



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Efeitos Potenciais das Mudanças Climáticas na Distribuição de Duas Espécies de Palmeiras com Potencial Extrativista no Estado do Maranhão, Brasil

Alexandre Fernando Rodrigues Rocha¹, Domingos Lucas dos Santos Silva², Guilherme Sousa da Silva³, Ana Clara Ferreira Damaceno⁴, Maria de Fátima Veras Araújo⁵, Gonçalo Mendes da Conceição⁶

¹Mestre em Biodiversidade, Ambiente e Saúde (PPGBAS), pela Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), Campus Caxias, Morro do Alecrim, s/n 65.600-000, Caxias/MA-Brasil. xandyfernandocx@hotmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-7922-5768>); (Autor Correspondente). ²Doutor em Ecologia e Conservação pela Universidade Estadual do Mato Grosso (UNEMAT), Campus Nova Xavantina, 78690-000, Nova Xavantina/MT-Brasil. domingoslukas@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-6700-6659>). ³Doutorando do Programa de Biologia Vegetal, da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 13083-862, Campinas/SP-Brasil. guilhermecx.cx@hotmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-4250-0017>). ⁴Graduada em Licenciatura em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), Campus Caxias, Morro do Alecrim, s/n CEP 65.600-000-Caxias/MA-Brasil. anaclarafd01@gmail.com (<https://orcid.org/0009-0004-7700-2693>). ⁵Professora Doutora do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Biologia-Mestrado Profissional (PROFBIO) da Universidade Federal de Minas Gerais, atuando pela Universidade Estadual do Piauí (UESPI), Centro de Ciências da Natureza, Rua João Cabral, s/n Pirajá 64002150, Teresina/PI-Brasil. maria.fveras2018@gmail.com (<http://orcid.org/0000-0002-0231-5634>). ⁶Professor Doutor do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade, Ambiente e Saúde (PPGBAS), na Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), Campus Caxias, Morro do Alecrim, s/n 65.600-000, Caxias/MA-Brasil. doutorgoncalo@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-9056-9070>).

Artigo recebido em 12/01/2024 e aceito em 03/06/2024

RESUMO

As formações de vegetação no Maranhão são caracterizadas pela ocorrência das palmeiras coco-babaçu (*Attalea speciosa* Mart. ex Spreng.) e buriti (*Mauritia flexuosa* L.f.). Diante da importância ecológica, econômica, socioambiental e pela ausência de dados no que se refere a atual e futura situação de distribuição e conservação dessas espécies, este estudo objetivou avaliar a adequabilidade climática sob clima atual e futuro (2050), no estado do Maranhão e identificar possíveis estratégias de conservação dessas palmeiras de acordo com os impactos das mudanças climáticas. Os dados de ocorrência das espécies foram obtidos de repositórios de dados botânicos. Para os modelos preditivos de adequabilidade climática, foram obtidas 28 variáveis climáticas, sendo, 3 edáficas, 6 topográficas, 11 variáveis de temperatura e 8 de precipitação. Para elaboração dos modelos, foram utilizados nove algoritmos disponíveis no pacote biomod2. Para inferir os efeitos das mudanças climáticas na distribuição das espécies de palmeiras analisadas, foram projetados modelos preditivos utilizando três modelos climáticos globais. O desempenho preditivo dos modelos foi avaliado de acordo com o True Skill Statistic (TSS). Quanto ao cenário futuro (2050), para a *Attalea speciosa*, os modelos apresentaram adequabilidade estável, nem reduziu e nem expandiu suas áreas de adequabilidade. Para *Mauritia flexuosa*, no cenário futuro (2050), os modelos apresentaram redução de área de adequabilidade, indicando forte impacto das mudanças climáticas. Entende-se que sejam necessárias iniciativas urgentes dos órgãos governamentais, alinhadas as práticas eficazes para preservação e conservação dessas espécies.

Palavras-chave: *Attalea speciosa*, *Mauritia flexuosa*, Modelo de Distribuição de Espécie.

Potential Effects of Climate Change on the Distribution of Two Palm Tree Species with Extractive Potential in the State of Maranhão, Brazil

ABSTRACT

Vegetation formations in Maranhão are characterized by the occurrence of palm trees coco babaçu (*Attalea speciosa* Mart. ex Spreng.) and buriti (*Mauritia flexuosa* L.f.). Given the ecological, economic, socio-environmental importance and the lack of data regarding to the current and future situation of distribution and conservation of these species, this study aimed to evaluate the climate suitability under current and future climate (2050), in the state of Maranhão and to identify possible conservation strategies for these palm trees according to the impacts of climate change. Species occurrence data were obtained from Botanical Data Repositories. For predictive models of climate suitability, 28 climate variables were obtained, 3 edaphic, 6 topographical, 11 temperature variables and 8 precipitation. For the elaboration of the models, nine algorithms available in the biomod2 package were used. To infer the effects of climate change on the distribution of the analyzed palm species, predictive models were designed using three global climate models. The predictive performance of the models was evaluated according to the True Skill Statistic (TSS). As for the future scenario (2050), for *Attalea speciosa*, the models showed stable suitability, neither reduced nor expanded their areas of suitability. For *Mauritia flexuosa*, in the future scenario (2050), the models showed a reduction in the suitability area, indicating a strong impact

of climate change. It is understood that urgent initiatives by government agencies are necessary, in line with effective practices for the preservation and conservation of these species.

Keywords: *Attalea speciosa*, *Mauritia flexuosa*, Species Distribution Model.

Introdução

A mudança climática global é um problema amplamente reconhecido e discutido (IPCC, 2014), principalmente pelas suas impulsões no declínio da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos (He et al., 2019; Degroot et al., 2021), na qual apresentam graves impactos em ambientes locais (IPCC, 2014). Em resposta às mudanças climáticas, os dados percentuais são alarmantes, no que diz respeito ao risco a biodiversidade de ecossistemas terrestres e marinhos (Barlow et al., 2018). A crise global já ameaçou mais de 21.000 espécies de vegetais e animais (Tilman et al., 2017). Assim, estudar os efeitos potenciais das mudanças climáticas de regiões e espécies tornam-se imprescindíveis, principalmente para locais com alta biodiversidade (Van der Putten et al., 2010; Brown et al., 2020; Huntley et al., 2021; Duarte e Maherali, 2022).

Um dos Estados brasileiros que é um importante território para a biodiversidade é o Maranhão, pois suporta inúmeras espécies endêmicas nos três diferentes domínios fitogeográficos: Cerrado, Amazônia e Caatinga (Flora e Funga do Brasil, 2024). Diante da diversidade de fitofisionomias presente no Estado, que vai desde abertas (campos) e matas fechadas (florestas). Também, seu clima varia muito, na porção Norte possui florestas úmidas e na porção Sul-Leste possui florestas secas decíduas e espinhosas (de Araujo et al., 2016). Entre os anos de 1975 a 2022, as temperaturas médias do estado do Maranhão aumentaram (NOAA, 2022), e estudos preveem que mudanças climáticas causarão um aumento na temperatura, bem como na precipitação, com um aumento durante a estação chuvosa e uma diminuição na precipitação durante a estação seca (Tadross et al., 2008). Esses eventos climáticos extremos, podem moldar a abundância e a distribuição de comunidades (Thomsen et al., 2019), bem como reduzir a capacidade de sobrevivência de plantas, como das espécies pertencente a família Arecaceae Bercht. & J.Presl., por exemplo, popularmente conhecidas como palmeiras (Walther et al., 2007; Eisenhardt et al., 2011; Paterson, 2021).

Arecaceae possui ampla distribuição (Dransfield et al., 2008), sendo encontradas em maior proporção em trópicos úmidos e subtrópicos

(Svenning et al., 2008; Blach-Overgaard et al., 2009, 2010; Pinheiro, 2011; Kumar et al., 2023), entretanto, existem limitações que se relacionam a distribuição e poucas espécies ocorrem em climas macrotérmicos, mesotérmicos e microtérmicos (Tomlinson, 2006; Dransfield et al., 2008; Eisenhardt et al., 2011). No entanto, em seus locais de distribuição, esse grupo de plantas fornecem inúmeros benefícios ambientais, proporcionam resistência a erosão do solo, fornecem serviços ecossistêmicos para populações locais, diminuem os efeitos das mudanças climáticas, uma vez que espécies desse grupo, mediante o seu alto porte absorvem o dióxido de carbono em uma extensão significativamente maior do que outras espécies de plantas (Sharif et al., 2010; FAO, 2012; Parterson, 2021; Parmar et al., 2023).

Apesar de apresentar múltiplas importâncias nos ecossistemas tropicais (Costa et al., 2022), muitas espécies de palmeiras estão ameaçadas pela exploração excessiva, perda de habitat e pressão das mudanças climáticas (Parterson, 2021). Com isso, há uma grave consequência fitossociológica, pois a diminuição e mudança da densidade e estrutura populacional podem propiciar grandes consequências para o mosaico paisagístico e para as espécies vegetais e animais que dependem desse grupo (Pereira et al., 2021). A partir disso, são necessárias tomadas de decisões que proponham estratégias e áreas prioritárias de conservação para espécies de palmeiras, e uma das técnicas que podem ser utilizadas são os modelos de distribuição de espécies (King e Thomas, 2014). Essa técnica combina variáveis preditoras, bioclimáticas e edáfico-topográficas, com pontos de ocorrência de espécies com o intuito de descrever as relações espécie-ambiente, ou seja, visam modelar a adequabilidade ambiental, a distribuição espacial e/ou temporal de uma população, espécie ou grupo de espécies sob clima atual e futuro (Warren et al., 2013; Peterson et al., 2018; Thuiller et al., 2019).

Embora tenha ocorrido um aumento da aplicação de modelos de adequabilidade climática para investigar o impacto das mudanças climáticas e ambientais na distribuição de palmeiras (Evangelista-Vale et al., 2021; Farooq et al., 2021; Costa et al., 2022). Para alguns estados brasileiros, como o Maranhão, ainda é insuficiente a aplicação dessa técnica. O Maranhão se destaca entre os

estados brasileiros no que se refere a uma formação vegetal denominada Mata de Cocais, caracterizada pela alta abundância de palmeiras, como por exemplo da espécie *Attalea speciosa* Mart. ex Spreng., popularmente conhecida como coco-babaçu, que por sua vez, ocupa uma área de aproximadamente de 100 mil km². No entanto, no Brasil a sua área de ocorrência abrange a zona de transição bioclimática que envolve a Floresta Amazônica úmida, Cerrado do planalto central e a Caatinga semiárida (Pinheiro, 2011). *Attalea speciosa*, possui grande potencial extrativista, principalmente por apresentar importância sociocultural e econômica, fazendo parte da subsistência das populações locais (de Almeida et al., 2016; de Moraes, 2021). Uma outra espécie típica das Matas de Cocais é *Mauritia flexuosa* L.f., conhecida como buriti, espécie que se distribui nas matas úmidas e/ou alagadas do Maranhão, no entanto possui maior predominância nas baixadas oriental, ocidental e pré-amazônica (Araújo et al., 2004; Pinheiro, 2011). *Mauritia flexuosa*, desempenha funções importantes nos estratos ecológicos, econômico e social, é utilizada na fabricação de cosméticos (Pereira Freire et al., 2016), produção de biodiesel (Pantoja et al., 2018), fonte de fibras alimentares, antioxidantes naturais e propriedades quimioprotetoras (Resende et al., 2019; Amorim et al., 2021). Além disso, é caracterizada como uma bioindicadora de recursos hídricos (Arce et al., 2021), é considerada um recurso de abrigo, forrageio e alimentício de aproximadamente 940 espécies de vertebrados (van der Hoek et al., 2019).

Diante da importância ecológica, econômica e socioambiental destas espécies de palmeiras no Maranhão, bem como pela ausência de dados que se referem a atual e futura situação de distribuição e conservação dessas espécies, além do avanço de desmatamento das Matas de Cocais, que são estimadas em uma área de mais de 2.000.000ha (Pinheiro, 2011), este estudo visa: (I) avaliar a adequabilidade climática das espécies *Attalea speciosa* e *Mauritia flexuosa* sob clima atual e futuro (2050) no estado do Maranhão; (II) identificar possíveis estratégias de conservação dessas palmeiras de acordo com os impactos das

mudanças climáticas. Estes resultados ajudarão a criar e estabelecer potenciais estratégicos de manejo, para a conservação destas duas palmeiras de importância ecológica e socioeconômica no Maranhão.

Material e métodos

Área de estudo

A área de estudo cobre a distribuição geográfica de duas espécies de palmeiras (*Attalea speciosa* e *Mauritia flexuosa*), no Maranhão, Nordeste do Brasil. A área de adequabilidade climática dessas espécies foi ajustada em aproximadamente 329.651,496km² (IBGE, 2021), distribuída em 217 municípios, localizados nas mesorregiões geográficas, Leste, Centro, Oeste, Norte e Sul maranhense (de Araújo et al., 2016). O Estado possui os domínios fitogeográficos: Cerrado, com maior extensão (64,1%), seguido da Amazônia (34,8%) e Caatinga (1,1%), (Figura 1), onde predominam os solos: Latossolo Amarelo (109719,6km²), Plintossolos (47304,6km²), Podzólico Vermelho-Amarelo (33769,9km²) e Podzólico Vermelho-Amarelo concrecionário (31069,7km²) (IMESC, 2008).

As temperaturas médias do ar são elevadas, ultrapassam 22°C, entre julho a dezembro. As áreas com elevados volumes de precipitação pluviométrica estão situadas na região Noroeste e também no Oeste devido as influências das florestas da Amazônia Oriental, onde os índices pluviométricos ultrapassam 2.500mm. No Sudeste, os índices chegam a 1.000mm. (Jacomine et al., 1986; Maranhão, 2002; Maranhão, 2011).

As características climáticas no Estado, proporcionam vários tipos de vegetação, onde se destacam: Floresta subperenifólia (equatorial), Floresta caducifólia, Floresta subcaducifólia/caducifólia, Floresta subperenifólia (tropical), Floresta dicótilo-palmácea, Florestas de várzeas (higrófilas e hidrófilas), Cerrados, Caatinga, Formações lenhosas de transição, Restinga, Dunas e Manguezal (Jacomine et al., 1986; Maranhão, 2002; Silva et al., 2008).

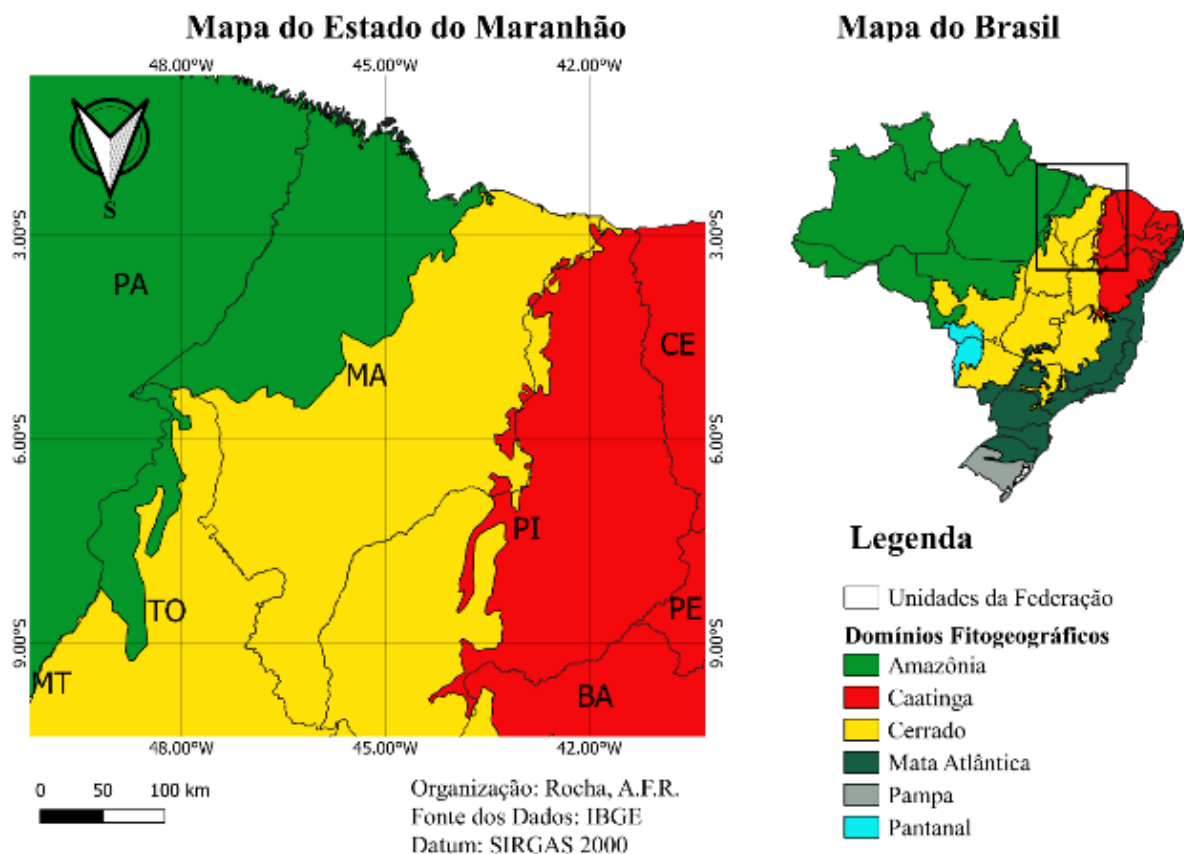


Figura 1. Localização do Maranhão, Nordeste do Brasil e limites dos domínios fitogeográficos no Estado.

Espécies em estudo

Attalea speciosa

Attalea speciosa (Figura 2), são palmeiras que podem alcançar altura superior a 30m e diâmetro que varia de 20 a 50cm. Suas folhas são eretas com folíolos arqueados, apresentam inflorescência androdióica, andrógina, com flores pistiladas e estaminadas e cobertas por uma bráctea, os frutos possuem de 6 a 13cm de comprimento e 4 a 10cm de largura, com peso que varia de 40 a 440g (Pinheiro, 2011; Flora e Funga do Brasil, 2024).

No Brasil, a distribuição geográfica da *Attalea speciosa* abrange os estados do Acre, Amazonas, Pará, Rondônia, Tocantins, Bahia,

Ceará, Maranhão, Piauí, Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Minas Gerais (Flora e Funga do Brasil, 2024). No Maranhão, as populações de *Attalea speciosa* abrangem cerca de 60% do território, as áreas de maior concentração são regiões ecológicas do Cerrado, Mata de Cocais e baixada maranhense (Pinheiro, 2011). A abundância dessa espécie no estado do Maranhão caracteriza as Matas de Cocais/ Floresta de babaçu (IBGE, 2012).

As condições favoráveis para presença da *Attalea speciosa* são solos Plintossolos, temperaturas que podem variar entre 26,9° e 35°C, com precipitação de 1.557mm e com chuvas predominando entre os meses de janeiro a maio (Jacomine et al., 1986; Brasil, 2010).



Figura 2. *Attalea speciosa*, as margens da avenida central em Caxias-MA.

Mauritia flexuosa

A *Mauritia flexuosa* (Figura 3), é uma palmeira com um estipe com altura que varia entre 20 e 35m e 30 a 50cm de diâmetro. Apresentam folhas costapalmadas, frutos em forma de esfera ou ovalados, com comprimento de 3 a 7cm, possui

escamas sobrepostas de coloração vermelha que cobrem o mesocarpo, inflorescências interfoliares, ramificadas, com mais de dois metros (Cymerys et al., 2005; Flora e Funga do Brasil, 2024).

Mauritia flexuosa, ocorrem em áreas com médias anuais de precipitação que variam de 1141mm a 6315mm e temperaturas de 22,8°C a

27,1°C (Pinheiro, 2011). No Brasil, a distribuição do buriti abrange os estados do Acre, Amazonas, Pará, Rondônia, Tocantins, Bahia, Ceará, Maranhão, Piauí, Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Minas Gerais e São Paulo (Flora e Funga do Brasil, 2024). No

Maranhão, essas palmeiras se concentram em locais alagados e solos pantanosos. As extensas faixas de distribuição dessas espécies caracterizam-se de buritizais.



Figura 3. População de *Mauritia flexuosa*, as margens do Rio Preguiça, em Barreirinhas-MA.

Dados de ocorrência das espécies

Para modelar a distribuição da *Attalea speciosa* e *Mauritia flexuosa* para o Maranhão, foram utilizados pontos de ocorrência disponibilizados em bancos de biodiversidade online: Sistema Global de Informação Sobre Biodiversidade (GBIF), Sistema de Informação que Integra dados Primários de Coleções Científicas (*speciesLink*), Banco de dados da Flora e Funga do Brasil e Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira (SiBBR). Os dados de ocorrência das espécies foram obtidos entre janeiro e fevereiro de 2021. Foi definido o ano de 1979 como data mínima de coleta dos espécimes para uso dos dados de ocorrência, para assegurar a

compatibilidade com os dados climáticos utilizados nas análises.

Dos bancos de biodiversidade online que foram utilizados, para o Maranhão foram obtidas 113 ocorrências para *Attalea speciosa* e 25 ocorrências para *Mauritia flexuosa*. Desse quantitativo, foram excluídos registros com informações duvidosas, ausência de coordenadas, local de coleta e data. Foram verificados grafia, autores e sinonímia dos nomes das espécies na Lista da Flora e Funga do Brasil (2024), e após isto, foram conferidas as coordenadas geográficas no Google Maps

(www.google.com.br/maps/preview). Quando as informações dos locais de coletas e coordenadas não se mostraram precisas, excluiu-se os registros.

A partir dos procedimentos de limpeza dos pontos de ocorrência, o banco de dados ficou com 111 ocorrências para *Attalea speciosa* e 20 ocorrências para *Mauritia flexuosa* (Figura 4). Como o desempenho dos modelos depende fortemente do tamanho da amostra, sendo necessário no mínimo 25 registros (van Proosdij et al., 2016), alimentou-se o banco de dados de ocorrência de *Mauritia flexuosa* com informações

de pontos de ocorrência para o Brasil. Os modelos foram calibrados com informações de registros espacialmente únicos, ou seja, um ponto de ocorrência por um *pixel* de ~10 km (10km² por *pixel*). A resolução de 10km por *pixel* deve-se a uma margem de erro nas coordenadas de cada ponto de ocorrência.

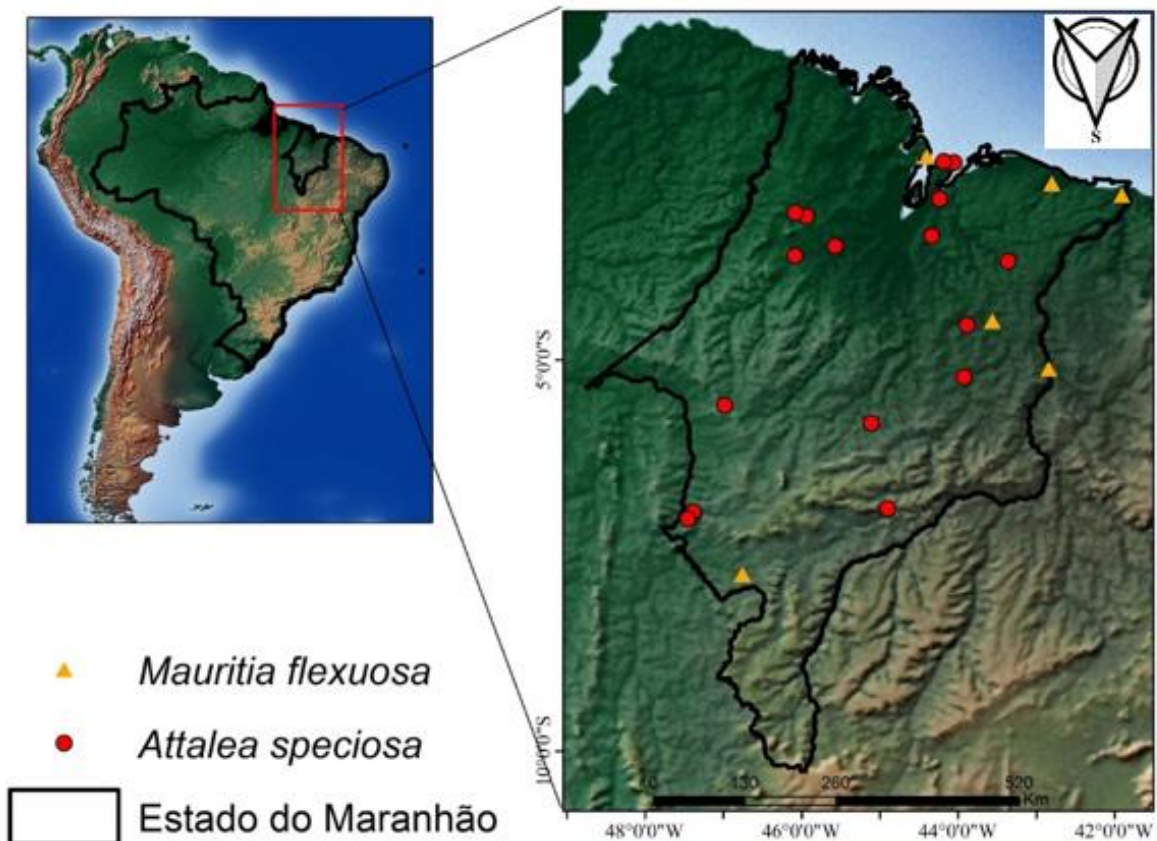


Figura 4. Pontos de ocorrência das espécies *Mauritia flexuosa*, em amarelo e *Attalea speciosa* em vermelho.

Conjunto de dados ambientais

Como variáveis preditoras dos modelos, foram obtidas 28 variáveis climáticas, edáficas e topográficas. Como climática, foram obtidas 19 variáveis de temperatura e precipitação obtidas da plataforma CHELSA (<https://chelsa-climate.org/>); como topográficas, foram obtidas seis variáveis de solos (densidade, fragmentos grosseiros do solo, argila, areia, silte e profundidade de 200cm) do banco de dados *Soil grids* (<https://soilgrids.org/>); como topográfica, a variável de elevação, obtida da plataforma NASA (SRTM - <http://srtm.csi.cgiar.org/>) (Jarvis et al., 2008), e

duas (declividade do terreno e orientação de vertente) obtidas através do pacote raster (Tabela 1). Todas as variáveis foram obtidas em resolução de ~1km e foram reamostradas para ~10km. Essa conversão foi realizada, de forma que a resolução fosse compatibilizar a precisão das variáveis ambientais com a precisão dos registros de ocorrência.

Todas as variáveis foram submetidas a Análise de Componentes Principais (PCAs), com o intuito de evitar o uso de variáveis colineares. Assim, em uma primeira PCA (PCA1), foi mantido os seis primeiros eixos das variáveis bioclimáticas, que correspondem a ~95% da

variação climática da área de estudo; em uma segunda PCA (PCA2), foi mantido os três primeiros eixos das variáveis edáfica-topográficas, que representam ~70% da variação dessas variáveis. Os valores dos eixos das PCAs foram verificados por meio do valor de VIF (Fator de Inflação da Variância). As PCAs (PCA1 e PCA2),

foram realizadas somente para as variáveis climáticas do cenário presente, para o cenário futuro (2050), foram criadas projeções de eixos de PCAs dos eixos gerados a partir das variáveis do presente sobre as variáveis do futuro (Zwiener et al., 2018).

Tabela 1. Variáveis preditoras para construção dos modelos de adequabilidade climática.

VARIÁVEL AMBIENTAL	FONTE
Temperatura média anual	Chelsa (Karger et al., 2017)
Amplitude térmica diurna média	Chelsa (Karger et al., 2017)
Isotermalidade	Chelsa (Karger et al., 2017)
Sazonalidade de temperatura	Chelsa (Karger et al., 2017)
Temperatura máxima do mês mais quente	Chelsa (Karger et al., 2017)
Temperatura mínima do mês mais frio	Chelsa (Karger et al., 2017)
Faixa anual de temperatura	Chelsa (Karger et al., 2017)
Temperatura média do trimestre mais molhado	Chelsa (Karger et al., 2017)
Temperatura média do trecho seco	Chelsa (Karger et al., 2017)
Temperatura média do trimestre mais quente	Chelsa (Karger et al., 2017)
Temperatura média do trimestre mais frio	Chelsa (Karger et al., 2017)
Precipitação anual	Chelsa (Karger et al., 2017)
Precipitação do mês mais úmido	Chelsa (Karger et al., 2017)
Precipitação do mês mais seco	Chelsa (Karger et al., 2017)
Sazonalidade precipitação	Chelsa (Karger et al., 2017)
Precipitação do trimestre mais chuvoso	Chelsa (Karger et al., 2017)
Precipitação do bairro mais seco	Chelsa (Karger et al., 2017)
Precipitação do trimestre mais quente	Chelsa (Karger et al., 2017)
Precipitação do trimestre mais frio	Chelsa (Karger et al., 2017)
Altitude	NASA Shuttle Radar Topographic Mission (CGIAR, 2006)
Orientação de vertente	Pacote 'raster' (Hijmans et al., 2017)
Inclinação do terreno	Pacote 'raster' (Hijmans et al., 2017)
Densidade aparente de solo (média de 0.0 m até 0.30 m)	Soil Grids (Hengl et al., 2014)
Conteúdo de argila (média de 0.0 m até 0.30 m)	Soil Grids (Hengl et al., 2014)
Conteúdo de areia (média de 0.0 m até 0.30 m)	Soil Grids (Hengl et al., 2014)
Conteúdo de silte (média de 0.0 m até 0.30 m)	Soil Grids (Hengl et al., 2014)
BDRICM-M: <i>depth to bedrock (r horizon) up to 200 cm</i>	Soil Grids (Hengl et al., 2014)
Fragmentos grosseiros volumétricos em %	Soil Grids (Hengl et al., 2014)

Fonte: CHELSA, *Soil Grids*, NASA, Pacote Raster.

Modelos de distribuição de espécie

Para construção dos modelos, foram utilizados nove algoritmos disponíveis no pacote *biomod2* (Thuiller et al., 2016): Modelo Linear

Generalizado (GLM), Modelo Aditivo Generalizado (GAM), Análise Discriminante Flexível (FDA), Regressão Adaptativa Múltipla (MARS), (os quatro são baseados em regressão), Redes Neurais Artificiais (ANN), Random Forest (RF), Análise de Classificação em Árvores (CTA), Modelo de Impulso Generalizado (GBM) e Máxima Entropia (MAXENT), (cinco fazem parte dos algoritmos de Aprendizagem de Máquina). Para cada algoritmo, usou-se os dados para calibração e teste. Os modelos foram calibrados com 70% de dados para treino (construção dos modelos) e 30% para avaliação (Franklin e Miller, 2010).

Para inferir os efeitos das mudanças climáticas na distribuição das espécies de palmeiras analisadas, foram projetados modelos preditivos utilizando três modelos climáticos globais (GCMs), (CCSM4, CMCC_CM, CSIRO_Mk3, GFDL_CM3, HadGEM2 e MIROC-ESM). A escolha desse grupo de GCMs foi baseada no grau de correlação entre os GCMs (Knutti et al., 2013). Essas projeções foram baseadas utilizando o cenário RCP 8.5 (*Representative Concentration Pathway*), que reflete tendências de emissões de CO₂ sem políticas de mudança climática, gerados pelos relatórios de avaliação do IPCC. Esse cenário foi escolhido devido à acelerada conversão de matas nativas no estado Maranhão (Junior et al., 2020). O desempenho preditivo dos modelos, foi avaliado de acordo com o *True Skill Statistic*

(TSS). Os modelos finais foram construídos formando um *ensemble*, o qual uniu os resultados dos modelos com significância estatística ($TSS \geq 0,4$) dos diferentes algoritmos. Os mapas binários (presença e ausência) criado para cada espécie foram gerados a partir do consenso entre os modelos retidos e basearam-se no limiar que maximiza sensibilidade e especificidade (*Threshold*), o que implica em menor sobreprevisão (Liu et al., 2005). Para cada espécie, foi estimado o ganho e/ou a perda de habitat a partir do número de *pixels*, comparando os modelos binários (0 – área não adequada; 1 – área adequada) de distribuição potencial do presente com o cenário de mudanças climáticas (2050). Todas as análises foram realizadas em ambiente R (R Core Team, 2019) e os mapas foram trabalhados no *software* QGIS (QGIS Development Team, 2015).

Resultados

Attalea speciosa

Todos os algoritmos utilizados para construção dos modelos apresentaram desempenho melhor do que o acaso ($TSS \geq 0,4$), com um valor médio de TSS de 0,5. O algoritmo RF, foi o que apresentou a maior média de TSS (0,64), seguido de GBM (0,62) (Figura 5).

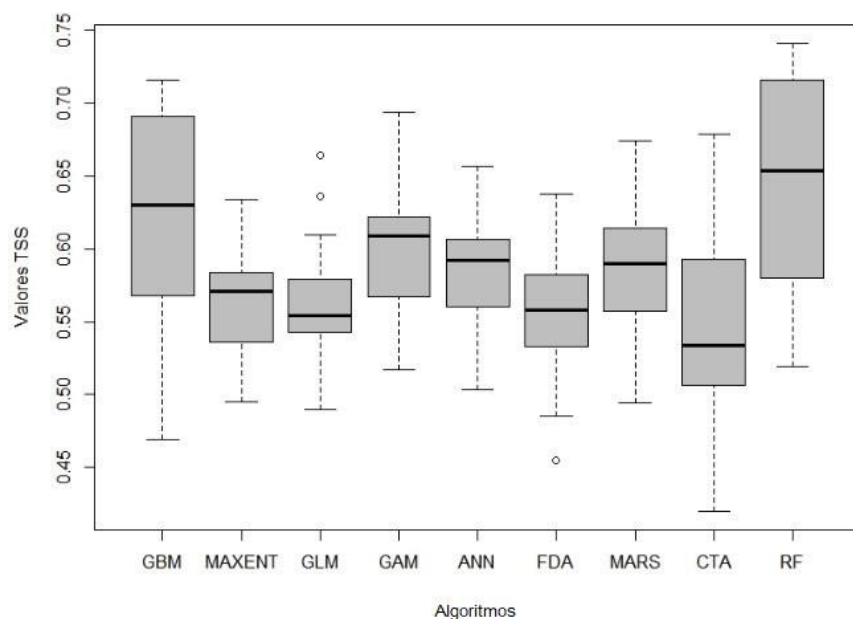


Figura 5. Desempenho dos algoritmos utilizados para modelagem de adequabilidade ambiental de *Attalea speciosa*, analisados pelos valores de TSS, no Maranhão.

Com base nos modelos, *Attalea speciosa* possui adequabilidade ambiental para todo o território maranhense, ocupando os domínios fitogeográficos da Amazônia, Cerrado e Caatinga presentes no Maranhão. A área predita de adequabilidade para *Attalea speciosa*, sugere locais com adequabilidade em municípios que não apresentam dados de ocorrência, demonstrando que a faixa de distribuição de *Attalea speciosa* no

Maranhão pode ser mais ampla (Figura 6). Quanto ao cenário futuro (2050), os modelos apresentaram adequabilidade estável, nem retraiu e nem expandiu suas áreas de adequabilidade, quando comparada com os modelos do clima presente, embora se espere que algumas áreas do Maranhão ocorram retração de adequabilidade frente às intensas pressões antrópicas que proporcionam perda de habitat para a espécie.

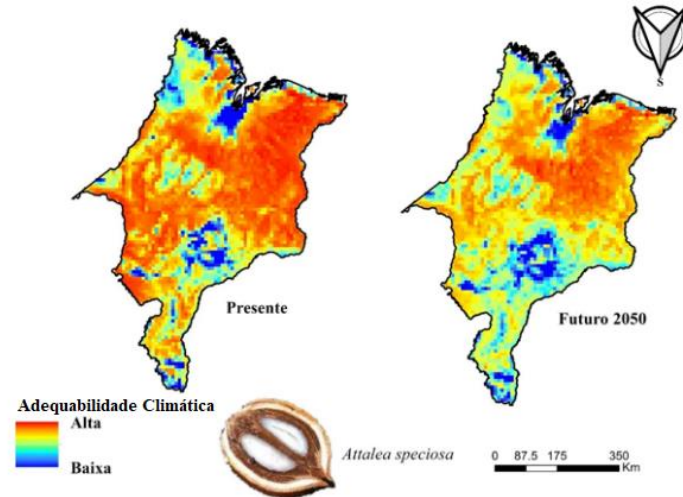


Figura 6. Mapa de adequabilidade climática para *Attalea speciosa* no presente e futuro (2050), no estado do Maranhão.

Mauritia flexuosa

Todos os algoritmos utilizados para construção dos modelos de *Mauritia flexuosa*, apresentaram desempenho melhor do que o acaso (TSS $\geq$ 0,4), com um valor médio de TSS de 0,4. No

entanto, dos 225 modelos, apenas 183 modelos apresentaram desempenho melhor do que o acaso. O algoritmo RF, foi o que apresentou a maior média de TSS (0,54), seguido de GBM (0,51) (Figura 7).

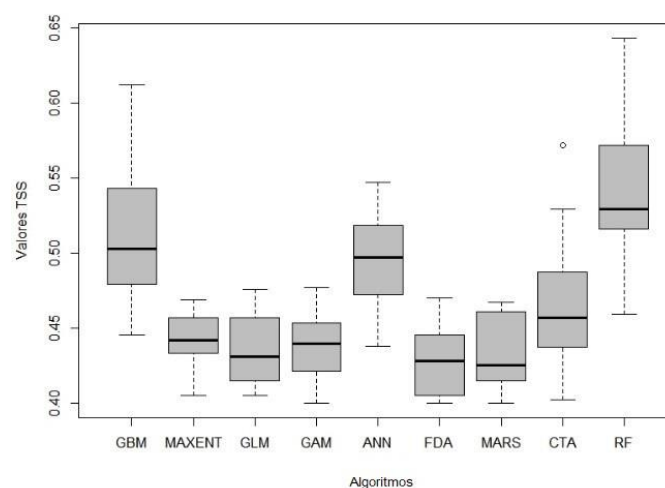


Figura 7. Desempenho dos algoritmos utilizados para modelagem de adequabilidade ambiental de *Mauritia flexuosa*, analisados pelos valores de TSS, no Maranhão.

Com base nos modelos, *Mauritia flexuosa* apresentou adequabilidade ambiental para 311799,84 km² (equivalente a 3664 *pixels*) do território maranhense e 10135.06 km² (equivalente a 119 *pixels*) de ausência (Figura 8). As pequenas faixas de ausência de adequabilidade, encontram-se nas mesorregiões do Sul (pequenas manchas nos municípios de São Domingos do Azeitão, São Félix de Balsa, Benedito Leite, Loreto, Sambaíba, Balsas e São Raimundo das Mangabeiras), Oeste (Vila Nova dos Martírios, Cidelândia, Açailândia, Itinga do Maranhão, Centro Novo do Maranhão, Alto Alegre do Pindaré, Santa Luzia, Brejo de Areia, Brejo de Areia, Lago da Pedra, Luís Domingues, Godofredo Viana, Cândido Mendes, Governador Nunes Freire, Turiaçu e Turilândia), Norte

(Barreirinhas, Santo Amaro do Maranhão, Humberto Campos, Primeira Cruz, Icatu, Rosário, Axixá, Bacabeira, Santa Rita, Anajatuba, Viana, Peri Mirim, Bacurituba, Cajari, Alcântara, Mirinzal, Guimarães, Porto Rico do Maranhão, Cururupu, Bacuri e Presidente Sarney) e Leste maranhense (Água Doce do Maranhão, Araioses e Coelho Neto) (Figura 9).

Quanto ao cenário futuro (2050), os modelos apresentaram perda de área de adequabilidade (o número de *pixels* de presença foi de 2923 e de ausência foi de 860), indicando forte impacto das mudanças climáticas sobre a distribuição de *Mauritia flexuosa*.

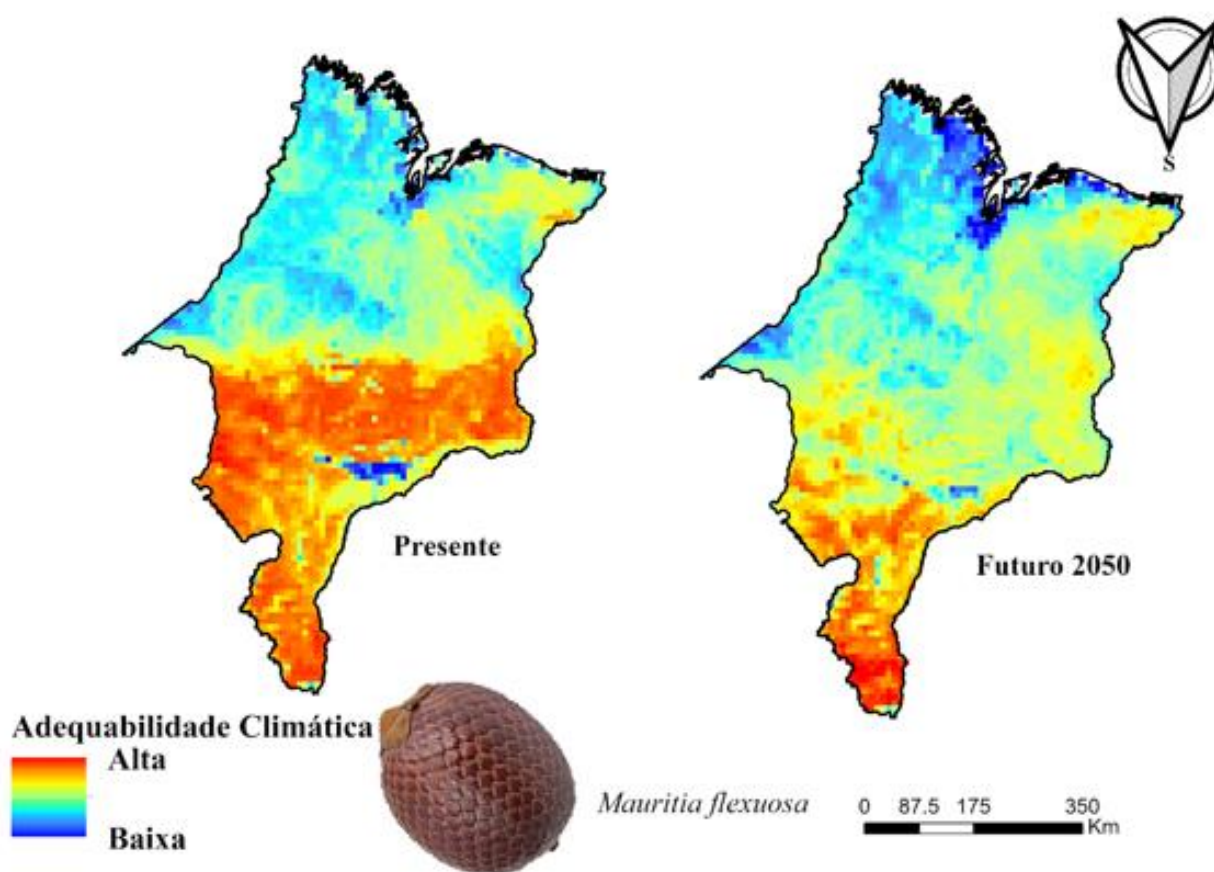


Figura 8. Mapa de adequabilidade climática para *Mauritia flexuosa* no presente e futuro (2050), no Maranhão.

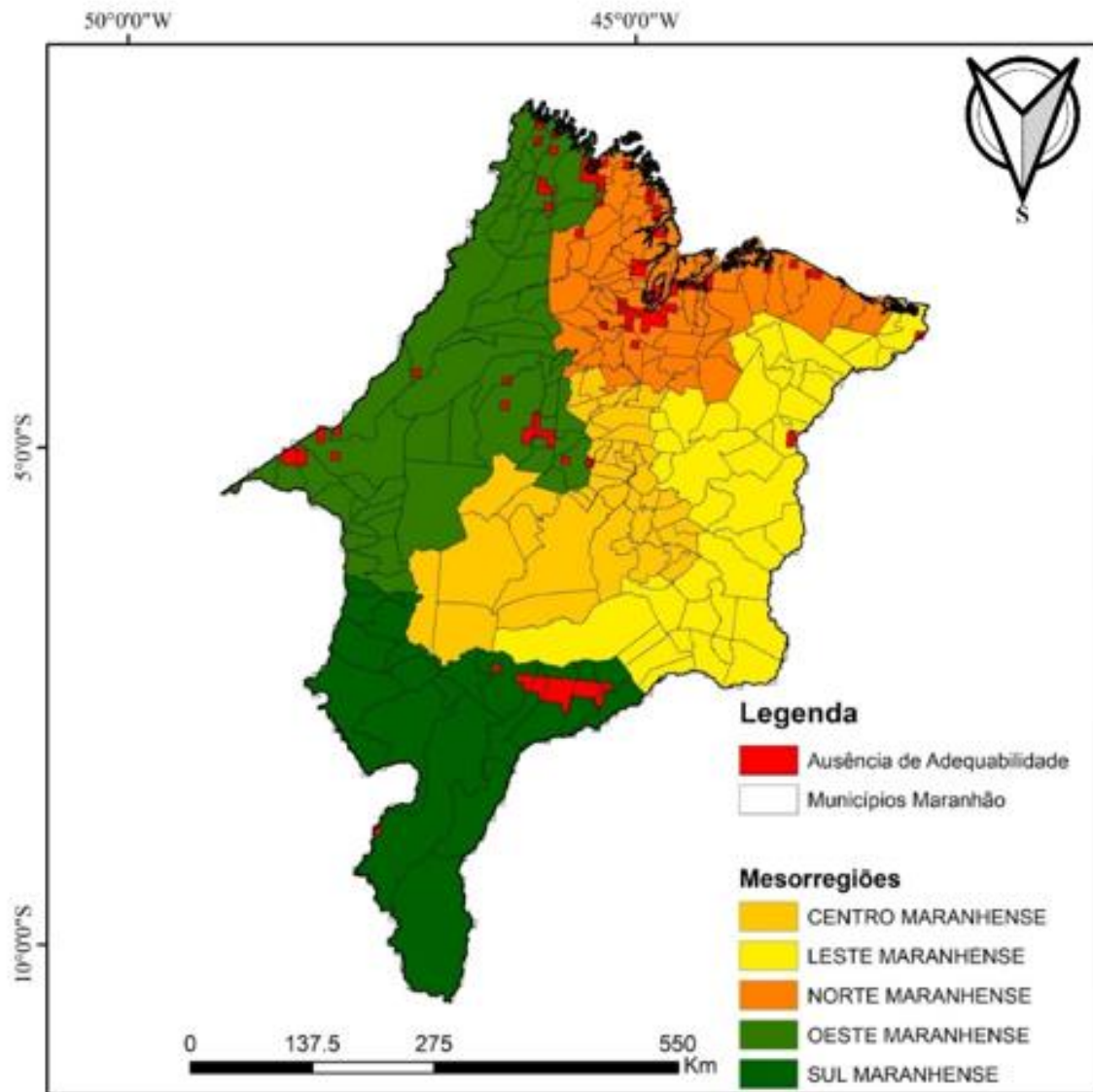


Figura 9. Locais de ausência de adequabilidade ambiental, em cenário atual para *Mauritia flexuosa* por mesorregião.

Discussão

Esse trabalho avaliou a distribuição potencial sob clima atual e projeções futuras de adequabilidade ambiental (Walther et al., 2007), de duas espécies de palmeiras, com forte potencial exploratório no Maranhão, Nordeste do Brasil.

Para *Attalea speciosa*, os modelos para o clima atual, mostram um padrão de distribuição esperado, demonstrando adequabilidade em praticamente todo o território maranhense. Isso pode ser explicado mediante as características climáticas e ambientais do Maranhão, pois a espécie geralmente habita Plintossolos (Jacomine et al., 1986), com temperaturas médias que variam

de 26,9°C e ultrapassam 35°C, umidade relativa de 70% e precipitação média de 1.557mm, chuvas irregulares com mais frequência no primeiro semestre, essas características de preferência ambiental correspondem as do estado e favorecem a formação vegetal de Mata de Cocais, caracterizada principalmente pela ocorrência expressiva da *Attalea speciosa* (Ribeiro e Walter, 1998; Brasil, 2010). Estes resultados foram semelhantes aos do trabalho de Pinheiro (2011) e Evangelista-Vale (2021), onde demonstraram que *Attalea speciosa*, também apresentou adequabilidade para quase toda a extensão do Maranhão. Os modelos evidenciaram locais com elevados índices de adequabilidade para a espécie,

no Leste maranhense e uma porção do Norte maranhense, no entanto estes locais apresentam poucos registros de ocorrência, demonstrando um déficit de informações de campo (Shepherd, 2005; Sobral e Stehmann, 2009; Hortal et al., 2015). Isso pode estar relacionado as dificuldades de coletas, considerando que *Attalea speciosa* é um vegetal de grande porte e mediante isso, torna-se necessário incentivo e apoio à melhoria logística para realização das coletas (Tomlinson, 1965; Dransfield, 1979; 1986), preparação das exsicatas e o armazenamento do material no herbário.

A baixa adequabilidade sob o clima atual para o litoral maranhense, deve-se as características ambientais, pois o babaçu se desenvolve melhor em terrenos bem drenados nos interflúvios, geralmente em áreas degradadas, constituindo vegetações secundárias, onde geralmente não há riscos de inundações (May, 1987; Ribeiro e Walter, 1998; Muscarella et al., 2020). Isto que corrobora com o estudo de Pinheiro (2011), onde calculou a faixa de distribuição de *Attalea speciosa*, no Cerrado maranhense, que é estimada em 1,3 milhões de hectares.

As projeções dos modelos evidenciaram que no futuro (2050), *Attalea speciosa* apresenta estabilidade na adequabilidade, ou seja, não apresentará perda de áreas adequadas para o desenvolvimento da espécie. Estes resultados também foram semelhantes a outras espécies de palmeiras (Butler e Larson, 2020; Evangelista-Vale et al., 2021; Hebbar et al., 2022). Dado o potencial extrativista da *Attalea speciosa*, que já foi considerada no Brasil o produto florestal não madeireiro mais valorizado em termos de produção (Silva et al., 2009; Porro, 2019), no estado do Maranhão a existência das extensas faixas de ocorrência de babaçuais fazem com que produtores agrícolas a explore direcionando-a para várias finalidades, tornando assim o Maranhão o maior produtor de coco-babaçu (Gouveia et al., 2017; Guerin et al., 2020; CONAB, 2021). No entanto, a economia tem sido impactada devido a privatização de terras, aos incêndios florestais e a conversão dos babaçuais em pastos. Neste contexto, a adequabilidade futura da *Attalea speciosa* no Maranhão se relaciona a sua resistência a antropização e as características ecológicas (May et al., 1985; Mitja et al., 2018; Zuquim et al., 2023).

Quanto a *Mauritia flexuosa*, as áreas que apresentaram maior adequabilidade foi a região Sul maranhense, em menor proporção as regiões Oeste, Centro e Leste maranhense e estas, por sua vez,

fazem parte dos domínios Cerrado e Amazônia. Este resultado se associa as características dos domínios, já que no Cerrado existem nascentes importantes e apresentam locais onde desaguam os principais rios do país. Já a Amazônia funciona como um reservatório de água, nela possui 20% de toda água doce no planeta (Sampaio, 2011). Entretanto, a degradação florestal em ambientes naturais nos Estados do Nordeste do Brasil, desde o século XVI (Hilário e Toledo, 2016), tem sido intensa, estima-se que nas últimas quatro décadas, 50% da formação vegetacional do Cerrado e 16% da Amazônia tenha reduzido, causando impactos negativos as populações de buritizais (Phillips et al., 2009; Sampaio, 2011). *Mauritia flexuosa*, por se tratar de uma palmeira que cobre locais pantanosos, sua distribuição indica a presença dos recursos hídricos (Endress et al., 2013), como no Sul do Estado, onde é originado os mais elevados índices da drenagem hidrográfica maranhense (Montes et al., 1997).

Em larga escala de tempo, as evidências paleontológicas (Reichgelt et al., 2018), demonstraram fortes influências de clima sobre expansão e retração nas populações da *Mauritia flexuosa* no período quaternário (Rull, 1998; de Lima et al., 2014; Melo et al., 2018). Apesar dos eventos climáticos, uma discussão recente demonstrou que a espécie não apresentou perda de distribuição (Pinheiro, 2011), entretanto esse panorama foi alterado, inclusive, os dados desta pesquisa constatarem que mudanças climáticas apresentará forte impacto em populações de *Mauritia flexuosa* no Maranhão, conforme as projeções dos modelos para o futuro (2050), similarmente, o clima também foi um forte fator nos estudos de Blach-Overgaard et al. (2010; 2015) com outras espécies da mesma família, quando constatarem que 29 espécies de palmeiras na África foram afetadas por mudanças climáticas.

Ao contrário da *Attalea speciosa*, *Mauritia flexuosa* não se adequa aos eventos climáticos e ações antrópicas tão rigorosas que tendem a reduzir seus habitats (Shapcott et al., 2007; Horn et al., 2012; Benchimol et al., 2017). No estudo realizado anteriormente, o fogo foi a principal ameaça aos buritizais (Sampaio, 2011). *Mauritia flexuosa* é conhecida como árvore da vida (Sander et al., 2018), devido ao seu potencial ecológico, econômico (Rull e Montoya, 2014) e entre as espécies de palmeiras, é considerada a que mais apresenta variedade de finalidades (Isaza et al., 2013) para comercialização, seja na alimentação, na fabricação de objetos, etc. Neste sentido, a

superexploração das fibras de folhas jovens são empregadas no artesanato (Delgado et al., 2007; Virapongse et al., 2014; Quintero-Angel et al., 2022; Parmar et al., 2023), na confecção de sacolas, tapetes, redes e bolsas. Em cidades no interior do Maranhão, a estimativa é de que 30% da população local possui renda através do artesanato feito de fibras do buriti (Sampaio, 2011; Virapongse et al., 2017), mas essa superexploração reduz as populações da espécie (Montúfar et al., 2021).

As palmeiras *Attalea speciosa* e *Mauritia flexuosa*, possuem um forte potencial econômico no estado do Maranhão, fornece benefícios para muitas famílias que vivem de sua exploração, entretanto, aspectos negativos sobre as espécies foram destacados, relacionados aos impactos das mudanças climáticas e a exploração excessiva no Estado. A expansão territorial de perda de adequabilidade da *Mauritia flexuosa* no futuro próximo (2050), por exemplo, é preocupante. Desta forma, tornam-se necessárias ações governamentais urgentes, que vão além da formulação de legislações. Mesmo com iniciativa da implantação de Lei nº 1.282, de 3 de dezembro de 1996, que elegeu a *Mauritia flexuosa* como símbolo da capital do Brasil, visado políticas conservacionistas, medidas efetivamente práticas ainda possuem deficiência. Neste sentido, práticas de manejo e conservação devem ser aplicadas, sendo necessário o controle exploratório bem planejado e, nessa perspectiva, indica-se que a colheita dos frutos deve iniciar antes do seu amadurecimento (Sampaio, 2011; Romulo et al., 2022).

Além destas questões, são necessários investimentos em pesquisas, pois elas possibilitam subsídios para a resolução das problemáticas sociais (Júnior e Fargoni, 2021), além de cursos de aperfeiçoamento com abordagens ecológicas para as comunidades; mostrar a importância da espécie; sugerir técnicas de colheita sustentável, como a de espalhar sementes no brejo para propagação de mudas; implementar políticas facilitadoras de incentivo ao reflorestamento e financiamento para colheita consciente (Sampaio, 2011). Torna-se necessário também intensificar as fiscalizações, para que não ocorram queimadas nos buritizais e babaquais, principalmente em épocas de secas.

Conclusões

Através dos modelos, foi possível prever a distribuição de *Attalea speciosa* e *Mauritia flexuosa* no estado do Maranhão para o futuro

(2050). Por muito tempo, os domínios fitogeográficos onde as espécies ocorrem foram frequentemente impactados. Este estudo forneceu dados relevantes sobre a adequabilidade e a não adequabilidade das espécies no Estado. Desta forma, por se tratar de grupos com forte potencial econômico e ecológico que desempenha uma gama de funções onde estão inseridas, tornam-se necessárias iniciativas urgentes de órgãos governamentais que sejam efetivamente práticas e eficazes para preservação e conservação da *Attalea speciosa* e *Mauritia flexuosa* no Maranhão, tais como políticas públicas de incentivo ao reflorestamento, cursos de capacitação sobre o manejo e colheita sustentável, eventos escolares e acadêmicos que envolvam a comunidade para discutir a importância de plantar e preservar *Attalea speciosa* e *Mauritia flexuosa*.

Agradecimentos

A Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA), ao Herbário Professor Aluizio Bittencourt (HABIT), a Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), e ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Ambiente e Saúde (PPGBAS).

Referências

- Amorim, V. R., Rodrigues, D. C. D. N., Silva, J. D. N., Ramos, C. L. S., Almeida, L. M. N., Almeida, A. A. C., ... & Ferreira, P. M. P. (2021). Anti-inflammatory mechanisms of fruits and by-products from *Mauritia flexuosa*, an exotic plant with functional benefits#. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 84(11), 441-457. <https://doi.org/10.1080/15287394.2021.1881672>
- Araújo, J. R. G., Martins, M. R., & Santos, F. N. (2004). Fruteiras nativas: ocorrência e potencial de utilização na agricultura familiar do Maranhão. *EG MOURA. Agroambientes de transição entre o trópico úmido e semi-árido do Brasil: atributos, alterações e uso na agricultura familiar*. São Luís: Universidade Estadual do Maranhão, 257-312.
- Arce, L. S. D., Osco, L. P., Arruda, M. D. S. D., Furuya, D. E. G., Ramos, A. P. M., Aoki, C., ... & Marcato Junior, J. (2021). *Mauritia flexuosa* palm trees airborne mapping with deep convolutional neural network. *Scientific*

- Reports*, 11(1), 19619. [https://doi: 10.1038/s41598-021-98522-7](https://doi.org/10.1038/s41598-021-98522-7).
- Barlow, J., França, F., Gardner, T. A., Hicks, C. C., Lennox, G. D., Berenguer, E., ... & Graham, N. A. (2018). The future of hyperdiverse tropical ecosystems. *Nature*, 559(7715), 517-526. [https://doi: 10.1038/s41586-018-0301-1](https://doi.org/10.1038/s41586-018-0301-1)
- Benchimol, M., Talora, D. C., Mariano-Neto, E., Oliveira, T. L., Leal, A., Mielke, M. S., & Faria, D. (2017). Losing our palms: The influence of landscape-scale deforestation on Arecaceae diversity in the Atlantic forest. *Forest Ecology and Management*, 384, 314-322.
- Blach-Overgaard, A., Svenning, J. C., & Balslev, H. (2009, November). Climate change sensitivity of the African ivory nut palm, *Hyphaene petersiana* Klotzsch ex Mart.(Arecaceae)—a keystone species in SE Africa. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 8, No. 1, p. 012014). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/8/1/012014>
- Blach-Overgaard, A., Svenning, J. C., Dransfield, J., Greve, M., & Balslev, H. (2010). Determinants of palm species distributions across Africa: the relative roles of climate, non-climatic environmental factors, and spatial constraints. *Ecography*, 33(2), 380-391. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2010.06273.x>
- Blach-Overgaard, A., Balslev, H., Dransfield, J., Normand, S., & Svenning, J. C. (2015). Global-change vulnerability of a key plant resource, the African palms. *Scientific Reports*, 5(1), 12611.
- Brasil. (2010). Ministério do Desenvolvimento Agrário-MDA. Plano Territorial de Desenvolvimento rural sustentável- Território do Cacaos. São Luís -MA. Disponível: http://sit.mda.gov.br/download/ptdrs/ptdrs_qua_territorio034.pdf. Acesso: 25 abr. 2022.
- Brasil. (2022). Lei nº 1.282, de 3 de dezembro de 1996. Declara o buriti, *Mauritia flexuosa*, o vegetal símbolo do Distrito. Disponível: http://www.sinj.df.gov.br/sinj/Norma/49236/L_ei_1282_03_12_1996.html. Acesso: 16 mai. 2022.
- Brasil. (2024). Flora e Funga do Brasil, Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acesso: 20 jun. 2024.
- Brown, S. C., Wigley, T. M., Otto-Bliesner, B. L., Rahbek, C., & Fordham, D. A. (2020). Persistent Quaternary climate refugia are hospices for biodiversity in the Anthropocene. *Nature Climate Change*, 10(3), 244-248.
- Butler, C. J., & Larson, M. (2020). Climate change winners and losers: The effects of climate change on five palm species in the Southeastern United States. *Ecology and Evolution*, 10(19), 10408-10425. <https://doi.org/10.1002/ece3.6697>
- CHELSEA. Climatologies at high resolution for the earth's land surface áreas. (2022). Disponível: <https://chelsea-climate.org>. Acesso: 15 mar. 2022.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento, Boletim da Sociobiodiversidade, Brasília. (2021). Disponível: <https://www.conab.gov.br/>. Acesso: 22 mar. 2022.
- Costa, M. F., Francisconi, A. F., Vancine, M. H., & Zucchi, M. I. (2022). Climate change impacts on the *Copernicia alba* and *Copernicia prunifera* (Arecaceae) distribution in South America. *Brazilian Journal of Botany*, 45(2), 807-818.
- Cymerys, M., Fernandes, N. M. D. P., & Rigamonte-Azevedo, O. C. (2005). Buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.). *Frutíferas e plantas úteis na vida Amazônica*. Belém: CIFOR, Imazon, 181-187.
- Degroot, D., Anchukaitis, K., Bauch, M., Burnham, J., Carnegie, F., Cui, J., ... & Zappia, N. (2021). Towards a rigorous understanding of societal responses to climate change. *Nature*, 591(7851), 539-550.
- Delgado, C., Couturier, G., & Mejia, K. (2007). *Mauritia flexuosa* (Arecaceae: Calamoideae), an Amazonian palm with cultivation purposes in Peru. *Fruits*, 62(3), 157-169. <https://doi.org/10.1051/fruits:2007011>
- de Almeida, G. M., Ramos, M. A., Araújo, E. L., Baldauf, C., & Albuquerque, U. P. (2016). Human perceptions of landscape change: The case of a monodominant forest of *Attalea speciosa* Mart ex. Spreng (Northeast Brazil). *Ambio*, 45, 458-467. [https://doi: 10.1007/s13280-015-0761-6](https://doi.org/10.1007/s13280-015-0761-6)
- de ARAUJO, L. S., da SILVA, G. B. S., Torresan, F. E., VICTORIA, D. D. C., Vicente, L. E., Bolfe, E. L., & MANZATTO, C. (2016). Conservação da Biodiversidade do Estado do Maranhão: cenário atual em dados geoespaciais.
- de Lima, N. E., Lima-Ribeiro, M. S., Tinoco, C. F., Terribile, L. C., & Collevatti, R. G. (2014). Phylogeography and ecological niche modelling, coupled with the fossil pollen

- record, unravel the demographic history of a Neotropical swamp palm through the Quaternary. *Journal of Biogeography*, 41(4), 673-686. <https://doi.org/10.1111/jbi.12269>
- de Morais, J. P. G., Campana, M., Del Valle, T. A., Moreira, T. G., da Silva, E. D. R., do Prado, R. F., & de Oliveira, R. E. (2021). Inclusion of babassu bran produced in milk production in Amazonia. *Tropical Animal Health and Production*, 53(6), 527. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02962-2>
- Dransfield, J. (1979). A manual of the rattans of the Malay Peninsula. *A manual of the rattans of the Malay Peninsula*, (29).
- Dransfield, J. (1986). A guide to collecting palms. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 166-176. <https://doi.org/10.2307/2399148>
- Dransfield, J., Uhl, N. W., Asmussen, C. B., Baker, W. J., Harley, M. M., & Lewis, C. E. (2008). Genera palmarum-the evolution and classification of the palms.
- Duarte, A. G., & Maherali, H. (2022). A meta-analysis of the effects of climate change on the mutualism between plants and arbuscular mycorrhizal fungi. *Ecology and Evolution*, 12(1), e8518. <https://doi.org/10.1002/ece3.8518>
- 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(8), 1391-1416. <https://doi.org/10.1093/aob/mcr146>
- Endress, B. A., Horn, C. M., & Gilmore, M. P. (2013). *Mauritia flexuosa* palm swamps: composition, structure and implications for conservation and management. *Forest ecology and management*, 302, 346-353. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.03.051>
- Evangelista-Vale, J. C., Weihs, M., José-Silva, L., Arruda, R., Sander, N. L., Gomides, S. C., ... & Eisenlohr, P. V. (2021). Climate change may affect the future of extractivism in the Brazilian Amazon. *Biological Conservation*, 257, 109093. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109093>
- FAO, F. (2012). Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2012). Disponível: <https://www.fao.org/statistics/en/>. Acesso: 21 mar. 2022.
- Farooq, S., Maqbool, M. M., Bashir, M. A., Ullah, M. I., Shah, R. U., Ali, H. M., ... & Wang, Y. F. (2021). Production suitability of date palm under changing climate in a semi-arid region predicted by CLIMEX model. *Journal of King Saud University-Science*, 33(3), 101394. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101394>
- Franklin, J., & Miller, J. A. (2010). *Mapping species distributions: Spatial inference and prediction*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511810602>
- GBIF. Sistema Global de Informação Sobre Biodiversidade. (2020). Disponível: <https://www.gbif.org/what-is-gbif>. Acesso: 16 ago. 2020.
- Gouveia, V. M., Matricardi, E. A. T., & Angelo, H. (2017). Dinâmica espaço-temporal da produção de amêndoas de babaçu e da utilização das terras no Maranhão.
- Guerin, C., Serret, J., Montúfar, R., Vaissayre, V., Bastos-Siqueira, A., Durand-Gasselin, T., ... & Dussert, S. (2020). Palm seed and fruit lipid composition: Phylogenetic and ecological perspectives. *Annals of Botany*, 125(1), 157-172. <https://doi.org/10.1093/aob/mcz175>
- He, X., Liang, J., Zeng, G., Yuan, Y., & Li, X. (2019). The effects of interaction between climate change and land-use/cover change on biodiversity-related ecosystem services. *Global Challenges*, 3(9), 1800095. <https://doi.org/10.1002/gch2.201800095>
- Hebbar, K. B., Abhin, P. S., Sanjo Jose, V., Neethu, P., Santhosh, A., Shil, S., & Prasad, P. V. (2022). Predicting the potential suitable climate for coconut (*Cocos nucifera* L.) cultivation in India under climate change scenarios using the MaxEnt model. *Plants*, 11(6), 731. <https://doi.org/10.3390/plants11060731>
- Hengl, T., de Jesus, J. M., MacMillan, R. A., Batjes, N. H., Heuvelink, G. B., Ribeiro, E., ... & Gonzalez, M. R. (2014). SoilGrids1km—global soil information based on automated mapping. *PloS one*, 9(8), e105992. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105992>
- Hijmans, R. J., Phillips, S., Leathwick, J., Elith, J., & Hijmans, M. R. J. (2017). Package ‘dismo’. *Circles*, 9(1), 1-68.
- Hilário, R. R., & Toledo, J. J. (2016). Effects of climate and forest structure on palms, bromeliads and bamboos in Atlantic Forest fragments of Northeastern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 76(4), 834-844. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.00815>
- Horn, C. M., Gilmore, M. P., & Endress, B. A. (2012). Ecological and socio-economic factors influencing aguaje (*Mauritia flexuosa*) resource management in two indigenous communities in the Peruvian Amazon. *Forest Ecology and*

- Management*, 267, 93-103. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.11.040>
- Hortal, J., de Bello, F., Diniz-Filho, J. A. F., Lewinsohn, T. M., Lobo, J. M., & Ladle, R. J. (2015). Seven shortfalls that beset large-scale knowledge of biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 46, 523-549. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-112414-054400>
- Huntley, B., Allen, J. R., Forrest, M., Hickler, T., Ohlemüller, R., Singarayer, J. S., & Valdes, P. J. (2021). Projected climatic changes lead to biome changes in areas of previously constant biome. *Journal of Biogeography*, 48(10), 2418-2428. <https://doi.org/10.1111/jbi.14213>
- IBGE. Manual técnico da vegetação brasileira. (2012). Disponível: <https://biblioteca.ibge.gov.br/>. Acesso: 25 mar. 2022.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2021). Disponível: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ma.html>. Acesso: 24 mar. 2022.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2023). Disponível: <https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#home>. Acesso: 8 jun. 2023.
- IMESC. (2008). Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos 2008. Perfil do Maranhão 2006/2007. *Editora do Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos, São Luís*.
- IPCC. Climate Change Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). Disponível: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>. Acesso: 10 mar. 2022.
- Isaza, C., Bernal, R., & Howard, P. (2013). Use, production and conservation of palm fiber in South America: A review. *Journal of Human Ecology*, 42(1), 69-93. <https://doi.org/10.1080/09709274.2013.11906582>
- Jacomine, P. K. T., Cavalcanti, A. C., Pessôa, S. C. P., Burgos, N., Medeiros, L. A. R., Lopes, O. F., & Melo Filho, H. F. R. (1986). Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Maranhão. Rio de Janeiro, Embrapa-SNLCS/Sudene-DRN.
- Jarvis, A., Reuter, H. I., Nelson, A., & Guevara, E. (2008). Hole-filled seamless SRTM data V4, International Center for Tropical Agriculture (CIAT). Disponível: <http://srtm.csi.cgiar.org>. Acesso: 15 mar. 2022.
- Junior, C. H. S., Celentano, D., Rousseau, G. X., de Moura, E. G., van Deursen Varga, I., Martinez, C., & Martins, M. B. (2020). Amazon forest on the edge of collapse in the Maranhão State, Brazil. *Land Use Policy*, 97, 104806. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104806>
- Júnior, J. D. R. S., & Fargoni, E. H. E. (2021). Notas sobre o colapso da ciência no Brasil. *EccoS–Revista Científica*, (58), 20850. <https://doi.org/10.5585/eccos.n58.20850>
- Karger, D. N., Conrad, O., Böhner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R. W., ... & Kessler, M. (2017). Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *Scientific data*, 4(1), 1-20. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.122>
- King, C., & Thomas, D. S. (2014). Monitoring environmental change and degradation in the irrigated oases of the Northern Sahara. *Journal of arid environments*, 103, 36-45. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2013.12.009>
- Knutti, R., Masson, D., & Gettelman, A. (2013). Climate model genealogy: Generation CMIP5 and how we got there. *Geophysical Research Letters*, 40(6), 1194–1199. <https://doi.org/10.1002/grl.50256>
- Kumar, S., Hazra, T., Spicer, R. A., Hazra, M., Spicer, T. E., Bera, S., & Khan, M. A. (2023). Coryphoid palms from the K-Pg boundary of central India and their biogeographical implications: Evidence from megafossil remains. *Plant Diversity*, 45(1), 80-97. <https://doi.org/10.1016/j.pld.2022.01.001>
- Liu, C., Berry, P. M., Dawson, T. P., & Pearson, R. G. (2005). Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. *Ecography*, 28(3), 385-393. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2005.03957.x>
- Maps, G. (2022). Disponível: <https://www.google.com.br/maps/preview>. Acesso: 21 set. 2022.
- Maranhão. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais. (2002). Atlas do Maranhão. Gerência de Planejamento e Desenvolvimento Econômico/ Laboratório de Geoprocessamento – UEMA. Disponível: <https://www.bellalex.net/arquivos/studio-idro-geologico-climatico-ed-altro.pdf>. Acesso: 29 mar. 2022.
- Maranhão. Governo do Estado do Maranhão - OADS. Plano de Ação para Prevenção e

- Controle do Desmatamento e das Queimadas no Estado do Maranhão. (2011). Disponível: <http://www.oads.org.br>. Acesso: 29 mar. 2022.
- May, P. H., Anderson, A. B., Balick, M. J., & Frazão, J. M. F. (1985). Subsistence benefits from the babassu palm (*Orbignya martiana*). *Economic Botany*, 39(2), 113-129.
- May, P. H. (1987). Transformações agrárias nos babaçuais do maranhão. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 25(1), 119-134.
- Melo, W. A., Freitas, C. G., Bacon, C. D., & Collevatti, R. G. (2018). The road to evolutionary success: insights from the demographic history of an Amazonian palm. *Heredity*, 121(2), 183-195. <http://doi.org/10.1038/s41437-018-0074-1>
- Mitja, D., Delaître, E., Santos, A. M., Miranda, I., Coelho, R. F. R., Macedo, D. J., ... & Petit, M. (2018). Satellite images combined with field data reveal negative changes in the distribution of babassu palms after clearing off amazonian forests. *Environmental management*, 61(2), 321-336. <https://doi.org/10.1007/s00267-017-0965-6>
- Montúfar, R., Recalde, A., & Couvreur, T. L. (2021). High genetic diversity with low connectivity among *Mauritia flexuosa* (Arecaceae) stands from Ecuadorean Amazonia. *Biotropica*, 53(1), 152-161. <https://doi.org/10.1111/btp.12855>
- Montes, M. L., Costa, R. C. R., Engo, G. B. S., Fonseca, E. G., Orlandi, R. P., Lima, E. A., & Fonseca, A. L. B. (1997). Zoneamento geoambiental do Estado do Maranhão: diretrizes gerais para a ordenação territorial. Salvador, Ministério de Planejamento, Orçamento e Coordenação/IBGE.
- Muscarella, R., Emilio, T., Phillips, O. L., Lewis, S. L., Slik, F., Baker, W. J., ... & Poedjirahajoe, E. (2020). The global abundance of tree palms. *Global Ecology and Biogeography*, 29(9), 1495-1514. <https://doi.org/10.1111/geb.13123>
- NASA. Shuttle Radar Topographic Mission CGIAR. (2006). Disponível: <https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>. Acesso: 15 mar. 2022.
- NOAA. Global Hourly-Integrated Surface Database (ISD). (2022). Disponível: <https://www.ncei.noaa.gov/products/land-based-station/integrated-surface-database>. Acesso: 21 mar. 2022.
- Pantoja, S. S., Mescouto, V. A. D., Costa, C. E. F. D., Zamian, J. R., Rocha Filho, G. N. D., & Nascimento, L. A. S. D. (2018). High-quality biodiesel production from buriti (*Mauritia flexuosa*) oil soapstock. *Molecules*, 24(1), 94. <https://doi.org/10.3390/molecules24010094>
- Parmar, S., Morley, R. J., Bansal, M., Singh, B. P., Morley, H., & Prasad, V. (2023). Evolution of family Arecaceae on the Indian Plate modulated by the Early Palaeogene climate and tectonics. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 313, 104890. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2023.104890>
- Paterson, R. R. M. (2021). Longitudinal trends of future climate change and oil palm growth: empirical evidence for tropical Africa. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(17), 21193-21203. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-12072-5>
- Pereira, C. J., Silva, J. O., Rodrigues, P. M., & Cavalcanti, A. C. (2021). Consequences of land use changes on seed fate and demography in the palm tree *Syagrus coronata* (Mart.) Becc.(Arecaceae). *Folia Geobotanica*, 56(4), 227-239. <https://doi.org/10.1007/s12224-022-09406-1>
- Pereira Freire, J. A., Barros, K. B. N. T., Lima, L. K. F., Martins, J. M., Araújo, Y. D. C., da Silva Oliveira, G. L., ... & Ferreira, P. M. P. (2016). Phytochemistry profile, nutritional properties and pharmacological activities of *Mauritia flexuosa*. *Journal of Food Science*, 81(11), R2611-R2622. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13529>
- Peterson, A. T., Cobos, M. E., & Jiménez-García, D. (2018). Major challenges for correlational ecological niche model projections to future climate conditions. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1429(1), 66-77. <https://doi.org/10.1111/nyas.13873>
- Phillips, O. L., Aragão, L. E., Lewis, S. L., Fisher, J. B., Lloyd, J., López-González, G., ... & Torres-Lezama, A. (2009). Drought sensitivity of the Amazon rainforest. *Science*, 323(5919), 1344-1347. <https://doi.org/10.1126/science.1164033>
- Pinheiro, C. U. B. (2011). Palmeiras do Maranhão: onde canta o sabiá. *Gráfica e Editora Aquarela, São Luís*.
- Porro, R. (2019). A economia invisível do babaçu e sua importância para meios de vida em comunidades agroextrativistas. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas*, 14, 169-188. <https://doi.org/10.1590/1981.81222019000100011>
- QGIS. Development Team. QGIS geographic information system. Open source geospatial

- Foundation project, 2015. (2022). Disponível: https://qgis.org/pt_BR/site/. Acesso: 12 de jan. 2022.
- Quintero-Angel, M., Martínez-Girón, J., & Orjuela-Salazar, S. (2022). Agroindustrial valorization of the pulp and peel, seed, flour, and oil of moriche (*Mauritia flexuosa*) from the Bitá River, Colombia: a potential source of essential fatty acids. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-9. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02298-3>
- R Core Team. (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível: <http://www.R-project.org/>. Acesso:13 jan. 2022.
- Resende, L. M., Franca, A. S., & Oliveira, L. S. (2019). Buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.) fruit by-products flours: Evaluation as source of dietary fibers and natural antioxidants. *Food chemistry*, 270, 53-60. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.079>
- Ribeiro, J. F., & Walter, B. M. T. (1998). Fitofisionomias do bioma Cerrado.
- Reichgelt, T., West, C. K., & Greenwood, D. R. (2018). The relation between global palm distribution and climate. *Scientific Reports*, 8(1), 4721. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-23147-2>
- Romulo, C. L., Kennedy, C. J., Gilmore, M. P., & Endress, B. A. (2022). Sustainable harvest training in a common pool resource setting in the Peruvian Amazon: Limitations and opportunities. *Trees, Forests and People*, 7, 100185. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2021.100185>
- Rull, V. (1998). Biogeographical and evolutionary considerations of *Mauritia* (Arecaceae), based on palynological evidence. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 100(1-2), 109-122. [https://doi.org/10.1016/S0034-6667\(97\)00060-2](https://doi.org/10.1016/S0034-6667(97)00060-2)
- Rull, V., & Montoya, E. (2014). *Mauritia flexuosa* palm swamp communities: natural or human-made? A palynological study of the Gran Sabana region (northern South America) within a neotropical context. *Quaternary Science Reviews*, 99, 17-33. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.06.007>
- SAMPAIO, M. B. (2011). Boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável do buriti.
- Sander, N. L., Pérez-Zavala, F., Da Silva, C. J., Arruda, J. C., Pulido, M. T., Barelli, M. A., ... & Cibrián-Jaramillo, A. (2018). Rivers shape population genetic structure in *Mauritia flexuosa* (Arecaceae). *Ecology and Evolution*, 8(13), 6589-6598. <https://doi.org/10.1002/ece3.4142>
- Shapcott, A., Rakotoarinivo, M., Smith, R. J., Lysakova, G., Fay, M. F., & Dransfield, J. (2007). Can we bring Madagascar's critically endangered palms back from the brink? Genetics, ecology and conservation of the critically endangered palm *Beccariophoenix madagascariensis*. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 154(4), 589-608. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2007.00676.x>
- Sharif, A. O., Sanduk, M., & Taleb, H. M. (2010, March). The date palm and its role in reducing soil salinity and global warming. In *IV International Date Palm Conference 882* (pp. 59-64). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.882.5>
- SHEPHERD, G. J. (2005). Plantas terrestres. *Avaliação do estado do conhecimento da Biodiversidade Brasileira (TM Lewinsohn, org.)*. Brasília, MMA, 2, 148-192.
- SiBBR. Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira. (2020). Disponível: https://www.sibbr.gov.br/?lang=pt_BR. Acesso:16 ago. 2020.
- Silva, H. G., Figueiredo, N. D., & Andrade, G. V. D. (2008). Estrutura da vegetação de um cerrado e a heterogeneidade regional do cerrado no Maranhão, Brasil. *Revista Árvore*, 32, 921-930.
- Silva, M. R. D., Carvalho Júnior, O. A. D., Martins, É. D. S., Mitja, D., Gomes, R. A. T., & Guimarães, R. F. (2009). Mapeamento de áreas potenciais do Babaçu (*attalea speciosa* mart. Ex spreng) na Bacia do Riococal, Tocantins. *Espaço e Geografia*, 12(1),1-29.
- Sobral, M., & Stehmann, J. R. (2009). An analysis of new angiosperm species discoveries in Brazil (1990–2006). *Taxon*, 58(1), 227-232. <https://doi.org/10.1002/tax.581021>
- Soil Grids And Wosis. (2022). Disponível: <https://soilgrids.org>. Acesso:15 mar. 2022.
- Specieslink network. (2020). Disponível: specieslink.net/searc. Acesso: 20 ago. 2020.
- Svenning, J. C., Borchsenius, F., Bjorholm, S., & Balslev, H. (2008). High tropical net diversification drives the New World latitudinal gradient in palm (Arecaceae) species richness. *Journal of Biogeography*, 35(3), 394-406.

- <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2007.01841.x>
- Tadross, M., Randriamarolaza, L., Rabefitia, Z., & Zheng, K. Y. (2008). Climate change in Madagascar; recent past and future. *World Bank, Washington, DC*, 18, 1771-1790.
- Thomsen, M. S., Mondardini, L., Alestra, T., Gerrity, S., Tait, L., South, P. M., ... & Schiel, D. R. (2019). Local extinction of bull kelp (*Durvillaea* spp.) due to a marine heatwave. *Frontiers in Marine Science*, 6, 84. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00084>
- Thuiller, W., Georges, D., Engler, R., Breiner, F., Georges, M. D., & Thuiller, C. W. (2016). Package 'biomod2'. *Species distribution modeling within an ensemble forecasting framework*. Disponível: <https://cran.r-project.org/package=biomod2>. Acesso: 14 jan. 2022.
- Thuiller, W., Guéguen, M., Renaud, J., Karger, D. N., & Zimmermann, N. E. (2019). Uncertainty in ensembles of global biodiversity scenarios. *Nature Communications*, 10(1), 1446. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09519-w>
- Tilman, D., Clark, M., Williams, D. R., Kimmel, K., Polasky, S., & Packer, C. (2017). Future threats to biodiversity and pathways to their prevention. *Nature*, 546(7656), 73-81. <https://doi.org/10.1038/nature22900>
- Tomlinson, P. B. (1965). Special techniques for collecting palms for taxonomic study. *FR Fosberg & M.-H. Sachet. Manual for Tropical Herbaria. Regnum Veg*, 39, 112-116.
- Tomlinson, P. B. (2006). The uniqueness of palms. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 151(1), 5-14. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2006.00520.x>
- Van der Putten, W. H., Macel, M., & Visser, M. E. (2010). Predicting species distribution and abundance responses to climate change: why it is essential to include biotic interactions across trophic levels. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1549), 2025-2034. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0037>
- van der Hoek, Y., Álvarez Solas, S., & Peñuela, M. C. (2019). The palm *Mauritia flexuosa*, a keystone plant resource on multiple fronts. *Biodiversity and Conservation*, 28, 539-551. <https://doi.org/10.1007/s10531-018-01686-4>
- van Proosdij, A. S., Sosef, M. S., Wieringa, J. J., & Raes, N. (2016). Minimum required number of specimen records to develop accurate species distribution models. *Ecography*, 39(6), 542-552. <https://doi.org/10.5061/dryad.8sb8v>
- Virapongse, A., Schmink, M., & Larkin, S. (2014). Value chain dynamics of an emerging palm fiber handicraft market in Maranhão, Brazil. *Forests, Trees and Livelihoods*, 23(1-2), 36-53. <https://doi.org/10.1080/14728028.2013.868707>
- Virapongse, A., Endress, B. A., Gilmore, M. P., Horn, C., & Romulo, C. (2017). Ecology, livelihoods, and management of the *Mauritia flexuosa* palm in South America. *Global ecology and conservation*, 10, 70-92. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2016.12.005>
- Walther, G. R., Gritti, E. S., Berger, S., Hickler, T., Tang, Z., & Sykes, M. T. (2007). Palms tracking climate change. *Global Ecology and Biogeography*, 16(6), 801-809. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00328.x>
- Warren, R., VanDerWal, J., Price, J., Welbergen, J. A., Atkinson, I., Ramirez-Villegas, J., ... & Lowe, J. (2013). Quantifying the benefit of early climate change mitigation in avoiding biodiversity loss. *Nature Climate Change*, 3(7), 678-682.
- Zuquim, G., Jones, M. M., Ovaskainen, O., Trujillo, W., & Balslev, H. (2023). The legacy of human use in Amazonian palm communities along environmental and accessibility gradients. *Global Ecology and Biogeography*, 32(6), 881-892. <https://doi.org/10.1111/geb.13667>
- Zwiener, V. P., Lira-Noriega, A., Grady, C. J., Padial, A. A., & Vitule, J. R. (2018). Climate change as a driver of biotic homogenization of woody plants in the Atlantic Forest. *Global Ecology and Biogeography*, 27(3), 298-309. <https://doi.org/10.1111/geb.12695>