendizados e desafios para políticas públicas. Estudos Sociedade e Agricultura, 28(2), 322–348. 2020.

Pinto, L. F. G. et al. Políticas públicas para o desenvolvimento de cadeias da sociobiodiversidade na Amazônia brasileira. Ambiente & Sociedade, 21, e01271. 2018.

R Core Team (2025). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation.

Rais, M. et al. Potential impacts of climate change on açaí palm (Euterpe oleracea) cultivation in the Amazon estuary. Agricultural Systems, [S. l.], v. 196, 102944, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.102944 . Acesso em: 09 mai de 2025.

Sabourin, E., Piketty, M. G., & Théry, H. Economias de base comunitária e sociobiodiversidade na Amazônia brasileira. Amazônia: Ciência & Desenvolvimento, 12(24), 9–35. 2017.

Santos, A. C., et al. Ecofisiologia do açaizeiro sob mudanças climáticas. Acta Amazonica, 50(4), 267–277. 2020.

Silva, M. M. R. et al. Vulnerabilidade das espécies amazônicas frente às mudanças climáticas. Revista Brasileira de Climatologia, 29, e139. 2021.

Souza, E. B. e Cunha, A. C. Climatologia de Precipitação no Amapá: Mecanismos Climáticos de Grande Escala. In: Tempo, Clima e Recursos Hídricos: Resultados do Projeto REMETAP no Estado do Amapá. Capítulo 10. (Orgs) Cunha, A. C.; Souza, E. B. e Cunha, H. F. A. Macapá – AP. IEPA. p 177-195. 2010.

Souza, E. B. et al. Precipitação sazonal sobre a Amazônia Oriental no período chuvoso: observações e simulações regionais com o RegCM3. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 24, n.2, 111-124. 2009.

Zuidema, P. A., & Boot, R. G. Demography of Brazil nut trees. Ecological Applications, 12(2), 576–586. 2002.

Wadt, L. H. O. et al. Castanha-do-Brasil: produção, manejo e conservação. Embrapa Acre. 2018.