



Modelagem de distribuição da espécie *Hancornia speciosa* Gomes na savana amapaense

Distribution modeling of specie *Hancornia speciosa* Gomes in the amapaense savana

Fabréicio dos Santos Lobato^a, Salustiano Vilar da Costa Neto^b, Zenaide Palheta Miranda^a

^a Universidade do Estado do Amapá-UEAP, Laboratório de Ciências Ambientais-LabCia, Avenida Presidente Vargas, n. 650, Central, Macapá, Amapá, Brasil. CEP: 68900-071. E-mail: fabriciosanlobato1996@gmail.com, zenaide.miranda@ueap.edu.br.

^b Instituto de Pesquisa Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá-IEPA. Rod. Juscelino Kubitscheck, Jardim Marco Zero, Macapá, Amapá, Brasil. CEP: 68903-329. E-mail: salucostaneto@gmail.com.

ARTICLE INFO

Recebido 09 Nov 2023

Aceito 17 Nov 2024

Publicado 05 Dez 2024

ABSTRACT

Species distribution models are essential to understand species' current and future distribution under the influence of climatic factors. The study aimed to model the potential distribution of *Hancornia speciosa* in the savanna areas of Amapá in different scenarios. This study used MaxEnt software to project the potential distributions of *H. speciosa* under different climate scenarios. Input data included geographic coordinates obtained in the field and online and bioclimatic variables. The study was conducted in areas with savanna physiognomies in Amapá. The quality of the models was assessed by Area Under Curve (AUC), and their predictive power was measured using True Skill Statistics (TSS) values. The potential distribution models produced for *H. speciosa* showed satisfactory performance, with an AUC of 0.87 for the current distribution. Under both optimistic and pessimistic climate scenarios for 2021-2040, the AUC was 0.90. The values in the 2041-2060 time scenarios were AUC=0.92 and AUC=0.91, respectively. TSS values were above 0.54, which is considered regular. Temperature variables most influenced the models. These models identified areas with suitable climatic conditions for the species to occur. However, future climatic conditions will affect the distribution of the species, leading to dynamic changes in the areas of occurrence, including both expansion and contraction of areas.

Keywords: Climate change, distribution models, potential occurrence, temperature.

RESUMO

Os modelos de distribuição das espécies são ferramentas essenciais para compreender a distribuição atual e futura das espécies na influência de fatores climáticos. O estudo objetivou modelar a potencial distribuição de *Hancornia speciosa* nas áreas de savanas do estado do Amapá em diferentes cenários. Este estudo utilizou o *software* MaxEnt para projetar as distribuições potenciais da *H. speciosa* sob diferentes cenários climáticos. Os dados de entrada incluíram coordenadas geográficas obtidas no campo e on-line, bem como variáveis bioclimáticas. O estudo foi conduzido nas áreas de fisionomias savânicas no Estado do Amapá. A qualidade dos modelos foi avaliada pela *Area Under Curve* (AUC), e seu poder preditivo foi medido usando-se os valores das *True Skill Statistics* (TSS). Os modelos de distribuição potencial produzidos para *H. speciosa* mostraram desempenho satisfatório, com uma AUC de 0,87 para a distribuição atual. Sob cenários climáticos otimistas e pessimistas para 2021-2040, a AUC foi de 0,90 para ambos. Nos cenários de tempo 2041-2060, os valores foram AUC=0,92 e AUC=0,91, respectivamente. Os valores de TSS foram acima de 0,54, o que é considerado regular. Os modelos tiveram maiores influências por variáveis de temperatura. Estes modelos identificaram áreas com condições climáticas adequadas para a ocorrência



Journal of Environmental Analysis and Progress 2016
is licensed under CC BY-NC-SA 4.0

da espécie. Entretanto, condições climáticas futuras afetarão a distribuição da espécie, levando a mudanças dinâmicas nas áreas de ocorrência, incluindo tanto expansão quanto contração das áreas.

Palavras-Chave: Alterações climáticas, modelos de distribuição, ocorrência potencial, temperatura.

Introdução

A espécie *Hancornia speciosa* Gomes, pertence à família Apocynaceae e é uma árvore frutífera brasileira encontrada em diversas regiões do país. A distribuição engloba os Cerrados da Região Centro-Oeste, indo aos tabuleiros costeiros e baixadas litorâneas do Nordeste, além das regiões Norte e Sudeste. Conhecida como mangabeira, tem demanda por locais de temperatura elevada, alta isolamento e baixa umidade relativa do ar (Vieira-Neto et al., 2002; Lédo et al., 2015).

A planta desenvolve-se em ambientes de baixa fertilidade do solo, dando a impressão de ser uma espécie bastante adaptada a diversos nichos. Geralmente, ela ocorre em ambientes de Cerrado sentido restrito e em menor escala nos ambientes de Cerrado antropizado, Cerradão, Campo rupestre e pastagem. Certamente, ela ocorre em melhores condições em que não há ocorrência de criação de gado e ação de fogo (Ganga et al., 2010).

Conforme Tomazi et al. (2017), a espécie se ajusta distintamente em relação aos ambientes onde está inserida, como no caso do Cerrado do Amapá e o Semiárido do Nordeste, indicando que as espécies nativas da mangaba se adaptaram conforme às condições oferecidas pelo ambiente. No estado do Amapá, a espécie sofre com a redução de suas áreas de ocorrência natural (Freitas et al., 2012), denominadas de “Campos Savânicos do Amapá” ou “Campos amapaenses”, localizados na parte sudoeste do estado, no sentido norte-sul (ZEE, 2008).

Compreender a distribuição da mangabeira *H. speciosa* é essencial diante das mudanças climáticas, dado seu vínculo com ambientes específicos, como os Campos Savânicos. Esse conhecimento facilita a identificação de zonas favoráveis à sua conservação, manejo sustentável e mitigação de impactos, assegurando sua importância ecológica e socioeconômica.

Os Campos Savânicos do Amapá são considerados de alta prioridade para ações conservacionistas, porém são os menos protegidos entre as savanas amazônicas. Quando protegidas, a principal categoria de proteção utilizada é a de uso múltiplo, onde são permitidas produções agropecuárias, em pequena escala (Carvalho & Mustin, 2017). Costa-Neto (2014) demonstrou alta variação de espécies nas áreas de savana amapaense, indicando que boa parte destas possuem locais de ocorrência específico, habitats selecionados, o que do ponto de vista

conservacionista se torna alarmante, visto que práticas como expansão agrícola, pecuária extensiva e crescimento urbano afetam estes locais. A expansão de área para a plantação da soja no cerrado do Amapá modifica paulatinamente esses poucos locais verdadeiramente propícios para às plantas nativas da savana (Governo do Estado do Amapá, 2016; Chelala & Chelala, 2019).

As ações antrópicas nos últimos 200 anos, como intensificação do uso e ocupação dos solos, contribuíram para a liberação de gases do efeito estufa na atmosfera (Oliveira et al., 2017; IPCC, 2018), resulta em uma rápida alteração ambiental impedindo as espécies de se adaptarem ou buscarem ambientes mais adequados. Há previsão que ocorram impactos significativos na biodiversidade e nos serviços ecossistêmicos devido aos mecanismos de interação vegetação-clima. A Amazônia poderá sofrer deslocamento das florestas, provocando aumento das áreas de transição floresta-savana em um futuro próximo. Ademais, é importante lembrar que os ecótonos são os primeiros locais a apresentar as consequências dos impactos das mudanças climáticas (Malhi et al., 2008).

Uma ferramenta importante para prever os impactos climáticos sobre a distribuição das espécies são os métodos de Modelagem de Distribuição de Espécies (MDE). Os MDEs podem ser usados para delimitar áreas com prioridade para conservação (Nóbrega & Marco-Junior, 2011), discutir padrões biogeográficos (Werneck et al., 2012) e, prever mudanças na distribuição das espécies ao longo dos anos, utilizando dados climáticos do passado e futuro (Bonnacorso et al., 2006). Pesquisas sobre a distribuição geográfica são fundamentais para conduzir estudos evolutivos e ecológicos das espécies.

Um dos modelos ecológicos bastante aplicado em estudos sobre a modelagem de distribuição de espécies, é o MaxEnt (*Maximum Entropy*), um modelo estatístico que busca determinar áreas de possíveis ocorrências geográficas de uma ou várias espécies. O algoritmo MaxEnt prediz a distribuição de probabilidade mais próxima em relação à distribuição uniforme (Marco-Junior & Siqueira, 2009).

Para gerar o modelo MaxEnt, são necessários dados de presença, variáveis climáticas e ambientais, o que o torna um método viável, conciso e de fácil interpretação. Esses fatores,

especialmente os bioclimáticos, desempenham um papel crucial na determinação da distribuição espacial de espécies. Assim, os modelos de distribuição não apenas auxiliam na compreensão dos impactos das mudanças climáticas, mas também permitem prever possíveis ocorrências e aprofundar o entendimento sobre questões ecológicas e evolutivas de determinadas espécies

O objetivo do estudo foi modelar a potencial distribuição de *H. speciosa* nas áreas de savanas do estado do Amapá em diferentes cenários, utilizando as variáveis bioclimáticas e coordenadas geográficas para prever as distribuições futuras em diferentes cenários.

Material e Métodos

Área de estudo

O estudo foi realizado no Estado do Amapá, localizado na latitude 2° 3' 4" Norte, Longitude 50° 47' 40" Oeste. O foco da realização da modelagem foram as áreas de fisionomias savânicas, que estão distribuídas no sentido norte-sul, na porção sudoeste do estado, ocupando uma

área de 9.986 km², aproximadamente, 6,87% do estado e que refletem a ocorrência natural da espécie-alvo (Figura 1). O clima é do tipo tropical quente (Amw de Köppen), na maioria dos meses do ano existe uma pluviosidade significativa e uma curta época seca; o período chuvoso vai de dezembro a agosto e de baixa precipitação de setembro a novembro. A precipitação média anual entre 1.500 a 3.500 mm, e a temperatura média anual entre 26° e 28°C (IBGE, 1990).

Registros de ocorrências da espécie

Os registros de presença da espécie para a modelagem englobaram 396 pontos de ocorrência de *Hancornia speciosa* obtidos por meio de inventários realizados pelo Projeto “Serviços ambientais em áreas de mangabeira (*Hancornia speciosa* Gomes) nas savanas do Amapá: armazenamento de carbono e produção de frutos”; por registros bibliográficos nas pesquisas de Freitas (2012), Costa-Neto (2014) e Thomazi et al. (2017); e em herbários, a partir de buscas no banco de dados da rede *Specieslink* (2021).

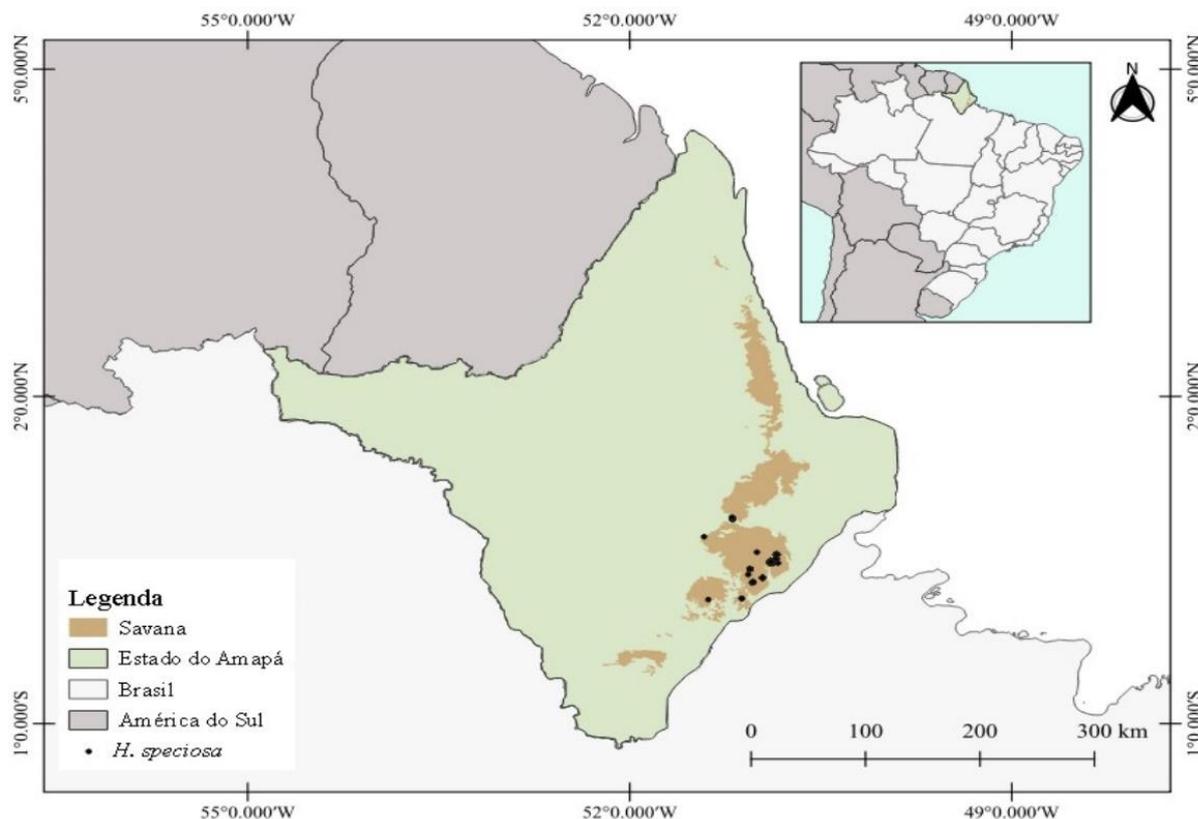


Figura 1. Localização da área de estudo com região savânica do estado do Amapá e detalhe para os pontos de ocorrência de *Hancornia speciosa*. Fonte: Lobato et al. (2024).

Em seguida, os pontos de ocorrência passaram por uma filtragem para que se tornassem espacialmente independentes. Foram submetidos a um algoritmo de desbaste espacial denominado *spThin* implementado no ambiente de programação R (R Core Team, 2021) removendo aleatoriamente

registros que ultrapassasse a restrição delimitada (1 km) (Aiello-Lammens et al., 2015). O afinamento dos pontos de presença para eliminar pontos em áreas próximas é bastante eficaz e melhora a performance dos modelos (Kramer-Schadt et al., 2013).

A partir dos bancos de dados utilizados, foi possível obter 28 pontos de ocorrência de *H. speciosa* para o estado do Amapá (Figura 1), após a eliminação de pontos divergentes, com erro de localização ou aglomerados de ocorrência.

Seleção das variáveis

Foram obtidas 19 variáveis bioclimáticas através do site *WorldClim* com resolução espacial de 30 arc-segundos (~ 1 km²) (Fick & Hijmans, 2017). Foi realizada análise de correlação ambiental para minimizar a chance de ocorrer o sobreajuste do modelo. As variáveis bioclimáticas foram submetidas à análise de correlação, utilizando a ferramenta *ENMTools* (Warren, Glor & Turelli, 2010; Rangel, Diniz-Filho & Bini, 2010; Fourcade et al., 2014) no *software R studio* versão (4.0.5) (R Core Team, 2021).

Quando duas variáveis contínuas foram altamente correlacionadas ($r \geq 0,7$), removeu-se uma das variáveis do conjunto de dados (Sokal & Rohlf, 1995). A seleção das variáveis climáticas para a modelagem através da correlação resultou na exclusão de 15 variáveis altamente correlacionadas. Este método permite execuções mais rápidas ao rodar modelos, mantendo preditores mais exclusivos e simplificando a interpretação dos dados (Elith & Leathwick, 2009).

Restaram as seguintes variáveis: Bio 1 – Temperatura média anual; Bio 7 – Faixa anual de temperatura; Bio 12 – Precipitação anual e Bio 17 – Precipitação do quarto mais seco.

Considerando as condições climáticas futuras utilizou-se de dados do Modelo de Circulação Atmosférica. O empregado foi CNRM-ESM2-1 Coupled Model Intercorporation Project Phase 6 (CMIP6). Foram considerados dois períodos de tempo 2021-2040 e 2041-2060 centralizados, respectivamente, em 2030 e 2050 (Fick & Hijmans, 2017). A sigla *ssp* (*shared socioeconomic pathways*) descreve as categorias de cenários de emissão de poluentes que influenciam no clima (CARBONBRIEF, 2020). Foram selecionados os cenários *ssp1 - 2.6*, o mais otimista e o cenário *ssp5 8.5*, como o mais pessimista, de acordo com o quinto relatório do IPCC.

Limiares foram estabelecidos pela comunidade científica na 21ª Conferência das partes (COP21) da *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC), em estabilizar o aquecimento médio global em até 2,0 °C, preferentemente em até 1,5 °C, para reduzir os impactos climáticos mais agravantes (Rhodes, 2016; IPCC 2018). As condições climáticas atuais tomadas como *baseline* correspondem ao período de 1961-1990.

Modelagem e simulação

Para realizar a modelagem foi utilizado o programa MaxEnt (*Maximum Entropy*) versão 3.4.4 (Phillips et al., 2017). As variáveis bioclimáticas sofreram recortes delimitados pela área de interesse e transformadas de TIFF para formato ASCII Através do *software* QGIS versão 3.16.

As variáveis foram submetidas a 100 repetições por meio da validação cruzada do tipo *bootstrap* em cada um dos cenários, em que os dados foram determinados (70% calibração) e (30% teste) para validar o modelo, com limite de convergência de 0,00001 e máxima interação de 500, regularizador múltiplo 1, 10000 pontos como amostra de fundo (*background points*) e saída no formato *cloglog* (Pearson et al., 2007).

Para avaliar a precisão do modelo foi realizado o cálculo de *Area Under the Curve* (AUC). A curva é analisada ao se plotar em um eixo a sensibilidade também é conhecida como a proporção de presença verdadeira, representa a ausência de erro de omissão, e a especificidade em um outro eixo também é conhecida como proporção de ausências verdadeiras, e representa o erro de omissão. As taxas de classificação do AUC variam de 0 a 1, sendo que os valores abaixo de 0,5 indicam baixo desempenho e quanto mais próximo de 1, melhor o seu desempenho (Elith et al., 2006).

A avaliação do poder preditivo dos modelos foi medida através dos valores do *True Skill Statistics* (TSS; limiar-dependente) (Allouche et al., 2006). O TSS calcula o valor de sensibilidade (localizado em pixels com valores acima do limite escolhido) e especificidade (fração de pixels abaixo de um limite escolhido) para indicar o poder preditivo do Modelo (TSS = Sensibilidade + Especificidade - 1). Valores próximos a +1 refletem bem o poder preditivo do modelo e valores próximos de 0 e negativos indicam baixo poder. O valor utilizado para limite de corte (*threshold*) de cada cenário foi o “*maximum training sensitivity plus specificity*” (Liu et al., 2005) buscando equilibrar os erros de omissão e sobre previsão, diminuindo as incertezas dos modelos gerados (Barreiro, 2014).

A contribuição de cada variável restante foi analisada por meio de aplicação do teste *Jackknife*. O teste exclui uma variável cada vez que o modelo é rodado. Isso permite verificar qual variável mais influenciou na construção do modelo de distribuição de espécie (Phillips & Dudik, 2008). Os modelos finais dos mapas de cada período e cenários foram elaborados no programa QGIS. As áreas de ocupação de alto potencial foram calculadas utilizando a ferramenta do provedor *Geographic Resources Analysis Support*

System (GRASS), software QGIS 3.16 denominado *r.report*, gerando um relatório estatístico de áreas do formato *raster*.

As variáveis utilizadas são contínuas possibilitando adequabilidade relativa em intervalo de 0 a 100 e indicam a probabilidade de ocorrência (Phillips et al., 2006).

Resultados e Discussão

O desempenho dos modelos observado através do parâmetro AUC, apresentou altos valores, referindo-se a bons resultados e uma maior capacidade preditiva, que difere significativamente de previsões aleatórias. A saída do modelo MaxEnt apresenta resultados satisfatórios pelo fornecimento do conjunto de dados de treinamento e testes. O modelo final de cada projeção para *H. speciosa* apresentou valor de AUC acima de 0,87, representando áreas potenciais em condições climáticas adequadas para a ocorrência da mangaba além das áreas conhecidas por meio do georreferenciamento, o que indica que a capacidade de predição para as áreas com alto e baixo potencial foi satisfatória (Elith et al., 2006).

Além disso, áreas climáticas de potencial ocorrência foram positivamente correlacionadas com os pontos de ocorrência natural da espécie (Wang et al., 2014). A escolha das variáveis

ambientais mais relevantes para qualquer espécie, minimiza os problemas com sobre ajustes do algoritmo. Assim, criando modelos mais aprimorados (Dutra & Carvalho, 2008).

Os altos valores de AUC podem ser explicados pelo reduzido espaço geográfico onde foram encontrados os pontos de ocorrência da espécie estudada. A ampla distribuição geográfica de ocorrência tende a diminuir o desempenho preditivo dos modelos (Yang et al., 2013). A precisão do modelo não é afetada pela quantidade de indivíduos registrados. Em outros estudos de modelagem de distribuição potencial realizados, demonstrou-se boa habilidade de previsão em demandas de números relativamente baixos de pontos de ocorrência (Pereira & Peterson, 2001). Cavalcante et al. (2020) apresentam valores de AUC e indivíduos georreferenciados inferiores aos observados neste estudo, cuja área de análise também apresenta maior extensão, corroborando estudos anteriores.

As variáveis climáticas mais importantes para construção do modelo pelo teste *Jackknife*, foram as variáveis Bio 1 – temperatura média anual, apresenta ganho mais elevado, portanto, mais influente para a construção dos modelos de distribuição para *H. speciosa*, demonstrando ter a maior informação útil agregada (Figura 2).

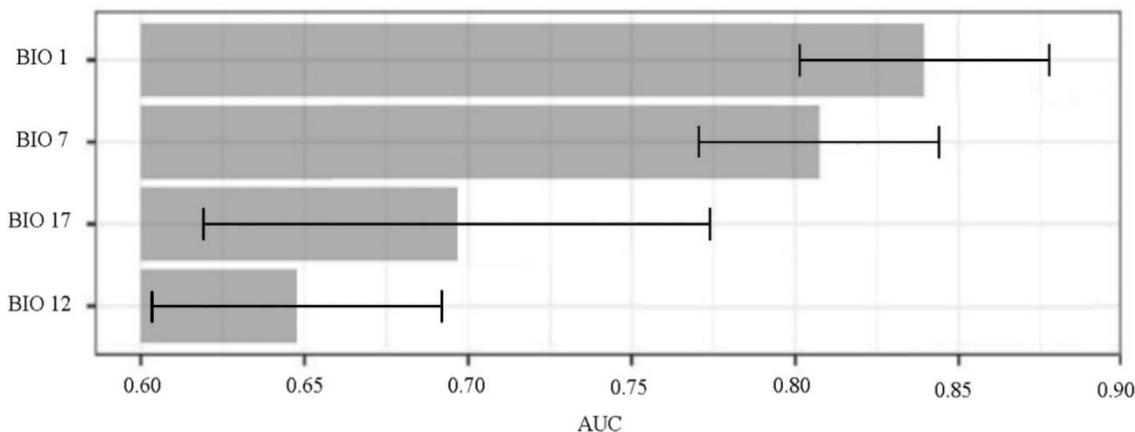


Figura 2. Importância relativa de variáveis ambientais nos modelos MaxEnt pelo teste “Jackknife”, para *Hancornia speciosa* Gomes na savana amapaense Bio 1 – Temperatura média anual; Bio 7 – Faixa anual de temperatura; Bio 12 – Precipitação anual e Bio 17 – Precipitação do quarto mais seco. Fonte: Lobato et al. (2024).

Com base na análise do agrupamento das 4 variáveis climáticas utilizadas, aquelas que mais contribuíram para a criação dos modelos foram: Bio 1 e Bio 7. As duas variáveis ambientais contribuíram mais de 87%, quando consideradas individualmente. As demais variáveis contribuíram com 13%.

De acordo com Esfrain & Siqueira (2018), as altas temperaturas afetam o desenvolvimento das plantas de várias formas, pois as espécies

vegetais, vivem de acordo com limiares de temperatura e se desenvolvem melhor em estreitas faixas de condição ambiental, com exceção das espécies que exibem alta plasticidade fenotípica. As mudanças sazonais de temperatura são relevantes na previsão de locais adequados para cultivo (Wang et al., 2014; Zhang et al., 2016), e parecem regular o crescimento das plantas por causa da atividade fotossintética, que é geralmente mais afetada pela sazonalidade do que pelos

extremos de temperatura (Xu et al., 2013). As variáveis de Bio 1 e Bio 7 foram as principais variáveis ambientais na modelagem de *H. speciosa* nos cenários atuais e futuros.

O mapeamento da atual distribuição de *H. speciosa* (Figura 3a e Figura 4a) com base nas circunstâncias atuais do clima e nos pontos de presença da espécie, apresentou AUC = $0,87 \pm 0,003$. O modelo apresenta valor de TSS de 0,68, considerado uma boa capacidade de predição. O modelo utilizado permitiu exibir a ocorrência potencial da espécie em uma área prioritariamente de fitofisionomia savânica no sudeste do Amapá, em alguns pontos de concentração isolados. Essas áreas são de alto potencial de ocorrência e abrangem cerca de 547,91 km² de área de distribuição espacial.

As projeções climáticas futuras para o cenário temporal 2021-2040 resultaram em valores de AUC = $0,90 \pm 0,004$ para o modelo mais otimista (ssp 2.6), representando um aumento das áreas de alto potencial de ocorrência em comparação com as áreas de distribuição atual. O valor de TSS para a precisão nesse cenário foi de 0,63. A projeção abrange 658,17 km² (Figura 3b). Regiões de alto potencial estão dispostas em duas manchas na faixa central e na área sudeste da área savânica. Representando um aumento de 20% de áreas de alto potencial em relação a distribuição atual. Considerando o cenário mais pessimista (ssp 8.5) na mesma projeção temporal apresentam valores de AUC = $0,90; \pm 0,021$, e níveis de

precisão TSS de 0,56. Isso representou um aumento de áreas de alto potencial de ocorrência para 676,98 km² (Figura 3c) de regiões de alta ocorrência disposta, também na faixa central e no sudeste da savana amapaense, ou seja, 23% em relação à distribuição atual.

As projeções climáticas futuras para o cenário temporal 2021-2040 resultaram em valores de AUC = 0,92; sd $\pm 0,009$ para o modelo mais otimista (ssp 2.6); o valor de TSS para a precisão nesse cenário é de 0,54. Há redução de áreas de alto potencial de ocorrência para 636,80 km², quando comparado com a projeção anterior (ssp 2.6) (Figura 4b), onde as maiores ocorrências estão distribuídas, em manchas menores, na faixa central e sudeste da savana. Em relação a distribuição atual para áreas de alto potencial tem aumento de 16%, contudo apresenta uma redução de 3,2% em comparação ao cenário temporal de 2021-2040. E para o cenário pessimista (ssp 8.5) o valor de AUC = 0,91; sd $\pm 0,034$, com nível de precisão TSS de 0,69, representando a menor área de alto potencial de ocorrência entre os modelos futuros, atingindo 618,00 km² (Figura 4c), representando um aumento de 12% em relação a distribuição atual e, que representa uma redução de 8,7% para áreas de alto potencial de ocorrência quando comparadas com o cenário temporal de 2021-2040.

Em resposta às mudanças climáticas, é visualizada uma dinâmica espaço-temporal de expansão e contração na modelagem de *H. speciosa* nas savanas amapaenses.

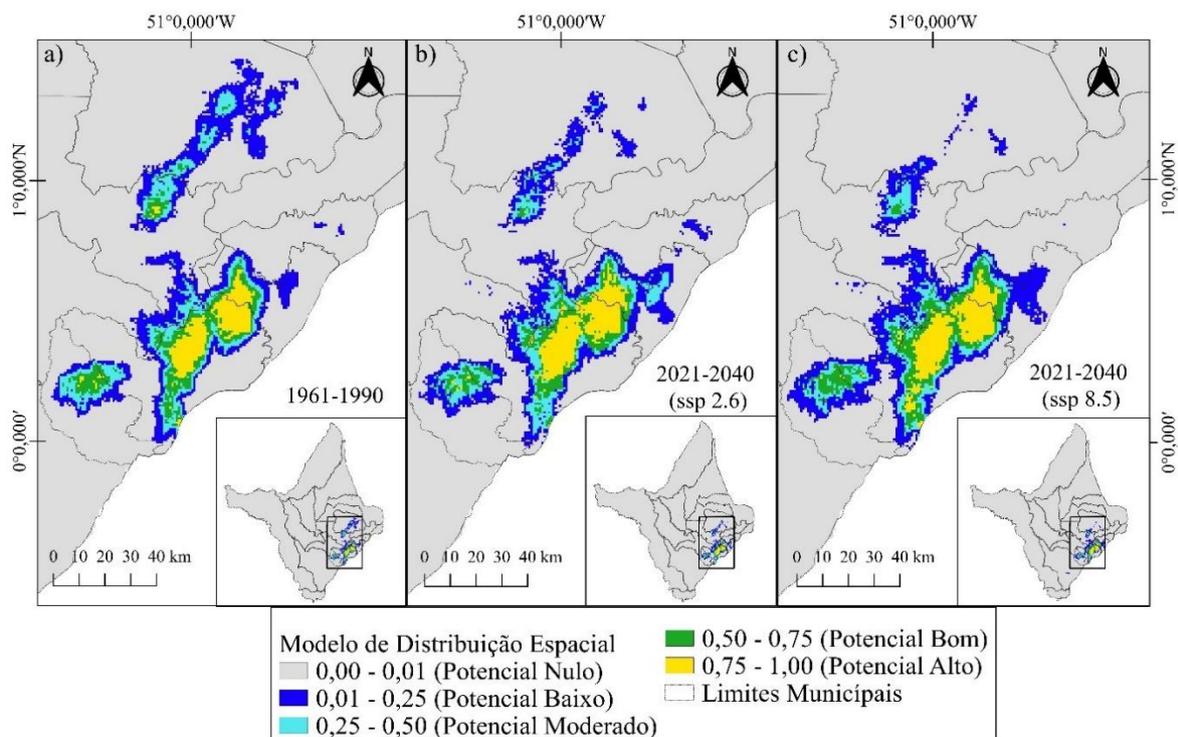


Figura 3. Simulação da distribuição potencial atual (a) e projetadas para 2021-2040 sob o cenário ssp 2.6 (b) e ssp 8.5 (c) para *H. speciosa* na savana do estado Amapá. Fonte: Lobato et al. (2024).

Em relação a contração os resultados não são incomuns nas mangabeiras. Outros trabalhos relatam resposta semelhante, quando realizada a modelagem de distribuição na influência das variáveis climáticas. Alvares-Carvalho et al. (2021) modelaram a distribuição da mangaba em uma pequena área do bioma Mata Atlântica em Sergipe, e na simulação futura, havia uma contração na distribuição geográfica da espécie,

com reduções de ambientes adequados para a sobrevivência de *H. speciosa* para o ano de 2050. Nabout et al. (2016) também avaliaram os efeitos das mudanças climáticas em um cenário futuro (2050) para os municípios brasileiros que apresentam ocorrência de mangaba. A investigação apresentou uma grande contração das áreas de distribuição em relação à área atual.

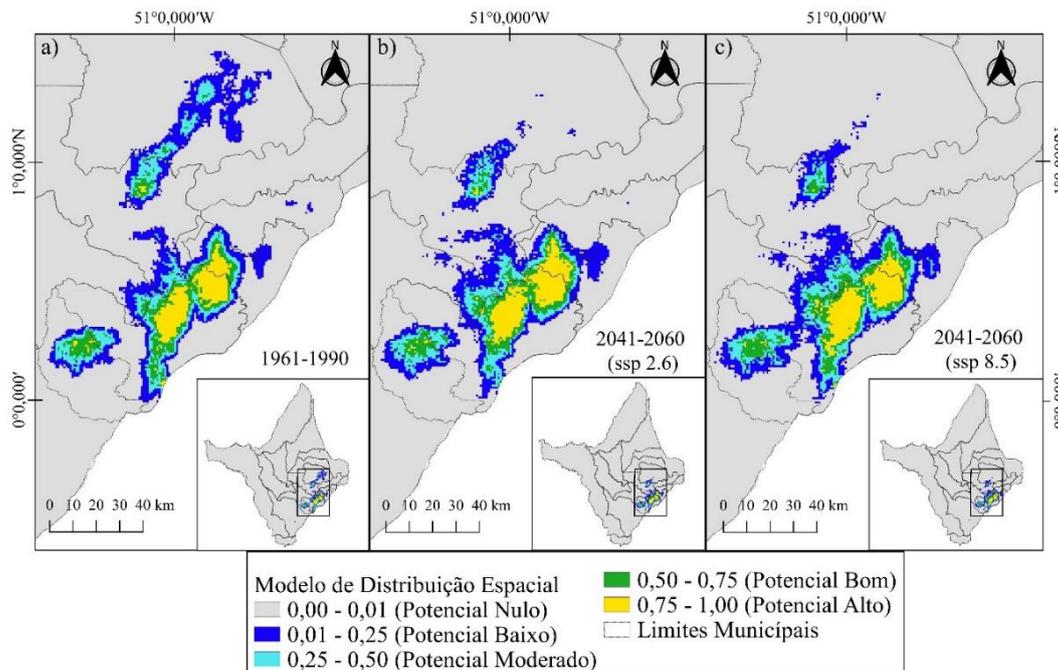


Figura 4. Simulação da distribuição potencial atual (a) e projetadas para 2041-2060 sob o cenário ssp 2.6 (b) e ssp 8.5 (c) para *Hancornia speciosa* na savana do estado Amapá. Fonte: Lobato et al. (2024).

Considerando a expansão, os resultados deste estudo apresentam diferença, mostrando um aumento nas áreas potenciais futuras para um dos cenários. O determinado aumento de áreas de alto potencial de ocorrência, por locais climaticamente adequados, não significa benefícios preditivos para uma determinada espécie em um cenário futuro, pois esses locais podem apresentar alterações antrópicas na cobertura do solo, impossibilitando a chegada e o estabelecimento de populações nessas possíveis áreas adequadas (Alexandre et al., 2013). Os resultados estão de acordo com Warren et al. (2014), os quais observaram que os modelos impactam fortemente a amplitude e a adequação projetada para os cenários climáticos futuros. Assim, o pior cenário teria a previsão concretizada, pois, diversos modelos apontam que para o futuro a tendência é que o aumento de CO₂ se agrave ainda mais (Fischer et al., 2018).

O agrupamento das variáveis climáticas permitiu apontar qual delas mostrou maior contribuição para a criação dos modelos, demonstrando ser altamente influenciado pela temperatura e, por meio da modelagem, foi

possível observar as modificações e apontar os efeitos no futuro, com relação ao cenário atual para as áreas de alto potencial de ocorrência da *H. speciosa*. No cenário temporal de 2041-2060, nos modelos otimistas e pessimistas, haveria uma expansão de área de potencial ocorrência; no cenário temporal 2041-2060 ocorreria a contração dessas áreas para os modelos otimistas e pessimistas.

No estudo de Martins (2019), o teste *Jackknife* para as variáveis de temperatura foi estatisticamente maior do que para as variáveis de precipitação, o efeito da variável temperatura pode representar provável adaptação associada às características genéticas, indicando a preferência por habitats mais quentes pelas espécies avaliadas.

Além de possuir desenvolvimento regulado pelo clima, a espécie *H. speciosa* pode apresentar seu desenvolvimento ligado à sua diversidade genética, essa variabilidade contribui para o conhecimento das estruturas das populações naturais, o que pode influenciar a ocorrência a longo prazo de uma população (Moura et al., 2011). Nas savanas amapaenses, os frutos e

sementes da mangaba apresentam grandes variações na característica biométrica (Dias et al., 2021). Segundo Vieira & Gusmão (2008) e Santos *et al.* (2009), variações no peso dos frutos podem ser consequência de variabilidade genética ou das variações ambientais devido às diferentes regiões geográficas.

Em ambientes de terras secas é esperado que a precipitação seja o elemento do clima mais controlador e dominante quando comparado a temperatura, tendo em vista que a chuva inicia e encerra vários processos ecofisiológicos (Albuquerque et al., 2012). Entretanto, a precipitação teve baixa influência nos modelos.

Os resultados demonstraram que *H. speciosa* ocorre em domínio predominantemente de fisionomia tipo Savana Parque e Savana Gramíneo-Lenhosa. No Amapá o subtipo Savana Parque ocupa os municípios de Mazagão, Santana, Macapá e Porto Grande, e o subtipo Savana Gramíneo-Lenhosa ocupa os municípios de Macapá e Itaubal (Amaral et al., 2019). Nos modelos atuais e futuros as áreas adequadas apresentam-se em pontos próximos uns aos outros. Além desses locais serem climaticamente favoráveis, segue o pressuposto que a proximidade dessas áreas de ocorrência se dá por conta de apresentarem características propícias para o desenvolvimento da espécie-alvo, que ocorre em solos pobres e arenosos, exclusivamente em regiões do cerrado e em planícies costeiras. Estes locais apresentam pouca matéria orgânica, alta acidez, oferecendo uma pequena disponibilidade de nutrientes (Soares et al., 2005).

Conclusão

A modelagem de distribuição potencial para *H. speciosa* por meio do algoritmo MaxEnt apresentou alta confiabilidade de predição. No futuro, isso possibilitará determinar para as áreas de savana do estado do Amapá como as populações de mangaba poderão se comportar. Além disso, foi possível entender que a temperatura é a variável que direciona a distribuição natural da espécie nas áreas de savana, tanto no presente quanto no futuro.

Nas simulações realizadas sob o cenário ssp 2.6, observou-se uma expansão potencial da área de ocorrência de *H. speciosa* no período de 2021-2040. Entretanto, para o período de 2041-2060, as projeções indicam uma possível contração das áreas adequadas para a espécie.

Por outro lado, no cenário ssp 8.5, embora também se projete uma expansão das áreas potenciais de ocorrência no primeiro período (2021-2040), as condições tornam-se menos favoráveis em 2041-2060, resultando em uma

redução ainda mais acentuada da área de ocorrência potencial.

Assim, confirmando essa diminuição da precipitação e aumento de temperatura na savana amapaense a *H. speciosa* seria favorecida inicialmente com ganho de áreas potenciais e posteriormente apresentaria perda áreas de ocorrência.

Agradecimentos

Ao Projeto “Serviços ambientais em áreas de mangabeira (*Hancornia speciosa* Gomes) nas savanas do Amapá: Armazenamento de carbono e produção de frutos”, Processo No 250.203.046/2017. Fundação de Pesquisa do Amapá – FAPEAP e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo financiamento da pesquisa. A Universidade do Estado do Amapá - UEAP pelo apoio financeiro.

Referências

- Aiello-Lammens, M. E.; Boria, R. A.; Radosavljevic, A.; Vilela, B.; Anderson, R. P. 2015. spThin: na R package for spatial thinning of species occurrence records for use in ecological niche models. *Ecography*, 38, 541-545. <https://doi.org/10.1111/ecog.01132>
- Albuquerque, U. P.; Araújo, E. L.; El-Deir, A. C. A.; Lima, A. L. A.; Souto, A. 2012. Caatinga revisited: ecology and conservation of an important seasonal dry forest. *The Scientific World Journal*, 2012, 1-18. <https://doi.org/10.1100/2012/205182>
- Alexandre, B. R.; Lorini, M. L.; Grelle, C. E. V. 2013. Modelagem preditiva de distribuição de espécies ameaçadas de extinção: um panorama das pesquisas. *Oecologia Australis*, 17, (4), 483-508. <http://dx.doi.org/10.4257/oeco.2013.1704.04>
- 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>
- Álvares-Carvalho, S. V.; Vieira, T. R. S.; Freitas, B. A. L de; Souza, E. M. S de; Gomes, L. J.; Mann, R. S. 2021. Biodiversity Hotspots for Conservation of *Hancornia speciosa* GOMES. *Research Square*, 18p. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1056563/v1>
- Amaral, D. D.; Rocha, E. A.; Pereira, J. L. G.; Costa Neto, S. V. 2019. Identificação dos subtipos de savanas na Amazônia oriental (Pará e Amapá, Brasil) com uma chave

- dicotômica de individualização. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências Naturais, 14, (2), 183-195. <https://boletimcn.museu-goeldi.br/bcnaturais/article/view/173/43>
- Barreiro, I. M. J. 2014. Uso de modelagem de distribuição potencial como ferramenta para encontrar espécies pouco amostradas. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação da Biodiversidade). Ilhéus, Bahia, Brasil. 45p.
- Bonnacorso, E.; Koch, I.; Peterson, T. 2006. Pleistocene fragmentation of Amazon species' ranges. Diversity and Distributions, 12, (2), 157-164. <https://doi.org/10.1111/j.1366-9516.2005.00212.x>
- CarbonBrief. 2020. CMIP6: the next generation of climate models explained. Disponível: <https://www.carbonbrief.org/cmip6-the-next-generation-of-climate-models-explained>. Acesso: 07 setembro 2022.
- Carvalho, W. D.; Mustin, K. 2017. The highly threatened and little known Amazonian savannahs. Nature Ecology & Evolution, 1, 0100. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0100>.
- Cavalcante, A. M. B.; Fernandes, P. H. C.; Silva, E. M. 2020. *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. e as Mudanças Climáticas: Uma Análise a Luz da Modelagem de Distribuição de Espécies no Bioma Caatinga. Revista Brasileira de Meteorologia, 35, (3), 375-385. <https://doi.org/10.1590/0102-7786353001>
- Chelala, C.; Chelala, C. 2019. Soja no Amapá. História, Economia e Meio ambiente. 1. ed. Macapá: Clube dos Autores. v. 1. 106p.
- Costa-Neto, S. V. 2014. Fitofisionomia e Florística de Savanas do Amapá. 2014. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias/Agroecossistemas da Amazônia, Universidade Federal Rural da Amazônia/Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA, Brasil. 110p.
- Dias, A. O.; Melo Neto, P. R.; Magalhães, A. P.; Costa Neto, S. V.; Miranda, Z. P. 2021. Caracterização morfológica de frutos e sementes e aspectos morfológicos da germinação e plântula de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes) nativa da savana amapaense. Research, Society and Development, 10, (13), e193101321176. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i13.1321176>
- Dutra, G. C.; Carvalho, L. M. T. 2008. Modelos de distribuição geográfica de *Amaioua guianensis* Aubl. em Minas Gerais, Brasil. *Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais*, 4, 47-55. <https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/download/272/362>
- Elith, J.; Graham, C. H.; Anderson, R. P.; Dudík, M.; Ferrier, S.; Guisan, A.; Hijmans, R. J.; Huettmann, F.; Leathwick, J. R.; Lehmann, A.; Li, J.; Lohmann, L. G.; Loiselle, B. A.; Manion, G.; Moritz, C.; Nakamura, M.; Nakazawa, Y.; Overton, J. M.; Peterson, A. T.; Phillips, S. J.; Richardson, K.; Scachetti-Pereira, R.; Schapire, R. E.; Soberón, J.; Williams, S.; Wisz, M. S.; Zimmermann, N. 2006. E. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29, 129-151. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x>
- Elith, J.; Leathwick, J. R. 2009. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review Ecology, Evolution and Systematics*, 40, 677-697. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120159>
- Esfrain, W.; Siqueira, D. L. 2018. Planejamento e Implantação de Pomar. 2ª Edição. Aprenda Fácil Editora, 187p. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1132375/planejamento-e-implantacao-do-pomar>
- Fick, S. E.; Hijmans, R. J. 2017. WorldClim 2: novas superfícies climáticas de resolução espacial de 1 km para áreas terrestres globais. *International Journal Climatology*, 37, 4302-4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Fischer, H.; Meissner, K. J.; Mix, A. C.; Abram, N. J.; Austermann, J.; Brovkin, V.; Capron, E.; Colombaroli, D.; Daniau, A. L.; Dyez, K. A.; Felis, T.; Finkelstein, S. A.; Jaccard, S. L.; Mcclymont, E. L.; Rovere, A.; Sutter, J.; Wolff, E. W.; Affolter, S.; Bakker, P.; Valdes, P. J. 2018. Restrições paleoclimáticas sobre o impacto do aquecimento antropogênico de 2°C e além. *Nature Geoscience*, 11, (7), 474-485. <https://doi.org/10.1038/s41561-018-0146-0>
- Fourcade, Y.; Engler, J. O.; Roëdder, D.; Secondi, J. 2014. Mapping Species Distributions with MAXENT Using a Geographically Biased Sample of Presence Data: A Performance Assessment of Methods for Correcting Sampling Bias. *PLoS ONE*, 9, (5), e97122. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0097122>

- Freitas, A. C. 2012. Mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes): Localização de populações nativas no cerrado amapaense e caracterização morfológica das progênies do banco ativo de germoplasma. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente, Cultura e Desenvolvimento Regional), Universidade Federal do Amapá, Macapá. 80p.
- Ganga, R. M. D.; Ferreira, G. A.; Chaves, L. J.; Naves, R. V.; Nascimento, J. L. 2010. Caracterização de frutos e árvores de populações naturais de *Hancornia speciosa* Gomes do Cerrado. Rev. Bras. Frutic., 32, (1), 101-113. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452010005000019>
- Governo do Estado do Amapá, Secretaria Estadual de Ciência e Tecnologia em Macapá, Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá, Núcleo de Ordenamento Territorial, & Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2016. Zoneamento Socioambiental do Cerrado do Estado do Amapá: Relatório técnico sintetizado [Socio-environmental Zoning of the Cerrado of the state of Amapá: Synthetic technical report]. Macapá, Brazil: IEPA. Disponível em: http://www.iepa.ap.gov.br/biblioteca/publicacoes/relatorio_cerrado_2016_17.pdf
- Hijmans, R. J.; Cameron, S. E.; Parra, J. L.; Jones, P. G.; Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International journal of climatology, 25, (15), 1965-1978. <https://doi.org/10.1002/joc.1276>
- IBGE. 1990. Projeto zoneamento das potencialidades dos recursos naturais da Amazônia Legal. IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro. 212p. <https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo?id=284763&view=detalhes>
- IPCC. 2018. Summary for Policymakers. In: Masson-Delmotte, V.; Zhai, P.; Pörtner, H. O.; Roberts, D.; Skea, J.; Shukla, P. R.; Pirani, A.; Moufouma-Okia, W.; Péan, C.; Pidcock, R.; Connors, S.; Matthews, J. B. R.; Chen, Y.; Zhou, X.; Gomis, M. I.; Lonnoy, E.; Maycock, T.; Tignor, M.; Waterfield, T. (eds.). Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change. World Meteorological Organization Technical Document. 32p. <https://research-information.bris.ac.uk/en/publications/summary-for-policymakers>.
- Kramer-Schadt, S.; Niedballa, J.; Pilgrim, J. D.; Schröder, B.; Lindenborn, J.; Reinfelder, V.; Stillfried, M.; Heckmann, I.; Scharf, A. K.; Augeri, D. M.; Cheyne, S. M.; Hearn, A. J.; Ross, J.; MacDonald, D. W.; Mathai, J.; Eaton, J.; Marshall, A. J.; Semiadi, G.; Rustam, R.; Bernard, H.; Alfred, R.; Samejima, H.; Duckworth, J. W.; Breitenmoser-Wuersten, C.; Belant, J. L.; Hofer, H.; Wilting, A. 2013. The importance of correcting for sampling bias in MaxEnt species distribution models. Diversity and Distributions, 19, (11), 1366-1379. <https://doi.org/10.1111/ddi.12096>
- Lédo, A. S.; Vieira Neto, R. D.; Silva Junior, J. F.; Silva, A. V. C.; Pereira, A. V.; Pereira, E. B. C.; Michereff Filho, M.; Junqueira, N. T. V. 2015. A cultura da mangaba – Brasília, DF: Embrapa. (Coleção Plantar, 73). 84p.
- Liu, C.; Berry, P. M.; Dawson, T. P.; Pearson, R. G. 2005. Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. Ecography, 28, 385-393. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2005.03957.x>
- Malhi, Y.; Roberts, J. T.; Betts, R. A.; Killeen, T. J.; Li, W.; Nobre, C. A. 2008. Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. Science, 319, 169-172. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1146961>
- Marco Júnior, P.; Siqueira, M. F. 2009. Como determinar a distribuição potencial de espécies sob uma abordagem conservacionista? Megadiversidade, Belo Horizonte, 5, (1-2), 65-76.
- Martins, T. G. V. 2019. Modelagem espacial para a indicação de regiões potenciais para o plantio de espécies nativas madeireiras do Brasil. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 27p. <http://locus.ufv.br/handle/123456789/26011>
- Moura, N. F.; Chaves, L. J.; Venkovsky, R.; Naves, R. V.; Aguiar, A. V.; Moura, M. F. 2011. Genetic structure of mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes) populations in the Cerrado Region of Central Brazil. Bioscience Journal, 27, (3), 473-481. <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/7595/7564>
- Nabout, J. C.; Magalhães, M. R.; Gomes, M. A. A.; Cunha, H. F. 2016. O impacto das mudanças climáticas globais na distribuição geográfica e colheita sustentável de *Hancornia speciosa*

- Gomes (Apocynaceae) no Brasil. *Gestão Ambiental*, 57, (4), 814-821. <http://dx.doi.org/10.1007/s00267-%20016-0659-5>
- Nóbrega, C. C.; Marco Junior, P. 2011. Unprotecting the rare species: a niche-based gap analysis for odonates in a core Cerrado area. *Diversity and Distributions*, 17, (3), 491-505. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2011.00749.x>
- Oliveira, M. J.; Carneiro, C. D. R.; Vecchia, F. A. S.; Baptista, G. M. M. 2017. Ciclos climáticos e causas naturais das mudanças do clima. *Terrae Didactica*, 13, (3), 149-184. <https://doi.org/10.20396/td.v13i3.8650958>
- Pearson, R. G.; Raxworthy, C. J.; Nakamura, M.; Peterson, A. T. 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*, 34, 102-117. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01594.x>
- Pereira, R. S.; Peterson, A. T. 2001. O uso de modelagem na definição de estratégias para a conservação da biodiversidade. *ComCiência - Revista Eletrônica de Jornalismo Científico*. Disponível em <https://www.comciencia.br/dossies-1-72/reportagens/biodiversidade/bio18.htm>. Acesso em: 01/04/2023.
- Phillips, S. J.; Anderson, R. P.; Dudík, M.; Schapire, R. E.; Blair, M. E. 2017. Opening the black box: an open-source release of Maxent. *Ecography*, 40, 887-893. <https://doi.org/10.1111/ecog.03049>
- Phillips, S. J.; Anderson, R. P.; Schapire, R. E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, (3-4), 231-59. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Phillips, S. J.; Dudik, M. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31, (2), 161-175. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x>
- QGIS Development Team, 2018. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>
- R Core Team. 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <https://www.R-project.org>
- Rangel, T. F.; Diniz-Filho, J. A. F.; Bini, L. M. 2010. SAM: a comprehensive application for Spatial Analysis in Macroecology. *Ecography*, 33, 46-50. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0587.2009.06299.x>
- Rhodes, C. J. 2016. The 2015 Paris climate change conference: COP21. *Science Progress*, 99, 97-104. <https://doi.org/10.3184/003685016X14528569315192>
- Santos, F. S.; Paula, R. C.; Sabonaro, D. Z.; Valadares, J. 2009. Biometria e qualidade fisiológica de sementes de diferentes matrizes de *Tabebuia chrysotricha* (Mart. Ex A. DC.) Stand I. *Scientia Forestalis*, 37, (82), 163-173. <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr82/cap06.pdf>
- Soares, F. P.; Paiva, R.; Nogueira, R. C.; Oliveira, L. M.; Silva, D. R. G.; Paiva, P. D. O. 2005. Cultura da mangabeira (*Hancornia speciosa* Gomes). *Boletim Agropecuário*, 67, 1-12. <http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/48193/1/BT%2067.pdf>
- Sokal, R. R.; Rohlf, F. J. 1995. *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. 32nd ed., W.H. Freeman and Company, New York, NY. 880p. https://www.researchgate.net/publication/44554870_Biometry_the_principles_and_practice_of_statistics_in_biological_research_Robert_R_Sokal_and_F_James_Rohlf
- Specieslik. 2021. Disponível em: <http://www.splink.cria.org.br>
- Tomazi, R.; Yokomizo, G. K. I.; Moreira, S. S.; Almeida, S. 2017. Potencialidade da produção de mangabeiras (*Hancornia speciosa* Gomes) para o desenvolvimento do Amapá: caracterizações físicas, físico-químicas e químicas. *KnE Engineering*, 3, (2), 48-60. <https://doi.org/10.18502/keg.v3i1.1412>
- Vieira Neto, R. D.; Cintra, F. L. D.; Silva, A. L.; Silva Júnior, J. F.; Costa, J. L. S.; Silva, A. A. G.; Cuenca, M. A. G. 2002. Sistema de produção de mangaba para os tabuleiros costeiros e baixada litorânea. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Sistemas de Produção, 02). 22p. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/174062/1/SP2.pdf>
- Vieira, F. D. A.; Gusmão, E. 2008. Biometria, armazenamento de sementes e emergência de plântulas de *Talisia esculenta* Radlk. (Sapindaceae). *Ciência e agrotecnologia*, 32,

- 1073-1079. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000400006>
- Wang, W.; Tang, X.; Zhu, Q.; Pan, K.; Hu, Q.; he, M.; Li, J. 2014. Predicting the impacts of climate change on the potential distribution of major native non-food bioenergy plants in China. *PloS one*, 9, e111587. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111587>
- Warren, D. L.; Glor, R. E.; Turelli M. 2010. ENM Tools: a toolbox for comparative studies of environmental niche models. *Ecography*, 33, 607-611. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0587.2009.06142.x>
- Warren, D. L.; Wright, A. N.; Seifert, S. N.; Shaffer, H. B. 2014. Incorporating model complexity and spatial sampling bias into ecological niche models of climate change risks faced by 90 California vertebrate species of concern. *Divers. Distrib.*, 20, 334-343. <https://doi.org/10.1111/ddi.12160>.
- Werneck, F. P.; Gamble, T.; Colli, G. R.; Rodrigues, M. T.; Sites JR, J. W. 2012. Deep diversification and long-term persistence in the South American dry 'dry diagonal': integrating continent-wide phylogeography and distribution modeling of geckos. *Evolution*, 66, (10), 3014-3034. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1558-5646.2012.01682.x>
- WorldClim. 2021. Worldclim Version 2.1. <http://worldclim.org/version2.1>.
- Xu, L.; Myneni, R. B.; Chapin III, F.S.; Callaghan, T. V.; Pinzon, J. E.; Tucker, C. J.; Zhu, Z.; Bi, J.; Ciais, P.; Tømmervik, H.; Euskirchen, E. S.; Forbes, B. C.; Piao, S. L.; Anderson, B. T.; Ganguly, S.; Nemani, R. R.; Goetz, S. J.; Beck, S. A.; Bunn, A. G.; Cao, C.; Stroeve, J. C. 2013. Temperature and vegetation seasonality diminishment over northern lands. *Nature Climate Change*, Vol. 3, Edição 6, pp. 581-586. <https://doi.org/10.1038/nclimate1836>
- Yang, X. Q.; Kushwaha, S. P. S.; Saran, S.; Xu, J.; Roy, P. S. 2013. Maxent modeling for predicting the potential distribution of medicinal plant, *Justicia adhatoda* L. in Lesser Himalayan foothills. *Ecological Engineering*, 51, 83-87. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.12.004>
- ZEE. 2008. Macrodiagnóstico do Estado do Amapá primeira aproximação do ZEE. 3ª edição. Macapá: IEPA. 136p. <http://www.iepa.ap.gov.br/arquivopdf/macrodiagnostico.pdf>
- Zhang, L.; Cao, B.; Bai, C.; Li, G.; Mao, M. 2016. Predicting suitable cultivation regions of medicinal plants with Maxent modeling and fuzzy logics: a case study of *Scutellaria baicalensis* in China. *Environmental Earth Sciences*, 75, 361. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-5133-9>