



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E EVOLUÇÃO

BEATRIZ HANNA DOS SANTOS OLIVEIRA

**MODELAGEM DE NICHOS ECOLÓGICO DE *ATTALEA PINDOBASSU* BONDAR  
(ARECACEAE): AVALIAÇÃO DA SINONÍMIA COM *ATTALEA SEABRENSIS* E DA  
VIABILIDADE ECONÔMICA FUTURA**

FEIRA DE SANTANA, BAHIA

2025



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E EVOLUÇÃO

BEATRIZ HANNA DOS SANTOS OLIVEIRA

**MODELAGEM DE NICHÓ ECOLÓGICO DE *ATTALEA PINDOBASSU* BONDAR  
(ARECACEAE): AVALIAÇÃO DA SINONÍMIA COM *ATTALEA SEABRENSIS* E DA  
VIABILIDADE ECONÔMICA FUTURA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução, Universidade Estadual de Feira de Santana, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ecologia e Evolução.

ORIENTADOR: DR. JHONATHAN DE OLIVEIRA SILVA

COORIENTADOR: DR. ESTEVAN ELTINK NOGUEIRA

FEIRA DE SANTANA, BAHIA

2025

Ficha Catalográfica - Biblioteca Central Julieta Carteadó - UEFS

S45m

Oliveira, Beatriz Hanna dos Santos

Modelagem de nicho ecológico de *Attalea Pindobassu* bondar  
(Arecaceae): avaliação da sinonímia com *Attalea Seabrensis* e da viabilidade  
econômica futura / Beatriz Hanna dos Santos Oliveira. – 2025.  
94 f.: il.

Orientador: Jhonathan de Oliveira Silva

Coorientador: Estevan Eltink Nogueira

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Feira de Santana,  
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução, Feira de Santana, 2025.

1. Botânica. 2. Caatinga. 3. Biodiversidade. 4. Palmeiras – espécies.  
I. Silva, Jhonathan de Oliveira, orient. II. Nogueira, Estevan Eltink, coorient.  
III. Universidade Estadual de Feira de Santana. IV. Título.

CDU 582.545 (814.22)

**BEATRIZ HANNA DOS SANTOS OLIVEIRA**


**MODELAGEM DE NICHOS ECOLÓGICO DE *ATTALEA PINDOBASSU*  
BONDAR (ARECACEAE): AVALIAÇÃO DA SINONÍMIA COM *ATTALEA*  
*SEABRENSIS* E DA VIABILIDADE ECONÔMICA FUTURA**

Aprovada em: 28/03/2025

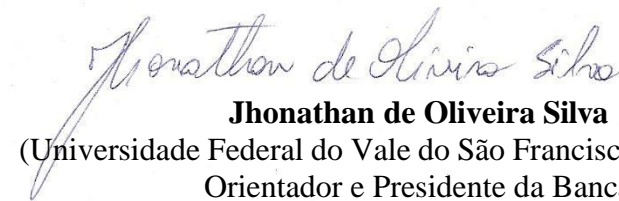
**BANCA EXAMINADORA**



**Flávio Mariano Machado Mota**  
Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)



**Michael de Souza Pessoa**  
(Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS)



**Jhonathan de Oliveira Silva**  
(Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF)  
Orientador e Presidente da Banca

Feira de Santana,  
Bahia Março, 2025

Dedico este trabalho à minha família, pelo incentivo e suporte contínuos, e  
aos meus queridos pets, cujos momentos de companhia e carinho foram  
fontes de energia e motivação, essenciais para o meu equilíbrio emocional  
ao longo dessa jornada.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, conforme minha crença, por me conceder força para seguir em frente e paciência para conquistar tudo o que desejo. Este mestrado é um reflexo dessa fé, da confiança de que tudo acontece no tempo certo.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Agradeço, ainda, à CAPES pela concessão da bolsa de mestrado que permitiu a realização deste trabalho.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão aos professores Jhonathan e Estevan, que, desde a graduação, têm sido referências de ensino, orientação e apoio em minha trajetória acadêmica. Mais uma vez, agradeço profundamente pela confiança depositada em mim ao me acolherem como orientanda, permitindo que eu ingressasse no mestrado. Obrigada por contribuírem para mais essa conquista na minha vida. Agradeço também por acreditarem no meu potencial, pelo incentivo constante e por me motivarem a acreditar que posso ir ainda mais longe.

Ao Dr. Gustavo Reis de Brito pela ajuda na modelagem de nicho ecológico e pelas dúvidas esclarecidas, o que foi fundamental para a realização deste trabalho.

Aos professores do programa PPGEcoEvol pelo acolhimento, pelos ensinamentos e pelas valiosas sugestões no desenvolvimento do projeto. Agradeço também à coordenação do curso pela dedicação na obtenção de recursos para realização da pesquisa.

Aos amigos que, mesmo com os desafios e desentendimentos, fizeram parte dessa jornada. Embora as circunstâncias da amizade tenham mudado e hoje sigamos caminhos diferentes, sou grata por tudo de bom que compartilhamos e guardo com carinho as boas lembranças que ficaram.

Gostaria também de agradecer à minha amiga Edilane, que nunca deixou de me incentivar a continuar meus estudos e a buscar uma pós-graduação. Nossos encontros são sempre especiais e transformam momentos de dificuldade em risadas, enquanto relembremos com carinho as histórias divertidas da época da graduação.

Um agradecimento especial aos motoristas da UNIVASF, Silas e Vavá, pelas conversas divertidas durante as coletas de campo, pelo respeito com que sempre me trataram e, principalmente, por garantirem minha ida e volta com segurança.

Agradeço ao meu pai, mesmo que estejamos distantes, pelo apoio e pela compreensão em relação à importância desse mestrado para minha vida. Apesar dos ressentimentos, reconheço que sua visão se abriu e você entendeu como o estudo pode ser uma chave para o

meu futuro. Sou grata por sua contribuição nesse momento, e levo em consideração a importância do seu apoio para chegar até aqui.

Agradeço imensamente ao Nem, que é como um pai para mim. Desde o colegial, ele tem estado ao meu lado, me levando para as aulas e oferecendo suporte constante aos meus estudos. Sou profundamente grata por todo o suporte, pelos conselhos e pela sua presença na minha vida.

Agradeço ao meu irmão e à minha mãe pelo cuidado e amor incondicional concedidos a mim, inclusive nos momentos em que não lidei bem com as inconstâncias da vida e com os desafios da trajetória acadêmica. Sou imensamente grata pelo apoio, pela paciência e por assumirem grande parte das responsabilidades cotidianas da casa, permitindo que eu me dedicasse integralmente a esta dissertação.

Por fim, agradeço a todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO GERAL

Cada espécie ocupa um nicho ecológico específico, definido por suas limitações fisiológicas, sua relação com o ambiente, sua história evolutiva, sua dispersão e suas interações ecológicas. A modelagem de nicho ecológico é uma ferramenta que permite identificar as condições ambientais essenciais para a sobrevivência de uma espécie. Essa abordagem representa um dos vários passos potenciais para demonstrar o papel da adaptação ambiental nos nichos ecológicos e na distribuição geográfica da biodiversidade, bem como sua resposta diante das mudanças climáticas em curso. No primeiro capítulo, utilizamos o modelo de nicho ecológico para comparar os nichos de *Attalea pindobassu* e *Attalea seabrensis*, palmeiras endêmicas do complexo da Chapada Diamantina, na Bahia. Essas espécies são consideradas sinônimas, com suas distribuições restritas à Serra de Jacobina e à Serra do Sincorá, respectivamente, regiões com diferenças ambientais marcantes. No segundo capítulo, investigamos a capacidade do modelo de nicho ecológico de prever a produtividade de *A. pindobassu* e os potenciais impactos das mudanças climáticas sobre sua exploração a longo prazo. Nossos resultados delimitaram áreas favoráveis distintas para as duas espécies, com diferenças na influência relativa das variáveis, que refletem as variações nas características abióticas dos ambientes em que as espécies estão inseridas. Com o segundo estudo, foi possível verificar que locais com maior adequabilidade climática tendem a apresentar maior produtividade. As projeções climáticas indicam uma redução drástica na adequabilidade climática de *A. pindobassu*. A partir desses resultados, foi possível concluir que *A. pindobassu* e *A. seabrensis* apresentam preferências ambientais diferentes e, portanto, devem ser tratadas como espécies ecologicamente distintas. Além disso, os resultados apontam para a necessidade de adotar medidas de adaptação para mitigar os possíveis impactos econômicos que as mudanças climáticas possam acarretar ao extrativismo de *A. pindobassu*.

**Palavras-chave:** Caatinga, Economia Local, Maxent, Nicho realizado, Palmeiras.



## ABSTRACT

Each species occupies a specific ecological niche, defined by its physiological limitations, relationship with the environment, evolutionary history, dispersion, and ecological interactions. Ecological niche modeling is a tool that allows for the identification of the environmental conditions essential for the survival of a species. This approach represents one of several potential steps to demonstrate the role of environmental adaptation in ecological niches and in the geographic distribution of biodiversity, as well as its response to ongoing climate change. In the first chapter, we used ecological niche modeling to compare the niches of *Attalea pindobassu* and *Attalea seabrensis*, endemic palms from the Chapada Diamantina complex in Bahia. These species are considered synonymous, with their distributions restricted to the Serra de Jacobina and the Serra do Sincorá, respectively, regions with marked environmental differences. In the second chapter, we investigated the ability of the ecological niche model to predict the productivity of *A. pindobassu* and the potential impacts of climate change on its long-term exploitation. Our results delineated distinct favorable areas for the two species, with differences in the relative influence of the variables, reflecting variations in the abiotic characteristics of the environments in which the species are found. With the second study, it was possible to verify that areas with greater climatic suitability tend to present higher productivity. Climate projections indicate a drastic reduction in the climatic suitability of *A. pindobassu*. Based on these results, we concluded that *A. pindobassu* and *A. seabrensis* have different environmental preferences and, therefore, should be treated as ecologically distinct species. Moreover, the results point to the need to adopt adaptation measures to mitigate the possible economic impacts that climate change may have on the extraction of *A. pindobassu*.

**Key-words:** Caatinga, Local Economy, Maxent, Palm trees, Realized Niche.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Diagrama BAM. O intercepto **AM** descreve locais com condições abióticas favoráveis e acessíveis, mas sem interações favoráveis com outras espécies (**-B**); **MB** consiste em condições bióticas favoráveis e acessíveis, mas sem condições abióticas favoráveis presentes (**-A**). Círculos em preto representa observações de presença, enquanto círculos em branco representa observações de ausências verdadeiras da espécie.....19
- Figura 2.** Distribuição geográfica das espécies do gênero *Attalea* (híbridos são representados por pontos brancos).....22
- Figura 3.** Mapa de localização da área de estudo.....35
- Figura 4.** Fotografia do espécime. a) *Attalea pindobassu* no município de Caém; b) *Attalea seabrensis* no município de Piatã, estado da Bahia.....36
- Figura 5.** Importância relativa das variáveis utilizadas nos modelos de nicho ecológico.....42
- Figura 6.** Mapa de adequabilidade ambiental no cenário atual. A escala representa o índice de adequabilidade do ambiente para a espécie, variando de 0: habitat menos adequado a 1: habitat mais adequado.....43
- Figura 7.** Mapa de sobreposição de nicho entre as duas espécies no cenário atual.....44
- Figura 8.** Adequabilidade do habitat projetada para *Attalea pindobassu* no cenário atual e em cenários futuros de mudanças climáticas.....45
- Figura 9.** Adequabilidade do habitat projetada para *Attalea seabrensis* no cenário atual e em cenários futuros de mudanças climáticas.....46
- Figura 10.** a) Variação espacial de três preditores da adequabilidade do habitat para as duas espécies; b) Distribuição dos pontos de ocorrência de *A. pindobassu* e *A. seabrensis* em relação à elevação, precipitação do mês mais seco (bio14) e temperatura média do trimestre mais seco (bio09) .....50
- Figura 11.** Produção média de amêndoas nos municípios produtores de babaçu no centro-norte da Bahia, Nordeste do Brasil, e localizações dos pontos de ocorrência de *Attalea pindobassu* utilizados na modelagem de nicho ecológico.....64
- Figura 12.** Uso da terra e aproveitamento de *Attalea pindobassu*. A) Vegetação nativa (floresta estacional semidecídua); B) Pastagens degradadas; C) Sistema agropastoril; D) Sistema silvipastoril; E) Infrutescência; F) Sementes (Amêndoas); G) Licor de babaçu produzido a partir das amêndoas da espécie pela Associação de Desenvolvimento Social dos Pequenos Agricultores de Serra da Caraiá, Município de Pindobaçu.....66
- Figura 13.** Importância relativa das variáveis bioclimáticas para o modelo de nicho ecológico (baseada na métrica de correlação de Pearson) extraída a partir da função ‘getVarImp’ do pacote sdm.....69
- Figura 14.** Adequabilidade climática projetada para a palmeira *Attalea pindobassu* no cenário presente e em cenários futuros de mudanças climáticas na região dos municípios produtores de amêndoas de babaçu do centro-norte da Bahia, Nordeste do Brasil.....70

<b>Figura 15.</b> Relação entre a adequabilidade climática e a produtividade de amêndoas de babaçu dos municípios produtores de amêndoas de babaçu do centro-norte da Bahia, Nordeste do Brasil.....	71
<b>Figura 16.</b> Biplot da análise de componentes principais (PCA) para ordenação de variáveis bioclimáticas dos municípios produtores de amêndoas de babaçu do centro-norte da Bahia, Nordeste do Brasil.....	72
<b>Figura 17.</b> Variação temporal da produção de amêndoas de babaçu nos municípios do centro-norte da Bahia, no Nordeste do Brasil, entre 2001 e 2016.....	75

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Preditores ambientais considerados previamente para o desenvolvimento dos modelos de nicho ecológico.....	39
--	----

## SUMÁRIO

REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
Computação Aplicada ao Estudo da Biodiversidade.....	15
Definição e importância da modelagem de nicho ecológico.....	15
Conceitos de Nicho Ecológico.....	16
Diagrama BAM (Biótico-Abiótico-Movimento) .....	18
Projeções de Nicho Ecológico em Cenários Climáticos Passados e Futuros.....	19
Mudanças Climáticas e Potenciais Impactos Sobre Espécies de Uso Florestal Não-Madeireiro.....	20
Características Gerais do Gênero <i>Attalea</i> .....	21
<i>Attalea pindobassu</i> Bondar.....	21
Aplicação da Modelagem de Nicho Ecológico para Delimitação de Espécies.....	23
REFERÊNCIAS.....	25
INFORMAÇÕES SOBRE A DISSERTAÇÃO.....	29
CAPÍTULO 1.....	30
Diferenças de Nicho Ecológico e Respostas às Mudanças Climáticas de Duas Palmeiras Sinônimas e Endêmicas da Chapada Diamantina, Nordeste do Brasil.....	30
Beatriz Hanna dos Santos Oliveira <sup>a</sup> , Estevan Eltink Nogueira <sup>b</sup> , Gustavo Reis de Breito <sup>c</sup> , Jhonathan de Oliveira Silva <sup>b</sup>	
<sup>a</sup> Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução, Laboratório de Biologia, Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Avenida Transnordestina, s/n - Novo Horizonte, Feira de Santana, BA, 44036-900, Brazil	
<sup>b</sup> Colegiado de Ecologia, campus Senhor do Bonfim, Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Av. Tomaz Guimarães, s/n - Santos Dumont, Senhor do Bonfim, BA, 48970-000, Brazil	
<sup>c</sup> Departamento de Ciências Biológicas, Laboratório de Estatística Aplicada (LEA), Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Avenida Dom Antônio, 2100, Assis, SP, 1980-6900, Brazil	
RESUMO.....	30
ABSTRACT.....	30
INTRODUÇÃO.....	31
MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
RESULTADOS.....	41
DISCUSSÃO.....	47
CONCLUSÃO.....	52

AGRADECIMENTOS.....	53
REFERÊNCIAS.....	53
CAPÍTULO 2.....	61
Mudanças climáticas podem afetar o futuro do extrativismo de uma palmeira rara e ameaçada ( <i>Attalea pindobassu</i> Bondar) do semiárido brasileiro.....	61
Beatriz Hanna dos Santos Oliveira <sup>a</sup> , Estevan Eltink Nogueira <sup>b</sup> , Jhonathan de Oliveira Silva <sup>b</sup>	
<sup>a</sup> Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução, Laboratório de Biologia, Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Avenida Transnordestina, s/n - Novo Horizonte, Feira de Santana, BA, 44036-900, Brazil	
<sup>b</sup> Colegiado de Ecologia, campus Senhor do Bonfim, Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Av. Tomaz Guimarães, s/n - Santos Dumont, Senhor do Bonfim, BA, 48970-000, Brazil	
RESUMO.....	61
ABSTRACT.....	61
INTRODUÇÃO.....	62
MÉTODOS.....	64
RESULTADOS.....	68
DISCUSSÃO.....	73
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	78
AGRADECIMENTOS.....	78
REFERÊNCIAS.....	78
ANEXO 1.....	83
ANEXO 2.....	91

## **REFERÊNCIAL TÉORICO**

### **Computação Aplicada ao Estudo da Biodiversidade**

O interesse em compreender como as espécies estão distribuídas na Terra, no tempo e no espaço, é um tema de longa data, que tem motivado muitos biogeógrafos e ecólogos a buscar explicações. Com o avanço do conhecimento sobre a relação entre a distribuição da biodiversidade e o ambiente, técnicas computacionais passaram a ser empregadas para identificar áreas cujas condições ambientais favorecem o estabelecimento de uma espécie (Guisan; Thuiller, 2005).

A incorporação de métodos computacionais à análise da distribuição de espécies deu origem aos primeiros estudos de modelagem preditiva na década de 1970, com seus avanços acompanhando os progressos nas ciências computacionais e estatísticas, os quais possibilitaram o desenvolvimento de algoritmos específicos para essa área. Como resultado, o número de publicações relacionadas aumentou expressivamente nos últimos anos, principalmente devido à disponibilização de dados de ocorrência e variáveis ambientais em formato digital, acessíveis por meio de bancos de dados online (Giannini et al., 2012).

### **Definição e importância da modelagem de nicho ecológico**

Modelagem de nicho ecológico, Modelagem de distribuição de espécies, Modelagem preditiva de distribuição de espécies, Modelagem de adequabilidade do habitat e Modelagem de envelope bioclimático são diferentes termos que descrevem abordagens que utilizam processamento computacional para relacionar registros de ocorrência de espécies a variáveis ambientais (Pearson, 2010; Sillero, 2011; Sillero et al., 2021).

Os termos 'modelagem de distribuição de espécies (MDE)' e 'modelagem de nicho ecológico (MNE)' são os mais comumente empregados pelos pesquisadores, muitas vezes de forma intercambiável (Soberón; Osorio-Olvera; Peterson, 2017). Embora os dois compartilhem metodologias semelhantes, existem diferenças conceituais importantes entre eles frequentemente ignoradas. Muitos estudos classificados como modelagem de distribuição estão, na verdade, prevendo a 'distribuição' de ambientes adequados (nicho) no espaço geográfico para a espécie, e não a distribuição geográfica da espécie propriamente dita (Sillero, 2011; Pearson, 2010; Peterson; Soberón, 2012).

A modelagem de nicho ecológico tornou-se um componente importante para abordar questões em áreas como ecologia, biogeografia, evolução e, mais recentemente, na biologia da

conservação e em pesquisas sobre mudanças climáticas (Guisan; Thuiller, 2005; Pearson, 2010). Os MNEs são amplamente utilizados, por exemplo, para identificar áreas prioritárias para conservação, examinar padrões biogeográficos e analisar a distribuição de espécies ao longo do tempo, tanto no passado quanto no futuro (Paglia et al., 2012). Essa técnica consiste em relacionar dados fisiológicos ou de presença da espécie a preditores ambientais, por meio de algoritmos (Sillero et al., 2021). Os algoritmos calculam, essencialmente, a similaridade ambiental entre os locais de ocorrência conhecidos da espécie e outras regiões ainda não amostradas (Paglia et al., 2012). O modelo matemático resultante é, então, convertido em um mapa cartográfico, que representa um índice de adequabilidade do habitat, ou seja, as condições ambientais favoráveis para a sobrevivência e persistência da espécie de interesse (Sillero et al., 2021).

Os MNEs são classificados em três categorias: (1) **correlativos**, que associam registros de presença ou presença/ausência a variáveis ambientais; (2) **mecanísticos**, que incorporam dados fisiológicos, morfológicos e comportamentais da espécie; e (3) **híbridos**, que integram elementos dos dois anteriores a dados de dispersão. Os métodos correlativos, amplamente utilizados, são classificados em três grupos com base nos tipos de dados de ocorrência disponíveis: presença-ausência, presença-fundo e presença-apanas (Sillero et al., 2021). Os algoritmos amplamente utilizados e que operam com esses tipos de dados são o Maxent, GLM e o BioClim (Raes; Aguirre-Gutiérrez, 2018).

### **Conceitos de Nicho Ecológico**

A teoria do nicho ecológico representa um dos principais fundamentos conceituais para o desenvolvimento MDEs. Considerando que indivíduos de uma mesma espécie respondem a um conjunto de recursos e condições que determinam onde podem se estabelecer, diversos conceitos de nicho foram propostos com o objetivo de descrever, explicar e prever a distribuição geográfica e ambiental das espécies (Peterson; Soberón, 2012; Sillero, 2011). Grinnell (1917, 1924) foi o primeiro a oferecer uma descrição mais abrangente de nicho ecológico, como um subconjunto do habitat que contém as condições ambientais (climáticas) ideais para que os indivíduos de uma espécie possam sobreviver e se reproduzir. Enquanto Elton (1927) introduziu um conceito de nicho ecológico, enfatizando o papel funcional da espécie em uma comunidade com base nos recursos consumidos.

A primeira descrição matemática do nicho ecológico foi apresentada por Hutchinson (1957), que dividiu o conceito em duas categorias: nicho fundamental e nicho realizado. O nicho fundamental refere-se às condições ambientais necessárias nas quais as populações de



uma espécie conseguem se manter viáveis ao longo do tempo. Já o nicho realizado corresponde à parte do nicho fundamental realmente ocupada pela espécie, como reflexo da ação restritiva imposta pelas interações bióticas. A ideia central do nicho "hutchinsoniano" é que, em condições ambientais estáveis, duas espécies que dependem dos mesmos recursos não conseguem coexistir indefinidamente. Isso ocorre porque a competição por esses recursos impede que as espécies ocupem todo o espaço disponível no nicho fundamental, restringindo suas distribuições reais a áreas específicas (Sales; Hayward; Loyola, 2021).

Pulliam (1988) adaptou a teoria de fonte e sumidouro ao nicho ecológico, propondo que populações de uma espécie podem persistir em áreas ambientalmente inadequadas (sumidouros) quando há migração constante de indivíduos provenientes de populações saudáveis em habitats adequados (fontes). Com isso, as espécies podem estar presentes em condições ambientais que excede os limites do seu nicho fundamental. Esse conceito também é relevante para a interpretação dos resultados de MNEs, especialmente para os baseados em dados de presença-fundo, uma vez que é comum, embora equivocado, tratar os valores de adequabilidade como a probabilidade de encontrar um indivíduo da espécie modelada (Sillero et al., 2021).

Os MNEs geram projeções apenas com base em variáveis selecionadas derivadas de um espaço ambiental e, portanto, não representam todas as condições presentes no espaço geográfico (Soberón; Osorio-Olvera; Peterson, 2017). A presença de indivíduos em áreas consideradas inadequadas não indica, necessariamente, um erro do modelo, uma vez que algumas populações podem sobreviver em condições subótimas (Sillero et al., 2021). Isso também se aplica à ausência da espécie em áreas consideradas altamente adequadas, já que fatores históricos, a presença de barreiras ou limitações na dispersão podem dificultar ou impedir sua chegada a essas regiões (Holt, 2003). De maneira geral, a adequabilidade do habitat não garante a presença da espécie, assim como a inadequabilidade do habitat não assegura a ausência da mesma (Sillero et al., 2021).

Posteriormente, outros conceitos, como o de nicho potencial, foram introduzidos para ampliar a interpretação dos MNEs. O nicho potencial é definido como uma parte do nicho fundamental em uma determinada região e em um dado momento (Jackson; Overpeck, 2000). Isso significa que nem todas as condições ambientais adequadas para a espécie estão presentes no cenário atual. Assim, parte do nicho fundamental pode ter existido no passado ou pode vir a surgir no futuro. Tal conceito é importante para a compreensão das projeções de nicho em cenários de mudanças climáticas (Sillero et al., 2021).

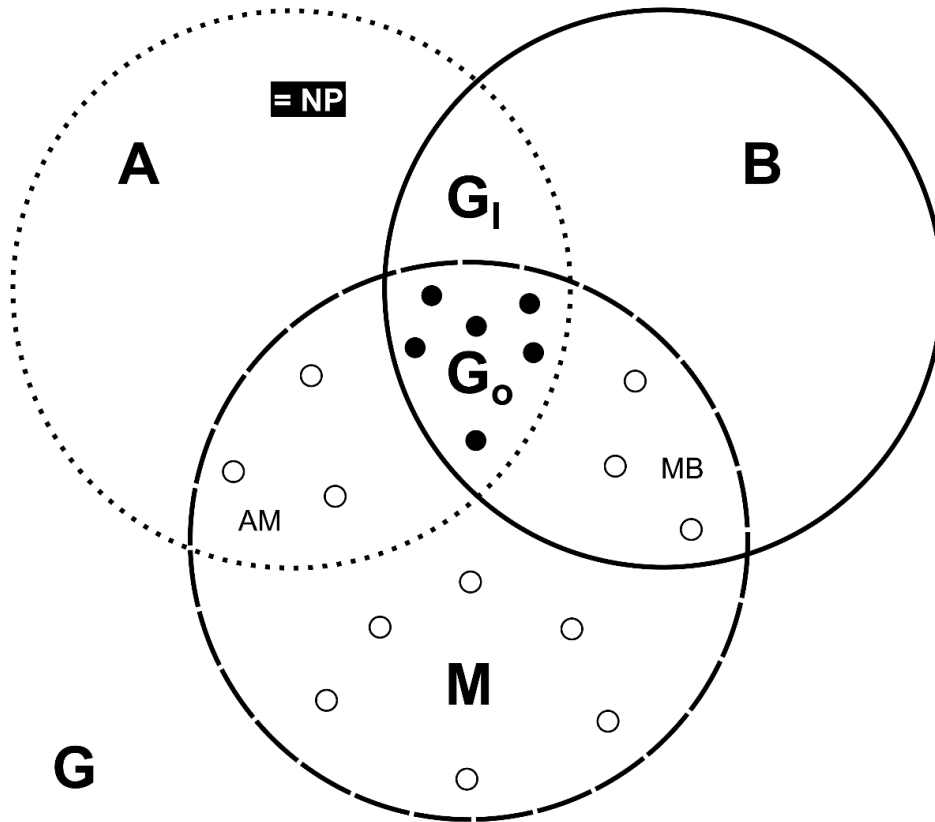
## Diagrama BAM (Biótico-Abiótico-Movimento)

A área de distribuição de uma espécie é influenciada por diversos fatores, como suas tolerâncias ambientais (seu nicho fundamental), a presença ou ausência de outras espécies (como polinizadores, dispersores, competidores e predadores) e sua capacidade de dispersão ao longo do tempo (Soberón; Osorio-Olvera; Peterson, 2017). Para simplificar essa complexidade, Soberón e Peterson (2005) elaboraram um diagrama que ilustra os principais fatores que influenciam a distribuição geográfica das espécies e o que, efetivamente, é representado pela modelagem de nicho ecológico ou de distribuição de espécies.

Essa abordagem é conhecida como o diagrama "**BAM**" (Biótico-Abiótico-Movimento), que é a representação abstrata do espaço geográfico (**G**), ou a área de estudo de interesse (Figura 1). O círculo "**A**" representa o espaço ambiental que contém todas as condições abióticas favoráveis para a espécie. O círculo "**B**" reflete o espaço com condições bióticas apropriadas (polinizadores, dispersores, hospedeiros, etc.), ou seja, sem interações prejudiciais (competição, predadores, etc.). O círculo "**M**" simboliza as áreas acessíveis para a dispersão em um determinado período de tempo (Soberón; Peterson, 2005; Soberón, 2007). A interseção dos três círculos (**Go**) representa a área real de distribuição da espécie, onde as condições abióticas e bióticas são favoráveis e acessíveis para os indivíduos. Essa área, por definição, corresponde ao nicho realizado (**NR**) de Hutchinson (1957). A região "**A**" é favorável à espécie se desconsiderarmos as interações bióticas, correspondendo, portanto, à ideia de nicho fundamental (Hutchinson, 1957), mais especificamente à porção do nicho potencial (**NP**) (Jackson; Overpeck, 2000). A zona "**Gr**" é uma área que apresenta condições abióticas e bióticas favoráveis (**A** e **B**), mas que ainda está fora do alcance da espécie. Ela pode se tornar uma região com potencial de ser invadida, caso haja alterações na estrutura de "**M**" que facilitem a dispersão da espécie para essa área (Soberón; Nakamura, 2009; Soberón, 2010; Soberón; Osorio-Olvera; Peterson, 2017).

Os MNEs ou MDEs visam identificar diferentes regiões no diagrama BAM. Assim, a escolha da metodologia depende dos objetivos do estudo, como identificar áreas geográficas ocupadas, regiões com condições ambientais favoráveis para uma espécie ou locais potencialmente habitáveis (Soberón; Nakamura, 2009). MNEs baseados em dados de presença/ausência ou presença apenas — ou seja, modelos correlativos — não estimam a distribuição de uma espécie, mas sim as condições ambientais 'semelhantes' às das localidades de ocorrência conhecida (Soberón, 2010). Nesse tipo de modelagem, os processos de dispersão (**M**) e interações bióticas (**B**) não são considerados de maneira explícita e direta (Soberón;

Osorio-Olvera; Peterson, 2017). Assim, a projeção desses modelos pode se localizar em algum ponto entre toda a região com condições ambientais favoráveis (**A**) e a área de distribuição real da espécie (**G<sub>o</sub>**). Já os Modelos de Distribuição de Espécies (MDEs) fornecem uma estimativa estritamente da área de distribuição (**G<sub>o</sub>**) (Soberón, 2010).



**Figura 1.** Diagrama BAM. O intercepto **AM** descreve locais com condições abióticas favoráveis e acessíveis, mas sem interações favoráveis com outras espécies (**-B**); **MB** consiste em condições bióticas favoráveis e acessíveis, mas sem condições abióticas favoráveis presentes (**-A**). Círculos em preto representa observações de presença, enquanto círculos em branco representa observações de ausências verdadeiras da espécie. Fonte: Adaptado de Soberón e Nakamura, 2009; Soberón, 2010; Soberón, Osorio-Olvera e Peterson, 2017.

### Projeções de Nicho Ecológico em Cenários Climáticos Passados e Futuros

Em algumas aplicações de modelagem, o modelo do nicho atual é utilizado para prever a adequabilidade ambiental da espécie em cenários climáticos passados ou futuros. Esse processo requer uma "extrapolação" para além do intervalo de condições ambientais sobre as quais o modelo foi originalmente calibrado (Peterson et al., 2011). Um pressuposto dessa abordagem é a conservação do nicho ao longo do tempo, o que implica assumir que as variáveis relevantes para o nicho atual da espécie permanecerão as mesmas em outros cenários temporais. Portanto, o modelo deve ser elaborado com dados contemporâneos e, posteriormente, projetado com as variáveis climáticas do período escolhido, mesmo que não seja possível garantir que as relações que definem o nicho da espécie atualmente tenham sido as mesmas no passado ou que

se manterão no futuro (Sillero et al., 2021). Os resultados dessas projeções podem evidenciar potenciais impactos das mudanças climáticas sobre o nicho das espécies (Guisan; Thuiller, 2005; Peterson et al., 2011).

### **Mudanças Climáticas e Potenciais Impactos Sobre Espécies de Uso Florestal Não-Madeireiro**

O aumento na emissão de gases de efeito estufa pelas atividades humanas têm acelerado o aquecimento global de maneira incontestável. Essas emissões continuam a crescer, impulsionadas por fatores como o uso insustentável de energia, alterações no uso da terra e padrões de consumo e produção que variam significativamente entre regiões, países e indivíduos (IPCC, 2023). Esse cenário tem contribuído para a intensificação das mudanças climáticas globais, cujos efeitos já são cada vez mais perceptíveis em todas as partes do mundo, gerando impactos adversos na economia e na saúde humana. Não menos importantes são os impactos na biodiversidade e nos serviços ecossistêmicos, que apresentam implicações para a segurança alimentar e nutricional, afetando desproporcionalmente os grupos vulneráveis e ampliando as desigualdades sociais (IPCC, 2023).

As mudanças climáticas podem afetar de forma significativa as características fenológicas das plantas, como floração e frutificação, impactando diretamente a reprodução e a sobrevivência dos indivíduos (Chuine, 2010). Isto é particularmente preocupante para comunidades rurais, cujas fontes de renda dependem da extração de produtos florestais não madeireiros (PFNM) (Nabout et al., 2011). Nesse contexto, a MNE tem sido utilizada para identificar espécies que tendem a ganhar ou perder áreas climáticas adequadas, bem como aquelas cuja adequabilidade permanecerá praticamente estável (Pearson, 2010). Projeções indicam que, no futuro, as condições climáticas poderão se tornar menos favoráveis para espécies de uso florestal não-madeireiro. Ou seja, essas mudanças climáticas podem reduzir a capacidade produtiva dessas espécies, comprometendo a viabilidade de sua exploração futura (ver Nabout et al., 2011; Nabout et al., 2016; Vaz; Nabout, 2016). Portanto, estudos que forneçam essas informações são fundamentais para subsidiar o desenvolvimento de estratégias de conservação e compreender os limites da exploração futura (Nabout et al., 2011).

## Características Gerais do Gênero *Attalea*

As palmeiras (Arecaceae) constituem uma família de plantas de grande importância nas regiões tropicais e subtropicais, destacando-se pela diversidade de gêneros, alta riqueza de espécies, ampla distribuição geográfica e relevância ecológica e socioeconômica (Dransfield et al., 2008). O gênero *Attalea* é um dos onze gêneros monofiléticos da subtribo Attaleinae, que inclui também *Allagoptera*, *Butia*, *Jubaea*, *Parajubaea*, *Polyandrococos*, *Syagrus*, *Beccariophoenix*, *Voanioala*, *Jubaeopsis* e *Cocos* (Meerow et al., 2009; Henderson, 2020). As espécies de *Attalea* se distinguem pela variação ecológica e grande adaptabilidade (Freitas et al., 2016), ocorrendo em diversos habitats, como florestas tropicais úmidas e secas, vegetações de cerrado, campos rupestres e dunas de areia (Glassman, 1999; Dransfield et al., 2008; Pintaud, 2008; Henderson, 2020). Além disso, essas palmeiras ocupam uma faixa altitudinal variada, do nível do mar até 1.470 metros (Henderson, 2020), e são capazes de crescer em diferentes tipos de solo, como arenosos, argilosos e calcários (Glassman, 1999; Guimarães; Silva, 2012). O gênero também tem grande relevância para muitas comunidades rurais devido à sua versatilidade de usos, especialmente na produção de óleo vegetal (Dransfield et al., 2008).

*Attalea* é nativa da região Neotropical, com distribuição que vai da América Central até a América do Sul (Dransfield et al., 2008; Lorenzi et al., 2010; Henderson, 2020, Figura 2). No Brasil, a Bahia concentra o maior número de espécies, com 11 registros: *A. barreirensis* Glassman, *A. brejinhoensis* (Glassman) Zona, *A. burretiana* Bondar, *A. eichleri* (Drude) A.J. Hend., *A. funifera* Mart. ex Spreng., *A. geraensis* Barb. Rodr., *A. humilis* Mart. ex Spreng., *A. vitrivir* Zona, *A. pindobassu* Bondar, *A. salvadorensis* Glassman e *A. seabrensis* Glassman. Além dessas espécies, a região abriga dois híbridos naturais: *A. × piassabossu* Bondar, resultante do cruzamento entre *A. funifera* e *A. burretiana*, e *A. × voeksii* Noblick ex Glassman, originado do cruzamento entre *A. funifera* e *A. humilis* (Glassman, 1999; Lorenzi et al., 2010; Guimarães; Silva, 2012).

### *Attalea pindobassu* Bondar

*Attalea pindobassu* Bondar é uma palmeira endêmica do centro-norte da Bahia, ocorrendo nos municípios de Pindobaçu, Saúde, Mirangaba, Caém, Jacobina, Miguel Calmon, Piritiba e Tapiramutá (Bondar, 1942; Noblick, 1991, 1994). É listada entre as cinco espécies mais raras da família Arecaceae no Brasil, juntamente com *Bactris soeiroana*, *Bactris tefensis*, *Syagrus leptospatha* e *Syagrus werdermannii* (Rapini, 2009). Além disso, *A. pindobassu* é uma importante fonte de renda para comunidades rurais no entorno de sua área de ocorrência (Santos

et al., 2019) e é citada como uma das espécies da flora da caatinga com grande potencial ornamental (Kiill et al., 2013).



**Figura 2.** Distribuição geográfica das espécies do gênero *Attalea* (híbridos são representados por pontos brancos). Fonte: Henderson (2020).

Na última revisão do gênero *Attalea*, Henderson (2020) considerou *Attalea seabrensis* Glassman como sinônimos de *A. pindobassu*. Esta espécie também é endêmica da Bahia, ocorrendo na região da Chapada Diamantina, nos municípios de Barra do Mendes, Seabra, Palmeiras, Boninal, Piatã, Abaira, Jussiape, Barra do Estiva, Ituaçu e Contendas do Sincorá (Noblick, 1991). De fato, as duas espécies são morfologicamente muito semelhantes, diferenciando-se apenas por características sutis. No entanto, suas populações apresentam distribuição geográfica distinta: *A. seabrensis* ocorre amplamente na região oeste da Serra do Sincorá, enquanto *A. pindobassu* está restrita ao lado leste da Serra de Jacobina (Noblick, 1991, 2019).

As diferenças entre as duas espécies estão relacionadas a características específicas: *A. seabrensis* apresenta folíolos agrupados ou irregulares, enquanto os folíolos de *A. pindobassu* são quase completamente regulares. Além disso, embora as flores estaminadas sejam bastante semelhantes, *A. pindobassu* possui um número máximo de 12 estames, enquanto *A. seabrensis* pode apresentar até 17 estames (Noblick, 1991; Glassman, 1999).

Noblick (2024), ao analisar a anatomia das margens dos folíolos de espécies do gênero *Attalea*, verificou que as margens dos folíolos de espécimes de *A. pindobassu* no município de

Tapiramutá, Bahia, apresentam características morfológicas semelhantes às observadas em *A. seabrensis* de Seabra, Bahia. No entanto, as margens dos folíolos das populações de *A. pindobassu* provenientes de Miguel Calmon, Bahia, apresentam variações morfológicas sutis. Embora a população de Tapiramutá exiba características mais próximas às de Seabra do que às de Miguel Calmon, para Noblick (2024) essas evidências anatômicas não foram suficientemente convincentes para estabelecer uma relação clara entre as populações das duas espécies.

Quanto à discussão sobre *A. seabrensis* e *A. pindobassu* serem espécies distintas ou uma única espécie, Noblick (2024) sugere que essa questão poderia ser esclarecida por meio de uma amostra de *A. seabrensis* coletada em Seabra, a qual apresentou folhas com pinas distribuídas uniformemente ao longo do eixo central, semelhantes às observadas em *A. pindobassu*. Assim, sob essa interpretação, a característica de pinas agrupadas, utilizada por Glassman (1999) e Noblick (1991, 1994) para diferenciar as duas espécies, não seria uma distinção válida. Para o autor, a justificativa de Henderson (2020) em sinonimizar as duas espécies parece plausível, se considerar as semelhanças observadas nas margens das pinas das amostras dos municípios de Tapiramutá e Seabra.

Apesar do crescente interesse, *A. pindobassu* ainda é uma espécie pouco investigada, com um número limitado de estudos publicados a seu respeito. Somente recentemente, alguns estudos têm contribuído para ampliar o conhecimento sobre essa palmeira. Por exemplo, Santos *et al.* (2019) o potencial econômico dos resíduos gerados pela extração vegetal da espécie; Menezes *et al.* (2023) estimaram a distribuição potencial da palmeira sob diferentes cenários de mudanças climáticas, utilizando a modelagem de nicho ecológico com base em variáveis bioclimáticas. Além disso, Menezes *et al.* (2024) investigaram o alinhamento entre o Conhecimento Ecológico Local (CEL) e Conhecimento Ecológico Acadêmico (CEA) em relação aos padrões das fenofases reprodutivas da espécie. Por fim, Lima, Rodrigues e Silva (2025) investigaram a influência de fatores ambientais (solo) e antropogênicos (tipo de uso da terra e intensidade de colheita) na regeneração natural e na estrutura populacional da mesma.

### **Aplicação da Modelagem de Nicho Ecológico para Delimitação de Espécies**

A identificação precisa de espécies tem representado um desafio contínuo para a taxonomia, especialmente no caso de linhagens crípticas, cujas diferenças morfológicas podem ser sutis, sobrepostas ou ainda não completamente fixadas (Raxworthy *et al.*, 2007). A delimitação baseada exclusivamente em caracteres morfológicos é frequentemente limitada pelo número reduzido de amostras disponíveis, o que dificulta a realização de inferências

estatísticas robustas quanto à consistência desses caracteres entre os indivíduos do táxon analisado (Wiens; Graham, 2005).

Semelhanças e diferenças nas características de nicho podem ser relevantes para a identificação de espécies, especialmente em grupos taxonômicos com distribuição geográfica restrita e baixa capacidade de dispersão (Raxworthy et al., 2007; Orr et al., 2014). Por exemplo, considere dois conjuntos de populações alopátricas distribuídas em regiões montanhosas geograficamente separadas, sendo um deles correspondente a uma espécie previamente descrita e o outro de status taxonômico incerto. Caso a modelagem de nicho ecológico revele que ambos compartilham um envelope ambiental semelhante, o resultado pode reforçar a hipótese de que pertencem à mesma espécie. Por outro lado, se um dos conjuntos ocupa condições ambientais que não se sobrepõem às do outro, essa diferença pode fornecer evidências que sustentam a hipótese de que se tratam de espécies distintas (Wiens; Graham, 2005).



## REFERÊNCIAS

- Bondar, G. New palms of Bahia. Publications of the Field Museum of Natural History. Botanical Series, v. 22, p. 457–463, 1942. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.2274>
- Chuine, I. Why does phenology drive species distribution? Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 365(1555), 3149–3160, 2010. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0142>
- Dransfield, J., Uhl, N. W., Asmussen, C. B., Baker, W. J., Harley, M. M., Lewis, C. E. Genera palmarum: The Evolution and Classification of Palms. Kew: Royal Botanic Gardens, 2008. 732p. <https://doi.org/10.34885/92>
- Elton, C. Animal Ecology. London, 1927.
- Freitas, C., Meerow, A. W., Pintaud, J. C., Henderson, A., Noblick, L., Costa, F. R. C., Barbosa, C. E., Barrington, D.: Phylogenetic analysis of *Attalea* (Arecaceae): insights into the historical biogeography of a recently diversified Neotropical plant group, Bot. J. Linn. Soc., 182, 287–302, 2016. <https://doi.org/10.1111/boj.12466>
- Giannini, T. C., Siqueira, M. F., Acosta, A. L., Barreto, F. C. C., Saraiva, A. M., Alves-dos-Santos, I. Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies. Rodriguésia, v. 63, n. 3, p. 733–749, 2012. <https://doi.org/10.1590/S2175-78602012000300017>
- Glassman, S. E. A taxonomic treatment of the palm subtribe Attaleinae (tribe Cocoeae). Illinois Biological Monographs 59, University of Illinois Press, 1999. 414p. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.49920>
- Grinnell, J. The niche-relationships of the californian thrasher. Auk 34, 427–433, 1917.
- Grinnell, J. Geography and evolution. Ecology 5, p. 225–229, 1924.
- Guimarães, C. A. L., Silva, L. A. M. Piaçava da Bahia (*Attalea funifera* Martius): do extrativismo à cultura agrícola. Ilhéus, BA: Editus, 2012. 262 p.
- Guisan, A., Thuiller, W. Predicting species distribution: Offering more than simple habitat models. In *Ecology Letters*, v. 8, Issue 9, p. 993–1009, 2005. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00792.x>
- Henderson, A. A revision of *Attalea* (Arecaceae, Arecoideae, Cocoseae, Attaleinae). *Phytotaxa*, v. 444, n. 1, p. 1–76, 2020. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.444.1>
- Hutchinson, G. E. Concluding remarks. Cold Spring Harb. Symp. Quant. Biol. 22, p. 415–427, 1957.
- Holt, R. D. On the evolutionary ecology of species ranges. *Evol. Ecol. Res.* 5, p. 159–178, 2003.
- IPCC. Sections. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, p. 35–115, 2023. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- Jackson, S. T., Overpeck, J. T. Responses of plant populations and communities to environmental changes of the late Quaternary. *Paleobiology*, 26:4, p. 194–220, 2000. [https://doi.org/10.1666/0094-8373\(2000\)26\[194:roppac\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1666/0094-8373(2000)26[194:roppac]2.0.co;2)
- Kiill, L. H. P., Terao, D., Alvarez, I. A. Plantas ornamentais da Caatinga. Brasília: Embrapa, 2013. 139p.

- Lima, B. A. O., Rodrigues, P. M. S., Silva, J.O. Effects of land use and management on the structure and recruitment of an endemic palm tree (*Attalea pindobassu* Bondar) from the Brazilian semi-arid. *Journal for Nature Conservation*. 84, 126830, 2025.  
<https://doi.org/10.1016/j.jnc.2025.126830>
- Lorenzi, H., Kahn, F., Noblick L. R., Ferreira E. *Flora Brasileira: Arecaceae (Palmeiras)*. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum, 2010. 368p.
- Meerow, A. W., Noblick, L., Borrone, J. W., Couvreur, T. L. P., Mauro-Herrera, M., Hahn, W. J., Kuhn, D. N., Nakamura, K., Oleas, N. H., and Schnell, R. J.: Phylogenetic analysis of seven WRKY genes across the palm subtribe Attaleinae (Arecaceae) identifies Syagrus as sister group of the coconut, *PLoS One*, 4, 10–13, 2008.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0007353>
- Menezes, I. S., Rocha, D. S. B., Voeks, R., Lima do Couto-Santos, A. P., Funch, L. S. Conservation challenges to the useful neotropical palm Babaçu (*Attalea pindobassu* Bondar) in the face of climate change. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 302(March), 152262, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2023.152262>
- Menezes, I. S., Rocha, D. S. B., Voeks, R., Lima do Couto-Santos, A. P., Funch, L. S. Flowering and Fruiting Calendar of Babaçu (*Attalea pindobassu*): Agreement Between Local Ecological Knowledge and Phenological Monitoring in the Chapada Diamantina, Northeast Brazil. *Econ Bot*, 2024. <https://doi.org/10.1007/s12231-024-09613-1>
- Nabout, J. C., Oliveira, G., Magalhães, M. R., Terribile, L. C., Almeida, F. A. S. Global Climate Change and the Production of “Pequi” Fruits (*Caryocar brasiliense*) in the Brazilian Cerrado. *Brazilian Journal of Nature Conservation*, v. 9, n.1, p. 55–60, 2011.  
<http://doi.org/10.4322/natcon.2011.006>
- Nabout, J. C., Magalhães, M. R., de Amorim Gomes, M. A., da Cunha, H. F. The Impact of Global Climate Change on the Geographic Distribution and Sustainable Harvest of *Hancornia speciosa* Gomes (Apocynaceae) in Brazil. *Environmental Management*, 57(4), p. 814–821, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00267-016-0659-5>
- Noblick L. Indigenous palms of the state of Bahia, Brazil. PhD Dissertation. The University of Illinois, Chicago, 1991. 523p.
- Noblick, L. R. Palms of Bahia. *Acta Hort.* v. 360, p. 85–94, 1994.  
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1994.360.11>
- Noblick, L. Guia para as palmeiras do nordeste do Brasil. UEFS Editora, Feira de Santana, Bahia, 2019. 91p.
- Noblick, L. An anatomical survey of the leaflet margins of the genus *Attalea* (Arecaceae: Arecoideae: Cocoseae: Attaleinae). *Rodriguésia*. 75, e01212023, 2024.  
<https://doi.org/10.1590/2175-7860202475051>
- Orr, M.C., Koch, J.B., Griswold, T.L., Pitts, J.P. Taxonomic utility of niche models in validating species concepts: A case study in Anthophora (*Heliophila*) (Hymenoptera: Apidae). *Zootaxa*. 3846, 411–429, 2014. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3846.3.5>
- Pearson, R. G. Network of Conservation Educators & Practitioners Species’ Distribution Modeling for Conservation Educators and Practitioners. *Conservation*, Vol. 3, p. 54–89, 2010.
- Peterson, A. T., Soberón, J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., Araújo, M. B. *Ecological Niche and Geographical Distributions*. Princeton University Press, New Jersey, 2011. 328p.

- Peterson, A. T., Soberón, J. Species distribution modeling and ecological niche modeling: Getting the Concepts Right. *Essays & Perspectives* 10:2, p. 102–107, 2012. <https://doi.org/10.4322/natcon.2012.019>
- Pintaud, J. C.: An overview of the taxonomy of *Attalea* (Arecaceae), *Rev. Peru. Biol.*, 15, p. 55–63, 2008. <https://doi.org/10.15381/rpb.v15i3.2968>
- Pulliam, H. R. Sinks, and Population Regulation. *The American Naturalist*, v.132, p. 652–661, 1988.
- Raes, N., Aguirre-Gutiérrez, J. A Modeling Framework to Estimate and Project Species Distributions in Space and Time. *Mountains, Climate and Biodiversity*, 21, p. 309–320, 2018.
- Rapini, R. Arecaceae. In: Giulietti, A. M., Rapini, A., Andrade, M. J. G., Queiroz, L. P., Silva, J. M. C. (Org.) *Plantas raras do Brasil*. Belo Horizonte, MG: Conservação Internacional, p. 74–75, 2009.
- Raxworthy, C.J., Ingram, C.M., Rabibisoa, N., Pearson, R.G. Applications of ecological niche modeling for species delimitation: A review and empirical evaluation using day geckos (*Phelsuma*) from Madagascar. *Systematic Biology*. 56, 907–923, 2007. <https://doi.org/10.1080/10635150701775111>
- Sales, L. P., Hayward, M. W., Loyola, R. What do you mean by “niche”? Modern ecological theories are not coherent on rhetoric about the niche concept. *Acta Oecologica*, 110, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2020.103701>
- Santos, I. A. M., Dias, D. L. C., Leite, K. R. B., Silva, M. S., Silva, L. B. Aproveitamento de resíduos em *Attalea pindobassu* Bondar (Arecaceae) através da análise micrométrica das fibras do fruto e da folha. In: Santos, F. A. R., Carneiro, C. E. *Pindorama*. Teresina: EDUFPI. cap. 3, p. 24–30, 2019.
- Sillero, N. What does ecological modelling model? A proposed classification of ecological niche models based on their underlying methods. *Ecological Modelling*, 222:8, p. 1343–1346, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.01.018>
- Sillero, N., Arenas-Castro, S., Enriquez-Urzelai, U., Vale, C. G., Sousa-Guedes, D., Martínez-Freiría, F., Real, R., Barbosa, A. M. Want to model a species niche? A step-by-step guideline on correlative ecological niche modelling. *Ecological Modelling*, 456, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2021.109671>
- Soberón, J., Peterson, A. T. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species’ distributional areas. *Biodiversity Informatics*, v. 2, p.1–10, 2005.
- Soberón, J. Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. In *Ecology Letters*, 10:12, p. 1115–1123, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01107.x>
- Soberón, J., Nakamura, M. Niches and distributional areas: Concepts, methods, and assumptions. *PNAS*, vol. 106, p. 19644–19650, 2009. <https://doi.org/10.1073/pnas.0901637106>
- Soberón, J. M. Niche and area of distribution modeling: a population ecology perspective. *Ecography*, 33(1), p. 159–167, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2009.06074.x>
- Soberón, J., Osorio-Olvera, L., Peterson, T. Diferencias conceptuales entre modelación de nichos y modelación de áreas de distribución. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88:2, 437–441, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.03.011>
- Vaz, Ú. L., Nabout, J. C. Using ecological niche models to predict the impact of global climate change on the geographical distribution and productivity of *Euterpe oleracea* Mart.

(Arecaceae) in the Amazon. *Acta Botanica Brasilica*, 30:2, p. 290–295, 2016.

<https://doi.org/10.1590/0102-33062016abb0036>

Wiens, J.J., Graham, C.H. Niche Conservatism: Integrating Evolution, Ecology, and Conservation Biology. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 36, 519–539, 2005. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.36.102803.095431>

## INFORMAÇÕES SOBRE A DISSERTAÇÃO

Esta dissertação intitulada “Modelagem de nicho ecológico de *Attalea pindobassu* Bondar (arecaceae): Avaliação da sinonímia com *Attalea seabrensis* e da viabilidade econômica futura” está dividida em dois capítulos. O primeiro capítulo visa avaliar a sinonímia entre *A. pindobassu* e *A. seabrensis* por meio da modelagem de nicho ecológico, focando na análise de suas preferências ambientais. O objetivo geral é determinar se ambas compartilham ou não nichos ecológicos semelhantes, o que poderia indicar se são uma única espécie ou espécies distintas. No segundo capítulo, foi analisada a relação entre a adequabilidade climática e a produtividade de *A. pindobassu*, a fim de verificar se uma maior produtividade de amêndoas está associada a áreas com maior adequabilidade climática. Além disso, foi analisado o potencial impacto das mudanças climáticas futuras na produção desse recurso. Os capítulos foram estruturados conforme as normas de submissão das revistas *Ecological Modelling* e *Regional Environmental Change*, respectivamente. Contudo, a numeração das figuras segue a sequência estabelecida para a formatação geral da dissertação.

## CAPÍTULO 1

### Diferenças de Nicho Ecológico e Respostas às Mudanças Climáticas de Duas Palmeiras Sinônimas e Endêmicas da Chapada Diamantina, Nordeste do Brasil

Beatriz Hanna dos Santos Oliveira<sup>a</sup>, Estevan Eltink Nogueira<sup>a,b</sup>, Gustavo Reis de Brito<sup>c</sup>, Jhonathan de Oliveira Silva<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução, Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Avenida Transnordestina, s/n - Novo Horizonte, Feira de Santana, BA, 44036-900, Brasil

<sup>b</sup> Colegiado de Ecologia, campus Senhor do Bonfim, Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Av. Tomaz Guimarães, s/n - Santos Dumont, Senhor do Bonfim, BA, 48970-000, Brasil

<sup>c</sup> Departamento de Ciências Biológicas, Laboratório de Estatística Aplicada (LEA), Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Avenida Dom Antônio, 2100, Assis, SP, 1980-6900, Brasil

## RESUMO

Uma recente revisão taxonômica sinonimizou as palmeiras *Attalea pindobassu* e *Attalea seabrensis*, espécies endêmicas do complexo montanhoso da Chapada Diamantina. Neste contexto, o presente estudo utilizou a modelagem de nicho ecológico para avaliar a categorização dessa sinonímia. Os modelos foram desenvolvidos com base em dados de ocorrência obtidos exclusivamente por observações de campo, combinados a um conjunto de variáveis ambientais, permitindo uma caracterização mais precisa do nicho realizado dessas palmeiras. Além disso, os índices de Schoener e Bray-Curtis foram utilizados para avaliar a sobreposição entre as áreas modeladas. Por fim, analisamos o impacto das mudanças climáticas sobre o nicho dessas espécies com base em três caminhos socioeconômicos compartilhados (SSPs) projetados para 2050. Diferentes preditores influenciaram a adequabilidade do habitat de cada espécie, evidenciando preferências ambientais distintas. As duas espécies responderam de forma diferenciada às variáveis bioclimáticas, refletindo sua associação a climas específicos: *A. pindobassu* está relacionada a regiões úmidas, enquanto *A. seabrensis* ocorre em áreas com temperaturas mais baixas. Além disso, as áreas de nicho modeladas apresentaram baixa sobreposição ( $D = 0.115$ ;  $BC = 0.05$ ), indicando a existência de limites ambientais distintos entre as duas espécies. Nossas projeções indicam uma redução significativa das áreas adequadas para ambas as espécies, com perdas mais acentuadas para *A. seabrensis*. Esses resultados evidenciam como a caracterização das condições ambientais que definem o nicho pode aprimorar a delimitação de espécies crípticas. Ambas as espécies demonstram vulnerabilidade às alterações climáticas, reforçando a importância de estratégias de conservação que atendam às suas necessidades ambientais específicas.

**Palavras-Chaves:** Arecaceae, *Attalea*, Caatinga, Diferenciação de Nicho, Especialização de Nicho, Espécies Sinônimas, Modelagem de Nicho Ecológico.

## ABSTRACT

A recent taxonomic review synonymized the palm species *Attalea pindobassu* and *Attalea seabrensis*, both endemic to the mountainous complex of Chapada Diamantina. In this context, the present study used ecological niche modeling to assess the categorization of this synonymy. The models were developed based on occurrence data obtained exclusively from field observations, combined with a set of environmental variables, allowing for a more precise characterization of the realized niche of these palms. Additionally, Schoener and Bray-Curtis indices were used to evaluate the overlap between the modeled areas. Finally, we analyzed the impact of climate change on the niches of these species based on three Shared Socioeconomic Pathways (SSPs) projected for 2050. Different predictors influenced the habitat suitability of each species, highlighting distinct environmental preferences. The two species responded differently to bioclimatic variables, reflecting their association with specific climates: *A. pindobassu* is associated with humid regions, while *A. seabrensis* occurs in areas with relatively cooler temperatures. Furthermore, the modeled niche areas showed low overlap ( $D = 0.115$ ;  $BC = 0.05$ ), indicating distinct environmental boundaries between the two species. Our projections indicate a significant reduction in suitable areas for both species, with more pronounced losses for *A. seabrensis*. These results demonstrate how characterizing the environmental conditions that define a species' niche can enhance the delimitation of cryptic taxa. Both species show vulnerability to climate change, underscoring the importance of conservation strategies that address their specific environmental requirements.

**Key-words:** Arecaceae, *Attalea*, Caatinga, Niche Differentiation, Niche Specialization, Synonymous species.

## 1. Introdução

A heterogeneidade ambiental é um importante estruturador da diversidade e da distribuição de palmeiras (Svenning, 2001a). Em larga escala, o clima exerce forte influência na distribuição dessas plantas, enquanto aspectos como topografia, solo e hidrografia ganham relevância em escalas menores (Eiserhardt et al., 2011). Nesse contexto, algumas espécies podem desenvolver adaptações distintas em resposta às variações ambientais locais (Svenning, 1999; Svenning, 2001b). Um exemplo notável é o gênero *Attalea*, amplamente distribuído no Brasil, com sua maior concentração registrada no estado da Bahia (Santos et al., 2019a). As espécies desse grupo ocupam uma ampla variedade de habitats, desde florestas tropicais úmidas até formações de campo rupestre e cerrado (Dransfield et al., 2008).

Características distintas de nicho ecológico podem ser informações valiosas para a delimitação taxonômica de espécies crípticas. A modelagem de nicho ecológico (MNE) pode revelar o isolamento geográfico/ambiental entre populações alopátricas com base em nichos conservados ou divergentes (Raxworthy et al., 2007). Se dois conjuntos de populações com nichos ecológicos semelhantes estão geograficamente isolados por habitats inadequados, isso pode sustentar a hipótese de que pertencem à mesma espécie, sendo o conservadorismo de nicho o fator que impede o contato entre elas. Caso compartilhem um envelope de nicho semelhante que inclua áreas intermediárias, isso sugere que o conservadorismo de nicho não é um fator importante para o isolamento. Alternativamente, se as populações ocorrerem em condições ambientais diferentes, esse padrão apoiaria a hipótese de que representam espécies distintas (Wiens e Graham, 2005).

A modelagem correlativa de nicho ecológico oferece uma representação espacial aproximada do nicho realizado. Esse método relaciona registros de ocorrências a variáveis ambientais para identificar áreas com condições semelhantes às de locais onde a espécie já foi observada (Sillero, 2011). A maioria dos estudos de modelagem com plantas tem se concentrado no uso de variáveis bioclimáticas, como temperatura e precipitação, devido à sua relevância fisiológica para a ocorrência e distribuição das espécies (Menezes et al. 2023; Merckenschlager et al., 2023; Passos et al., 2024). No entanto, é consenso que fatores edáficos e topográficos também exercem uma influência significativa na distribuição de muitas espécies vegetais (Velazco et al., 2017). Ao incorporá-los como preditores, o poder preditivo do modelo pode ser consideravelmente aprimorado, resultando em uma representação precisa do nicho ecológico, especialmente para espécies endêmicas e de distribuição restrita (Dubuis et al., 2013; Beauregard e Blois, 2014). Além disso, os registros de ocorrência, frequentemente obtidos de

bancos de dados, muitas vezes são tendenciosos e imprecisos. Portanto, é essencial garantir a qualidade desses dados para melhorar a confiabilidade das previsões geradas pelos modelos (Passos et al., 2024; Soley-Guardia et al., 2024).

A MNE também tem sido empregada para prever potenciais impactos das mudanças climáticas sobre diferentes espécies (Sillero et al. 2021). Embora as pesquisas voltadas para espécies de palmeiras ainda sejam escassas, alguns estudos demonstram que os ganhos ou perdas de áreas adequadas ao crescimento dessas plantas variam entre diferentes regiões do mundo (Shabani et al., 2012; Blach-Overgaard et al., 2015; Butler e Larson, 2020). No Brasil, projeções indicam que as espécies de “açai” na Amazônia (*Euterpe precatoria* e *Euterpe oleracea*) podem sofrer uma redução significativa na adequabilidade de suas áreas atuais de ocorrência (Marques et al., 2024). Por outro lado, para *Copernicia prunifera*, a “carnaúba”, presente nos biomas caatinga e cerrado, prevê-se uma expansão contínua de seu habitat em cenários de mudanças climáticas (Costa et al., 2022).

*Attalea pindobassu* Bondar é uma palmeira endêmica do extremo norte da Chapada Diamantina, situada na porção setentrional da Cadeia do Espinhaço, no estado da Bahia, região Nordeste do Brasil (Rapini, 2009). Em um estudo recente de modelagem de nicho ecológico para *A. pindobassu*, Menezes et al. (2023) incluíram as ocorrências de *Attalea seabrensis* Glassman, seguindo a revisão taxonômica mais recente do gênero, que sinonimiza as duas espécies (Henderson, 2020). Contudo, Glassman (1999) descreveu *A. seabrensis* como uma nova espécie, com base na disposição irregular das pinas, que estão agrupadas do terço inferior até a metade da raque. Em *A. pindobassu*, por outro lado, quase nenhuma pina, ou menos de um décimo das pinas inferiores, está agrupada (Noblick, 1991, 1994; Glassman, 1999). Além disso, *A. seabrensis* apresenta um número maior de estames, podendo alcançar até 17, enquanto *A. pindobassu* possui no máximo 12 estames (Glassman, 1999). Henderson (2020), por outro lado, considera a disposição das pinas apenas uma variação morfológica, incluindo assim *A. seabrensis* dentro de *A. pindobassu*. No entanto, destaca que, mesmo sob essa interpretação, os espécimes de *A. seabrensis* apresentam diferenças significativas em relação aos de *A. pindobassu* em três aspectos: comprimento da raque, comprimento das ráquulas estaminadas e comprimento da flor estaminada (Henderson, 2020). Análises da composição química das ceras das duas espécies revelaram um pico distinto em *A. seabrensis*, ausente nas amostras de *A. pindobassu* (Noblick, não publicado). Embora a composição desse pico ainda não tenha sido investigada, essa diferença pode sugerir uma variação genética entre as espécies (Noblick, 2024). Além disso, estudos filogenéticos mostram que, apesar de ambas pertencem ao mesmo



grupo, *A. pindobassu* está filogeneticamente distante de *A. seabrensis* (Meerow et al., 2009; Freitas et al., 2016). Por fim, é importante ressaltar que as populações de *A. pindobassu* têm uma distribuição geográfica distinta das de *A. seabrensis* (Glassman, 1999; Lorenzi et al., 2010; Henderson, 2020).

Inserida no domínio fitogeográfico da caatinga, a Chapada Diamantina destaca-se pela alta diversidade florística e endemismo, resultado das variações climáticas e edáficas associadas ao relevo montanhoso (Rocha et al., 2005; ICMBio, 2007). A caatinga, floresta tropical sazonalmente seca no Nordeste brasileiro, é considerada uma das regiões mais susceptíveis aos impactos das mudanças climáticas (Torres et al., 2017). Projeções climáticas apontam para aumentos expressivos na temperatura e reduções nos índices de precipitação, acompanhados por secas mais intensas, frequentes e prolongadas (Marengo et al., 2017). Essas tendências podem agravar a aridez e aumentar o risco de desertificação da região, com potenciais impactos negativos na biodiversidade, no armazenamento de carbono e na provisão de serviços ecossistêmicos (Torres et al., 2017).

Diante deste cenário, o presente estudo levanta as seguintes questões: (i) Quais são a relevância dos fatores climáticos, topográficos e edáficos na definição do nicho ecológico de *A. pindobassu* e *A. seabrensis*? (ii) Essas espécies compartilham o mesmo nicho realizado? (iii) De que maneira as mudanças climáticas podem afetar sua adequabilidade ambiental? Nossa hipótese central é que essas espécies são ecologicamente distintas e apresentam exigências ambientais específicas. Esperamos que diferentes variáveis abióticas influenciem os padrões de distribuição de cada uma, evidenciando suas adaptações a condições ambientais particulares. Além disso, esperamos que as mudanças climáticas exerçam impactos negativos significativos sobre os habitats dessas espécies, reduzindo as áreas adequadas para sua ocorrência no futuro.

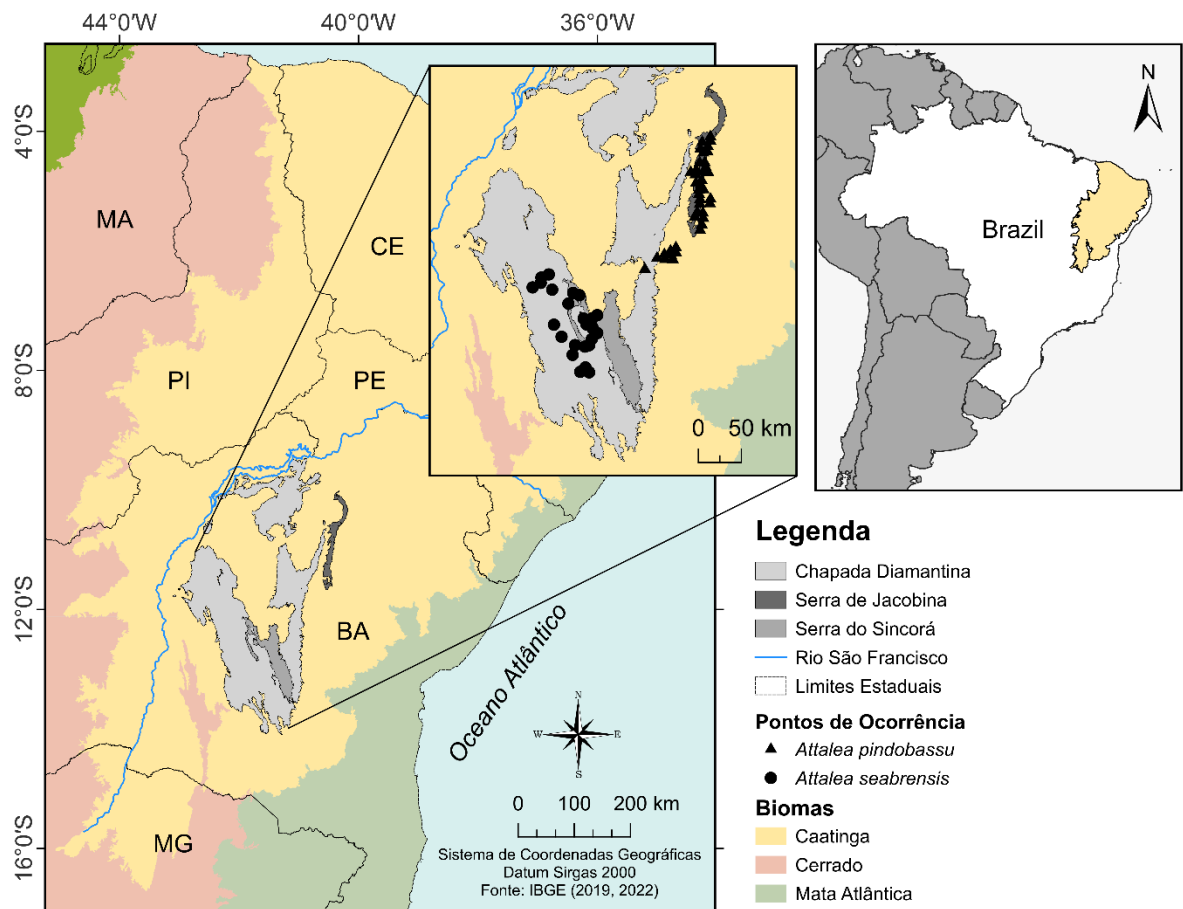
## 2 Materiais e Métodos

### 2.1 Área de Estudo

A modelagem deste estudo foi ajustada para o limite do bioma caatinga (IBGE, 2019), abrangendo as cadeias montanhosas da Serra da Jacobina e da Serra do Sincorá, que fazem parte da Chapada Diamantina. Essas cordilheiras constituem o centro de distribuição geográfica das espécies em estudo (Figura 3).

A Serra de Jacobina está localizada no extremo norte da Chapada Diamantina, com uma extensão de 200 km no sentido norte-sul. O relevo é montanhoso e acidentado, com altitudes que chegam a 1.300 metros (Milesi et al., 2002; Bahia, 2010). A região possui clima semi-úmido, com precipitações anuais variando entre 750 mm e 1.100 mm, e temperaturas médias entre 20 °C e 26 °C (Sampaio, 2001). Os solos predominantes são argissolos, cambissolos e neossolos litólicos, frequentemente associados a afloramentos rochosos. A vegetação é caracterizada pela caatinga arbustivo-arbórea nas áreas de baixada, e por florestas estacionais semidecíduais e campos rupestres nas regiões serranas (Bahia, 2010).

A Serra do Sincorá, situada na porção centro-oriental da Chapada Diamantina, destaca-se por seus vales estreitos e profundos (Pedreira, 2002). O relevo da região é dividido em três unidades geomorfológicas: áreas rochosas, situadas na porção oriental da serra; encostas e topos de morros, presentes nas vertentes orientais; e planícies de altitude, localizadas na porção ocidental, com elevações variando entre 800 e 1.200 metros (CPRM, 1994; Bahia, 2011). O clima da região varia de úmido/subúmido a semiárido, com temperaturas médias anuais entre 19 °C e 23 °C, e precipitação anual entre 497 mm e 1.177 mm. Os solos predominantes são latossolos, argissolos, cambissolos e neossolos litólicos. A vegetação é caracterizada por caatinga e cerrado nas planícies de altitude, florestas estacionais semidecíduais nas vertentes orientais e campos rupestres nas áreas rochosas e mais elevadas (Bahia, 2011).



**Figura 3.** Mapa da localização da área de estudo.

## 2.2 Espécies-alvo

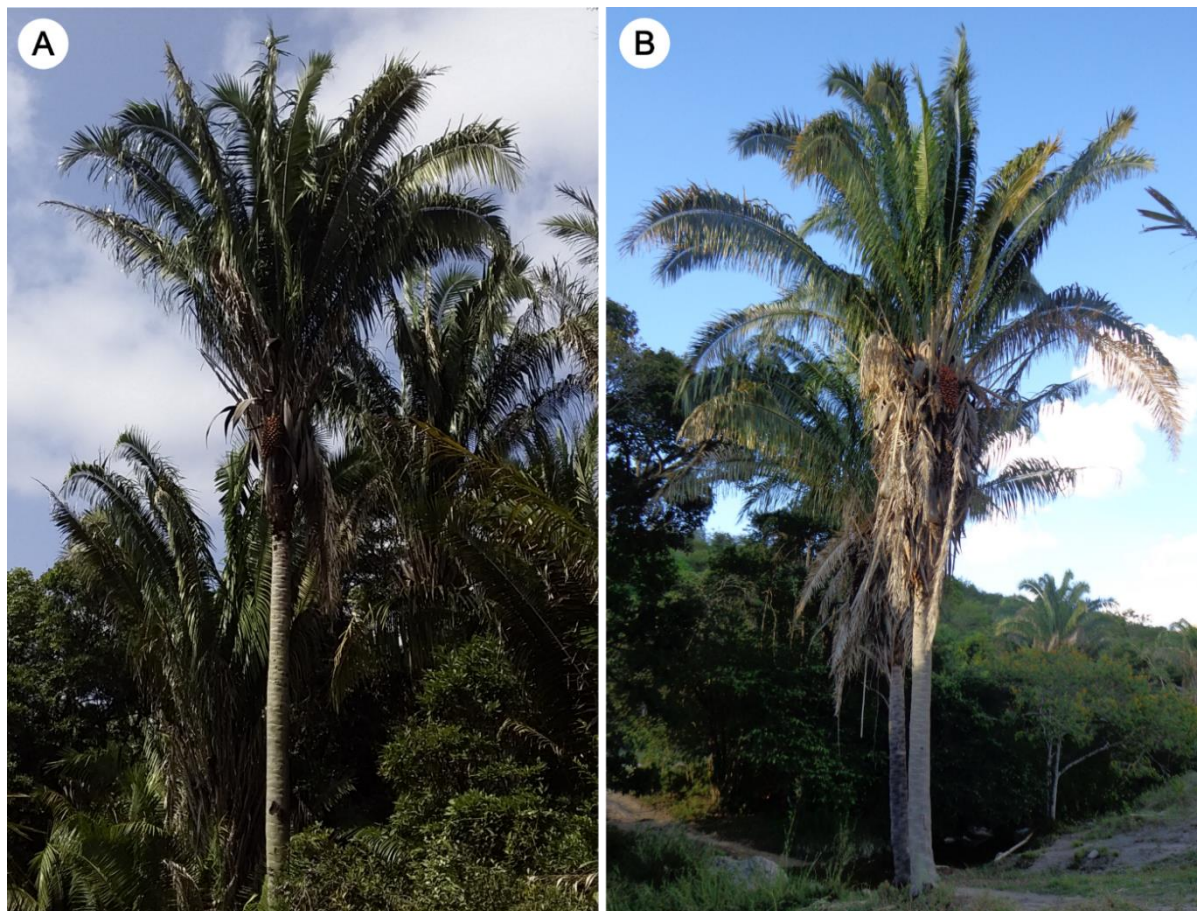
### 2.2.1 *Attalea pindobassu* Bondar

*Attalea pindobassu* (Arecaceae), popularmente conhecida como “Pindobaçu”, “Babaçu”, “Palmeira”, “Coco-palmeira” ou “Coco-babaçu” é uma palmeira endêmica do estado da Bahia (Glassman, 1999; Lorenzi et al., 2010; Figura 4a). Esta espécie possui um estipe solitário, com 5 a 15 m de comprimento e 35 a 50 cm de diâmetro. Sua coroa é composta por até 25 folhas pinadas, dispostas de forma ereta, com as pontas arqueadas (Noblick, 1991; Henderson et al., 1995). As inflorescências são estaminadas e andróginas, ocorrendo na mesma planta. Os frutos são grandes, medindo entre 8 a 10 cm de comprimento e 5 a 6.5 cm de diâmetro. As sementes, geralmente encontradas em grupos de três a quatro unidades, são ricas em óleo comestível (Glassman, 1999). Essa palmeira é encontrada na região da Serra da Jacobina, desde o município de Pindobaçu, ao norte, até Tapiramutá, ao sul, ocorrendo nas encostas mais baixas e úmidas ou em remanescentes de floresta estacional semidecídua (Noblick, 1991; Glassman, 1999; Lorenzi et al., 2010). *A. pindobassu* possui grande valor

socioeconômico devido à comercialização de produtos derivados do extrativismo de seus frutos, sendo uma fonte importante de renda para comunidades rurais (Santos et al., 2019b).

### 2.2.2 *Attalea seabrensis* Glassman

*Attalea seabrensis* (Arecaceae), popularmente conhecida como “Palmeirão”, “Palmeira” ou “Catolé-açu”, é uma palmeira endêmica do estado da Bahia (Figura 4b). Esta espécie apresenta um estipe solitário, com comprimento variando entre 15 e 20 m e diâmetro de 25 a 40 cm. Suas folhas são pinadas, dispostas de forma ereta, com as pontas arqueadas (Noblick, 1991; Glassman 1999). As inflorescências são estaminadas e andróginas, ocorrendo na mesma planta. Os frutos possuem comprimento que varia de 6.5 a 9 cm e diâmetro de 5.5 a 7 cm, contendo entre 3 a 4 sementes (Glassman, 1999). Sua ocorrência está restrita à porção ocidental da Serra do Sincorá, abrangendo os municípios de Barra do Mendes, ao norte, até Ituaçu, ao sul (Noblick, 1991). Essa palmeira é muito aproveitada pelas populações locais, sendo utilizada tanto na alimentação quanto na produção de óleo vegetal (Glassman, 1999; Lorenzi et al., 2010).



**Figura 4.** Fotografia do espécime. a) *Attalea pindobassu* no município de Caém; b) *Attalea seabrensis* no município de Piatã, estado da Bahia (Créditos das imagens: B. H. S. Oliveira).

### 2.3 Registros de ocorrências

Os dados de ocorrência das espécies foram inicialmente obtidos a partir de bancos de dados. No entanto, após uma análise da confiabilidade dessas informações, optou-se por utilizar, na modelagem, apenas os dados coletados por meio da busca ativa das espécies, utilizando um GPS (*Global Positioning System*). A identificação e distinção das palmeiras em campo foram realizadas com base na região de ocorrência natural, conforme descrito na literatura (Noblick, 1991, 1994; Glassman, 1999; Figuras S1 e S2, Anexo 1). Um total de 52 pontos de presença foram registrados para *A. pindobassu* e 30 pontos de presença para *A. seabrensis*. Para reduzir o agrupamento espacial entre os pontos de ocorrência, foi aplicado um espaçamento geográfico de cinco quilômetros, através a ferramenta 'Spatially Rarefy Occurrence Data' do pacote SDMtoolbox v2.5 (Brown et al., 2017) no software ArcMap v10.8 (ESRI, 2019). Após a análise, foram mantidos 40 pontos amostrais para *A. pindobassu* e 25 para *A. seabrensis* (Tabela S1, Anexo 1).

### 2.4 Variáveis preditoras

Três conjuntos de variáveis ambientais foram selecionados para análise: bioclimáticas, topográficas e edáficas. Foram obtidas dezenove variáveis bioclimáticas para o período atual (1970-2000) a partir do banco de dados WorldClim, versão 2.1 (Fick e Hijmans, 2017; <https://www.worldclim.org/>). As variáveis topográficas, como elevação, declividade e orientação, foram extraídas do modelo digital de elevação SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), disponível no WorldClim. Todos os dados foram obtidos com resolução espacial de 30 segundos de arco (aproximadamente 1 km<sup>2</sup>), adequada para análises em escalas locais (Chapman et al., 2005). Além disso, foram incluídas quatro variáveis químicas e três variáveis físicas de solo, extraídas da Application Programming Interface (API) SoilGrids 250m v2.0 no Google Earth Engine (Poggio et al., 2021). Esses dados foram adquiridos em três profundidades distintas (0-5 cm, 5-15 cm e 15-30 cm), com resolução espacial de 250 metros. No total, 29 variáveis ambientais foram obtidas (Tabela 1).

Para projetar o cenário climático futuro, foram utilizadas variáveis bioclimáticas do WorldClim v2.1, referentes ao período de 2050 (2041–2060), obtidas a partir do modelo de circulação global MPI-ESM1-2-HR (Gutjahr et al., 2019), disponibilizadas pelo Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6). A seleção deste modelo de circulação global foi baseada em sua capacidade de oferecer simulações confiáveis em termos de frequência e persistência das variáveis precipitação e temperatura na região da América do Sul (Cannon,

2020). Seleccionamos três caminhos socioeconômicos compartilhados (SSPs): SSP2-4.5 (otimista), SSP3-7.0 (intermediário) e SSP5-8.5 (pessimista) que descrevem tendências para desenvolvimento socioeconômico global no futuro, juntamente com os níveis de forçamento radiativo decorrentes do aumento de gases de efeito estufa (O'Neill et al., 2016).

### 2.5 Pré-tratamento e seleção das variáveis

As variáveis preditoras foram reprojetadas para o datum SIRGAS 2000 (EPSG: 4674), recortadas e mascaradas para a área de estudo. As três camadas de profundidade de cada variável do solo foram combinadas utilizando a calculadora raster do ArcMap, a fim de gerar um único raster que representa a média da propriedade edáfica em toda a profundidade (ou seja, 0-30 cm) (Khan et al., 2022). Posteriormente, a resolução espacial das variáveis edáficas foi reamostrada para 30 segundos de arco.

Para minimizar os efeitos da multicolinearidade nos modelos, as variáveis ambientais foram selecionadas com base no Fator de Inflação da Variância (VIF), que avalia o grau em que cada preditor pode ser explicado pelos demais preditores (Dormann et al., 2013; Naimi e Araújo, 2016). Os valores de cada variável foram extraídos para cada ponto de ocorrência da espécie, a fim de medir o grau de correlação entre as variáveis e remover aquelas com VIF maior que 10. A seleção dos preditores foi realizada utilizando o pacote 'usdm' (Naimi et al., 2014) no software R v4.3.3 (R Core Team, 2024).

Após a análise, as variáveis retidas para modelar *A. pindobassu* incluíram isothermalidade (Bio03), amplitude térmica anual (Bio07), precipitação do mês mais chuvoso (Bio13), precipitação do mês mais seco (Bio14), elevação, aspecto, declividade, argila, areia, capacidade de troca catiônica, carbono orgânico do solo, pH em água e nitrogênio. Enquanto, as variáveis retidas para modelar *A. seabrensis* foi a sazonalidade da temperatura (Bio04), amplitude térmica anual (Bio07), temperatura média do trimestre mais seco (Bio09), precipitação do mês mais chuvoso (Bio13), precipitação do trimestre mais quente (Bio18), declividade, argila, areia, capacidade de troca catiônica e pH em água (Tabela S2, Anexo 1).

**Tabela 1** Preditores ambientais considerados previamente para o desenvolvimento dos modelos de nicho ecológico.

Variável	Descrição	Unidade
Bio01	Temperatura Média Anual	°C
Bio02	Amplitude Diurna Média	°C
Bio03	Isotermalidade	Porcentagem
Bio04	Sazonalidade da Temperatura	°C
Bio05	Temperatura Máxima do Mês Mais Quente	°C
Bio06	Temperatura Mínima do Mês Mais Frio	°C
Bio07	Amplitude Anual da Temperatura	°C
Bio08	Temperatura Média do Trimestre Mais Úmido	°C
Bio09	Temperatura Média do Trimestre Mais Seco	°C
Bio10	Temperatura Média do Trimestre Mais Quente	°C
Bio11	Temperatura Média do Trimestre Mais Frio	°C
Bio12	Precipitação Anual	mm
Bio13	Precipitação do Mês Mais Úmido	mm
Bio14	Precipitação do Mês Mais Seco	mm
Bio15	Sazonalidade da Precipitação	Porcentagem
Bio16	Precipitação do Trimestre Mais Úmido	mm
Bio17	Precipitação do Trimestre Mais Seco	mm
Bio18	Precipitação do Trimestre Mais Quente	mm
Bio19	Precipitação do Trimestre Mais Frio	mm
Aspect	Orientação	Graus
Elevation	Elevação	Metros
Slope	Declividade	Porcentagem
Clay	Teor de Argila	g/kg
Sand	Teor de Areia	g/kg
Silt	Teor de Silte	g/kg
Cec	Capacidade de Troca Catiônica	mmol(c)kg
Nitrogen	Nitrogênio	cg/kg
phh2o	pH da água	pH*10
Soc	Carbono Orgânico do Solo	dg/kg

## 2.6 Procedimentos de modelagem

A modelagem de nicho ecológico foi realizada com o algoritmo ‘Maxent’ (Phillips et al., 2006), implementado no pacote 'sdm' (Naimi e Araújo, 2016) no software R v4.3.3 (R Core Team, 2024). Este algoritmo é amplamente utilizado na literatura e apresenta características que o tornam apropriado para a nossa aplicação e para os dados de ocorrência de presença- apenas. As opções de execução utilizadas foram as seguintes: geração de 10.000 pontos de background de forma aleatória, uso do método de replicação “*bootstrap*” com 50 réplicas. Os dados de ocorrência foram divididos em dois conjuntos, sendo 70% destinados ao treinamento do modelo e 30% destinados para teste.

A importância relativa das variáveis foi verificada com base na métrica de correlação de Pearson utilizando a função `getVarImp` do pacote `sdm` (Naimi e Araújo, 2016). Modelos preliminares foram desenvolvidos utilizando as variáveis selecionadas para cada espécie pela análise de VIF. Para evitar o sobreajuste dos modelos aos dados, as variáveis menos influentes



foram removidas após a observação de suas estimativas de importância relativa. Finalmente, os modelos finais foram executados com apenas seis preditores selecionados.

Curvas de respostas foram geradas através da função ``rcurve`` do pacote ``sdm`` para verificar a resposta das espécies à faixa de valores de cada variável preditora (Naimi e Araújo, 2016). Para a validação estatística dos modelos, foram consideradas as métricas Área sob a Curva ( $AUC \geq 0.7$ ; Elith, 2000) e *True Skill Statistic* ( $TSS \geq 0.4$ ; Allouche et al., 2006). O modelo final de adequabilidade foi gerado através do método de consenso, utilizando a função *ensemble* do pacote ``sdm`` (Naimi e Araújo, 2016). Essa técnica combina modelos individuais (réplicas) para produzir um conjunto de previsões, visando à obtenção de um modelo mais preciso (Araújo e New, 2007). O modelo consenso final foi obtido por meio da média ponderada do TSS, adotando como critério a maximização da soma da sensibilidade e da especificidade para a seleção do limiar (Naimi e Araújo, 2016). Os mapas de adequabilidade do habitat foram elaborados utilizando o pacote R `'ggplot2'` (Wickham, 2016).

## 2.7 Sobreposição de nicho

A similaridade de nicho foi calculada no espaço geográfico utilizando as métricas Schoener's D e distância de Bray-Curtis, recomendadas para avaliar a sobreposição entre MNEs. O índice de sobreposição varia de 0, indicando nenhuma sobreposição, a 1, indicando sobreposição completa. Para facilitar a interpretação dos resultados, os valores foram categorizados da seguinte maneira: sem ou muito pouca sobreposição (0 a 0.2), baixa sobreposição (0.2 a 0.4), sobreposição moderada (0.4 a 0.6), sobreposição alta (0.6 a 0.8) e sobreposição muito alta (0.8 a 1.0) (Rödder e Engler, 2011). A análise de similaridade foi realizada utilizando a função `'nicheSimilarity'` do pacote `'sdm'` (Naimi e Araújo, 2016). Adicionalmente, áreas com adequabilidade ambiental maior ou igual a 0.25 foram sobrepostas em um mapa a fim de identificar habitats adequados potencialmente compartilhados entre as duas espécies.

## 2.8 Projeções da adequabilidade ambiental futura

Devido à ausência de dados sobre as variáveis de solo para cenários futuros e considerando que ambas as espécies ocorrem em regiões montanhosas, optou-se por manter os preditores topográficos e edáficos selecionados nas projeções dos cenários futuros, assumindo que esses fatores não sofrerão mudanças significativas até o período de tempo considerado. O mesmo procedimento de ajuste da função ``ensemble`` foi então repetido para gerar o modelo consenso para os cenários futuros (Naimi e Araújo, 2016). Por fim, utilizamos mapas binários



para calcular a área ambientalmente adequada em quilômetros quadrado para cada espécie, sob os diferentes cenários climáticos, utilizando o ArcMap.

### 3 Resultados

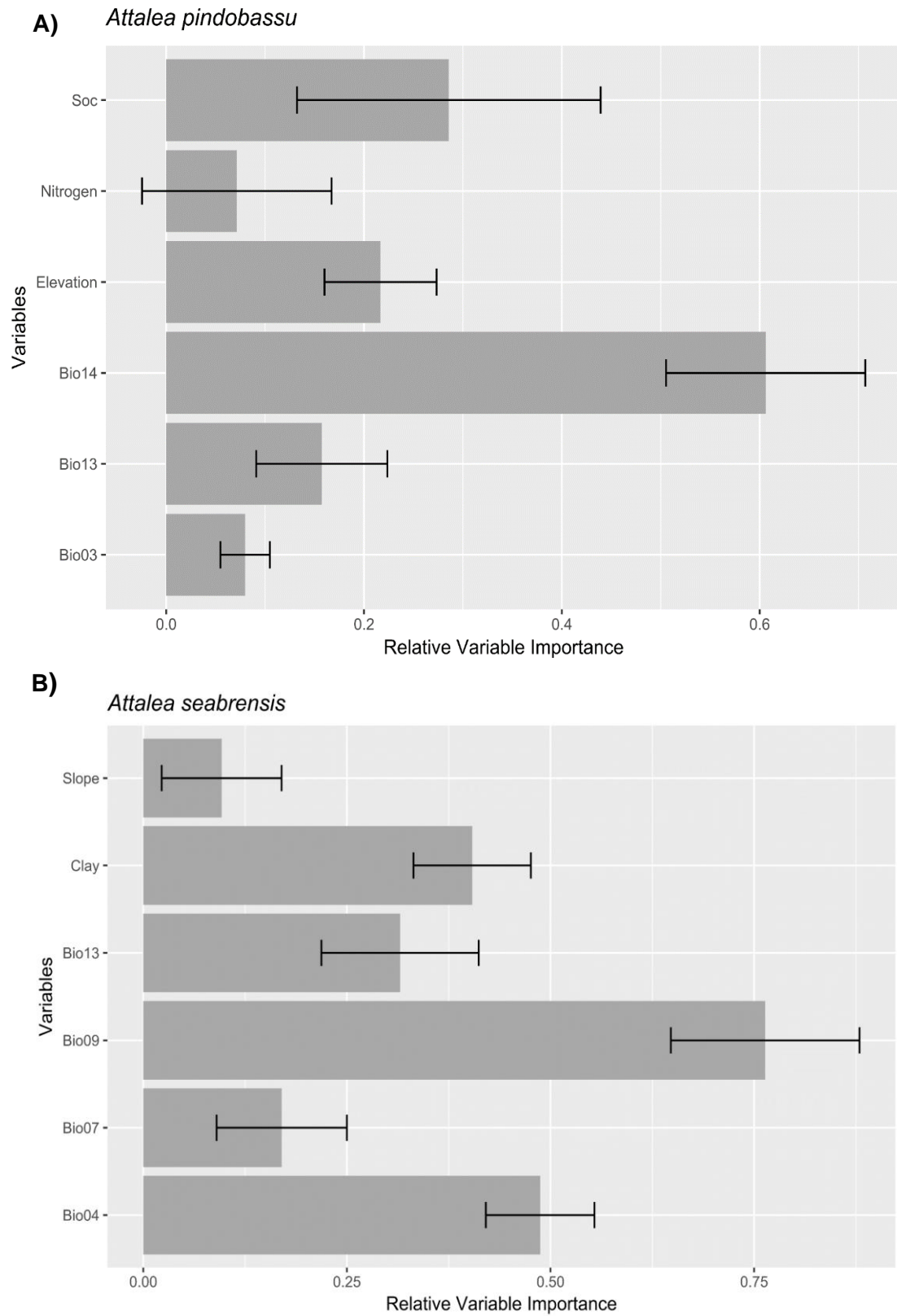
#### 3.1 Performance dos modelos e contribuições das variáveis preditoras

Os modelos de ambas as espécies apresentaram um bom desempenho, com valores de AUC e TSS acima de 0.9, indicando uma alta probabilidade de prever a distribuições das espécies (Figura S3, Anexo 1). O preditor com maior contribuição para o modelo de *A. pindobassu* foi a precipitação do mês mais seco - Bio14 (60.6%), seguida pelo teor de carbono orgânico do solo - SOC (28.6%) e pela elevação (21.7%) (Figura 5a). Para *A. seabrensis*, a variável mais relevante foi a temperatura média do trimestre mais seco - Bio09 (76.4%), seguida pela sazonalidade da temperatura - Bio04 (48.7%) e pelo teor de argila (40.4%) (Figura 5b).

Conforme a curva de resposta, o habitat mais adequado para *A. pindobassu* é caracterizado por precipitações elevadas no mês mais seco, com maior probabilidade de ocorrência da espécie em áreas com precipitações acima de 28 mm (Figura S4, Anexo 1). Enquanto o modelo de *A. seabrensis* indicou uma baixa probabilidade de ocorrência em regiões onde a temperatura média do trimestre mais seco ultrapassa 19°C (Figura S4, Anexo 1).

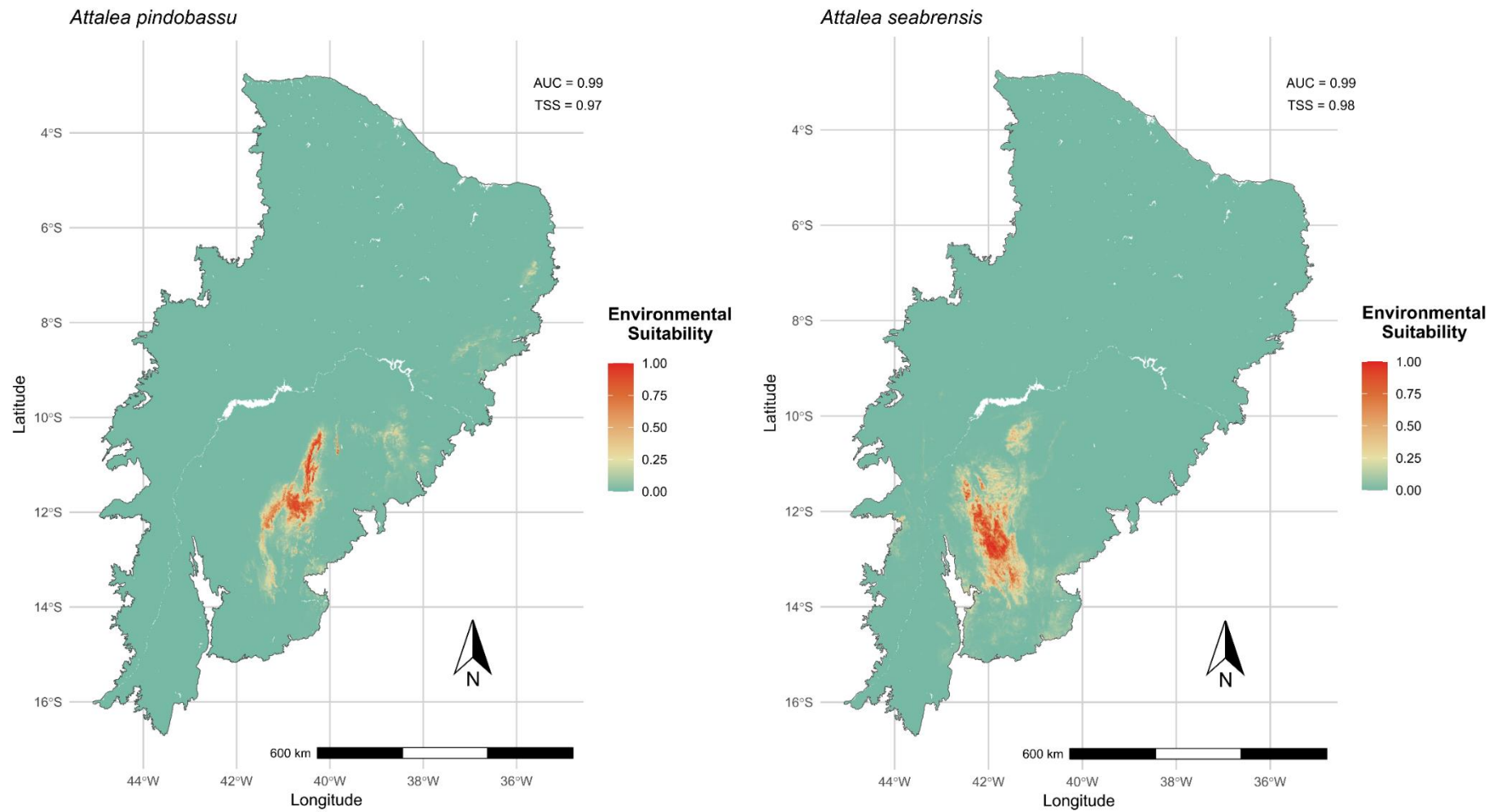
#### 3.2 Adequabilidade e sobreposição do habitat

As duas palmeiras apresentaram padrões contrastantes de adequabilidade ambiental. No cenário atual, as áreas adequadas projetadas ( $\geq 0.25$ ) para *A. pindobassu* abrangem aproximadamente 11.247 km<sup>2</sup>, das quais 2.438 km<sup>2</sup> são classificadas com alta adequabilidade ( $\geq 0.75$ ; Figura 6). Por sua vez, *A. seabrensis* possui uma área de adequabilidade ambiental estimada em aproximadamente 19.253 km<sup>2</sup>, com 3.710 km<sup>2</sup> classificados com alta adequabilidade (Figura 6). A sobreposição de nicho foi muito baixa ( $D = 0.115$ ;  $BC = 0.05$ ), com a área sobreposta correspondendo a apenas 326 km<sup>2</sup>, o que representa 1,07% da área adequada combinada das duas espécies. Além disso, as áreas de sobreposição apresentam baixa adequabilidade ambiental (Figura 7).



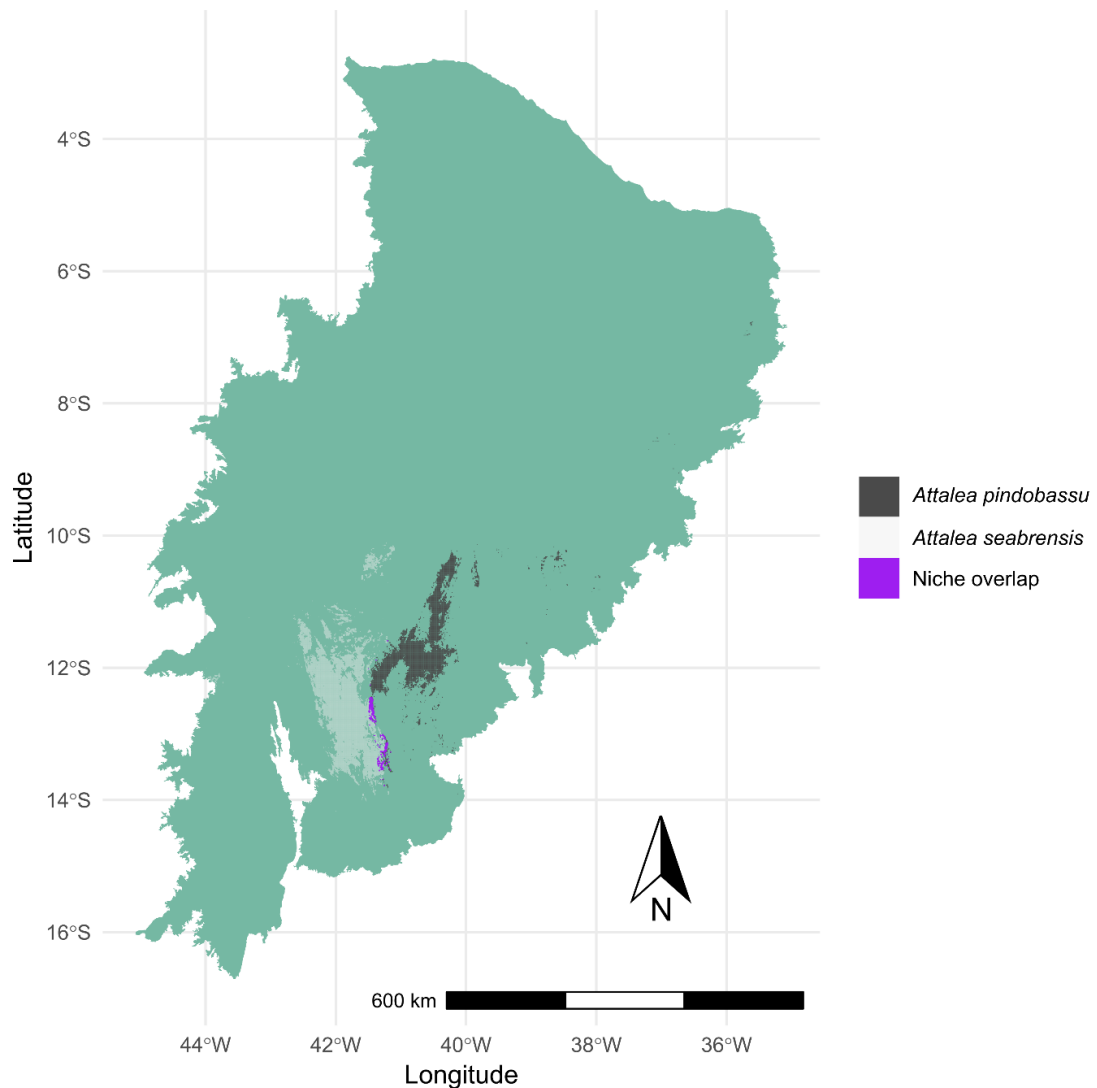
329

330 **Figura 5.** Importância relativa das variáveis utilizadas nos modelos de nicho ecológico.



331

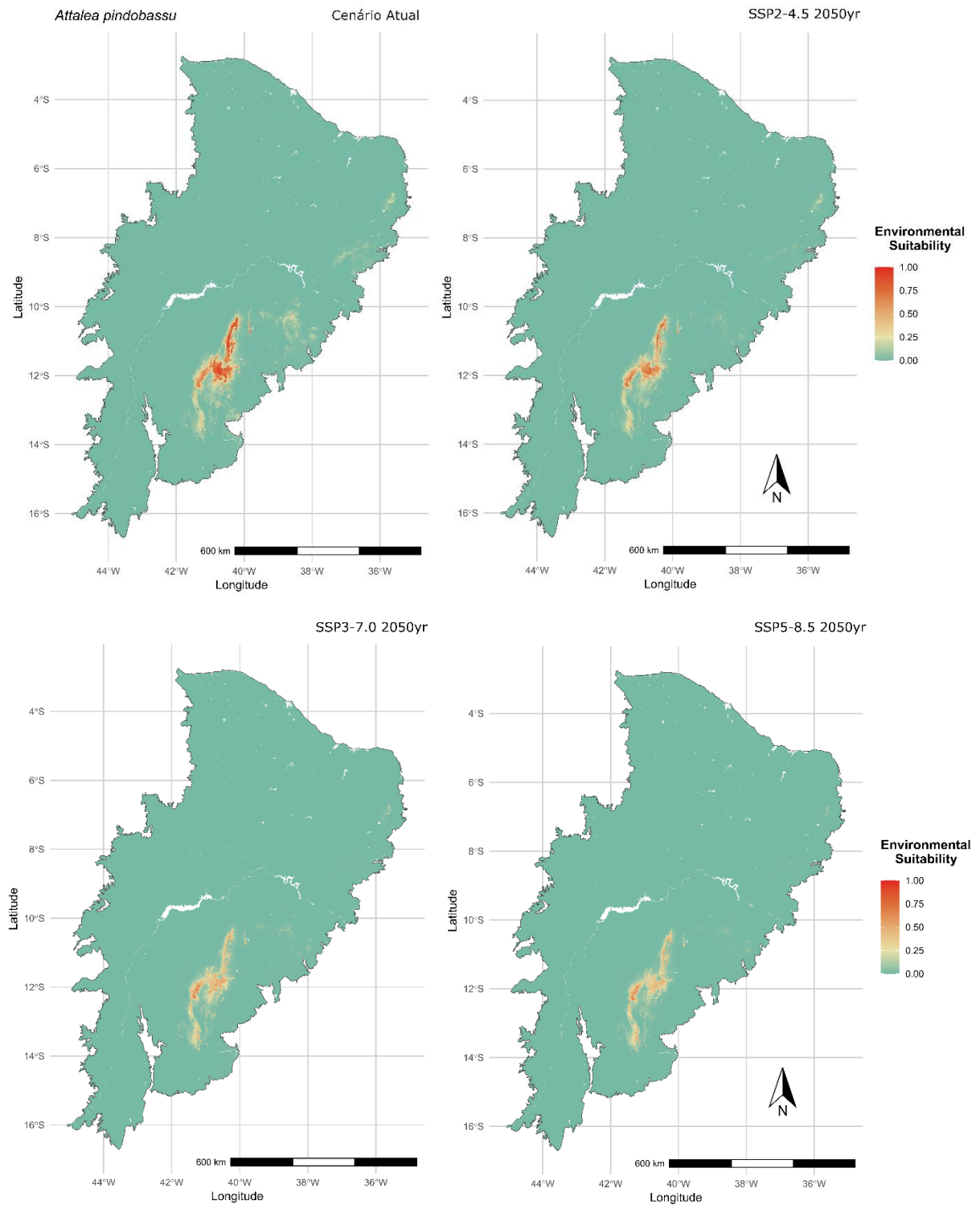
332 **Figura 6.** Mapa de adequabilidade do habitat no cenário atual. A escala representa o índice de adequabilidade do ambiente para a espécie, variando de 0: habitat menos adequado  
 333 a 1: habitat mais adequado.



**Figura 7.** Mapa de sobreposição de nicho entre as duas espécies no cenário atual.

### 3.3 Adequabilidade ambiental futura

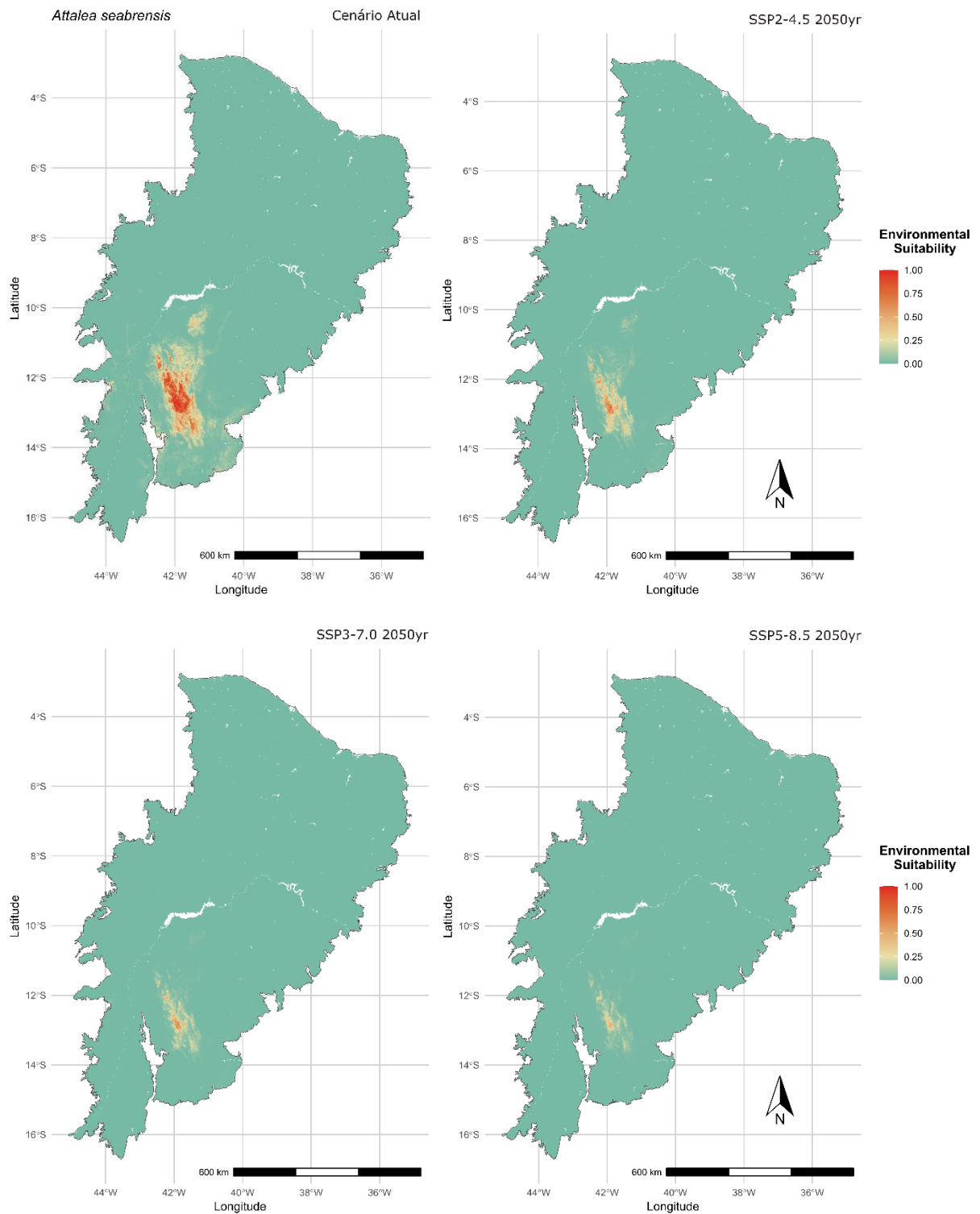
As projeções indicam uma redução expressiva da adequabilidade ambiental para *A. pindobassu* em todos os cenários futuros (Figura 8). No cenário otimista (SSP2-4.5), as áreas adequadas ( $\geq 0,25$ ) totalizam 8.211 km<sup>2</sup>, representando uma redução de aproximadamente 27% em relação à área atualmente adequada. No cenário intermediário (SSP3-7.0), essa área é reduzida para 6.959 km<sup>2</sup>, o que equivale a uma perda de 38,1%. Enquanto no cenário pessimista (SSP5-8.5), as áreas adequadas restringem-se a 6.151 km<sup>2</sup>, correspondendo a uma perda de 45,3%.



**Figura 8.** Adequabilidade do habitat projetada para *Attalea pindobassu* no cenário atual e em cenários futuros de mudanças climáticas.

Observa-se uma redução expressiva nas áreas climaticamente adequadas para *A. seabrensis* em todos os cenários futuros avaliados (Figura 9). Sob o cenário otimista (SSP2-4.5), a área adequada é reduzida para 4.740 km<sup>2</sup>, representando uma diminuição de aproximadamente 75,4%. No cenário intermediário (SSP3-7.0), essa área cai para 2.120 km<sup>2</sup>,

uma redução de 89%. Já no cenário pessimista (SSP5-8.5), restringe-se a apenas 811 km<sup>2</sup>,  
correspondendo a uma perda de 95,8% em relação à área atualmente adequada.



**Figura 9.** Adequabilidade do habitat projetada para *Attalea seabrensis* no cenário atual e em cenários futuros de mudanças climáticas.

## 4 Discussão

### 4.1 Fatores determinantes na adequabilidade ambiental das duas espécies

Neste estudo, avaliamos a influência de variáveis climáticas e topoedáficas na previsão do nicho realizado e a quantidade de área futura adequada para duas espécies do gênero *Attalea*, na região da Chapada Diamantina, Nordeste do Brasil. As variáveis mais importantes para a definição do nicho de *A. pindobassu* foram, respectivamente, a precipitação no mês mais seco, o teor de carbono orgânico do solo e a altitude. Para *A. seabrensis*, destacaram-se a temperatura do trimestre mais seco, a sazonalidade da temperatura e o teor de argila. Além disso, prevê-se que ambas as espécies sofram uma redução em suas áreas adequadas em todos os cenários climáticos futuros avaliados.

Entre os preditores ambientais, as variáveis climáticas exerceram a maior influência na adequabilidade do habitat para as espécies. Esses resultados estão de acordo com a concepção geral que enfatiza o clima como principal impulsionador da distribuição de espécies de palmeiras (Reichgelt et al. 2018). De acordo com as expectativas, as duas espécies apresentaram preferências climáticas distintas: *A. pindobassu* está associada a regiões com maior precipitação no mês mais seco (Bio14), enquanto *A. seabrensis* ocorre predominantemente em áreas com temperaturas mais baixas durante o trimestre mais seco (Figura 10). Globalmente, as palmeiras apresentam respostas variadas aos preditores bioclimáticos. Embora os parâmetros de precipitação sejam os mais relevantes para a distribuição da maioria das espécies (Blach-Overgaard et al., 2010; Vedel-Sørensen et al., 2013; Tovarante et al., 2015; Idohou et al., 2016; Sreekumar e Sasi, 2019; Lima et al., 2020; Costa et al., 2022), a distribuição de algumas palmeiras está fortemente associada a condições de temperatura (Gatti et al., 2008; Butler et al., 2011; Idohou et al., 2016; Butler e Larson, 2020; Costa et al., 2022).

As áreas favoráveis à ocorrência de *A. pindobassu* coincidem com a distribuição dos enclaves de florestas estacionais semidecíduais da região da Chapada Diamantina (Figura S5, Anexo 1). Esse padrão pode estar relacionado à importância do carbono orgânico do solo na definição do nicho realizado da espécie (Figura 5). Essas formações florestais, conhecidas como brejos de altitude, ocorrem em áreas elevadas que recebem maior precipitação em comparação à caatinga circundante, devido ao efeito das chuvas orográficas (Moro et al., 2024). Por outro lado, as áreas favoráveis à ocorrência de *A. seabrensis* estão associadas a regiões com vegetação de caatinga e cerrado (Figura S5, Anexo 1).

O efeito da estrutura da vegetação sobre as espécies de palmeiras está principalmente associado à sua distribuição espacial, influenciando fatores ambientais como a disponibilidade de luz, o acúmulo de serapilheira e as condições microclimáticas (Eiserhardt et al., 2011). As palmeiras neotropicais variam desde espécies dependentes e tolerantes ao sombreamento até aquelas que necessitam de altos níveis de luz para germinação e estabelecimento (Svenning, 2001a). Sob um dossel fechado, palmeiras de grande porte tendem a atingir a fase adulta apenas em clareiras formadas por quedas de árvores, devido ao aumento da demanda por luz nesse estágio de desenvolvimento. Além disso, uma camada espessa de serapilheira pode favorecer o recrutamento de espécies com frutos grandes, ao ocultá-los de predadores (Eiserhardt et al., 2011; Svenning, 2001a).

As variáveis edáficas mostraram-se relevantes nos modelos gerados, destacando a importância do solo como o segundo fator mais influente na distribuição das espécies de palmeiras (Vedel-Sørensen et al., 2013; Idohou et al., 2016). A influência do solo na composição e distribuição dessas plantas varia conforme a escala espacial, o ecossistema e o tipo de habitat (Costa et al., 2009; Andersen et al., 2010; Cámara-Leret et al., 2017). Em escala local, muitas espécies de palmeiras demonstram associações marcantes com características edáficas específicas, como o teor de argila e alumínio, além das concentrações de nutrientes (Eiserhardt et al., 2011).

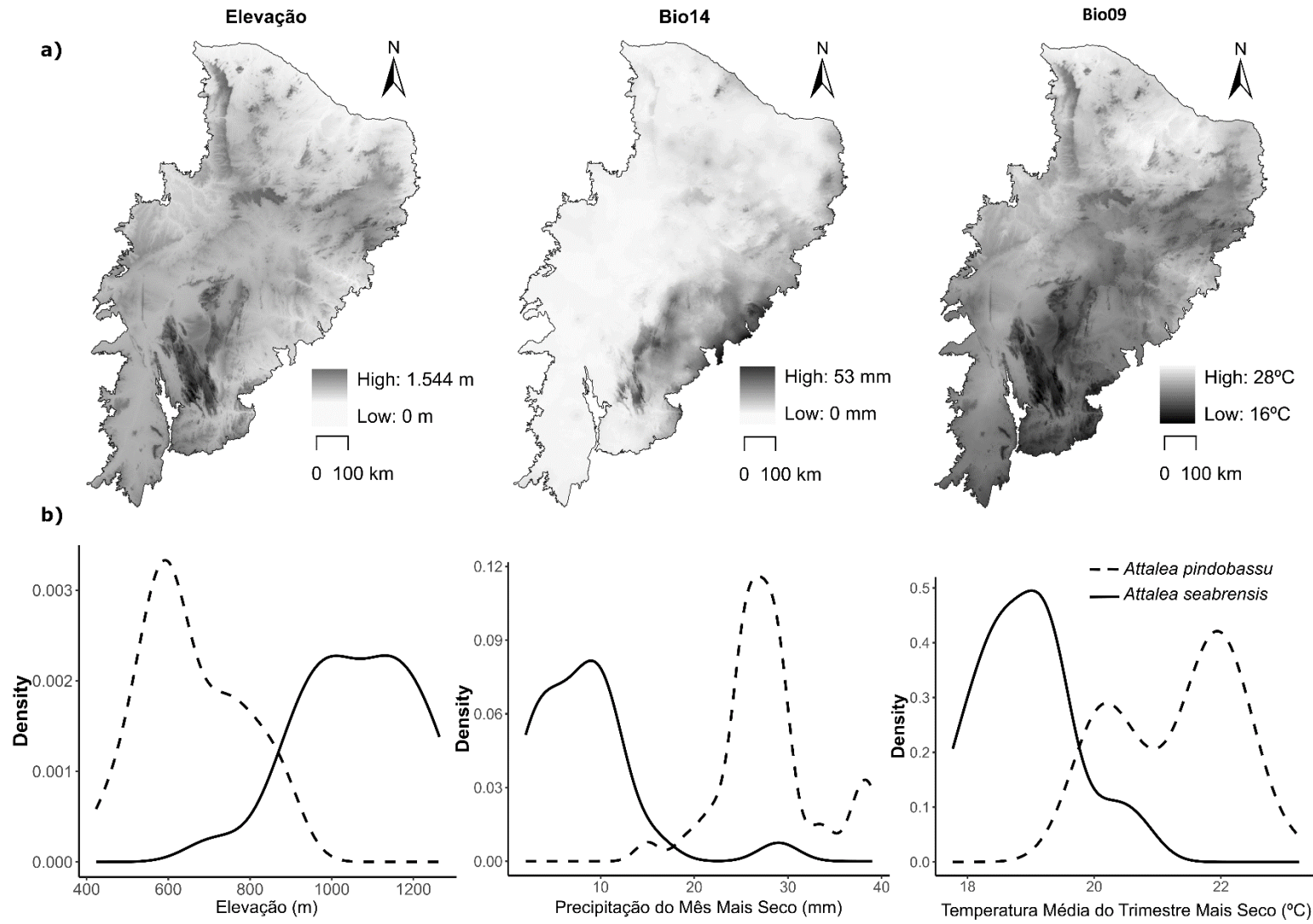
As duas espécies apresentam distribuições distintas ao longo do gradiente altitudinal da Chapada Diamantina. *A. pindobassu* é encontrada em elevações em torno de 600 m, enquanto *A. seabrensis* ocorre predominantemente em altitudes superiores a 1000 m (Figura 10b). A elevação revelou-se uma variável significativa para *A. pindobassu*. No entanto, a topografia influencia indiretamente a distribuição das espécies de palmeiras ao regular fatores ambientais subjacentes. Nesse contexto, a ocorrência da espécie na Serra da Jacobina, diretamente associada às condições climáticas e vegetacionais, pode estar relacionada às características altitudinais da região (Gatti et al., 2008; Raupp e Cintra, 2011; Rodrigues et al., 2014). De fato, nossos resultados indicam que, dentro dos limites do bioma caatinga, as temperaturas médias mais baixas durante o trimestre mais seco ocorrem em porções mais elevadas (Figura 10a). Gradientes térmicos e condições climáticas associadas tendem a criar diferenças na flora e na estrutura da vegetação, especialmente em áreas mais elevadas, onde as temperaturas mais baixas limitam o crescimento de espécies vegetais, resultando em menor diversidade e endemismos locais (Sevegnani et al., 2016).



Algumas populações de *A. pindobassu* foram registradas em encostas (Figura S1b, Anexo 1); no entanto, a inclinação do terreno apresentou baixo poder preditivo nos modelos preliminares e, portanto, não foi incluída no modelo final. No caso de *A. seabrensis*, a inclinação foi o preditor menos relevante entre os seis considerados. A distribuição de algumas espécies de palmeiras em diferentes posições topográficas pode não estar diretamente associada a fatores abióticos. Por exemplo, a variação na densidade da palmeira *Astrocaryum mexicanum* entre áreas planas e encostas é determinada principalmente pela abundância e comportamento dos dispersores de sementes (Klinger e Rejmánek, 2010). Da mesma forma, para algumas espécies de *Attalea*, os dispersores podem evitar encostas íngremes e limitar sua ocupação nessas áreas, restringindo-as, consequentemente, a regiões mais planas (Gomes de Freitas et al., 2012). Por outro lado, embora a inclinação não tenha sido um fator importante no modelo de *A. pindobassu*, a ocorrência da espécie em encostas tem contribuído para que algumas de suas populações permaneçam menos expostas aos impactos das atividades humanas locais (Caetano et al., 2016).

#### 4.2 Sobreposição dos nichos projetados

Conforme esperado, as áreas adequadas modeladas para *A. pindobassu* e *A. seabrensis* apresentaram baixa sobreposição, sugerindo limites ambientais distintos. Freitas et al. (2016), ao investigaram as relações filogenéticas entre as espécies do gênero *Attalea*, indicaram que *A. pindobassu* está estreitamente relacionada a *A. humilis*, encontrada na Mata Atlântica, e a *A. brasiliensis* (sinônimo de *A. compta*), presente em florestas estacionais decíduas. Por outro lado, *A. seabrensis* forma um grupo com *A. geraensis* (sinônimo de *A. exigua*), espécie distribuída em áreas de cerrado (Lorenzi et al., 2010; Henderson, 2020). Embora a similaridade entre os nichos das espécies estudadas e de suas espécies-irmãs não tenha sido analisada, a ocorrência em tipos de vegetação semelhantes pode refletir processos de especiação e diversificação no gênero *Attalea*. Cássia-Silva et al. (2019) verificaram que espécies de palmeiras com relações filogenéticas próximas tendem a ocupar habitats semelhantes (conservadorismo de nicho filogenético). Os nichos ecológicos de espécies-irmãs raramente são idênticos, mas tendem a ser mais semelhantes entre si do que aos de espécies não-irmãs na mesma família (Warren et al., 2008).



**Figura 10.** a) Variação espacial de três preditores da adequabilidade do habitat para as duas espécies; b) Distribuição dos pontos de ocorrência de *A. pindobassu* e *A. seabrensis* em relação à elevação, precipitação do mês mais seco (Bio14) e temperatura média do trimestre mais seco (Bio09).

Durante as flutuações climáticas do Pleistoceno/Holoceno no Nordeste do Brasil, ocorreram períodos de expansão e retração tanto de florestas úmidas quanto de florestas secas. Os brejos de altitude são formações que, nesse período, estiveram conectados à Mata Atlântica costeira e evoluíram como habitats distintos em decorrência do surgimento do clima semiárido e da vegetação sazonalmente seca da caatinga (Silveira et al., 2019; Moro et al., 2024). Essas áreas abrigam espécies endêmicas que se desenvolveram localmente e estão associadas apenas às condições úmidas dessas formações. Paralelamente, às flutuações climáticas também favoreceram o surgimento de enclaves de cerrado na região. Essas formações apresentam fisionomia típica de savana e abrigam espécies representativas da flora do domínio do cerrado (Moro et al., 2024).

Essa dinâmica de mudanças climáticas e de paisagem também se reflete na história evolutiva de *Attalea* (Freitas et al., 2016). A diversificação do gênero é relativamente recente, com grande parte de sua evolução ocorrendo nos últimos 13 milhões de anos (Meerow et al., 2009). Esse processo está associado aos cenários climáticos do período, caracterizados por variações de umidade e aridez, que possibilitaram a ocupação de novos nichos ecológicos e impulsionaram a especiação do gênero (Freitas et al., 2016).

#### 4.3 Projeções da adequabilidade ambiental futura

Apoiando nossa previsão, os resultados indicam que as mudanças climáticas devem reduzir significativamente as áreas ambientalmente adequadas para as duas espécies de *Attalea*, com impacto mais acentuado sobre *A. seabrensis*, indicando uma maior vulnerabilidade dessa palmeira. Esses resultados são particularmente preocupantes, uma vez que se trata de palmeiras endêmicas e de distribuição restrita. Estudos prévios indicam que uma das respostas de muitas espécies terrestres aos efeitos das mudanças climáticas será o deslocamento de sua distribuição para áreas de maior altitude (Dong et al., 2022; Wang et al., 2023). No entanto, para espécies já restritas a áreas montanhosas, como *A. pindobassu* e *A. seabrensis*, essa estratégia não é viável devido à falta de alternativas de realocação, pois a região onde ocorrem não possui variações altitudinais suficientes para possibilitar a migração para áreas mais elevadas (Lenoir e Svenning, 2015; Santos et al., 2020). Além disso, as espécies de palmeiras podem não se adaptar rapidamente às mudanças climáticas devido à lenta evolução de seus nichos ao longo da escala evolutiva (Eiserhardt et al., 2013).

Atualmente, *A. pindobassu* está classificada como 'Em Perigo' (EN), sendo as principais ameaças relacionadas às mudanças no uso da terra, como a conversão de áreas naturais em

pastagens, a expansão da urbanização e de rodovias (Bicalho e Amorim, 2021). Esse cenário é reforçado pelo estudo recente de Lima et al. (2025), que evidenciou que áreas sujeitas a perturbações antrópicas crônicas, como o pastoreio intensivo, têm impactado significativamente a estrutura populacional e a regeneração natural da espécie. *A. seabrensis* por sua vez, encontra-se listada como 'Vulnerável' (VU) à extinção, sendo as atividades pecuaristas a principal ameaça (Bicalho e Amorim, 2022). No entanto, vale ressaltar que as populações de *A. seabrensis* são consideravelmente menores do que as de *A. pindobassu* e encontram-se fragmentadas em subpopulações (Oliveira, observação pessoal; Figura S2, Anexo 1). Diante desse cenário crítico, é razoável supor que os impactos antrópicos, somados às mudanças climáticas, podem aumentar o risco de declínio populacional e, consequentemente, levar à extinção dessas espécies.

## 5 Conclusão

Este estudo revelou padrões contrastantes na adequabilidade ambiental das palmeiras analisadas, indicando uma especialização de nicho em resposta às variações ambientais, sobretudo climáticas. As áreas favoráveis à ocorrência de *A. pindobassu* estão associadas a regiões úmidas, enquanto os ambientes adequados para *A. seabrensis* se restringem a zonas caracterizadas por baixas temperaturas. As diferenças nos conjuntos de variáveis preditoras e nas porcentagens de contribuição para os modelos refletem as variações climáticas, edáficas e paisagísticas dos ambientes ocupados pelas duas espécies, influenciando diretamente seus padrões de distribuição. Essa diferenciação permite a coexistência dessas espécies em uma mesma região, por meio da ocupação de habitats distintos.

Contudo, é importante considerar alguns aspectos na interpretação dos nossos modelos. As variáveis topoedáficas foram tratadas como constantes nos cenários climáticos futuros, o que pode resultar em uma variação na estimativa da perda de adequabilidade (Wu et al., 2022). Além disso, os modelos refletem apenas o contexto abiótico, uma vez que fatores não avaliados aqui, como interações bióticas (Wisz et al., 2013) e distúrbios antrópicos (Escobar et al., 2015), também moldam e restringem o espaço disponível às espécies e, portanto, devem ser incorporados em estudos futuros para refinar estimativas de áreas adequadas para as palmeiras estudadas.

Diante das evidências obtidas, a sinonímia entre as espécies é formalmente rejeitada. Portanto, recomendamos que *A. seabrensis* seja reconhecida como uma unidade taxonômica distinta. A continuidade dessa sinonímia pode dificultar a identificação de ameaças específicas

à espécie. A ocupação de nichos distintos e as respostas projetadas às mudanças climáticas evidenciam a necessidade urgente de estratégias de conservação que considerem as especificidades ambientais de cada espécie. Tais estratégias devem incluir tanto ações *in situ* — como a proteção de refúgios climáticos, a criação e expansão de unidades de conservação, o monitoramento populacional e a recuperação de habitats degradados — quanto ações *ex situ*, como a conservação de material genético em bancos de germoplasma.

Por fim, destacamos que a integração de modelos de nicho ecológico nas pesquisas taxonômicas pode aprimorar a delimitação das espécies (Orr et al., 2014; Cruz et al., 2023). Os registros de ocorrência coletados para este estudo poderão auxiliar na reavaliação do status de conservação dessas palmeiras. Além disso, análises complementares, como estudos moleculares, histológicos e ecológicos, serão essenciais para aprofundar a compreensão sobre as relações de parentesco entre essas duas espécies.

**Agradecimentos:** O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Agradecemos à CAPES pelo financiamento e suporte concedido a Beatriz Oliveira durante o período deste estudo. À Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) e ao Laboratório de Ecologia Básica e Aplicada (LEBA – UNIVASF) pelo apoio logístico na realização deste trabalho.

## Referências

- Allouche, O., Tsoar, A., Kadmon, R., 2006. Assessing the accuracy of species distribution models: Prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology*. 43, 1223–1232. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01214.x>
- Andersen, K.M., Turner, B.L., Dalling, J.W., 2010. Soil-based habitat partitioning in understorey palms in lower montane tropical forests. *J. Biogeogr.* 37, 278–292. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2009.02192.x>
- Araújo, M.B., New, M., 2007. Ensemble forecasting of species distributions. *Ecology and Evolution*, 22, 42–47. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.09.010>
- Bahia, 2010. Plano Estadual de Manejo de Águas Pluviais e Esgotamento Sanitário. TOMO II – Diagnósticos e Levantamentos, Volume 13 – RDS 16 – Piemonte da Diamantina. Governo do Estado da Bahia. Secretaria de Desenvolvimento Urbano. 138p.
- Bahia, 2011. Plano Estadual de Manejo de Águas Pluviais e Esgotamento Sanitário. TOMO II – Diagnósticos e Levantamentos, Volume 12 - RDS 03 - Chapada Diamantina. Governo do Estado da Bahia. Secretaria de Desenvolvimento Urbano. 182p.
- Beauregard, F., Blois, S., 2014. Beyond a climate-centric view of plant distribution: Edaphic variables add value to distribution models. *PLoS ONE*. 9(3), e92642. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.009264>

- 553 Bicalho, M., Amorim, E., 2020. *Attalea seabrensis* (Arecaceae). Lista Vermelha da Flora  
554 Brasileira: Centro Nacional de Conservação da Flora/ Instituto de Pesquisas Jardim Botânico  
555 do Rio de Janeiro.
- 556 Bicalho, M., Amorim, E., 2021. *Attalea pindobassu* (Arecaceae). Lista Vermelha da Flora  
557 Brasileira: Centro Nacional de Conservação da Flora/ Instituto de Pesquisas Jardim Botânico  
558 do Rio de Janeiro.
- 559 Blach-Overgaard, A., Svenning, J.C., Dransfield, J., Greve, M., Balslev, H., 2010.  
560 Determinants of palm species distributions across Africa: The relative roles of climate, non-  
561 climatic environmental factors, and spatial constraints. *Ecography*. 33, 380–391.  
562 <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2010.06273.x>
- 563 Blach-Overgaard, A., Balslev, H., Dransfield, J., Normand, S., Svenning, J.C., 2015. Global-  
564 change vulnerability of a key plant resource, the African palms. *Scientific Reports*. 5:12611.  
565 <https://doi.org/10.1038/srep12611>
- 566 Brown, J.L., Bennett, J.R., French, C.M., 2017. SDMtoolbox 2.0: the next generation Python-  
567 based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model  
568 analyses. *PeerJ*. 5:e4095. <https://doi.org/10.7717/peerj.4095>
- 569 Butler, C.J., Larson, M., 2020. Climate change winners and losers: The effects of climate  
570 change on five palm species in the Southeastern United States. *Ecology and Evolution*. 10,  
571 10408–10425. <https://doi.org/10.1002/ece3.6697>
- 572 Caetano, M.L.P., Bertolde, F.Z., Souza, V.L., 2016. Análise etnobotânica do babaçu no  
573 município de Tapiramutá, BA. Resumos da 68ª Reunião Anual da SBPC. Porto Seguro/  
574 Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência – São Paulo.
- 575 Cámara-Leret, R., Tuomisto, H., Ruokolainen, K., Balslev, H., Munch Kristiansen, S., 2017.  
576 Modelling responses of western Amazonian palms to soil nutrients. *J. Ecology*. 105, 367–381.  
577 <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12708>
- 578 Cannon, A. J., 2020. Reductions in daily continental-scale atmospheric circulation biases  
579 between generations of global climate models: CMIP5 to CMIP6. *Environmental Research*  
580 *Letters*. 15:064006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab7e4f>
- 581 Cássia-Silva, C., Freitas, C.G., Alves, D.M.C.C., Bacon, C.D., Collevatti, R.G., 2019. Niche  
582 conservatism drives a global discrepancy in palm species richness between seasonally dry and  
583 moist habitats. *Global Ecology and Biogeography*. 28, 814–825.  
584 <https://doi.org/10.1111/geb.12895>
- 585 Chapman, A.D., Muñoz, M.E.S., Koch, I., 2005. Environmental information: placing  
586 biodiversity phenomena in an ecological and environmental context. *Biodiversity Informatics*.  
587 2, 24–41. <https://doi.org/10.17161/bi.v2i0.5>
- 588 Costa, F.R.C., Guillaumet, J.L., Lima, A.P., Pereira, O.S., 2009. Gradients within gradients:  
589 The mesoscale distribution patterns of palms in a central Amazonian forest. *Journal of*  
590 *Vegetation Science*, 20(1), 69–78. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2009.05314.x>
- 591 Costa, M.F., Francisconi, A F., Vancine, M.H., Zucchi, M.I., 2022. Climate change impacts  
592 on the *Copernicia alba* and *Copernicia prunifera* (Arecaceae) distribution in South America.  
593 *Revista Brasileira de Botânica*. 45, 807–818. <https://doi.org/10.1007/s40415-022-00801-8>
- 594 CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 1994. Parque Nacional da Chapada  
595 Diamantina (Ba) - informações básicas para gestão territorial: diagnóstico do meio físico e da  
596 vegetação. CPRM: IBAMA, Salvador. 108p.

- Cruz, D.D., Ospina-Garcés, S.M., Arellano, E., Ibarra-Cerdeña, C.N., Nava-García, E., Alcalá, R., 2023. Geometric morphometrics and ecological niche modelling for delimitation of *Triatoma pallidipennis* (Hemiptera: Reduviidae: Triatominae) haplogroups. *Current Research in Parasitology and Vector-Borne Diseases*. 3, 100119. <https://doi.org/10.1016/j.crpvbd.2023.100119>
- Dong, P.B., Wang, L.Y., Wang, L.J., Jia, Y.; Li, Z.H., Bai, G., Zhao, R.M., Liang, W., Wang, H.Y., Guo, F.X., Chen Y., 2022. Distributional Response of the Rare and Endangered Tree Species *Abies chensiensis* to Climate Change in East Asia. *Biology* 11:1659. <https://doi.org/10.3390/biology11111659>
- Dormann, C F., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Carl, G., Carré, G., Marquéz, J.R.G., Gruber, B., Lafourcade, B., Leitão, P.J., Münkemüller, T., Mcclean, C., Osborne, P.E., Reineking, B., Schröder, B., Skidmore, A.K., Zurell, D., Lautenbach, S., 2013. Collinearity: A review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography*. 36, 27–46. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x>
- Dubuis, A., Giovanettina, S., Pellissier, L., Pottier, J., Vittoz, P., Guisan, A., 2013. Improving the prediction of plant species distribution and community composition by adding edaphic to topo-climatic variables. *Journal of Vegetation Science*. 24, 593–606. <https://doi.org/10.1111/jvs.12002>
- Eiserhardt, W.L., Svenning, J.C., Kissling, W.D., Balslev, H., 2011. Geographical ecology of the palms (Arecaceae): Determinants of diversity and distributions across spatial scales. *Annals of Botany*. 108, 1391–1416. <https://doi.org/10.1093/aob/mcr146>
- Eiserhardt, W.L., Svenning, J.C., Baker, W.J., Couvreur, T.L.P., Balslev, H., 2013. Dispersal and niche evolution jointly shape the geographic turnover of phylogenetic clades across continents. *Scientific Reports*, 3, 1164. <https://doi.org/10.1038/srep01164>
- Elith, J., 2000. Quantitative Methods for Modeling Species Habitat: Comparative Performance and an Application to Australian Plants. *Quantitative Methods for Conservation Biology*. 39–58. [https://doi.org/10.1007/0-387-22648-6\\_4](https://doi.org/10.1007/0-387-22648-6_4)
- Escobar, L.E., Awan, M.N., Qiao, H. 2015. Anthropogenic disturbance and habitat loss for the red-listed Asiatic black bear (*Ursus thibetanus*): Using ecological niche modeling and nighttime light satellite imagery. *Biological Conservation* 191, 400–407. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.06.040>
- ESRI, 2019. ArcMap Desktop (Version 10.8), Redlands, California, EUA.
- Fick, S.E., Hijmans, R.J., 2017. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. 37, 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Freitas, C., Meerow, A.W., Pintaud, J.C., Henderson, A., Noblick, L., Costa, F.R.C., Barbosa, C.E., Barrington, D., 2016. Phylogenetic analysis of *Attalea* (Arecaceae): insights into the historical biogeography of a recently diversified neotropical plant group. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 182, 287–302. <https://doi.org/10.1111/boj.12466>
- Gatti, M.G., Campanello, P.I., Montti, L.F., Goldstein, G., 2008. Frost resistance in the tropical palm *Euterpe edulis* and its pattern of distribution in the Atlantic Forest of Argentina. *Forest Ecology and Management*. 256, 633–640. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.05.012>
- Glassman, S.E., 1999. A taxonomic treatment of the palm subtribe Attaleinae (tribe Cocoeae). *Illinois Biological Monographs*. University of Illinois Press. 59, 414p. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.49920>



- Gomes de Freitas, C., Costa, F.R.C., Svenning, J.C., Balslev, H., 2012. Topographic separation of two sympatric palms in the central Amazon - does dispersal play a role? *Acta Oecologica*. 39, 128–135. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2012.01.007>
- Gutjahr, O., Putrasahan, D., Lohmann, K., Jungclaus, J.H., von Storch, J.S., Brüggemann, N., Haak, H., Stössel, A., 2019. Max Planck Institute Earth System Model (MPI-ESM1.2) for the High-Resolution Model Intercomparison Project (HighResMIP), *Geosci. Model Dev.*, 12, 3241–3281. <https://doi.org/10.5194/gmd-12-3241-2019>
- Henderson, A., Galeano, G., Bernal, R., 1995. *Field Guide to the Palms of the Americas*. Princeton University Press. 153–164. <https://doi.org/10.2307/j.ctvcszzzd>
- Henderson, A., 2020. A revision of *Attalea* (Arecaceae, Arecoideae, Cocoseae, Attaleinae). *Phytotaxa*. 444, 1–76. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.444.1>
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019. *Biomass e sistema costeiro-marinho do Brasil: compatível com a escala 1:250.000*. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro: IBGE. 168p.
- ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2007. *Plano de Manejo do Parque Nacional da Chapada Diamantina*. Palmeiras, BA. 506p.
- Idohou, R., Assogbadjo, A.E., Kakaï, R.G., Peterson, A T., 2016. Spatio-temporal dynamic of suitable areas for species conservation in West Africa: eight economically important wild palms under present and future climates. *Agroforestry Systems*. 91, 527–540. <https://doi.org/10.1007/s10457-016-9955-6>
- Khan, A.M., Li, Q., Saqib, Z., Khan, N., Habib, T., Khalid, N., Majeed, M., Tariq, A., 2022. MaxEnt Modelling and Impact of Climate Change on Habitat Suitability Variations of Economically Important Chilgoza Pine (*Pinus gerardiana* Wall.) in South Asia. *Forests*. 13, 1–23. <https://doi.org/10.3390/f13050715>
- Klinger, R., Rejmánek, M., 2010. A strong conditional mutualism limits and enhances seed dispersal and germination of a tropical palm. *Oecologia*. 162, 951–963. <https://doi.org/10.1007/s00442-009-1542-3>
- Lenoir, J., Svenning, J.C., 2015. Climate-related range shifts - a global multidimensional synthesis and new research directions. *Ecography*. 38, 15–28. <https://doi.org/10.1111/ecog.00967>
- Lima, V.V.F., Scariot, A., Sevilha, A.C., 2020. Predicting the distribution of *Syagrus coronata* palm: Challenges for the conservation of an important resource in northeastern Brazil. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*. 269, 151607. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151607>
- Lima, B.A.O., Rodrigues, P.M.S., Silva, J.O., 2025. Effects of land use and management on the structure and recruitment of an endemic palm tree (*Attalea pindobassu* Bondar) from the Brazilian semi-arid. *Journal for Nature Conservation*. 84, 126830. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2025.126830>
- Lorenzi, H., Kahn, F., Noblick L.R., Ferreira E., 2010. *Flora Brasileira: Arecaceae* (Palmeiras). Nova Odessa, SP: Editora Plantarum. 368p.
- Marengo, J.A., Torres, R.R., Alves, L.M., 2017. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. *Theoretical and Applied Climatology*. 129, 1189–1200. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8>



- Marques, M.J., Bezerra, C.S., Tomaz, J.S., Lopes, R., Wrege, M.S., de Aguiar, A.V., Ramos, S.L.F., Meneses, C.H.S.G., Fraxe, T.J.P., Lopes, M.T.G., 2024. Prediction of geographic distribution and ecological niche modeling of açai palm trees in the Amazon. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, 54, e78108. <https://doi.org/10.1590/1983-40632024v5478108>
- Meerow, A.W., Noblick, L., Borrone, J.W., Couvreur, T.L.P., Mauro-Herrera, M., Hahn, W. J., Kuhn, D.N., Nakamura, K., Oleas, N.H., Schnell, R.J., 2009. Phylogenetic analysis of seven WRKY genes across the palm subtribe attaleinae (areceaceae) identifies Syagrus as sister group of the coconut. *PLoS ONE*. 4, 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0007353>
- Menezes, I.S., Rocha, D.S.B., Voeks, R., Couto-Santos, A.P.L., Funch, L.S., 2023. Conservation challenges to the useful neotropical palm Babaçu (*Attalea pindobassu* Bondar) in the face of climate change. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*. 302, 152262. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2023.152262>
- Merkenschlager, C., Bangelesa, F., Paeth, H., Hertig, E., 2023. Blessing and curse of bioclimatic variables: A comparison of different calculation schemes and datasets for species distribution modeling within the extended Mediterranean area. *Ecology and Evolution*. 13: e10553. <https://doi.org/10.1002/ece3.10553>
- Milesi, J.P., Ledru, P., Marcoux, E., Mougeot, R., Johan, V., Lerouge, C., Sabaté, P., Bailly, L., Respaut, J.P., Skipwith, P., 2002. The Jacobina Paleoproterozoic gold-bearing conglomerates, Bahia, Brazil: A “hydrothermal shear-reservoir” model. *Ore Geol. Rev.* 19, 95–136. [https://doi.org/10.1016/S0169-1368\(01\)00038-5](https://doi.org/10.1016/S0169-1368(01)00038-5)
- Moro, M.F., Amorim, V.O., Queiroz, L.P., Costa, L.R.F., Maia, R.P., Taylor, N.P., Zappi, D.C., 2024. Biogeographical Districts of the Caatinga Dominion: A Proposal Based on Geomorphology and Endemism. *The Botanical Review*. 90, 376–429. <https://doi.org/10.1007/s12229-024-09304-5>
- Naimi, B., Hamm, N.A.S., Groen, T.A., Skidmore, A.K., Toxopeus, A.G., 2014. Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling? *Ecography*. 37, 191–203. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.00205.x>
- Naimi, B., Araújo, M.B., 2016. Sdm: A reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. *Ecography*. 39, 368–375. <https://doi.org/10.1111/ecog.01881>
- Noblick L., 1991. Indigenous palms of the state of Bahia, Brazil. PhD Dissertation. The University of Illinois, Chicago. 523p.
- Noblick, L. R., 1994. Palms of Bahia. *Acta Hort.* 360, 85–94. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1994.360.11>
- Noblick, L., 2024. An anatomical survey of the leaflet margins of the genus *Attalea* (Arecaceae: Arecoideae: Cocoseae: Attaleinae). *Rodriguésia*. 75, e01212023. <https://doi.org/10.1590/2175-7860202475051>
- O'Neill, B.C., Tebaldi, C., van Vuuren, D.P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., Knutti, R., Kriegler, E., Lamarque, J.F., Lowe, J., Meehl, G.A., Moss, R., Riahi, K., Sanderson, B.M., 2016. The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*. 9, 3461–3482. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016>
- Orr, M.C., Koch, J.B., Griswold, T.L., Pitts, J.P., 2014. Taxonomic utility of niche models in validating species concepts: A case study in Anthophora (*Heliophila*) (Hymenoptera: Apidae). *Zootaxa*. 3846, 411–429. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3846.3.5>

- Passos, I., Figueiredo, A., Almeida, A.M., Ribeiro, M.M., 2024. Uncertainties in Plant Species Niche Modeling under Climate Change Scenarios. *Ecologies*. 5, 402-419. <https://doi.org/10.3390/ecologies5030025>
- Pedreira, A.J., 2002. Serra do Sincorá, Chapada Diamantina, BA: beleza paisagística e paleoplácetes de diamante. In: Schobbenhaus, C., Campos, D.A., Queiroz, E.T., Winge, M., Berbert-Born, M.L.C. (Eds.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM, pp. 187–194.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., Schapire, R.E., 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions, *Ecol. Modell.* 90, 231–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Poggio, L., Sousa, L.M., Batjes, N.H., Heuvelink, G.B.M., Kempen, B., Ribeiro, E., Rossiter, D., 2021. SoilGrids 2.0: producing soil information for the globe with quantified spatial uncertainty. *Soil*. 7, 217–240. <https://doi.org/10.5194/soil-7-217-2021>
- R Core Team, 2024. *\_R: A Language and Environment for Statistical Computing\_*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Rapini, R., 2009. Arecaceae. In: Giulietti, A.M., Rapini, A., Andrade, M.J.G., Queiroz, L.P., Silva, J.M.C. (Eds.), *Plantas raras do Brasil*. Belo Horizonte, MG: Conservação Internacional, pp. 74–75.
- Raupp, S.V., Cintra, R., 2011. Influence of a topographic gradient on the occurrence, abundance and composition of nine species of palms (Arecaceae) in the Central Amazon. *Neotropical Biology and Conservation*. 6, 124–130. <https://doi.org/10.4013/nbc.2011.62.07>
- Raxworthy, C.J., Ingram, C.M., Rabibisoa, N., Pearson, R.G., 2007. Applications of ecological niche modeling for species delimitation: A review and empirical evaluation using day geckos (*Phelsuma*) from Madagascar. *Systematic Biology*. 56, 907–923. <https://doi.org/10.1080/10635150701775111>
- Reichgelt, T., West, C.K., Greenwood, D.R., 2018. The relation between global palm distribution and climate. *Scientific Reports*. 8, 4721. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-23147-2>
- Rocha, W.J.S.F., Chaves, J.M., Rocha, C.C., Funch, L., Juncá, F.A., 2005. Avaliação Ecológica Rápida da Chapada Diamantina. In: Juncá, F.A., Funch, L., Rocha, W.J.S.F. (Eds.), *Biodiversidade e Conservação da Chapada Diamantina*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, pp. 29–46.
- Rodrigues, L.F., Cintra, R., Castilho, C.V., Pereira, O. S., Pimentel, T.P., 2014. Influences of forest structure and landscape features on spatial variation in species composition in a palm community in central Amazonia. *Journal of Tropical Ecology*. 30, 565–578. <https://doi.org/10.1017/S0266467414000431>
- Rödger, D., Engler, J.O., 2011. Quantitative metrics of overlaps in Grinnellian niches: Advances and possible drawbacks. *Global Ecology and Biogeography*. 20, 915–927. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2011.00659.x>
- Sampaio, A.R., 2001. Introdução. In: Sampaio, A.R., Santos, R.A., Rocha, A.J.D., Guimarães, J.T. (Eds.), *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB. Jacobina – Folha SC.24-Y-C, Estado da Bahia. Escala 1:250.000*. Brasília:CPRM/DIEDIG/DEPAT, pp. 1–6.
- Santos, G.N., Silva, A.C., Higuchi, P. 2020. Impact of climate change on the geographical distribution of a cloud forest indicator tree species. *Revista Arvore* 44, 1–12. <https://doi.org/10.1590/1806-908820200000032>

- 774 Santos, I.A.M., Dias, D.L.C., Silva, M.S., Silva, L.B., Leite, K.R.B., 2019a. O gênero *Attalea*  
775 na Bahia: diversidade, utilização e potencialidade In: Santos, F.A.R., Carneiro, C.E. (Eds.),  
776 Pindorama. Teresina: EDUFPI, pp. 19–23.
- 777 Santos, I.A.M., Dias, D.L.C., Leite, K.R.B. Silva, M.S., Silva, L.B., 2019b. Aproveitamento  
778 de resíduos em *Attalea pindobassu* Bondar (Arecaceae) através da análise micrométrica das  
779 fibras do fruto e da folha. In: Santos, F.A.R., Carneiro, C.E. (Eds.), Pindorama. Teresina:  
780 EDUFPI, pp. 24–30.
- 781 Sevegnani, L., Uhlmann, A., Gasper, A.L., Meyer, L., Vibrans, A.C., 2016. Climate affects  
782 the structure of mixed rain forest in southern sector of Atlantic domain in Brazil. *Acta*  
783 *Oecologica*; 77, 109–117. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2016.10.002>
- 784 Shabani, F., Kumar, L., Taylor, S., 2012. Climate Change Impacts on the Future Distribution  
785 of Date Palms: A Modeling Exercise Using CLIMEX. *PLoS ONE* 7(10), e48021. doi:  
786 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048021>
- 787 Sillero, N., Arenas-Castro, S., Enriquez-Urzelai, U., Vale, C.G., Sousa-Guedes, D., Martínez-  
788 Freiría, F., Real, R., Barbosa, A.M., 2021. Want to model a species niche? A step-by-step  
789 guideline on correlative ecological niche modelling. *Ecological Modelling*. 456, 109671.  
790 <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2021.109671>
- 791 Silveira, M.H.B., Mascarenhas, R., Cardoso, D., Batalha-Filho, H., 2019. Pleistocene climatic  
792 instability drove the historical distribution of forest islands in the northeastern Brazilian  
793 Atlantic Forest. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 527, 67–76.  
794 <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2019.04.028>
- 795 Soley-Guardia, M., Alvarado-Serrano, D.F., Anderson, R.P., 2024. Top ten hazards to avoid  
796 when modeling species distributions: a didactic guide of assumptions, problems, and  
797 recommendations. *Ecography*. 4, e06852. <https://doi.org/10.1111/ecog.06852>
- 798 Sreekumar, V.B., Sasi R., 2019. Predicting the geographical distribution of *Calamus*  
799 *lakshmanae* Renuka (Arecaceae), an endemic rattan in the Western Ghats, India. *J. Bamboo*  
800 *and Rattan*. 18, 24–30.
- 801 Svenning, J. C., 1999. Microhabitat specialization in a species-rich palm community in  
802 Amazonian Ecuador. *Journal of Ecology*. 87, 55–65. [https://doi.org/10.1046/j.1365-](https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.1999.00329.x)  
803 [2745.1999.00329.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.1999.00329.x)
- 804 Svenning, J.C., 2001a. On the role of microenvironmental heterogeneity in the ecology and  
805 diversification of neotropical rain-forest palms (Arecaceae). *Bot. Ver.* 67, 1–53.  
806 <https://doi.org/10.1007/BF02857848>
- 807 Svenning, J.C., 2001b. Environmental heterogeneity, recruitment limitation and the mesoscale  
808 distribution of palms in a tropical montane rain forest (Maquipucuna, Ecuador). *Journal of*  
809 *Tropical Ecology*. 7, 97–113.
- 810 Torres, R.R., Lapola, D.M., Gamarra, N.L.R., 2017. Future Climate Change in the Caatinga.  
811 In: Silva, J.M.C., Leal, I.R., Tabarelli, M. (Eds.), *Caatinga: The Largest Tropical Dry Forest*  
812 *Region in South America*. Springer International Publishing. pp. 383–412.  
813 <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68339-3>
- 814 Tovarante, J., Blach-Overgaard, A., Pongsattayapipat, R., Svenning, J.C., Barfod, A.S.,  
815 2015. Distribution and diversity of palms in a tropical biodiversity hotspot (Thailand)  
816 assessed by species distribution modeling. *Nordic Journal of Botany*. 33, 214–224.  
817 <https://doi.org/10.1111/j.1756-1051.2013.00217.x>

- 818 Vedel-Sørensen, M., Tovaranton, J., Bøcher, P.K., Balslev, H., Barfod, A.S., 2013. Spatial  
819 distribution and environmental preferences of 10 economically important forest palms in  
820 western South America. *Forest Ecology and Management*. 307, 284–292.  
821 <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.07.005>
- 822 Velazco, S.J.E., Galvão, F., Villalobos, F., Marco, P., 2017. Using worldwide edaphic data to  
823 model plant species niches: An assessment at a continental extent. *PLoS ONE*. 12, e0186025.  
824 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186025>
- 825 Wang, M., Hu, Z., Wang, Y., Zhao, W. 2023. Spatial Distribution Characteristics of Suitable  
826 Planting Areas for *Pyrus* Species under Climate Change in China. *Plants* 12:1559.  
827 <https://doi.org/10.3390/plants12071559>
- 828 Warren, D.L., Glor, R.E., Turelli, M., 2008. Environmental niche equivalency versus  
829 conservatism: Quantitative approaches to niche evolution. *Evolution*. 62, 2868–2883.  
830 <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.2008.00482.x>
- 831 Wickham, H., 2016. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New  
832 York.
- 833 Wiens, J.J., Graham, C.H., 2005. Niche Conservatism: Integrating Evolution, Ecology, and  
834 Conservation Biology. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 36, 519–539.  
835 <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.36.102803.095431>
- 836 Wisz, M.S., Pottier, J., Kissling, W.D., Pellissier, L., Lenoir, J., Damgaard, C.F., Dormann, C.  
837 F., Forchhammer, M.C., Grytnes, J.A., Guisan, A., Heikkinen, R.K., Høye, T.T., Kühn, I.,  
838 Luoto, M., Maiorano, L., Nilsson, M.C., Normand, S., Öckinger, E., Schmidt, N.M.,  
839 Termansen, M., Timmermann, A., Wardle D.A., Aastrup, P., Svenning, J. C., 2013. The role  
840 of biotic interactions in shaping distributions and realised assemblages of species:  
841 Implications for species distribution modelling. *Biological Reviews* 88, 15–30.  
842 <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2012.00235.x>
- 843 Wu, X., Wang, M., Li, X., Yan, Y., Dai, M., Xie, W., Zhou, X., Zhang, D., Wen, Y., 2022.  
844 Response of distribution patterns of two closely related species in *Taxus* genus to climate  
845 change since last inter-glacial. *Ecology and Evolution*. 12, 1–15.  
846 <https://doi.org/10.1002/ece3.9302>

## CAPÍTULO 2

### Mudanças climáticas afetam o futuro do extrativismo de uma palmeira rara e ameaçada (*Attalea pindobassu* Bondar) do semiárido brasileiro

Beatriz Hanna dos Santos Oliveira<sup>1</sup>, Estevan Eltink Nogueira<sup>1,2</sup>, Jhonathan de Oliveira Silva<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Evolução, Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Avenida Transnordestina, s/n - Novo Horizonte, Feira de Santana, BA, 44036-900, Brasil

<sup>2</sup> Colegiado de Ecologia, campus Senhor do Bonfim, Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Av. Tomaz Guimarães, s/n - Santos Dumont, Senhor do Bonfim, BA, 48970-000, Brasil

## RESUMO

Estudos de modelagem de nicho ecológico têm previsto uma redução das áreas adequadas para espécies de uso florestal não-madeireiro, em cenários futuros de mudanças climáticas, o que afetará a produtividade de frutos e, consequentemente, a economia de muitas comunidades extrativistas. Este estudo teve como objetivo investigar a relação entre a adequabilidade climática e a produtividade de *Attalea pindobassu*, uma palmeira endêmica da caatinga brasileira e de importância econômica. Além disso, buscou-se avaliar os impactos das mudanças climáticas globais e suas implicações para o extrativismo da espécie. Para geração dos modelos, utilizamos registros de ocorrência coletados em campo e seis variáveis bioclimáticas para prever áreas climaticamente adequadas para a espécie. Também modelamos o nicho climático de *A. pindobassu* em cenários futuros de baixa (SSP2-4.5) e alta (SSP5-8.5) emissão de gases de efeito estufa, projetados para o ano de 2050. Nossos resultados indicam uma correlação positiva e significativa entre a adequabilidade climática e a produtividade de amêndoas da espécie nos municípios exploradores ( $r = 0,89$ ,  $p < 0,01$ ). Prevê-se uma drástica redução das áreas adequadas para a espécie (93%) em ambos os cenários de mudanças climáticas, sugerindo que seu extrativismo poderá se tornar inviável no futuro. Portanto, será essencial que os governos locais desenvolvam políticas públicas de adaptação às mudanças climáticas, aliadas a estratégias para fortalecer a segurança econômica das comunidades afetadas.

Palavras-chaves: Babaçu, Caatinga, Maxent, Modelagem de Nicho Ecológico, Produto Florestal Não-Madeireiro.

## ABSTRACT

Ecological niche modeling studies have predicted a reduction in suitable areas for non-timber forest species in future climate change scenarios, which will affect fruit productivity and, consequently, the economy of many extractive communities. This study aimed to investigate the relationship between climatic suitability and the productivity of *Attalea pindobassu*, a palm tree endemic to the Brazilian Caatinga and of economic importance. Additionally, the study sought to evaluate the impacts of global climate change and its implications for the extraction of the species. For model generation, we used occurrence records collected in the field and six bioclimatic variables to predict suitable climatic areas for the species. We also modeled the climatic niche of *A. pindobassu* in future scenarios of low (SSP2-4.5) and high (SSP5-8.5) greenhouse gas emissions, projected for the year 2050. Our results indicate a positive and significant correlation between climatic suitability and the productivity of the species' almonds in the extractive municipalities ( $r = 0.89$ ,  $p < 0.01$ ). A drastic reduction in suitable areas for the species (93%) is predicted in both climate change scenarios, suggesting that its extraction may become unfeasible in the future. Therefore, it will be essential for local governments to develop public policies for climate change adaptation, combined with strategies to strengthen the economic security of affected communities.

Key-words: Babassu palm, Caatinga, Ecological Niche Modelling, Maxent, Non-Timber Forest Product.

## Introdução

As mudanças climáticas globais têm gerado crescente interesse e preocupação, impulsionando inúmeros estudos sobre seus impactos nas espécies. Isso ocorre porque a biodiversidade é essencial para o fornecimento de alimentos a todas as formas de vida, para a saúde básica e para o bem-estar de grande parte da população mundial (Muluneh 2021; Alpino et al. 2022; IPCC 2023). Estudos de Modelagem de Nicho Ecológico (MNE) indicam que essas mudanças podem reduzir as áreas climaticamente adequadas para plantas agrícolas, comprometendo a produtividade das culturas e resultando em perdas econômicas significativas (Nabout et al. 2012; Caetano et al. 2018). Da mesma forma, as mudanças climáticas representam uma ameaça para espécies utilizadas para fins florestais não madeireiros, que constitui uma fonte de renda alternativa à agricultura e de subsistência para diversas comunidades humanas (Nabout et al. 2011, 2016; Vaz e Nabout 2016).

O domínio fitogeográfico da caatinga é uma floresta tropical sazonalmente seca de grande importância e reconhecimento, localizado no semiárido do nordeste do Brasil (Silva et al. 2017; Moro et al. 2024). Projeções climáticas indicam que a região sofrerá uma redução expressiva nos regimes de precipitação, acompanhada por um aumento das temperaturas e da aridez até o final do século XXI (Marengo et al. 2017; Torres et al. 2017; Alves et al. 2021). Esse cenário, somado à intensa variabilidade pluviométrica, aos problemas de degradação do solo, ao risco de desertificação e aos desafios socioeconômicos (como a pobreza e os baixos índices de Desenvolvimento Humano – IDH) enfrentados pela região, torna a região uma das mais suscetíveis aos impactos das mudanças climáticas no mundo (Vieira et al. 2015; Torres et al. 2012). Além disso, a caatinga é um dos domínios brasileiros menos protegidos, com apenas 1,3% de seu território amparado por reservas de proteção integral, enquanto outros 6,6% estão incluídos em reservas de uso sustentável (Teixeira et al. 2021).

As mudanças climáticas representam uma ameaça às comunidades vegetais endêmicas da caatinga. Mesmo em cenários futuros mais conservadores, essas plantas podem perder grande parte de seu nicho climático, colocando em risco sua sobrevivência e persistência (Simões et al. 2019; Silva et al. 2019; Rabelo-Costa et al. 2022). Além disso, muitas dessas espécies atendem às necessidades de consumo e atuam como uma forma de segurança econômica para povos tradicionais, especialmente em momentos de crises inesperadas, por meio da renda gerada pela comercialização de produtos florestais não madeireiros (Silva et al. 2024; Almeida et al. 2024). Portanto, pesquisas que avaliem os impactos dessas mudanças sobre espécies nativas cultural e economicamente relevantes, são fundamentais para que sejam

devidamente consideradas em estratégias de conservação e adaptação a longo prazo (Powell et al. 2023; Silva et al. 2024).

No Brasil, as palmeiras do gênero *Attalea*, comercialmente conhecidas como “babaçu”, estão entre as espécies de maior importância econômica para o extrativismo vegetal do país (Anderson e Balick 1988; CONAB 2022a). Entre as espécies com uso mais difundido estão *A. speciosa* Mart. ex Spreng., *A. maripa* (Aublet) Martius, *A. eichleri* (Drude) A.J.Hend., *A. phalerata* Mart. ex Spreng. e *A. pindobassu* Bondar (Lorenzi et al. 2010; Carrazza et al. 2012; Santos et al. 2019a). Essas palmeiras representam recursos essenciais para a subsistência de comunidades tradicionais e indígenas, sendo utilizadas para alimentação, construção de moradias e geração de renda (Lorenzi et al. 2010; González-Pérez et al. 2012). A comercialização de produtos derivados, como óleo vegetal, cosméticos e utensílios artesanais, além da amêndoa, seu principal produto, constitui uma atividade econômica de significativa importância (Santos et al. 2019b).

A importância do extrativismo do babaçu varia conforme a região, sendo particularmente significativa no Norte e Nordeste do país, onde o recurso possui grande relevância política e socioeconômica (CONAB 2019). Os estados do Maranhão e Piauí são os principais produtores de amêndoas de babaçu. No entanto, em estados como a Bahia, embora a produção seja menos expressiva em âmbito nacional, ela constitui uma fonte de renda relevante para muitas famílias rurais (CONAB 2022a). Entre 2001 e 2022, a produção de amêndoas de babaçu na Bahia totalizou aproximadamente 5.390 toneladas, com um preço médio de R\$ 0,94 por quilograma (IBGE 2023). Vale ressaltar que o valor comercial do babaçu no estado pode ser ainda mais expressivo, uma vez que todo o fruto é aproveitado na produção de outros produtos, cujos valores de mercado superam o da própria amêndoa, aumentando, assim, a margem de lucro (Gabriel 2012). Uma das espécies que contribuem consideravelmente para essa produção é *Attalea pindobassu* Bondar, uma palmeira rara e endêmica, encontrada em regiões de florestas úmidas da Chapada Diamantina, dentro do domínio da caatinga (Lorenzi et al. 2010; Henderson 2020).

Entender como a produtividade está distribuída no espaço e fatores que podem influenciá-la pode fornecer um direcionamento para otimizar e manter a produção de espécies nativas de importância econômica. Neste estudo, investigamos a influência da adequabilidade climática sobre a produtividade de *A. pindobassu*, e as implicações dessa relação para a viabilidade econômica da espécie em cenários futuros de mudança climática. Buscamos especificamente: (1) investigar a produtividade de *A. pindobassu* nos municípios de sua

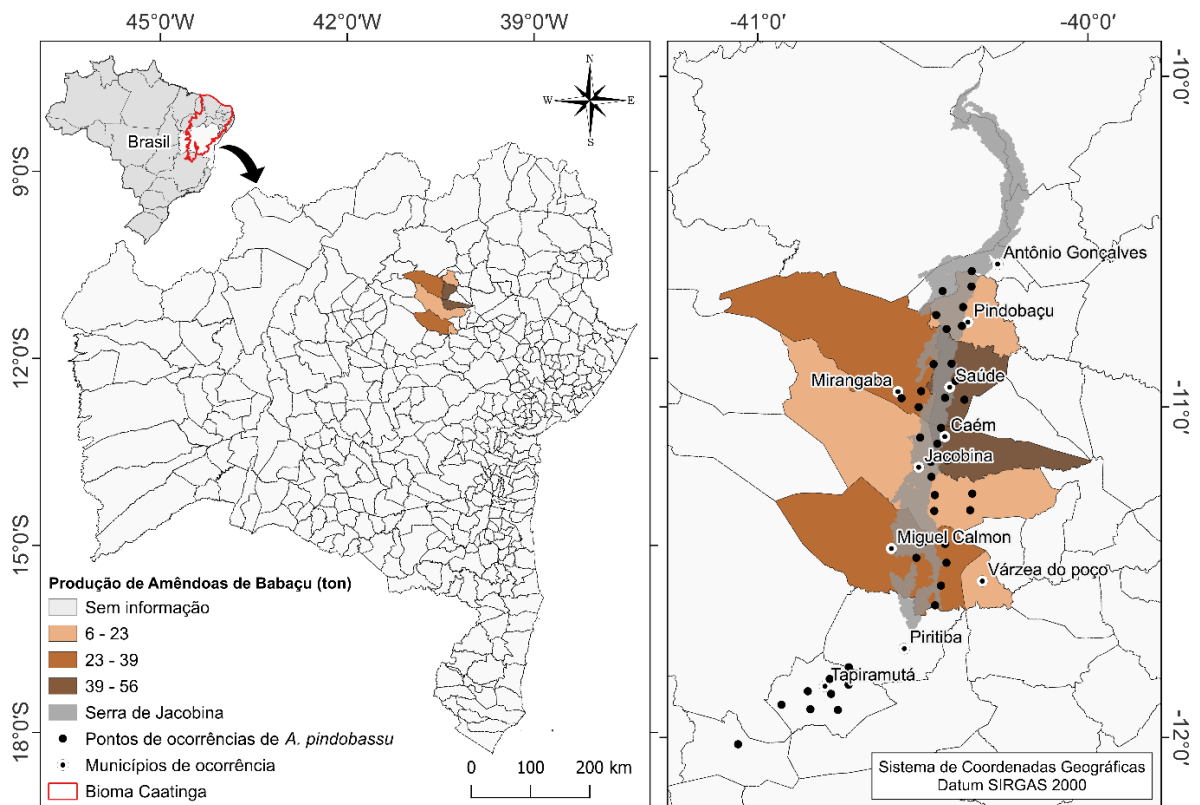


ocorrência; (2) determinar a adequabilidade climática atual e futura (até 2050) de *A. pindobassu*, através da modelagem de nicho ecológico; e (3) avaliar como alterações na adequabilidade climática podem impactar a produtividade e, consequentemente, a atividade extrativista associada à espécie.

## Métodos

### Área de estudo

A Serra de Jacobina é uma cadeia montanhosa localizada no extremo norte da Chapada Diamantina, a qual integra a porção setentrional da cordilheira do Espinhaço (Giulietti et al. 1997; Milesi et al. 2002; Figura 11). Com cerca de 200 km de extensão, essa serra apresenta um relevo acidentado, caracterizado por declives íngremes e altitudes que se aproximam dos 1.300 metros (Milesi et al. 2002; Bahia 2010). O clima é semi-úmido, com precipitações anuais variando entre 750 mm e 1.100 mm, e temperaturas médias entre 20 °C e 26 °C (Sampaio 2001). A vegetação é composta por formações de caatinga arbustivo-arbórea, florestas estacionais semidecíduais e campos rupestres (Bahia 2010).



**Figura 11.** Produção média de amêndoas nos municípios produtores de babaçu no centro-norte da Bahia, Nordeste do Brasil, e localizações dos pontos de ocorrência de *Attalea pindobassu* utilizados na modelagem de nicho ecológico.



### 127 *Espécie estudada*

128 *Attalea pindobassu* Bondar, conhecida popularmente como “Babaçu” ou “Pindobaçu”,  
 129 é uma palmeira endêmica do centro-norte da Bahia, Brasil (Noblick 1991; Glassman 1999,  
 130 Figura 12). A espécie possui caule aéreo que pode atingir 15 m de comprimento e 30 cm de  
 131 diâmetro, além de folhas pinadas dispostas de forma ereta. Suas inflorescências podem ser  
 132 estaminadas ou andróginas, enquanto os frutos, de coloração marrom-amarelada, são  
 133 relativamente grandes, podendo alcançar 10 cm de comprimento (Glassman 1999). Essa  
 134 palmeira tem distribuição restrita à região montanhosa da Serra de Jacobina, ocorrendo nos  
 135 municípios de Antônio Gonçalves, Pindobaçu, Saúde, Mirangaba, Caém, Jacobina, Miguel  
 136 Calmon, Piritiba e Tapiramutá (Noblick 1991). *Attalea pindobassu* pode ser encontrada em  
 137 áreas de florestas estacionais semidecíduais ou nas encostas mais baixas e úmidas das serras da  
 138 região (Lorenzi et al. 2010; Henderson 2020). Além disso, a espécie também está presente em  
 139 sistemas agropastoris, silvipastoris e pastagens degradadas (Lima et al. 2025).

140 O extrativismo dessa palmeira desempenha um papel importante na dinâmica  
 141 socioeconômica dos municípios onde ocorre. Nesse contexto, comunidades agroextrativistas se  
 142 organizaram em associações e cooperativas para fortalecer sua comercialização no mercado  
 143 local e regional. Entre essas iniciativas, destacam-se a Associação de Desenvolvimento Social  
 144 de Pequenos Agricultores de Serra da Carnaíba e Adjacências, em Pindobaçu; a Associação  
 145 Comunitária dos Moradores e Agricultores de Cocho de Dentro (ACMACD), em Jacobina; e a  
 146 Cooperativa de Produtores e Agroextrativistas Frutos da Terra (COOPEFRUT), em Miguel  
 147 Calmon (Oliveira observação pessoal; Figura 12f, g).

### 148 *Dados de produção de babaçu*

149 Os dados da produtividade média de *A. pindobassu* foram obtidos em escala municipal,  
 150 a partir da relação entre os valores de produção de amêndoas de babaçu e a área territorial dos  
 151 municípios onde a espécie ocorre, expressos em quilogramas por quilômetro quadrado (kg/km<sup>2</sup>)  
 152 (Nabout et al. 2011; Tabela S1 e S2 Anexo 2). Esses dados foram obtidos do Instituto Brasileiro  
 153 de Geografia e Estatística (IBGE 2023a, [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)) e na base de dados "Sistema IBGE  
 154 de Recuperação Automática" (SIDRA) na categoria “Produção da Extração Vegetal e da  
 155 Silvicultura (PEVS)” (IBGE 2023b). Foram coletados dados de produção de amêndoas de  
 156 babaçu (toneladas) no período de 2001 a 2016, disponíveis para sete municípios na área de  
 157 ocorrência da espécie (Figura 12). *Attalea pindobassu* é a única espécie do gênero presente na  
 158 região da área de estudo (Lorenzi et al. 2010), infere-se, portanto, que os dados de produção de  
 159 amêndoas de babaçu correspondem a essa palmeira.



**Figura 12.** Uso da terra e aproveitamento de *Attalea pindobassu*. **A)** Vegetação nativa (floresta estacional semidecídua); **B)** Pastagens degradadas; **C)** Sistema agropastoril; **D)** Sistema silvipastoril; **E)** Infrutescência; **F)** Sementes (Amêndoas); **G)** Licor de babaçu produzido a partir das amêndoas da espécie pela Associação de Desenvolvimento Social dos Pequenos Agricultores de Serra da Carnaíba, Município de Pindobaçu. (Créditos das imagens: Beatriz H. S. Oliveira).

#### *Dados de ocorrência e variáveis preditoras*

Os pontos de ocorrência da espécie foram obtidos em expedições de campo utilizando um GPS (Global Positioning System), visando representar toda a distribuição conhecida da espécie e assegurar a precisão espacial dos dados de presença. Utilizamos a ferramenta ‘Spatially Rarefy Occurrence Data’ do SDMtoolbox v2.5 (Brown et al. 2017), no software ArcMap 10.8 (ESRI 2019) para calcular a distância entre as ocorrências, mantendo apenas aquelas que estão a uma distância mínima de 5 km do vizinho mais próximo. Um total de 40 pontos de ocorrência foi mantido para a realização de modelagem de nicho ecológico (Figura 12; Tabela S3 Anexo 2).

As variáveis bioclimáticas foram obtidas no banco de dados ‘WorldClim’ (<https://www.worldclim.org/>), com resolução espacial de 30 segundos de arco ( $\sim 1 \text{ km}^2$ ) (Fick e Hijmans 2017). Para evitar os efeitos da multicolinearidade no modelo, foi aplicada a análise do Fator de Inflação da Variância (VIF) para eliminar as variáveis com maior grau de correlação no conjunto ( $\text{VIF} > 10$ ), por meio do pacote ‘usdm’ (Naimi et al. 2014) no software R v4.3.3 (R Core Team 2024). Após a análise, foram mantidos seis preditores bioclimáticos: isothermalidade (Bio03), sazonalidade da temperatura (Bio4), amplitude térmica anual (Bio7), temperatura média do trimestre mais seco (Bio9), precipitação do mês mais chuvoso (Bio13) e precipitação do mês mais seco (Bio14) (Tabela S4 Anexo 2). As mesmas variáveis bioclimáticas foram utilizadas para avaliar os cenários de mudanças climáticas otimista (SSP2-4.5) e pessimista (SSP5-8.5) projetados para o período de 2050 (2041–2060). As projeções foram realizadas com o modelo climático global MIROC6, que apresenta um bom desempenho em relação aos erros de frequência e persistência na região da América do Sul (Cannon 2020).

#### *Parâmetros de modelagem*

O MNE foi ajustado de acordo com os limites do bioma Caatinga (IBGE 2019) e, posteriormente, recortado para a região dos municípios produtores. Para a construção dos modelos, utilizamos o algoritmo ‘Maxent’ (Phillips et al. 2006) por meio do pacote ‘sdm’ (Naimi e Araújo 2016), implementado no R v4.3.3 (R Core Team 2024). A configuração do algoritmo incluiu a geração aleatória de 10.000 pontos de background e o uso do método de replicação bootstrap, com 15 réplicas. Os dados de ocorrência foram particionados em dois subconjuntos, sendo 70% destinados ao treinamento e 30% ao teste do modelo (Naimi e Araújo 2016).

A avaliação do modelo foi realizada por meio das métricas Área sob a Curva ( $\text{AUC} \geq 0.7$ ; Elith 2000) e *True Skill Statistic* ( $\text{TSS} \geq 0.4$ ; Allouche et al. 2006). O modelo de consenso final foi gerado com base na média ponderada do TSS, utilizando o critério de limiar que maximiza a soma da sensibilidade e da especificidade (Naimi e Araújo 2016). Posteriormente, foi obtida a média da adequabilidade climática de cada município no cenário atual utilizando a ferramenta ‘Zonal Statistics as Table’, disponível no ArcMap 10.8 (ESRI 2019).

#### *Análise de dados*

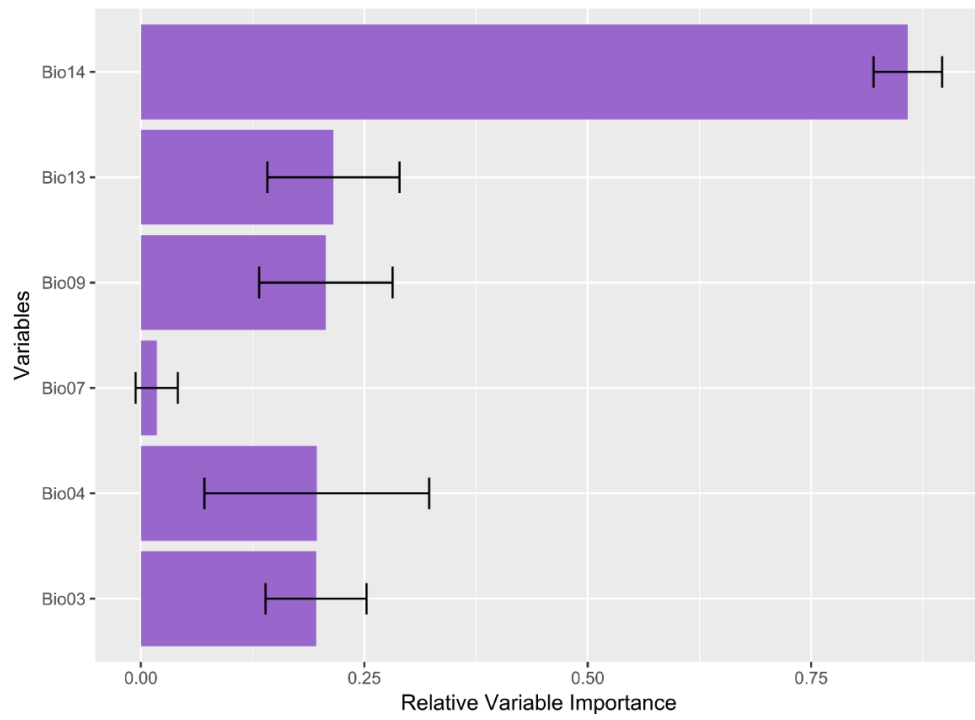
O teste de Shapiro-Wilk foi aplicado para avaliar a normalidade das variáveis ‘adequabilidade climática’ e ‘produtividade de amêndoas de babaçu ( $\text{kg}/\text{km}^2$ )’, confirmando que ambas seguem a distribuição normal ( $p > 0,05$ ). Em seguida, a relação entre essas variáveis

foi analisada por meio da correlação de Pearson ( $r$ ) (Tabela S5, Anexo 2). A estrutura de variância-covariância das variáveis bioclimáticas também foi analisada para cada município por meio da análise de componentes principais (PCA). A ordenação foi realizada utilizando a distância euclidiana para gerar biplots, que representam dois eixos de variação das variáveis bioclimáticas, nos quais os municípios foram posicionados. Os dois primeiros eixos da PCA explicaram 99,4% da variação total, sendo 85,4% atribuídos ao primeiro eixo e 14,0% ao segundo, portanto, eixos adicionais não foram considerados. Todas as análises foram conduzidas utilizando os pacotes ‘vegan’ (Oksanen et al. 2018) e ‘stats’ no software R (R Core Team 2024).

## Resultados

O MNE apresentou um desempenho satisfatório ao prever a atual adequabilidade climática para *A. pindobassu* (AUC média = 0.99 e TSS médio = 0.97). As variáveis que melhor explicaram o nicho climático da espécie foram a precipitação do mês mais seco (Bio14), com 85.8% de importância relativa, seguida pela precipitação do mês mais chuvoso (Bio13), com 21.5%, e pela temperatura média do trimestre mais seco (Bio09), com 20.7% (Figura 13).

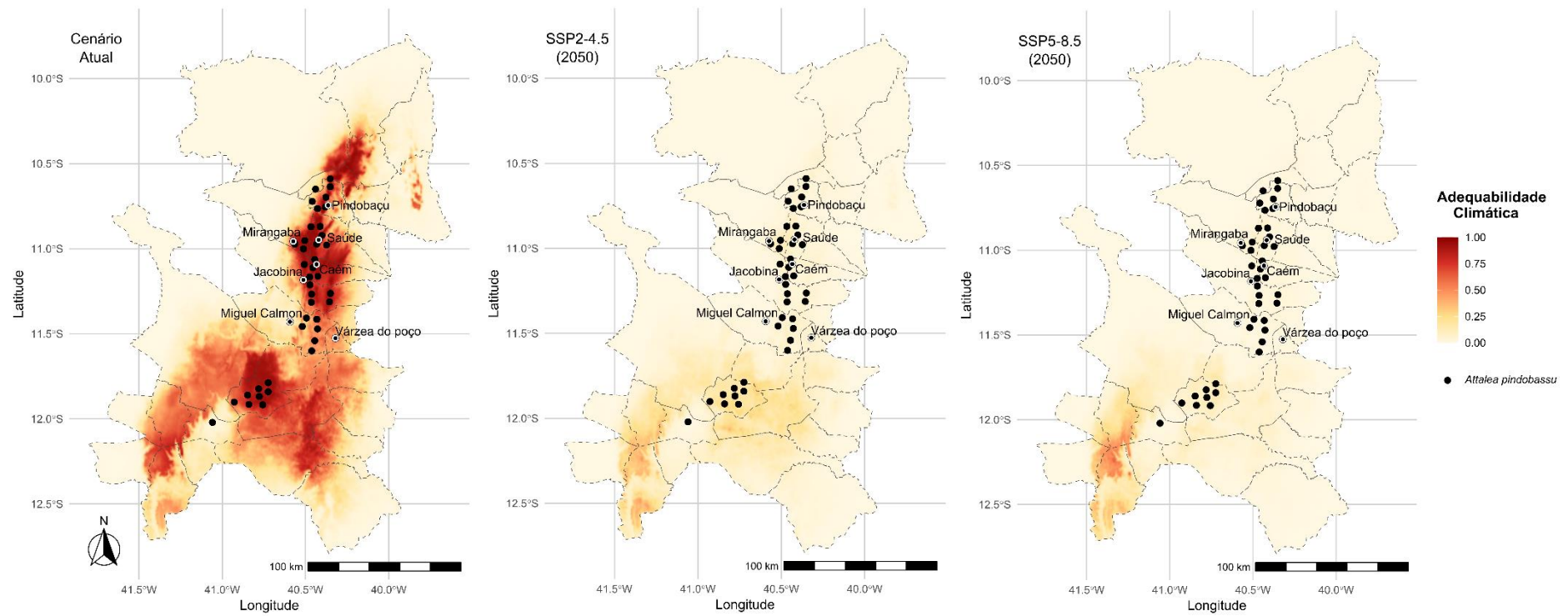
A área total de adequabilidade climática projetada para a espécie no cenário atual foi de aproximadamente 18.600 km<sup>2</sup>, dos quais cerca de 15.174 km<sup>2</sup> estão inseridos na área de estudo (Figura 14). No cenário otimista, as regiões com adequabilidade igual ou superior a 0.25 somam apenas 1.002 km<sup>2</sup>, sendo 938 km<sup>2</sup> dentro da área analisada (Figura 14). Enquanto no cenário pessimista, observa-se um pequeno aumento, totalizando 1.492 km<sup>2</sup> de áreas adequadas, dos quais 992 km<sup>2</sup> permanecem na mesma região (Figura 14). No entanto, em ambos os cenários futuros, nenhuma dessas áreas favoráveis se encontram dentro dos limites dos municípios produtores (Figura 14).



230

231 **Figura 13.** Importância relativa das variáveis bioclimáticas para o modelo de nicho ecológico (baseada na métrica  
232 de correlação de Pearson).

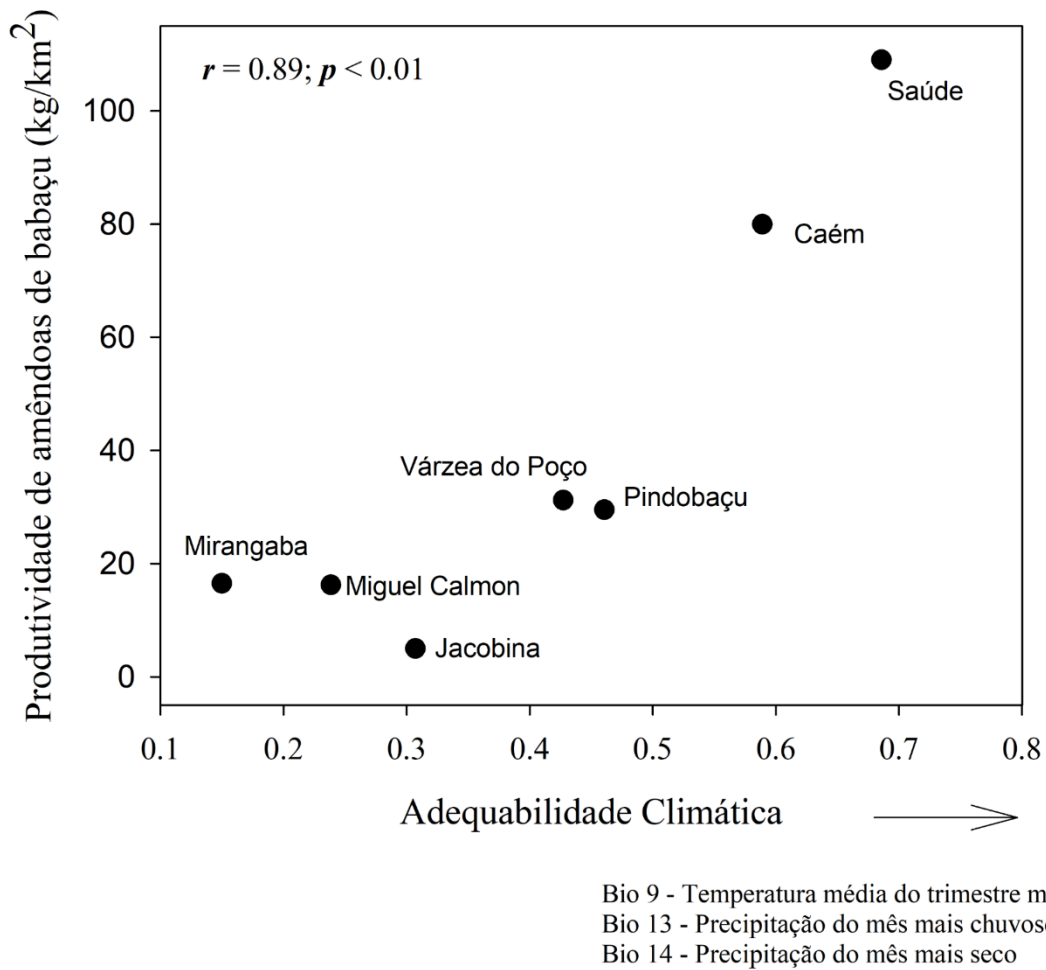




233

234 **Figura 14.** Adequabilidade climática projetada para a palmeira *Attalea pindobassu* no cenário presente e em cenários futuros de mudanças climáticas na região dos municípios  
 235 produtores de amêndoas de babaçu do centro-norte da Bahia, Nordeste do Brasil.

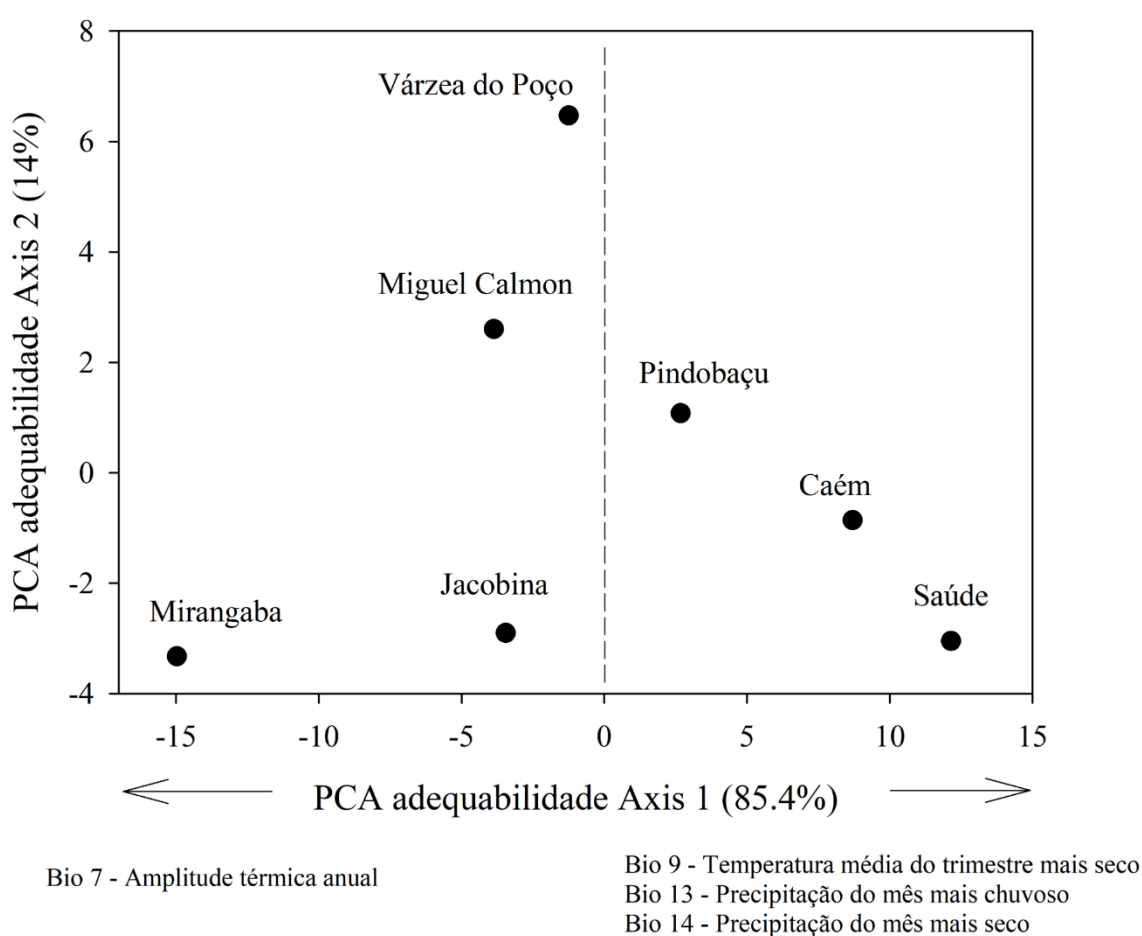
236 A produtividade média de amêndoas de babaçu dos municípios foi de 41.09 kg/km<sup>2</sup>. O  
 237 município com maior produção foi Saúde com 108.01 kg/km<sup>2</sup>, enquanto Jacobina apresentou  
 238 os valores mais baixos, com 4.95 kg/km<sup>2</sup>. A produtividade apresentou uma relação positiva e  
 239 significativa com a adequabilidade ( $r = 0.891$ ,  $p < 0.01$ ; Figura 15), indicando que a  
 240 produtividade de amêndoas tende a ser maior em municípios localizados em regiões com maior  
 241 adequabilidade climática para a espécie.



242

243 **Figura 15.** Relação entre a adequabilidade climática e a produtividade dos municípios produtores de amêndoas de  
 244 babaçu do centro-norte da Bahia, Nordeste do Brasil.

A PCA, realizada para cenário presente, mostrou uma clara separação entre variáveis bioclimáticas para os municípios ao longo do eixo 1, com 85.4 % da variância explicada (Figura 16). Os municípios com maior adequabilidade climática foram posicionados no lado direito do eixo 1, e estavam correlacionados positivamente a precipitação do mês mais seco (Bio14), precipitação do mês mais chuvoso (Bio13) e a temperatura média do trimestre mais seco (Bio9) (Figura 16). Por outro lado, os municípios com menor adequabilidade climática foram posicionados à esquerda do eixo 1, o qual foi negativamente correlacionado com a amplitude térmica anual (Bio7) (Figura 16).



**Figura 16.** Biplot da análise de componentes principais (PCA) para ordenação de variáveis bioclimáticas dos municípios produtores de amêndoas de babaçu do centro-norte da Bahia, Nordeste do Brasil.



## Discussão

Os resultados deste estudo sugerem que a maioria das áreas adequadas para *A. pindobassu* se encontram na região dos municípios produtores, o que está em conformidade com a distribuição relatada da espécie. A espécie está presente em abundância em áreas úmidas, o que está em conformidade com as previsões do modelo (Glassman 1999; Henderson 2020). Esse padrão geográfico é condicionado pelos índices elevados de precipitação no mês mais seco (Bio14) na região de estudo (Figura S1 Anexo 2). Em ambos os cenários climáticos futuros — otimista e pessimista — foi estimada uma redução de 93% nas áreas climaticamente adequadas para a ocorrência de *A. pindobassu* na região dos municípios analisados. Esses resultados evidenciam a elevada sensibilidade da espécie às mudanças climáticas, mesmo sob um cenário futuro considerado de baixo impacto. As mudanças climáticas podem impor uma forte pressão seletiva sobre as espécies, afetando sobretudo aquelas com distribuição restrita e dependentes de condições climáticas específicas (Jump e Peñuelas, 2005; Ohlemüller et al. 2008; Moran e Alexander 2014). Esse efeito se torna evidente quando comparado à outra palmeira “babaçu”, *A. speciosa*, que apresenta uma maior amplitude de distribuição e para a qual se projeta uma expansão das áreas adequadas à sua ocorrência em todos os cenários de mudanças climáticas (Silva et al., 2024).

O modelo de nicho ecológico mostrou-se relevante na previsão da produtividade de *A. pindobassu*, indicando que municípios mais produtivos estão situados em regiões com condições climáticas mais adequadas para a espécie (Nabout et al. 2011, 2012, 2016; Caetano et al. 2018). Semelhante aos nossos resultados, Vaz e Nabout (2016) observaram a mesma relação positiva para a palmeira “açai” (*Euterpe oleracea*), cuja produtividade tende a ser maior em localidades situadas em áreas com maior adequabilidade climática. As variáveis com maiores contribuições nos modelos como a precipitação no mês mais seco (Bio14), precipitação no mês mais chuvoso (Bio13) e temperatura média do trimestre mais seco (Bio09) apresentaram correlação positiva com os municípios de Saúde, Caém e Pindobaçu, que apresentam maior adequabilidade climática e produtividade de amêndoas por unidade de área. Esses achados indicam que esses municípios apresentam perfis climáticos mais semelhantes e propícios para o desenvolvimento da espécie em comparação com os demais.

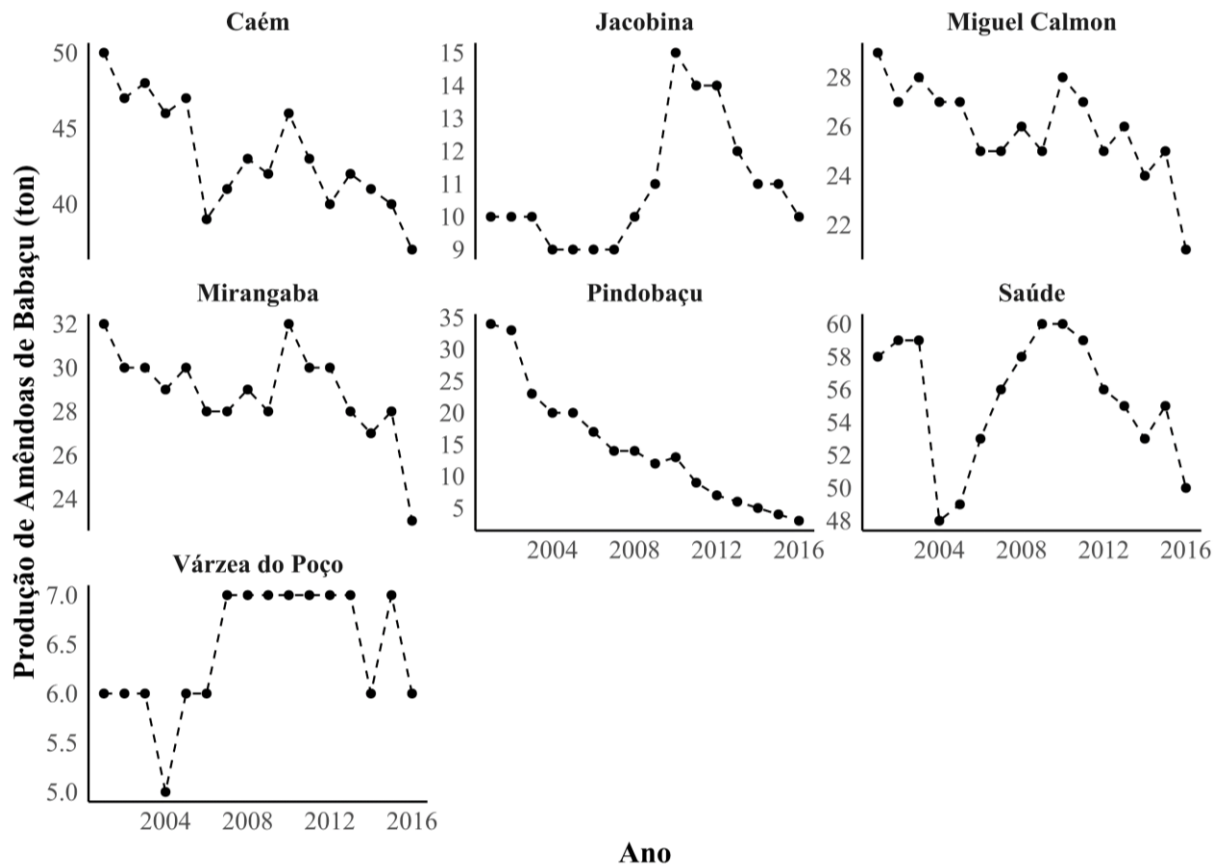
Embora o município de Jacobina também apresente condições climáticas mais favoráveis para a espécie, sua produtividade é inferior à de Mirangaba e Miguel Calmon, que possuem menor adequabilidade climática. Isso reforça a ideia de que a relação entre a

adequabilidade do habitat e a produtividade deve ser compreendida como um envelope de restrição, e não como uma relação funcional direta. Regiões com baixa adequabilidade climática sempre apresentarão produtividade mínima, enquanto áreas altamente adequadas não garantirão, necessariamente, uma produtividade maior, pois esta pode variar entre municípios devido a fatores adicionais, como aspectos ecológicos e econômicos (Nabout et al. 2011, 2012).

A baixa produtividade em áreas consideradas altamente adequadas pode estar associada à baixa ocorrência ou até mesmo à ausência da espécie nesses locais, devido a fatores históricos, interações bióticas, limitações na dispersão (Peterson et al. 2011) ou atividades antrópicas que levaram a eliminação de indivíduos (Nabout et al. 2016). Além disso, algumas regiões podem apresentar menor produção devido à falta de apoio dos governos locais para o aprimoramento da atividade extrativista, que aliado ao baixo retorno econômico da venda das amêndoas, pode levar ao desinteresse pela atividade e à saída de mão de obra (Nabout et al. 2011; Porro 2019). No município de Tapiramutá, por exemplo, embora faça parte da área de distribuição de *A. pindobassu*, não há registros de produção de amêndoas de babaçu. O extrativismo da espécie foi descontinuado pelos moradores locais, que passaram a considerá-la uma praga em plantações de café e pastagens, levando à remoção de suas populações nessas áreas (Caetano et al. 2016).

Os dados das últimas duas décadas revelam um grande declínio na produção de amêndoas nos municípios analisados. A situação de Pindobaçu mostra-se preocupante, com a produção diminuindo de 34 toneladas em 2001 para apenas 3 toneladas em 2016 (Figura 17). Nos últimos anos, a produção nacional de babaçu tem apresentado uma queda sistemática, frequentemente atribuída à carência de políticas públicas voltadas para o fortalecimento da cadeia produtiva e à concorrência com outras palmeiras oleaginosas (CONAB 2022b). Em um cenário de mudanças climáticas, espera-se que os desafios para a produção vegetal, tanto de culturas agrícolas quanto de plantas silvestres, se intensifiquem (Lippmann et al. 2019; Smith et al. 2019). Menezes et al. (2024) destacaram que *A. pindobassu* apresenta eventos reprodutivos contínuos ao longo do ano, com a floração influenciada pelo fotoperíodo e a frutificação regulada pela temperatura. Alterações fenológicas representam umas das primeiras manifestações biológicas dos impactos das mudanças climáticas (Chuine 2010). O aumento da temperatura pode alterar processos fenológicos essenciais, resultando em um descompasso na interação entre plantas e polinizadores (Bezner Kerr et al. 2022). Além disso, o estresse por altas temperaturas pode comprometer o crescimento e o amadurecimento dos frutos, resultando na redução do valor nutricional, bem como na diminuição da quantidade e qualidade da

produção, impactando, consequentemente, seu valor comercial (Ali et al. 2021; Bacelar et al. 2024).



**Figura 17.** Variação temporal da produção de amêndoas de babaçu nos municípios do centro-norte da Bahia, no nordeste do Brasil, entre 2001 e 2016.

A correlação positiva entre a adequabilidade climática e a produtividade permite inferir os potenciais impactos das mudanças climáticas futuras sobre o extrativismo de *A. pindobassu*, com base nos cenários climáticos testados. A perda de habitat adequado para a espécie pode levar ao fim da produção de amêndoas de babaçu nos municípios analisados, afetando diretamente a economia local. Além disso, essa perda comprometerá o desenvolvimento social das comunidades, impactando o trabalho de associações e cooperativas, que promovem a capacitação técnica e a difusão de conhecimentos sobre a espécie (Gabriel 2012). Esse contexto tem um impacto negativo principalmente sobre as mulheres, principais responsáveis pela extração e comercialização dos produtos de *A. pindobassu*, ao comprometer sua autonomia financeira, reduzir sua influência na economia local e enfraquecer seu protagonismo na comunidade (Sena et al. 2017; Santos 2017; Menezes et al. 2024). Diante desse cenário potencial, será necessária a adaptação das comunidades extrativistas e de toda a estrutura comercial e econômica associada a essa espécie (Nabout et al. 2016).

Uma grande parte das populações do gênero *Attalea* no Brasil está localizada em áreas privadas, frequentemente destinadas a atividades agrícolas convencionais e pastagem (CONAB 2019). Um estudo recente realizado na região (Lima et al. 2025) identificou uma falha no recrutamento de indivíduos de *A. pindobassu*, uma vez que grande parte das populações da espécie se encontram em áreas com uso da terra modificado (pastagens). A pesquisa registrou uma baixa taxa de sobrevivência de indivíduos jovens, além de uma predominância de adultos bastante envelhecidos e/ou senescentes. Dessa forma, o tipo de manejo da terra, como o tempo de rotatividade das pastagens, também pode ser uma variável explicativa tanto para a subutilização do potencial produtivo em alguns municípios, mesmo sob condições climáticas favoráveis, quanto para a redução drástica da produção de amêndoas de babaçu nas últimas duas décadas (Figura 17). Dado que a falha no recrutamento de novos indivíduos impede a renovação das populações de *A. pindobassu*, levando a produtividade da espécie a depender de indivíduos envelhecidos, cujas taxas de produção de frutos já podem estar reduzidas.

*A. pindobassu* também enfrenta desafios adicionais, como o uso recorrente do fogo para a abertura de pastagens, o que tem resultado na mortalidade de indivíduos jovens da espécie em áreas de vegetação remanescente. Somado a isso, suas populações têm sofrido crescente pressão devido às atividades mineradoras, especialmente no município de Pindobaçu, resultando na derrubada de indivíduos para a extração de granito (Oliveira observação pessoal; Figura 18). Em 2014, *A. pindobassu* foi avaliada como 'Pouco Preocupante' (LC) na Lista Vermelha da Flora Brasileira. No entanto, atualmente, a espécie é classificada como 'Em Perigo' (EN) de extinção, sendo as principais ameaças relacionadas às mudanças no uso da terra, especialmente à conversão de áreas naturais em pastagens (Bicalho e Amorim 2021). Dos sete municípios analisados, apenas três — Jacobina (Lei nº 1.286/2014), Pindobaçu (Lei nº 181/2018) e Miguel Calmon (Lei nº 723/2024) — possuem legislação voltada à proteção da espécie. Embora contribuam para a conservação das populações de *A. pindobassu* e para a garantia de seu extrativismo, essas legislações ainda são insuficientes para assegurar sua proteção efetiva. Atualmente, há apenas uma unidade de conservação formalmente estabelecida, o Parque Estadual das Sete Passagens, em Miguel Calmon, que abrange algumas populações da espécie em suas zonas de amortecimento (Bahia 2008). Outras duas unidades de conservação, localizadas nos municípios de Saúde e Pindobaçu, ainda estão em processo de implementação.

## Considerações finais

Nossos resultados permitem a identificação de áreas com elevado potencial produtivo, oferecendo subsídios para orientar comunidades locais na coleta e no manejo sustentável de *A. pindobassu*. Além disso, observamos uma redução das áreas adequadas à espécie sob cenários de mudanças climáticas, o que pode comprometer sua produtividade futura. Diante disso, ressaltamos a importância de direcionar atenção a essa palmeira. A recuperação de habitats degradados, bem como a adoção de práticas agrícolas sustentáveis que favoreçam o aumento populacional por meio do recrutamento, são essenciais para garantir o estabelecimento e a manutenção de indivíduos adultos. Tais ações podem contribuir significativamente para a persistência da espécie, minimizando os efeitos das mudanças climáticas projetadas.

Embora possa haver variações nos relatórios de produção de amêndoas de babaçu, nossos resultados apresentaram forte correlação entre a produtividade e a adequabilidade climática que podem auxiliar no planejamento de medidas para mitigar o impacto das mudanças climáticas sobre a espécie. Além disso, nossas projeções podem ser consideradas conservadoras visto que outros fatores não avaliados aqui como interações bióticas e uso da terra podem afetar a distribuição da espécie e devem ser considerados em estudos futuros.

A abordagem adotada neste estudo pode estimular municípios a desenvolver estratégias de conservação e adaptação frente às ameaças atuais e às mudanças climáticas, contribuindo para a segurança econômica das comunidades locais ao assegurar a viabilidade futura dos recursos da palmeira. Além disso, a ampliação de áreas protegidas, a implementação de bancos de germoplasma para conservação *ex situ* e o monitoramento populacional serão fundamentais para garantir a sobrevivência de *A. pindobassu* a longo prazo (Menezes et al. 2023). Por fim, a criação de mercados para produtos derivados e o apoio à prática extrativista pode favorecer a exploração econômica da espécie em municípios que, embora atualmente não registrem produção, apresentam potencial climático favorável no futuro, fortalecendo sua conservação nessas localidades.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Agradecemos à CAPES pelo financiamento e suporte concedido a Beatriz Oliveira durante o período deste estudo. À Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) e ao Laboratório de

Ecologia Básica e Aplicada (LEBA – UNIVASF) pelo apoio logístico na realização deste trabalho.

## Referências

- Anderson AB, Balick MJ (1988) Taxonomy of the Babassu Complex (*Orbignya* spp.: Palmae). *Systematic Botany*. 13:32–50
- Allouche O, Tsoar A, Kadmon R (2006) Assessing the accuracy of species distribution models: Prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology* 43:1223–1232. doi:[10.1111/j.1365-2664.2006.01214.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01214.x)
- Almeida DM, Nogueira SS, Silva EA, Souza JMF, Gurgel ALC, Sousa AN (2024) Climate change is expected to reduce the potential distribution of *Ceiba Glaziovii* in Caatinga, The Largest Area of Dry Tropical Forest in South America. *Bioscience Journal*, 40:e40051 doi:[10.14393/BJ-v40n0a2024-72663](https://doi.org/10.14393/BJ-v40n0a2024-72663)
- Ali MM, Yousef AF, Li B, Chen F (2021) Effect of Environmental Factors on Growth and Development of Fruits. *Tropical Plant Biology* 14:226–238. doi:[10.1007/s12042-021-09291-6](https://doi.org/10.1007/s12042-021-09291-6)
- Alves LM, Chadwick R, Moise A, Brown J, Marengo JA (2021) Assessment of rainfall variability and future change in Brazil across multiple timescales. *International Journal of Climatology* 41:1875–1888. doi:[10.1002/joc.6818](https://doi.org/10.1002/joc.6818)
- Alpino TMA, Mazoto ML, Barros DC, Freitas CM (2022) The impacts of climate change on Food and Nutritional Security: a literature review. *Ciencia e Saude Coletiva* 27:273–286. doi:[10.1590/1413-81232022271.05972020](https://doi.org/10.1590/1413-81232022271.05972020)
- Bacelar E, Pinto T, Anjos R, Morais MC, Oliveira I et al (2024) Impacts of Climate Change and Mitigation Strategies for Some Abiotic and Biotic Constraints Influencing Fruit Growth and Quality. *Plants* 13:1942. doi:[10.3390/plants13141942](https://doi.org/10.3390/plants13141942)
- Bahia (2008) Plano de Manejo do Parque Estadual das Sete Passagens Vol. 1. Governo do Estado da Bahia. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos e Universidade Estadual da Bahia
- Bahia (2010) Plano Estadual de Manejo de Águas Pluviais e Esgotamento Sanitário. TOMO II –Diagnósticos e Levantamentos, Volume 13 – RDS 16 – Piemonte da Diamantina. Governo do Estado da Bahia. Secretaria de Desenvolvimento Urbano
- Bezner Kerr R, Hasegawa T, Lasco R, Bhatt I, Deryng et al (2022) Food, Fibre, and Other Ecosystem Products. In: Pörtner HO, Roberts DC, Tignor M, Poloczanska ES, Mintenbeck K et al. (eds.) *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY pp 713–906. doi:[10.1017/9781009325844.007](https://doi.org/10.1017/9781009325844.007)
- Bicalho M, Amorim E (2021) *Attalea pindobassu* (Arecaceae). Lista Vermelha da Flora Brasileira: Centro Nacional de Conservação da Flora/ Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro
- Brown JL, Bennett JR, French CM (2017) SDMtoolbox 2.0: the next generation Python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses. *PeerJ* 5:1–12 doi:[10.7717/peerj.4095](https://doi.org/10.7717/peerj.4095)

- Caetano JM Tassarolo G, Oliveira G, Silva K, Diniz-filho AF, Nabout JC (2018) Geographical patterns in climate and agricultural technology drive soybean productivity in Brazil. PLoS ONE 13(1): e0191273. doi:[10.1371/journal.pone.0191273](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191273)
- Caetano MLP, Bertolde FZ, Souza VL (2016) Análise etnobotânica do babaçu no município de Tapiramutá, BA. Anais /Resumos da 68ª Reunião Anual da SBPC. Porto Seguro/Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência/São Paulo
- Cannon, A. J., 2020. Reductions in daily continental-scale atmospheric circulation biases between generations of global climate models: CMIP5 to CMIP6. Environmental Research Letters. 15:064006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab7e4f>
- Carrazza, LR; Silva ML; Ávila JCC (2012) Manual Tecnológico de Aproveitamento Integral do Fruto do Babaçu. Instituto Sociedade, População e Natureza, Brasília: Distrito Federal.
- Chuine I. (2010) Why does phenology drive species distribution? Phil. Trans. R. Soc. B. 365: 3149–3160. doi:[10.1098/rstb.2010.0142](https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0142)
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2019) Boletim da Sociobiodiversidade. Companhia Nacional de Abastecimento, Brasília, DF, v.3, n.4:1-66
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2022a) Boletim da Sociobiodiversidade, Brasília, DF, v.6, n. v. 6, n.3:1-77, dezembro de 2022
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2022b) Boletim da Sociobiodiversidade, Brasília, Brasília, DF, v. 6, n.1:1-36, março de 2022
- Elith J (2000) Quantitative Methods for Modeling Species Habitat: Comparative Performance and an Application to Australian Plants. In: Ferson, S, Burgman (ed) Quantitative Methods for Conservation Biology, Springer, New York, NY, pp 39–58.
- ESRI, 2019. ArcMap Desktop (Version 10.8), Redlands, California, EUA.
- Fick SE, Hijmans RJ (2017) WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology 37:4302–4315. doi:[10.1002/joc.5086](https://doi.org/10.1002/joc.5086)
- Gabriel TP (2012) Análise do beneficiamento do coco babaçu na comunidade de Cocho de Dentro em Jacobina – BA. Dissertation, Universidade do Estado da Bahia
- Glassman SE (1999) A taxonomic treatment of the palm subtribe Attaleinae (tribe Cocoeae). Illinois Biological Monographs, University of Illinois Press
- González-Pérez SE, Coelho-Ferreira M, Robert P, Garcés CLL (2012) Conhecimento e usos do babaçu (*Attalea speciosa* Mart. e *Attalea eichleri* (Drude) A. J. Hend.) entre os Mebêngôkre-Kayapó da Terra Indígena Las Casas, estado do Pará, Brasil. Acta Botanica Brasilica 26(2): 295–308. doi:[10.1590/s0102-33062012000200007](https://doi.org/10.1590/s0102-33062012000200007)
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2023a) Malha Municipal Digital e Áreas Territoriais da Divisão Político-Administrativa Brasileira 2022. IBGE:Rio de Janeiro. <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?edicao=36516>. Accessed 1 July 2023
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2023b) Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura 2023. Sistema IBGE de Recuperação Automática. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pevs/quadros/brasil/2023>. Accessed 22 June 2023
- IPCC (2023) Sections. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate

- Change [Core Writing Team, H. Lee, J. Romero (Eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp 35–115. doi:[10.59327/IPCC/AR6-9789291691647](https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647)
- Jump AS, Peñuelas J (2005) Running to stand still: adaptation and the response of plants to rapid climate change. *Ecol Lett* 8:1010–1020. doi:[10.1111/j.1461-0248.2005.00796.x](https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00796.x)
- Lima BAO, Rodrigues PMS, Silva JO (2025) Effects of land use and management on the structure and recruitment of an endemic palm tree (*Attalea pindobassu* Bondar) from the Brazilian semi-arid. *Journal for Nature Conservation* 84:126830. doi:[10.1016/j.jnc.2025.126830](https://doi.org/10.1016/j.jnc.2025.126830)
- Lorenzi H, Kahn F, Noblick LR, Ferreira E (2010) *Flora Brasileira: Arecaceae (Palmeiras)*. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum
- Marengo JA, Torres RR, Alves LM (2017) Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. *Theoretical and Applied Climatology* 129:1189–1200. doi:[10.1007/s00704-016-1840-8](https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8)
- Menezes, IS, Rocha DSB, Voeks R, Couto-Santos, APL, Funch LS (2023) Conservation challenges to the useful neotropical palm Babaçu (*Attalea pindobassu* Bondar) in the face of climate change. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* 302:152262. doi:[10.1016/j.flora.2023.152262](https://doi.org/10.1016/j.flora.2023.152262).
- Menezes, IS, Rocha DSB, Voeks R, Couto-Santos, APL, Funch LS (2024) Flowering and Fruiting Calendar of Babaçu (*Attalea pindobassu*): Agreement Between Local Ecological Knowledge and Phenological Monitoring in the Chapada Diamantina, Northeast Brazil. *Econ Bot.* doi:[10.1007/s12231-024-09613-1](https://doi.org/10.1007/s12231-024-09613-1)
- Milesi JP, Ledru P, Marcoux E, Mougeot R, Johan V et al (2002) The Jacobina Paleoproterozoic gold-bearing conglomerates, Bahia, Brazil: A “hydrothermal shear-reservoir” model. *Ore Geol. Rev.* 19:95–136. doi:[10.1016/S0169-1368\(01\)00038-5](https://doi.org/10.1016/S0169-1368(01)00038-5).
- Moran EV, Alexander JM (2014) Evolutionary responses to global change: lessons from invasive species. *Ecol Lett* 17:637–649. doi:[10.1111/ele.12262](https://doi.org/10.1111/ele.12262)
- Moro MF, Amorim VO, Queiroz LP, Costa LRF, Maia RP et al (2024) Biogeographical Districts of the Caatinga Dominion: A Proposal Based on Geomorphology and Endemism. *The Botanical Review* 90:376–429. doi:[10.1007/s12229-024-09304-5](https://doi.org/10.1007/s12229-024-09304-5).
- Muluneh MG (2021) Impact of climate change on biodiversity and food security: a global perspective—a review article. *Agriculture and Food Security* 10:36. doi:[10.1186/s40066-021-00318-5](https://doi.org/10.1186/s40066-021-00318-5)
- Nabout JC, Oliveira G, Magalhães MR, Terribile LC, Almeida FAZ (2011) Global Climate Change and the Production of “Pequi” Fruits (*Caryocar brasiliense*) in the Brazilian Cerrado. *Natureza & Conservação, Brazilian Journal of Nature Conservation* 9:55–60. doi:[10.4322/natcon.2011.006](https://doi.org/10.4322/natcon.2011.006)
- Nabout JC, Caetano JM, Ferreira RB, Teixeira IR, Alves SMF (2012) Using correlative, mechanistic and hybrid niche models to predict the productivity and impact of global climate change on maize crop in Brazil. *Natureza & Conservação* 10:177–183. doi:[10.4322/natcon.2012.034](https://doi.org/10.4322/natcon.2012.034)
- Nabout JC, Magalhães MR, Gomes MAA, Cunha HF (2016) The Impact of Global Climate Change on the Geographic Distribution and Sustainable Harvest of *Hancornia speciosa* Gomes (Apocynaceae) in Brazil. *Environmental Management* 57:814–821. doi:[10.1007/s00267-016-0659-5](https://doi.org/10.1007/s00267-016-0659-5)

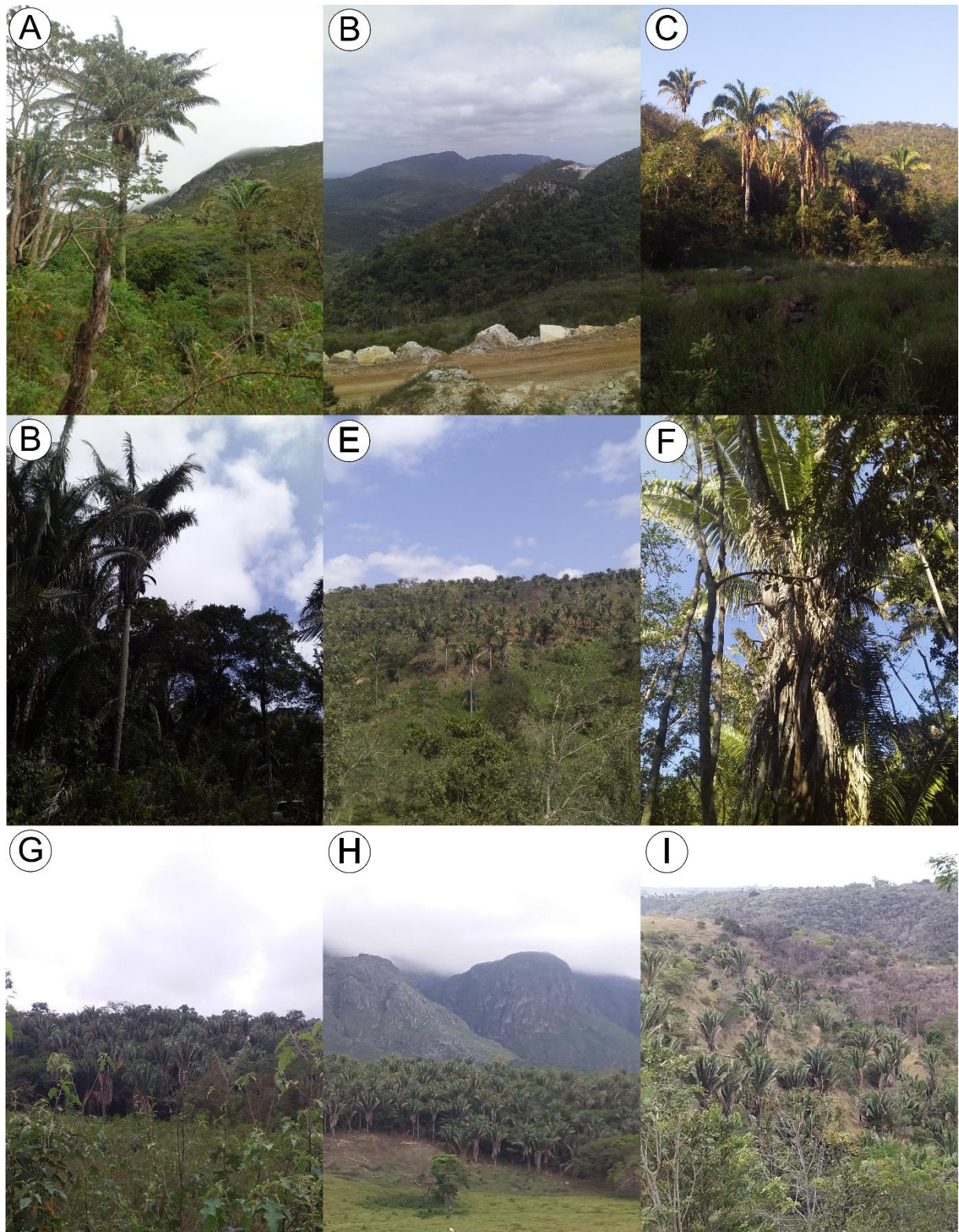


- 529 Naimi B, Araújo MB (2016) Sdm: A reproducible and extensible R platform for species  
530 distribution modelling. *Ecography* 39:368–375. doi:[10.1111/ecog.01881](https://doi.org/10.1111/ecog.01881)
- 531 Noblick L, (1991) Indigenous palms of the state of Bahia, Brazil. PhD Dissertation. The  
532 University of Illinois, Chicago
- 533 Ohlemüller R, Anderson BJ, Araújo MB, Butchart SHM, Kudrna O et al (2008) The  
534 coincidence of climatic and species rarity: high risk to small-range species from climate  
535 change. *Biol Lett* 4:568. doi:[10.1098/rsbl.2008.0097](https://doi.org/10.1098/rsbl.2008.0097)
- 536 Oksanen J, Blanchet FG, Friendly M, Kindt R, Legendre P et al (2018). *Vegan:*  
537 *Community Ecology Package*. R package. version 2.5–2. [https://CRAN.R-](https://CRAN.R-project.org/package=vegan)  
538 [project.org/package=vegan](https://CRAN.R-project.org/package=vegan)
- 539 Peterson AT, Soberón J, Pearson RG, Anderson RP, Martínez-Meyer E et al (2011)  
540 *Ecological Niche and Geographical Distributions*. Princenton University Press, New Jersey
- 541 Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE (2006) Maximum entropy modeling of species  
542 geographic distributions, *Ecol. Modell.* 90:231–259. doi:[10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026)
- 543 Porro R (2019) A economia invisível do babaçu e sua importância para meios de vida em  
544 comunidades agroextrativistas. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Hum* 14:169–188.  
545 doi:<https://doi.org/10.1590/1981>
- 546 Powell B, Bhatt ID, Mucioki M, Rana S, Rawat S, Kerr RB (2023) The need to include wild  
547 foods in climate change adaptation strategies. *Current Opinion in Environmental*  
548 *Sustainability* 63:101302. doi:[10.1016/j.cosust.2023.101302](https://doi.org/10.1016/j.cosust.2023.101302)
- 549 R Core Team (2024) *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R  
550 Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- 551 Rabelo-Costa T, Gomes PWP, Rocha BO, Cruz IL, Alves RS et al (2022) The fate of  
552 *Holoregmia*, a monospecific genus endemic to the Brazilian Caatinga, under different future  
553 climate scenarios. *Plant Ecology and Evolution* 155: 261–274. doi:[10.5091/plecevo.90511](https://doi.org/10.5091/plecevo.90511)
- 554 Sampaio, AR (2001) Introdução. In: Sampaio AR, Santos RA, Rocha AJD, Guimarães JT (ed)  
555 *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB*. Jacobina – Folha SC.24-Y-  
556 C, Estado da Bahia. Escala 1:250.000. Brasília:CPRM/DIEDIG/DEPAT, pp 1–6
- 557 Santos IAM, Dias DLC, Leite KRB, Silva MS, Silva LB (2019a) Aproveitamento de resíduos  
558 em *Attalea pindobassu* Bondar (Arecaceae) através da análise micrométrica das fibras do  
559 fruto e da folha. In: Santos FAR, Carneiro CE (ed) *Pindorama*. Teresina: EDUFPI, pp 24–30
- 560 Santos IAM, Dias DLC, Silva MS, Silva LB, Leite KRB (2019b) O gênero *Attalea* na Bahia:  
561 diversidade, utilização e potencialidade In: Santos FAR, Carneiro CE (ed) *Pindorama*.  
562 Teresina: EDUFPI, pp 19–23
- 563 Santos NP (2017) *Relações socioespaciais: urbanidades no rural na comunidade de coxo de*  
564 *dentro em Jacobina – BA*. Dissertation, Universidade do Estado da Bahia
- 565 Sena JVR, Medeiros MAO, Pereira AT (2017) Ascensão social da mulher jacobinense: de  
566 quebradeiras de coco babaçu a empreendedoras. V Seminário Internacional Enlaçando  
567 Sexualidades
- 568 Sillero N, Arenas-Castro S, Enriquez-Urzelai U, Vale CG, Sousa-Guedes D et al (2021) Want  
569 to model a species niche? A step-by-step guideline on correlative ecological niche modelling.  
570 *Ecological Modelling* 456:109671. doi:[10.1016/j.ecolmodel.2021.109671](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2021.109671)

- 571 Silva ASS, Arnan X, Medeiros PM (2024) Climate change may alter the availability of wild  
572 food plants in the Brazilian semiarid. *Regional Environmental Change* 24:86.  
573 doi:[10.1007/s10113-024-02250-3](https://doi.org/10.1007/s10113-024-02250-3)
- 574 Silva JMC, Barbosa LCF, Leal IR, Tabarelli M (2017) The Caatinga: Understanding  
575 the Challenges. In: Silva JMC, Leal IR, Tabarelli M (ed), *Caatinga: The Largest Tropical Dry*  
576 *Forest Region in South America*. Springer International Publishing pp 3–19.
- 577 Silva JLS, Cruz-Neto O, Peres CA, Tabarelli M, Lopes AV (2019) Climate change will  
578 reduce suitable Caatinga dry forest habitat for endemic plants with disproportionate impacts  
579 on specialized reproductive strategies. *PLoS ONE* 14:e0217028.  
580 doi:[10.1371/journal.pone.0217028](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217028)
- 581 Smith E, Ahmed S, Dupuis V, Crane MR, Eggers M et al (2019) Contribution of wild foods to  
582 diet, food security, and cultural values amidst climate change. *Journal of Agriculture, Food*  
583 *Systems, and Community Development* 9:191–214. doi:[10.5304/jafscd.2019.09B.011](https://doi.org/10.5304/jafscd.2019.09B.011)
- 584 Simões SS, Zappi D, Costa GM, Oliveira G, Aona LYS (2020) Spatial niche modelling of  
585 five endemic cacti from the Brazilian Caatinga: Past, present and future. *Austral Ecology*  
586 45:35–47. doi:[10.1111/aec.12825](https://doi.org/10.1111/aec.12825)
- 587 Teixeira LP, Lughadha EN, Silva, MVC, Moro MF (2021) How much of the Caatinga is  
588 legally protected? An analysis of temporal and geographical coverage of protected areas in the  
589 Brazilian semiarid region. *Acta Botanica Brasilica* 35:473–485. doi:[10.1590/0102-33062020ABB0492](https://doi.org/10.1590/0102-33062020ABB0492)
- 591 Torres RR, Lapola DM, Marengo J, Lombardo MA (2012) Socio-climatic hotspots in Brazil.  
592 *Climatic Change* 115:597–609. doi:[10.1007/s10584-012-0461-1](https://doi.org/10.1007/s10584-012-0461-1)
- 593 Torres RR, Lapola DM, Gamarra NLR (2017) Future Climate Change in the Caatinga. In:  
594 Silva JMC, Leal IR, Tabarelli M (ed), *Caatinga: The Largest Tropical Dry Forest Region in*  
595 *South America*. Springer International Publishing pp 383–412
- 596 Vaz UL, Nabout JC (2016) Using ecological niche models to predict the impact of global  
597 climate change on the geographical distribution and productivity of *Euterpe oleracea* Mart.  
598 (Arecaceae) in the Amazon. *Acta Botanica Brasilica* 30:290–295. doi:[10.1590/0102-33062016abb0036](https://doi.org/10.1590/0102-33062016abb0036)
- 600 Vieira RMSP, Tomasella J, Alvalá RCS, Sestini MF, Affonso AG et al (2015) Identifying  
601 areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast. *Solid Earth* 6:347–360.  
602 doi:[10.5194/se-6-347-2015](https://doi.org/10.5194/se-6-347-2015)

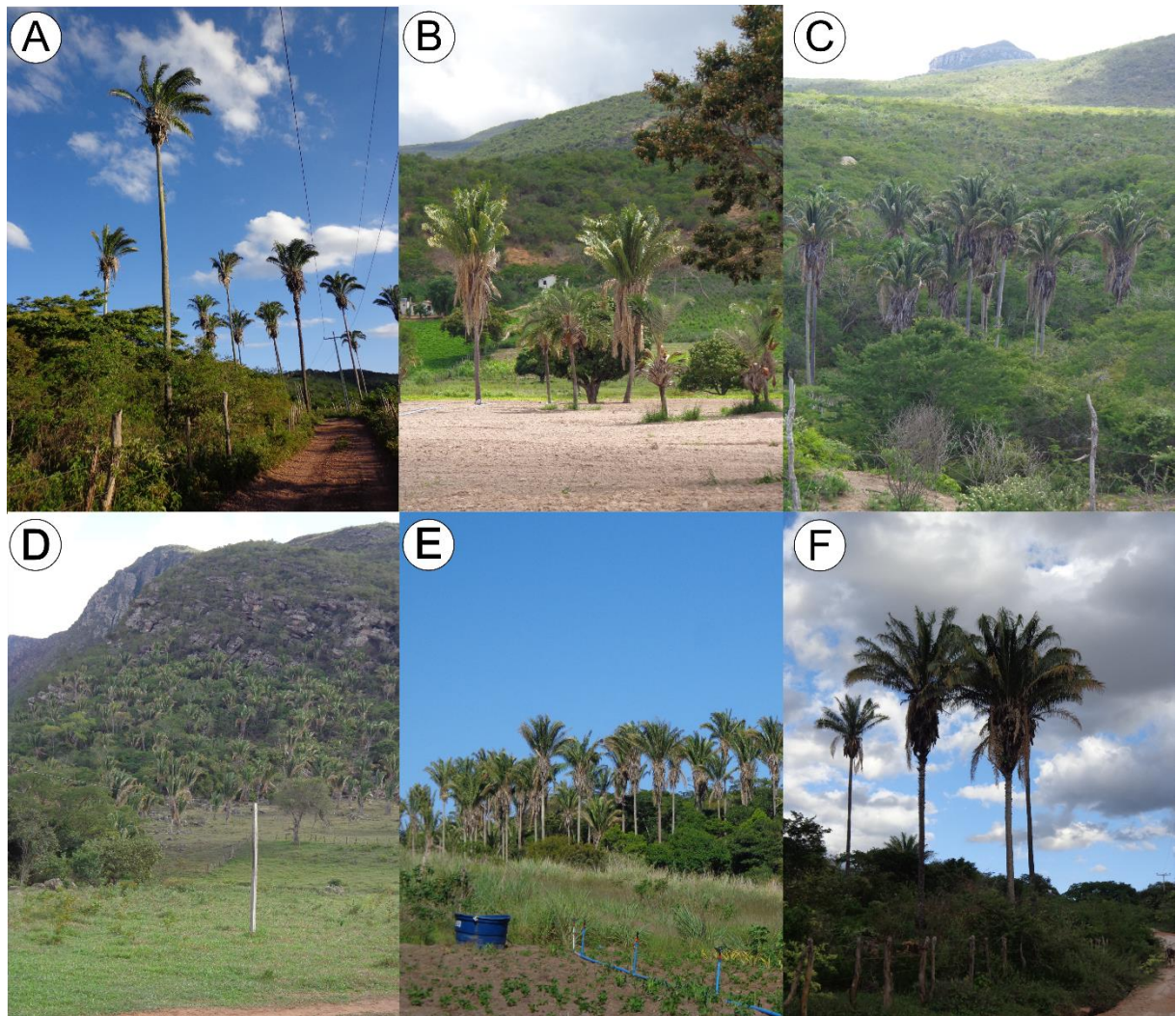


## ANEXO 1



**Figura S1.** Ocorrências da palmeira *Attalea pindobassu* (Bondar) em municípios do estado da Bahia. a) Antônio Gonçalves (lat -10.589353, long -40.351476); b) Pindobaçu (lat -10.712372, long -40.427461); c) Saúde (lat -11.007085, long -40.445616); d) Caém (lat -11.111749, long -40.455646); e) Caém (lat -11.118767, long -40.441179); f) Mirangaba (lat -40.476914, long -40.476914); g) Jacobina (lat -11.264283, long -40.465265); h) Miguel Calmon (lat -11.408551, long -40.500294); i) Tapiramutá (lat -11.868644, long -40.777528). Direitos das imagens: Beatriz H. S. Oliveira.





**Figura S2.** Ocorrências da palmeira *Attalea seabraensis* (Glassman) em municípios do estado da Bahia. A) Palmeiras (lat -12.555255, long -41.630437); B) Seabra (lat -12.552924, long -41.721333); C) Palmeiras (lat -12.656801, long -41.626593); D) Piatã (lat -13.128326, long -41.757301); E) Boninal (lat -12.749318, long -41.962577); F) Brotas de Macaúbas (lat -12.216892, long -42.271333). Direitos das imagens: Beatriz H. S. Oliveira.

**Tabela S1.** Coordenadas geográficas dos registros de ocorrência de *A. pindobassu* e *A. seabrensis*.

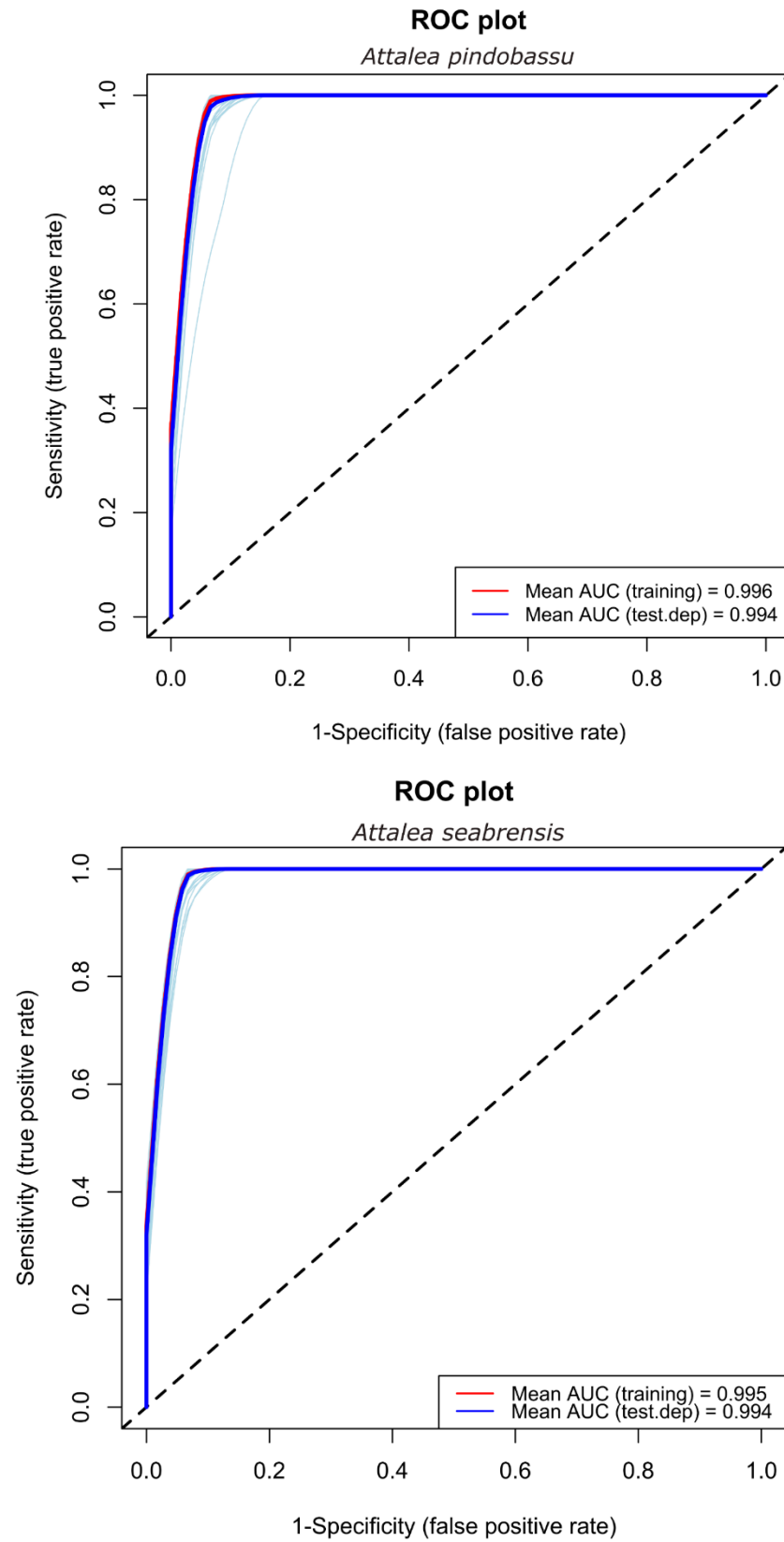
	<b>Espécies</b>	<b>longitude</b>	<b>latitude</b>	<b>Estado</b>	<b>Município</b>	<b>Fonte</b>	<b>Data da coleta</b>
1	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.351476	-10.589353	Bahia	Antônio Gonçalves	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	18/08/2023
2	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.439813	-10.649784	Bahia	Antônio Gonçalves	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	01/09/2023
3	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.352078	-10.635875	Bahia	Pindobaçu	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	29/08/2023
4	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.377621	-10.697949	Bahia	Pindobaçu	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	29/08/2023
5	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.381139	-10.755063	Bahia	Pindobaçu	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	29/08/2023
6	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.427671	-10.764524	Bahia	Pindobaçu	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	29/08/2023
7	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.459027	-10.722114	Bahia	Pindobaçu	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	29/08/2023
8	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.412588	-10.869187	Bahia	Saúde	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	29/08/2023
9	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.400796	-10.921434	Bahia	Saúde	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	29/08/2023
10	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.432369	-10.972714	Bahia	Saúde	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	29/08/2023
11	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.373744	-10.978462	Bahia	Saúde	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	29/08/2023
12	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.444566	-11.063281	Bahia	Caém	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	30/08/2023
13	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.455646	-11.111749	Bahia	Caém	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	30/08/2023
14	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.425678	-11.162025	Bahia	Caém	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	30/08/2023
15	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.564028	-10.973717	Bahia	Mirangaba	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	30/08/2023
16	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.512119	-11.000799	Bahia	Mirangaba	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	30/08/2023
17	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.504788	-10.952555	Bahia	Mirangaba	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	30/08/2023
18	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.467036	-10.870754	Bahia	Mirangaba	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	30/08/2023
19	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.507491	-11.092656	Bahia	Jacobina	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	31/08/2023
20	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.475103	-11.166375	Bahia	Jacobina	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	31/08/2023
21	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.473607	-11.211862	Bahia	Jacobina	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	31/08/2023
22	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.463301	-11.267031	Bahia	Jacobina	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	31/08/2023
23	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.465169	-11.314967	Bahia	Jacobina	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	31/08/2023
24	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.349998	-11.262733	Bahia	Jacobina	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	07/11/2023
25	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.356203	-11.312496	Bahia	Jacobina	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	07/11/2023
26	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.494159	-11.407497	Bahia	Miguel Calmon	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	31/08/2023

27	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.428003	-11.471593	Bahia	Miguel Calmon	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	31/08/2023
28	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.444677	-11.540805	Bahia	Miguel Calmon	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	31/08/2023
29	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.519288	-11.456741	Bahia	Miguel Calmon	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	07/11/2023
30	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.462654	-11.60043	Bahia	Miguel Calmon	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	07/11/2023
31	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.432342	-11.414706	Bahia	Miguel Calmon	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	07/11/2023
32	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.723948	-11.787833	Bahia	Piritiba	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	08/11/2023
33	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.848056	-11.860463	Bahia	Tapiramutá	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	08/11/2023
34	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.840134	-11.914933	Bahia	Tapiramutá	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	08/11/2023
35	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.809625	-11.939687	Bahia	Tapiramutá	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	08/11/2023
36	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.75663	-11.917187	Bahia	Tapiramutá	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	08/11/2023
37	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.724382	-11.840723	Bahia	Tapiramutá	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	08/11/2023
38	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.781695	-11.823296	Bahia	Tapiramutá	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	08/11/2023
39	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.928019	-11.901431	Bahia	Tapiramutá	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	15/01/2024
40	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-41.059139	-12.020821	Bahia	Utinga	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	15/01/2024
1	<i>Attalea seabrensis</i> Glassman	-41.573423	-12.516156	Bahia	Palmeiras	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	15/01/2024
2	<i>Attalea seabrensis</i> Glassman	-41.627634	-12.550064	Bahia	Palmeiras	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	15/01/2024
3	<i>Attalea seabrensis</i> Glassman	-41.642395	-12.605366	Bahia	Palmeiras	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	16/01/2024
4	<i>Attalea seabrensis</i> Glassman	-41.62614	-12.655395	Bahia	Palmeiras	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	16/01/2024
5	<i>Attalea seabrensis</i> Glassman	-41.573204	-12.710236	Bahia	Palmeiras	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	16/01/2024
6	<i>Attalea seabrensis</i> Glassman	-41.633129	-12.775977	Bahia	Mucugê	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	16/01/2024
7	<i>Attalea seabrensis</i> Glassman	-41.721321	-12.5533	Bahia	Seabra	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	16/01/2024
8	<i>Attalea seabrensis</i> Glassman	-41.690082	-12.616363	Bahia	Seabra	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	16/01/2024
9	<i>Attalea seabrensis</i> Glassman	-41.88559	-12.391739	Bahia	Seabra	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	16/01/2024
10	<i>Attalea seabrensis</i> Glassman	-41.766015	-12.300741	Bahia	Seabra	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	16/01/2024
11	<i>Attalea seabrensis</i> Glassman	-41.833862	-12.277035	Bahia	Seabra	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	16/01/2024
12	<i>Attalea seabrensis</i> Glassman	-41.660416	-12.841357	Bahia	Boninal	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	16/01/2024
13	<i>Attalea seabrensis</i> Glassman	-41.706801	-12.856342	Bahia	Boninal	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	16/01/2024
14	<i>Attalea seabrensis</i> Glassman	-41.959065	-12.749539	Bahia	Boninal	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	17/01/2024
15	<i>Attalea seabrensis</i> Glassman	-42.040968	-12.61926	Bahia	Ibitiara	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	17/01/2024

16	<i>Attalea seabrensis</i> Glassman	-41.813292	-12.839755	Bahia	Piatã	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	17/01/2024
17	<i>Attalea seabrensis</i> Glassman	-41.839614	-12.945752	Bahia	Piatã	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	17/01/2024
18	<i>Attalea seabrensis</i> Glassman	-41.700558	-13.080731	Bahia	Piatã	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	17/01/2024
19	<i>Attalea seabrensis</i> Glassman	-41.757301	-13.128326	Bahia	Piatã	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	17/01/2024
20	<i>Attalea seabrensis</i> Glassman	-41.661028	-13.133643	Bahia	Piatã	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	17/01/2024
21	<i>Attalea seabrensis</i> Glassman	-42.060154	-12.241281	Bahia	Barra de Mendes	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	17/01/2024
22	<i>Attalea seabrensis</i> Glassman	-42.09681	-12.076466	Bahia	Barra de Mendes	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	17/01/2024
23	<i>Attalea seabrensis</i> Glassman	-42.183809	-12.168924	Bahia	Brotas de Macaúbas	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	17/01/2024
24	<i>Attalea seabrensis</i> Glassman	-42.271333	-12.216892	Bahia	Brotas de Macaúbas	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	17/01/2024
25	<i>Attalea seabrensis</i> Glassman	-42.176725	-12.110367	Bahia	Brotas de Macaúbas	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	17/01/2024

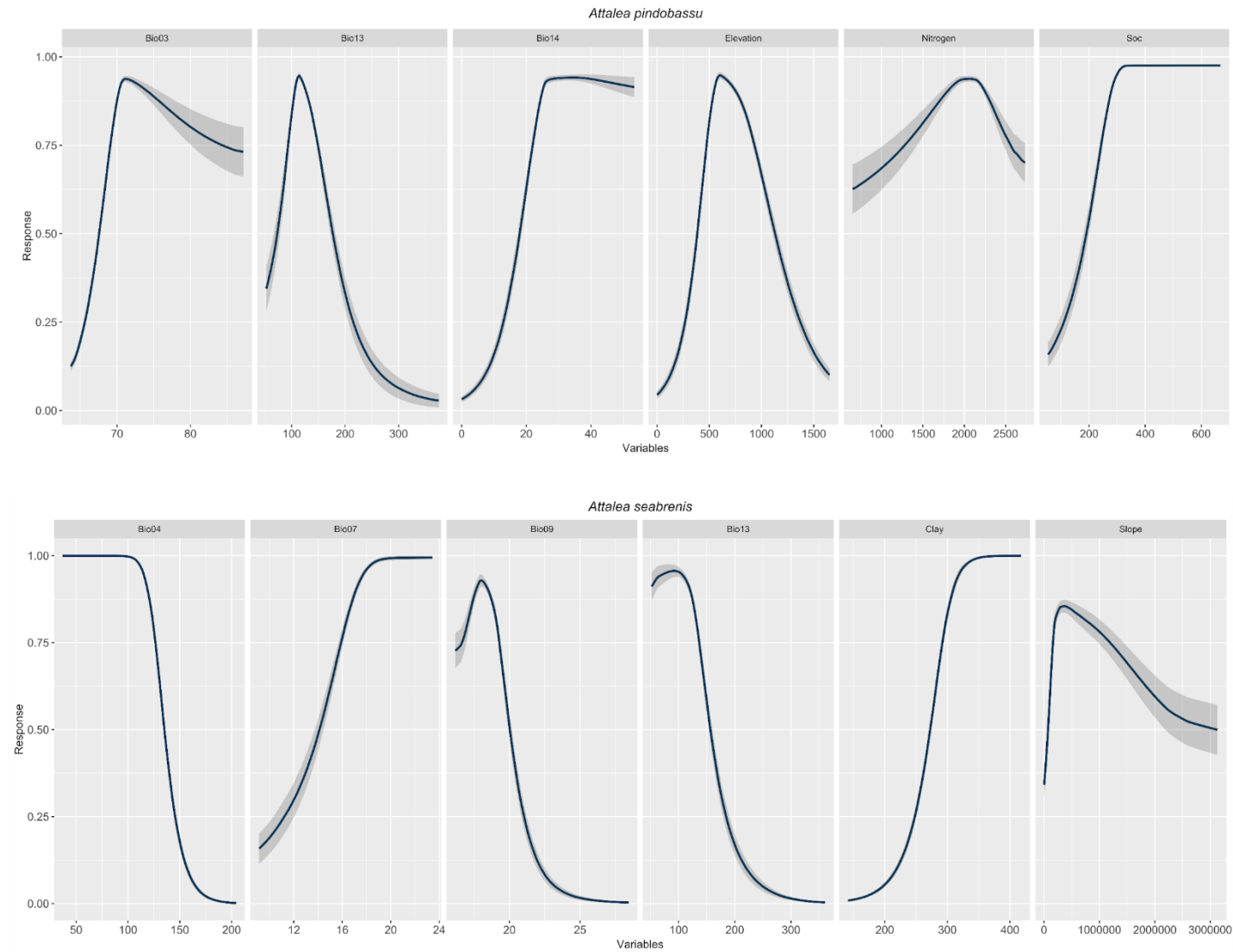
**Tabela S2.** Variáveis retidas para cada espécie através da análise do fator de inflação da variância (VIF).

<i>Attalea pindobassu</i>		<i>Attalea seabrensis</i>	
Código	VIF	Código	VIF
Aspect	1.528824	Bio04	4.518224
Bio03	2.984694	Bio07	4.960425
Bio07	2.933007	Bio09	2.111441
Bio13	3.145316	Bio13	8.646546
Bio14	4.405178	Bio18	4.818862
Cec	2.827811	Cec	5.041370
Clay	1.992008	Clay	4.591610
Elevation	2.284143	phh2o	7.034490
Nitrogen	5.665615	Sand	3.586387
phh2o	5.254515	Slope	4.077630
Sand	2.465173	-	-
Slope	2.548436	-	-
Soc	6.670985	-	-

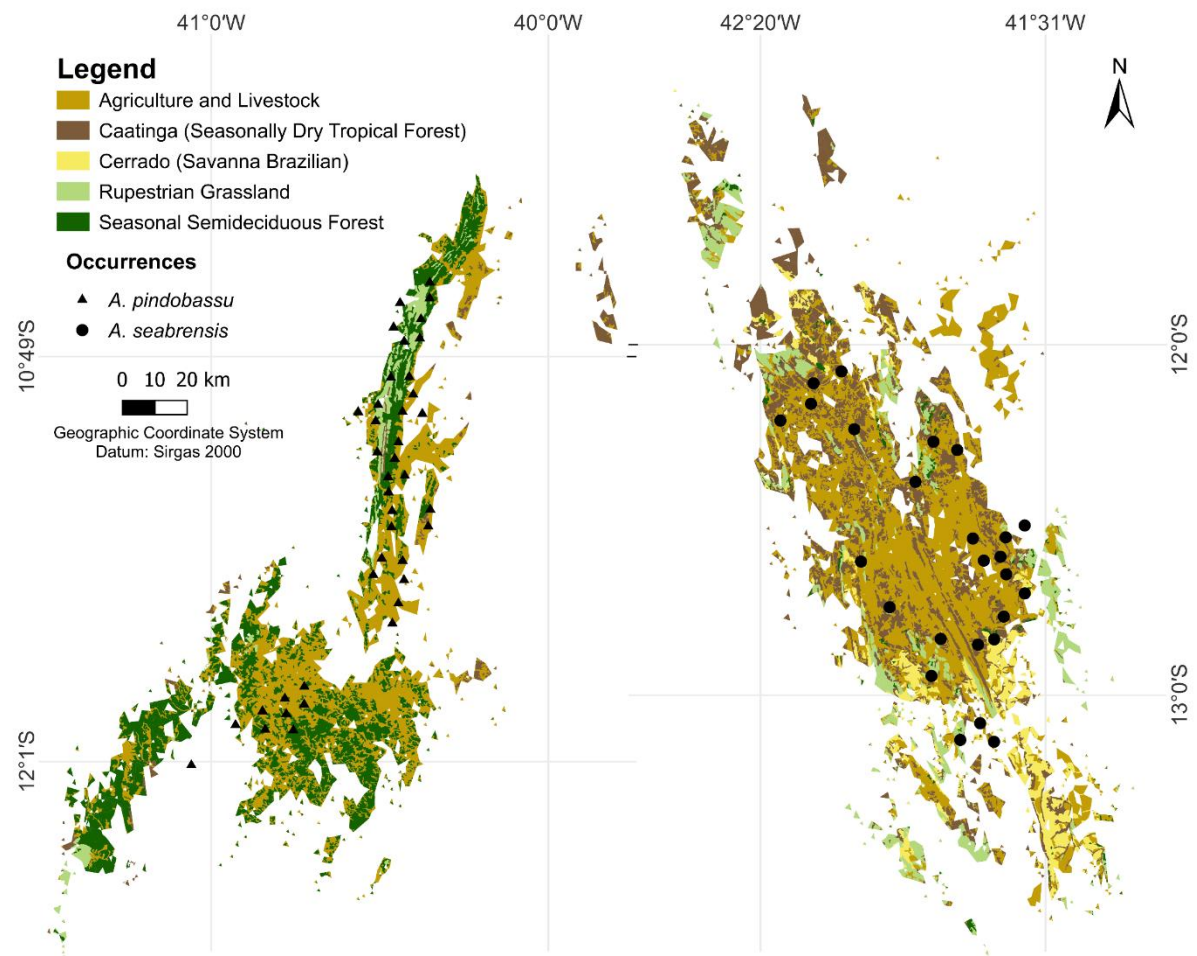


**Figura S3.** Curva de Característica Operacional do Receptor (ROC).





**Figura S4.** Curvas de resposta dos seis preditores ambientais utilizados nos modelos de nicho ecológico de *A. pindobassu* e *A. seabrensis*.



**Figura S5.** Cobertura vegetal presente nas áreas adequadas projetadas para *A. pindobassu* e *A. seabrensis*.

## ANEXO 2

**Tabela S1.** Produção de amêndoas de babaçu (em toneladas) dos municípios do centro-norte da Bahia, nordeste do Brasil. Fonte: IBGE (2023b).

Municípios	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Caém	50	47	48	46	47	39	41	43	42	46	43	40	42	41	40	37
Jacobina	10	10	10	9	9	9	9	10	11	15	14	14	12	11	11	10
Miguel Calmon	29	27	28	27	27	25	25	26	25	28	27	25	26	24	25	21
Mirangaba	32	30	30	29	30	28	28	29	28	32	30	30	28	27	28	23
Pindobaçu	34	33	23	20	20	17	14	14	12	13	9	7	6	5	4	3
Saúde	58	59	59	48	49	53	56	58	60	60	59	56	55	53	55	50
Várzea do Poço	6	6	6	6	6	6	7	7	7	7	7	7	7	6	7	6

**Tabela S2.** Área territorial dos municípios do centro-norte da Bahia, nordeste do Brasil. Fonte: IBGE (2023a).

Municípios	Área (Km <sup>2</sup> )
Caém	540,908
Jacobina	2.192,905
Miguel Calmon	1.599,672
Mirangaba	1.751,778
Pindobaçu	495,845
Saúde	509,098
Várzea do Poço	206,478

**Tabela S3.** Coordenadas geográficas dos registros de ocorrência de *Attalea pindobassu*.

	Espécies	longitude	latitude	Estado	Município	Fonte	Data da coleta
1	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.351476	-10.589353	Bahia	Antônio Gonçalves	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	18/08/2023
2	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.439813	-10.649784	Bahia	Antônio Gonçalves	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	01/09/2023
3	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.352078	-10.635875	Bahia	Pindobaçu	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	29/08/2023
4	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.377621	-10.697949	Bahia	Pindobaçu	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	29/08/2023
5	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.381139	-10.755063	Bahia	Pindobaçu	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	29/08/2023

6	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.427671	-10.764524	Bahia	Pindobaçu	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	29/08/2023
7	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.459027	-10.722114	Bahia	Pindobaçu	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	29/08/2023
8	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.412588	-10.869187	Bahia	Saúde	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	29/08/2023
9	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.400796	-10.921434	Bahia	Saúde	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	29/08/2023
10	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.432369	-10.972714	Bahia	Saúde	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	29/08/2023
11	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.373744	-10.978462	Bahia	Saúde	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	29/08/2023
12	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.444566	-11.063281	Bahia	Caém	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	30/08/2023
13	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.455646	-11.111749	Bahia	Caém	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	30/08/2023
14	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.425678	-11.162025	Bahia	Caém	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	30/08/2023
15	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.564028	-10.973717	Bahia	Mirangaba	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	30/08/2023
16	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.512119	-11.000799	Bahia	Mirangaba	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	30/08/2023
17	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.504788	-10.952555	Bahia	Mirangaba	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	30/08/2023
18	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.467036	-10.870754	Bahia	Mirangaba	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	30/08/2023
19	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.507491	-11.092656	Bahia	Jacobina	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	31/08/2023
20	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.475103	-11.166375	Bahia	Jacobina	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	31/08/2023
21	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.473607	-11.211862	Bahia	Jacobina	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	31/08/2023
22	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.463301	-11.267031	Bahia	Jacobina	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	31/08/2023
23	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.465169	-11.314967	Bahia	Jacobina	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	31/08/2023
24	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.349998	-11.262733	Bahia	Jacobina	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	07/11/2023
25	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.356203	-11.312496	Bahia	Jacobina	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	07/11/2023
26	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.494159	-11.407497	Bahia	Miguel Calmon	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	31/08/2023
27	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.428003	-11.471593	Bahia	Miguel Calmon	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	31/08/2023
28	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.444677	-11.540805	Bahia	Miguel Calmon	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	31/08/2023
29	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.519288	-11.456741	Bahia	Miguel Calmon	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	07/11/2023
30	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.462654	-11.60043	Bahia	Miguel Calmon	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	07/11/2023
31	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.432342	-11.414706	Bahia	Miguel Calmon	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	07/11/2023
32	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.723948	-11.787833	Bahia	Piritiba	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	08/11/2023
33	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.848056	-11.860463	Bahia	Tapiramutá	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	08/11/2023
34	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.840134	-11.914933	Bahia	Tapiramutá	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	08/11/2023

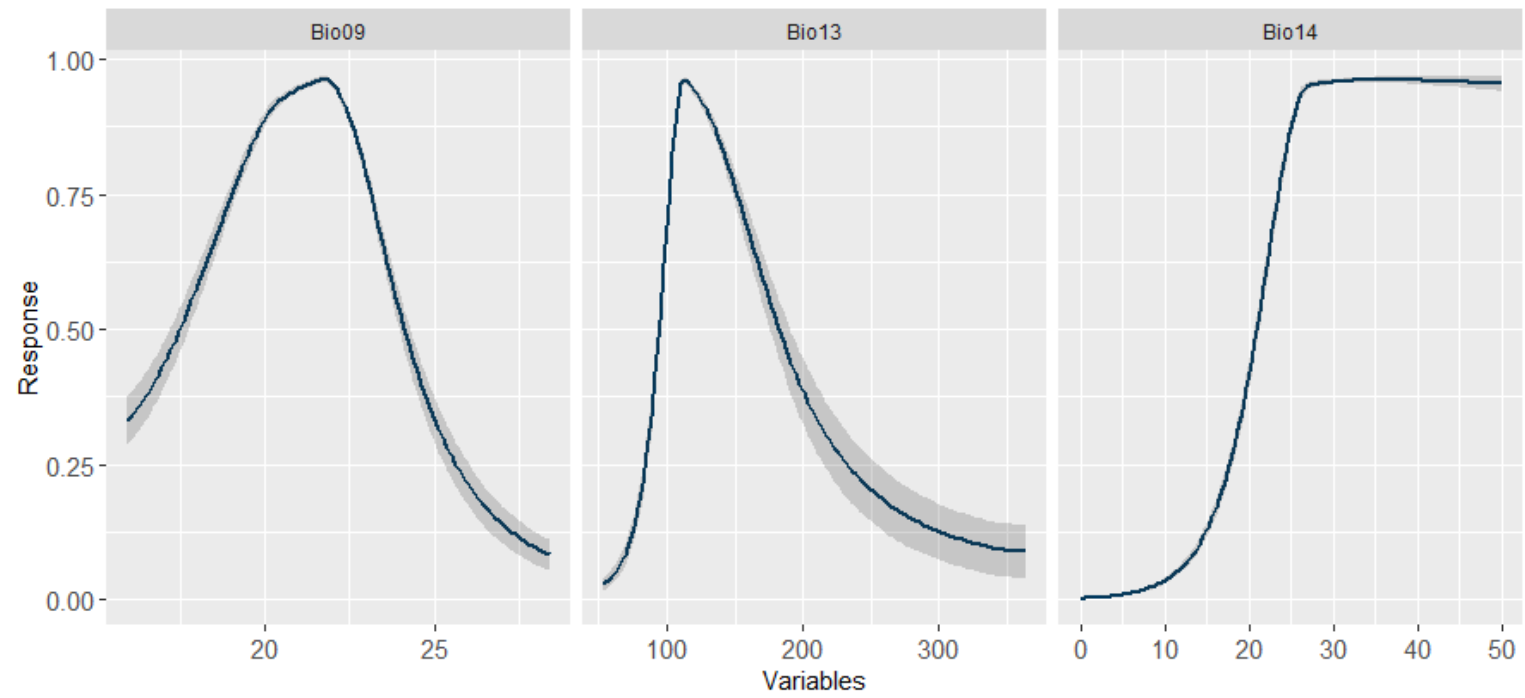
35	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.809625	-11.939687	Bahia	Tapiramutá	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	08/11/2023
36	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.75663	-11.917187	Bahia	Tapiramutá	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	08/11/2023
37	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.724382	-11.840723	Bahia	Tapiramutá	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	08/11/2023
38	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.781695	-11.823296	Bahia	Tapiramutá	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	08/11/2023
39	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-40.928019	-11.901431	Bahia	Tapiramutá	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	15/01/2024
40	<i>Attalea pindobassu</i> Bondar	-41.059139	-12.020821	Bahia	Utinga	Coleta de campo (Beatriz Oliveira)	15/01/2024

**Tabela S4.** Variáveis bioclimáticas retidas para modelagem de nicho ecológico de *A. pindobassu* pela análise do fator de inflação da variância (VIF).

Variáveis	VIF
Bio03	1.737581
Bio04	6.117324
Bio07	2.080181
Bio09	2.939961
Bio13	3.008500
Bio14	4.027417

**Tabela S5.** Produtividade de amêndoas de babaçu e adequabilidade média dos municípios do centro-norte da Bahia, nordeste do Brasil.

Municípios	Produtividade Média (kg/km <sup>2</sup> )	Adequabilidade Climática (média)
Caém	79.95	0.59
Jacobina	4.95	0.31
Miguel Calmon	16.21	0.24
Mirangaba	16.48	0.15
Pindobaçu	29.49	0.46
Saúde	109.01	0.68
Várzea do poço	31.17	0.42



**Figura S1.** Curvas de resposta para *Attalea pindobassu* em relação às variáveis bioclimáticas mais influentes. As curvas ilustram os intervalos de condições climáticas mais favoráveis para a ocorrência da espécie.