



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS CAMPUS CURITIBANOS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOSISTEMAS AGRÍCOLAS E NATURAIS

Emeli Susane Costa Gomes

**Título:** Distribuição atual e futura de espécies do gênero *Manilkara* Adans. de importância madeireira na região amazônica

Curitibanos  
2023

Emeli Susane Costa Gomes

**Título:** Distribuição atual e futura de espécies do gênero *Manilkara* Adans. de importância madeireira na região amazônica

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Ecossistemas Agrícolas e Naturais (PPGEAN) da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do Grau de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Siminski  
Coorientador: Prof. Dr. Cesar Augusto Marchioro

Curitiba  
2023

Gomes, Emeli Susane Costa

Distribuição atual e futura de espécies do gênero *Manilkara* Adans. de importância madeireira na região amazônica / Emeli Susane Costa Gomes ; orientador, Alexandre Siminski, coorientador, Cesar Augusto Marchioro, 2023.

88 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos, Programa de Pós-Graduação em Ecossistemas Agrícolas e Naturais, Curitibanos, 2023.

Inclui referências.

1. Ecossistemas Agrícolas e Naturais. 2. Mudanças climáticas. 3. Amazônia. 4. Modelo de distribuição de espécie. I. Siminski, Alexandre. II. Marchioro, Cesar Augusto . III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ecossistemas Agrícolas e Naturais. IV. Título.

Emeli Susane Costa Gomes

**Título:** Distribuição atual e futura de espécies do gênero *Manilkara* Adans. de importância madeireira na região amazônica

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 03 de março de 2023, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof(a). Dr(a). Ana Catarina Conte Jakovac  
Instituição UFSC

Prof. Dr. Pedro Higuchi  
Instituição UDESC

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestra em Ciências.

---

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

---

Prof. Dr. Alexandre Siminski  
Orientador

Dedico esse trabalho a todos os cientistas que se esforçam para fazer ciência no Brasil.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os meus amigos e família, que me ajudaram a suportar todas as adversidades desses 2 últimos anos.

Agradeço também aos meus orientadores Dr. Alexandre Siminski e Dr. Cesar Marchioro, por aceitarem a minha proposta de trabalhar com espécies da Amazônia e lapidar meu projeto grosseiro, de quem acabou de sair da graduação. Ao prof. Cesar, sempre vou ser grata pelos ensinamentos do uso do R, novidades do ArcGis, paciência de explicar tudo repetidas vezes (tudo isso durante 1 ano todo, com o adicional de ser aulas por videoconferência, visto que eu me encontrava no estado do Pará em 2021). Ao professor Siminski que me fez escolhê-lo por uma aula YouTube sobre ecologia, como meu orientador, realmente não me arrependo! Também agradeço a paciência, os vários links de artigos para eu ler, a experiência de participar de um grupo de estudo que realmente funciona, NESBIO e o conhecimento da flora e tradições do Sul do Brasil. Além disso, o incentivo de continuar minha caminhada acadêmica.

Nunca poderia esquecer a professora Karine Santos, foi uma mãe para mim. Uns puxões de orelha vez por outra, conselhos, me defendendo vez por outra, e a bicicleta emprestada por mais de um ano. Mostrando também que na vida acadêmica não podemos perder os nossos sentimentos. Não chore. Sempre serei grata prof.

Ao Seu Jürg e Dona Berth pelo apoio para continuar meus estudos, com um presente fundamental para esse trabalho ter sido possível, um computador bem potente. E por terem me concedido a oportunidade de conhecer mais o mundo, que me fez desejar voar mais longe!

A minha amiga Laura Vezzani, sem ela tudo teria sido muito mais difícil, sem conhecer nada no sul do Brasil e muito menos Curitibanos. Foram muitas conversas por videochamada e muitas mais ao vivo, algumas em desespero pelo processo do mestrado, mas chegamos na reta final. Precisaria de mais linhas para agradecer tudo. Obrigada amiga!

Ao Técnico Delson, por aguentar minhas milhões de dúvidas sobre documentações e processos no PPGEAN, tudo com muita calma. Delson você salva a vida dos mestrados do PPGEAN.

Também ao prof. Mauricio Sedrez, nunca vou esquecer sua sabedoria em lidar com as situações, espero chegar a ser uma professora igual.

Agradeço a todas as pessoas maravilhosas que conheci durante o mestrado, são muitas, não tem como nomear todas.

A Universidade Federal de Santa Catarina o meu muito obrigada, e viva a universidade pública, que possibilita oportunidade a todos.

Agradeço também a CAPES que possibilitou a realização desse trabalho, por meio da bolsa de estudos a mim concedida. Muito obrigada!

*O que não te desafia, não te transforma..., mas considere sua saúde mental em primeiro lugar!*

*Autor desconhecido.*

## RESUMO

A mudança do clima pode afetar ecossistemas sensíveis a variações de temperaturas, precipitação e outras variáveis ambientais. As espécies florestais não estão fora dessa problemática, podendo mudar suas áreas de distribuição conforme o clima sofre alterações. Esse trabalho teve por objetivo avaliar o impacto das mudanças climáticas e analisar a sobreposição de nicho de *Manilkara bidentata* (A.DC.) A.Chev., *Manilkara elata* (Allemão ex Miq.) Monach., e *M. paraensis*, que ocorrem no bioma Amazônia. Os registros de ocorrência para cada espécie foram obtidos de bancos de dados digitais de herbários. As variáveis climáticas para o presente e futuro (2040 e 2080) em dois diferentes cenários de mudanças climáticas (SSP2-45 e SSP5-85) e variáveis do solo foram obtidas nas bases de dados do WorldClim e SoilGrids. O processamento e análise dos dados foram realizados no ambiente computacional R e no ArcGis Desktop v. 10.8. A hipótese de equivalência de nicho entre *M. elata* e *M. paraensis* foi rejeitada, mas as demais espécies mostraram equivalência de nicho. *M. bidentata* apresentou tolerância climática mais ampla que *M. elata* e *M. paraensis*. As variáveis de maior contribuição para o modelo desenvolvido para *M. bidentata* foram a variação anual de temperatura (42,8%) (Bio7), seguida da elevação (19,9%) e precipitação do mês mais seco (15%) (Bio14). Para *M. elata*, as variáveis mais importantes foram a elevação (40,9%), o teor de silte (24,6%), a temperatura máxima do mês mais quente (12,4%) (Bio5) e a sazonalidade da precipitação (11,2%) (Bio15). A temperatura média anual (Bio1, 74,9%), a precipitação do mês mais seco (Bio14, 9,1%) e a sazonalidade na precipitação (Bio15, 8,4%) foram as variáveis mais importantes para *M. paraensis*. A distribuição atual de *M. bidentata* inclui sete países que contém a Amazônia internacional. *M. elata* está presente na região norte do estado do Pará, Amazonas, Maranhão, Espírito Santo, Bahia e na região litorânea de outros estados do nordeste do Brasil. Já *M. paraensis* tem sua distribuição atual localizada nos estados do Amapá, Maranhão, Piauí, Mato Grosso e Pará. Os modelos estimaram um aumento na distribuição de *M. paraensis* com 50,66% de ganho de área, em direção ao sul da Amazônia, *M. elata* com quase 100% de perda e *M. bidentata* com 18,60% de contração de área. No entanto, esse aumento foi previsto em áreas com altas taxas de desmatamento no sul da Amazônia. Nossos resultados fornecem uma importante contribuição para o conhecimento dos impactos das mudanças climáticas na distribuição de três espécies florestais economicamente importantes. Os resultados aqui apresentados podem ser usados para fins de conservação através da priorização de áreas previstas para continuar aptas para a espécie no futuro. Concluímos que houve perda de área apta para duas espécies e ganho para uma, assim, medidas de conservação precisam ser tomadas e estudos sobre sua ecologia devem ser realizados para tomada de decisão.

**Palavras-chave:** Conservação, SDMs, modelagem de nicho, mudanças do clima



## ABSTRACT

Climate change can affect fragile ecosystems at different levels through variations in temperature, precipitation, and other environmental variables. Forest species are exposed to these environmental variations and may shift their distribution as climate changes. This work aimed to assess the niche overlap and the impacts of climate change on the distribution of *Manilkara bidentata* (A.DC.) A.Chev., *Manilkara elata* (Allemão ex Miq.) Monach., and *M. paraensis* in the Amazon biome. The occurrence records for each species were obtained from online databases. The climate variables for current and future conditions (2040 and 2080) under two different climate change scenarios (SSP2-45 and SSP5-85) and soil physical characteristics were obtained from the Worldclim and SoilGrids databases, respectively. Data processing and analysis were carried out with R statistical language and ArcGis Desktop v. 10.8. The hypothesis of niche equivalence between *M. elata* and *M. paraensis* was rejected, but the other species showed niche equivalence. *M. bidentata* presented a wider climatic range than *M. elata* and *M. paraensis*. The variables that contributed most to the model developed for *M. bidentata* were temperature annual range (42.8%) (Bio7), followed by elevation (19.9%) and precipitation in the driest month (15%) (Bio14). For *M. elata*, the most important variables were elevation (40.9%), silt content (24.6%), the maximum temperature of the hottest month (12.4%) (Bio 5), and precipitation seasonality (11.2%) (Bio 15). Annual mean temperature (Bio 1, 74.9%), precipitation in the driest month (Bio 14, 9.1%), and precipitation seasonality (Bio 15, 8.4%) were the most important variables for *M. paraensis*. The current distribution of *M. bidentata* comprises seven countries within the international Amazon. The species *M. elata* is present in the northern region of the state of Pará, Amazonas, Maranhão, Espírito Santo, Bahia, and in the coastal region of other states in northeastern Brazil. *M. paraensis* occurs in the states of Amapá, Maranhão, Piauí, Mato Grosso, and Pará. The models estimated an increase in the distribution of *M. paraensis* with 50.66% of the area gained, *M. elata* with almost 100% of loss, and *M. bidentata* with 18.60% area contraction. However, this increase was predicted in areas with high rates of deforestation in the southern Amazon. Our findings provide an important contribution to the knowledge of the impacts of climate change on the distribution of three economically important forest species. The results presented here can be used for conservation purposes through prioritization of areas predicted to continue suitable for the species in the future. We conclude that there was a loss of suitable area for two species, and a gain for one, therefore, conservation measures need to be taken and studies on its ecology must be carried out for decision-making.

**Keywords:** Conservation, SDMs, niche modeling, climate change

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Gráfico de um dos relatórios da ExxonMobil encontrados por jornalistas investigativos, com provas que eles sabiam das mudanças antrópicas. .... 19
- Figura 2 - Exemplos das mudanças de temperaturas em vários cenários propostos pelo IPCC, mostrando as modificações desde 1950..... 21
- Figura 3 - Mapa de pontos de ocorrência de *M. bidentata* conforme disponíveis no banco de dados specieslink (<http://www.splink.org.br/>). .... 25
- Figura 4 – Ramos, Folhas na face abaxial e Folhas na face adaxial (a e b), Ritoma (c) e (d) Ritidoma com exsudato após corte, de *M. bidentata*. .... 25
- Figura 5 - Mapa de ocorrência de *M. elata* conforme pontos de ocorrência disponíveis no banco de dados specieslink (<http://www.splink.org.br/>) ..... 27
- Figura 6 - Ritidoma de *M. elata* com variação de coloração (a) Ritidoma comum; (b-c) mais avermelhado. .... 28
- Figura 7 – As imagens retratam a espécie *M. elata* com (a) Ramos com inflorescência; (b) Ramos com fruto, e apresentação de seu (c) Ritidoma e (d) Coloração de ritidoma após corte. .... 28
- Figura 8 - Mapa de pontos de ocorrência de *M. paraensis* conforme disponíveis no banco de dados specieslink (<http://www.splink.org.br/>). .... 31
- Figura 9 – As imagens retratam a espécie *M. paraensis* com (a) ramos frescos e (b) ramos secos, e também seu (c) Ritidoma; (d) Ritidoma com exsudato. .... 32
- Figura 10 - Mapa de distribuição atual das espécies em estudo, com pontos de ocorrência de cada espécie. .... 44
- Figura 11 - Sobreposição de nicho das espécies no espaço ambiental (coluna à esquerda), as linhas sólidas representam 100% do ambiente disponível e as tracejadas 50% desse ambiente, e as colorações mostram a densidade de ocorrência das espécies por célula. E contribuição das variáveis de clima e solo (à direita). .... 52
- Figura 12\_ Gráficos de AUC das espécies em estudo, A- *M. bidentata*, B- *M. elata*, C- *M. paraensis*. Linha vermelha tracejada valores a 95% do valor simulado e linha azul são os valores observados. .... 54
- Figura 13 - Contribuição das variáveis do clima e solo mais importantes para construção do modelo para *M. bidentata*. .... 55
- Figura 14 - Contribuição das variáveis do clima e solo mais importantes para construção do modelo para *M. elata*. .... 56
- Figura 15 - Contribuição das variáveis do clima e solo mais importantes para construção do modelo para *M. paraensis*. .... 57
- Figura 16\_ Mapa contínuo de adequabilidade de distribuição atual de *M. bidentata*, *M. elata*

|  |    |
|--|----|
| e <i>M. bidentata</i> , áreas em roxo significam regiões com baixa probabilidade de ocorrência e regiões com tonalidade marrom representam áreas com maior probabilidade de ocorrência. Com áreas distintas de acordo com o seu background. .... | 58 |
| Figura 17 - Mapa contínuo de adequabilidade atual e para diferentes cenários (SSP245 e SSP585) e anos (2040 e 2080) de <i>M. bidentata</i> na América do Sul.....  | 59 |
| Figura-18. Mapa binário de adequabilidade atual e para diferentes cenários (SSP245 e SSP585) e anos (2040 e 2080) de <i>M. bidentata</i> na América do Sul.....  | 59 |
| Figura 19 -. Mapa contínuo de adequabilidade atual e para diferentes cenários (SSP245 e SSP585) e anos (2040 e 2080) de <i>M. elata</i> na América do Sul.....   | 62 |
| Figura 20 - Mapa binário de adequabilidade para cada ano e cenário de <i>M. elata</i> na América do Sul.....   | 63 |
| Figura 21 - Mapa contínuo de adequabilidade para cada ano e cenário de <i>M. paraensis</i> na América do Sul. ....   | 65 |
| Figura 22 - Mapa binário de adequabilidade para cada ano e cenário de <i>M. paraensis</i> na América do Sul .....  | 66 |
| Figura 23 - Mudança da posição do centroide para <i>M. bidentata</i> (A), <i>M. elata</i> (B), <i>M. Paraensis</i> (C) em diferentes cenários de mudanças climáticas.....  | 67 |
| Figura 24 - <i>M. paraensis</i> nos cenários pessimistas de 2080 SSP 585 em contraste ao desmatamento ocorrente de 2000 até 2021 no Cerrado e Amazônia conforme TerraBrasilis. ....  | 71 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Nomes populares utilizados para cada espécie em estudo. ....  | 24 |
| Tabela 2 - Variáveis bioclimáticas e do solo disponibilizadas pelo Worldclim e Soilgrids. .  | 45 |
| Tabela 3 - Sobreposição de nicho estimado com o índice <i>D</i> de Schoener e valores de <i>p</i> para o teste de equivalência e similaridade de nicho. ....                                       | 51 |
| Tabela 4 - Valores de AUC e CBI das espécies estudadas. ....   | 53 |
| Tabela 5 - Porcentagem de áreas potenciais para espécies de <i>Manilkara</i> legalmente protegidas em Unidades de Conservação considerando diferentes anos e cenários de mudanças climáticas. .... | 68 |

## Sumário

|     |   |           |
|-----|---|-----------|
| 1   | <b>INTRODUÇÃO</b> .....                                     | 15        |
| 2   | <b>OBJETIVOS</b> .....                                      | 18        |
| 2.1 | OBJETIVO GERAL .....  | 18        |
| 2.2 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....                                  | 18        |
| 3   | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....                          | 19        |
| 3.1 | MUDANÇAS CLIMÁTICAS .....                                   | 19        |
| 3.2 | MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES .....                 | 22        |
| 3.3 | FAMÍLIA SAPOTACEAE E O GÊNERO <i>MANILKARA</i> .....        | 23        |
| 3.4 | <i>MANILKARA BIDENTATA</i> (A.DC.) A.CHEV. ....             | 24        |
| 3.5 | <i>MANILKARA ELATA</i> (ALLEMÃO EX MIQ.) MONACH. ....       | 26        |
| 3.6 | <i>MANILKARA PARAENSIS</i> (HUBER) STANDL. ....             | 30        |
| 3.7 | POTENCIAL MADEIREIRO .....                                  | 32        |
|     | <b>REFERÊNCIAS</b> .....                                    | <b>34</b> |
|     | INTRODUÇÃO.....   | 42        |
|     | MATERIAIS E MÉTODOS.....                                    | 43        |
|     | <b>Área de estudo</b> .....                                 | <b>43</b> |
|     | <b>Obtenção dos registros de ocorrência</b> .....           | <b>43</b> |
|     | <b>Variáveis ambientais</b> .....                           | <b>45</b> |
|     | <b>Análises de sobreposição de distribuição nicho</b> ..... | <b>46</b> |
|     | <b>Modelagem da distribuição de espécies</b> .....          | <b>47</b> |
|     | <b>Mudança do centroide</b> .....                           | <b>49</b> |
|     | <b>Análises espaciais</b> .....                             | <b>49</b> |
|     | RESULTADOS .....  | 50        |
|     | <b>Sobreposição de nicho</b> .....                          | <b>50</b> |
|     | <b>Influência das variáveis climáticas</b> .....            | <b>54</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Adequabilidade em diferentes anos e cenários de mudanças .....</b> | <b>57</b> |
| DISCUSSÃO .....   | 68        |
| CONCLUSÕES .....  | 72        |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>   | <b>73</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>  | <b>80</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Em nenhum momento da história humana o tema das mudanças climáticas esteve tão presente nos meios de divulgação, científicos ou não, pois o contexto atual se revela não mais uma ameaça futura, mas um processo presente (IPCC, 2022). O aumento da frequência de eventos extremos como incêndios, secas, enchentes, degelo das calotas polares, e alteração da fenologia das plantas são indicativos das mudanças climáticas ocorrentes no planeta que afetam o bem-estar humano (ABRAM et al., 2021; BARUA; BARDHAN; BANERJEE, 2022; JACOBI; BUCKERIDGE; RIBEIRO, 2021).

A comunidade científica já vem a abordar esse tema desde a década de 1960, quando o uso de combustíveis fósseis para geração de energia agravou as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera, um dos gases responsáveis pelo efeito estufa (FRANTA, 2018). No entanto, o tema foi “abafado” pelas grandes empresas petrolíferas, sendo então a ciência do clima negada abertamente desde 1989-1994, mas as pesquisas sobre o tema não pararam (BONNEUIL; CHOQUET; FRANTA, 2021). Desde então, a comunidade científica vem a trazer evidências de que o processo de descarbonização é necessário (REES, 2020; STEFFEN et al., 2018) para sobrevivência não apenas humana, mas também de todos os ecossistemas que existem na terra.

Apesar de esforços para promoção de energias renováveis (BOON, 2019), até o ano de 2021 o carvão mineral ainda era a maior fonte de geração de eletricidade e a maior fonte de emissão de CO<sub>2</sub> no mundo (IEA, 2023). Outro fator que contribui com as mudanças climáticas é o desmatamento, especialmente associado a conversão de florestas naturais para uso madeireiro e agropecuário, atividades produtivas em expansão em todo bioma em função do retorno econômico (KULAKHMETOVA, 2022). A partir do começo de 1960 até o presente, cerca de 20% da vegetação encontrada na Amazônia foi suprimida pela extração florestal, desmatamento e queimadas, sendo nos últimos 10 anos um processo mais intensivo, com expectativas que até 2050 exista uma perda de 40% da cobertura vegetal (ARRUDA; CANDIDO; FONSECA, 2019). O impacto dessas atividades não gera somente o aumento de CO<sub>2</sub> na atmosfera, mas também modifica os ecossistemas existentes, e trazem perdas da biodiversidade e econômicas a longo prazo (GIRASE, 2022)

O desmatamento ocasionado pela invasão de terras, pecuária e agricultura extensiva (“commodities”), bem como a falta de políticas florestais fiscalizadoras estão entre os fatores

mais relevantes no processo de perdas da biodiversidade no bioma Amazônia (FENG et al., 2021; OMETTO; AGUIAR; MARTINELLI, 2011). Em 2018 a 2019, mais de 10 mil km<sup>2</sup> de florestas foram desmatadas no bioma Amazônia, causados principalmente pela falta da regularização de terras e pela dificuldade na punição dos causadores de danos ambientais (BRITO; ALMEIDA; GOMES, 2021).

As consequências geradas são as alterações nos ambientes, resultando na perda de diversidade e/ou dominância de espécies que se beneficiam dos distúrbios causados (CASTRO; CARVALHO, 2014; ZALLES et al., 2021). O foco das mudanças climáticas regionais também trouxe a discussão sobre as consequências desses atos, que podem levar a um tipo de ponto de inflexão (“tipping point”), nas quais as modificações feitas agora não terão retorno, podendo levar à savanização da Floresta Amazônica (WALKER, 2020).

Como um exemplo de espécies, que são afetadas por essas modificações citadas se encontram as do gênero *Manilkara* (Sapotaceae) (DAVID et al., 2019; IUCN, 2022). O gênero é composto por 70 espécies distribuídas nas regiões tropicais do mundo com importância ecológica e econômica, decorrente da durabilidade da sua madeira, produção de látex e disponibilidade de frutos comestíveis (PENNINGTON, 1990). O gênero *Manilkara*, remete a um conjunto de espécies arbóreas popularmente conhecidas por Massaranduba, Massarandubinha ou Maçaranduba (“IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas”, 2021), esse grupo, com a sua madeira entre as mais manejadas na região norte (LACERDA; NIMMO, 2010).

Além da superexploração, várias espécies do gênero são simpátricas, e algumas são restritas a apenas um bioma, conforme dados de coletas botânicas nos sistemas “online” de herbários (ALMEIDA JR, 2015). Esta situação causa conflitos na distinção entre as espécies que possuem características semelhantes entre si, gerando um risco maior para as espécies endêmicas de determinadas áreas, como, por exemplo, de *Manilkara paraensis* (Huber) Standl., que até o momento tem a sua distribuição confirmada somente nos estados do Pará e Maranhão (ALMEIDA JR, 2015; BARBOSA et al., 2021; LACERDA; NIMMO, 2010).

Nesse sentido, estudos relacionados a área de distribuição das espécies podem colaborar para o registro da biodiversidade da flora dessas áreas em risco, que podem ser perdidas ao longo dos anos por motivos antrópicos e naturais (HABIBULLAH et al., 2021; PARREIRAS, 2003; SOLTIS; NELSON; JAMES, 2018; WANDELER; HOECK; KELLER, 2007). A utilização da modelagem de distribuição de espécies, também conhecida como modelagem de nicho ecológico, permite avaliar a alteração de área de distribuição potencial associada a mudanças no clima, e desmatamento (YEH et al., 2009). Isso se faz por relacionar dados de



ocorrência das espécies com variáveis ambientais que podem ser temperatura, altitude, precipitação, tipos de solo e outros. Os modelos são primeiramente ajustados com base em dados climáticos atuais e, então, projetados para os cenários climáticos futuros, criando assim um parâmetro de quais variáveis são importantes para ocorrência da espécie (ANDERSON; LEW; PETERSON, 2003). Infelizmente dados de ocorrência são mais raros nas regiões tropicais, sendo a Amazônia um desses locais pela dificuldade de acesso, porém, alguns algoritmos conseguem trabalhar mesmo com poucos registros de ocorrência (ANDERSON; LEW; PETERSON, 2003). Assim, essa ferramenta permite criar planos de ação para conservação de áreas de “hotspots” ou de espécies que se caracterizam como prioritárias (GRAHAM; HIJMANS, 2006; LIU; NEWELL; WHITE, 2016). No entanto, são necessárias análises adicionais com base ecológica para a correta tomada de decisão sobre o tipo de algoritmo e cortes da área de treino a serem usados, para obtenção do modelo mais preciso de predição, mesmo com poucos dados (ELITH et al., 2006).

Nesta pesquisa foi utilizada a metodologia de modelagem de nicho ecológico e de sobreposição de nicho com enfoque em três espécies do gênero *Manilkara* (*Manilkara bidentata* (A.DC.) A.Chev., *Manilkara elata* (Allemão ex Miq.) Monach., e *M. paraensi*), ocorrentes no bioma Amazônia com valor econômico madeireiro. A nossa hipótese é que as mudanças climáticas terão efeitos negativos sobre a distribuição dessas espécies de valor comercial para região Amazônica, havendo contração das áreas atuais.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o impacto das mudanças climáticas sobre três espécies do gênero *Manilkara* de importância econômica madeireira da região Amazônica.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Avaliar a existência de sobreposição de nicho entre *M. elata*, *M. bidentata* e *M. paraensis*;
- b) Identificar as áreas de adequabilidade climática para as três espécies em estudo no cenário atual e futuro;
- c) Quantificar o grau de proteção das espécies associado à ocorrência em unidades de conservação (UC) atualmente existente e nos cenários futuros SSP2-4.5 e SSP5-8.5 nos anos de 2040 e 2080.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

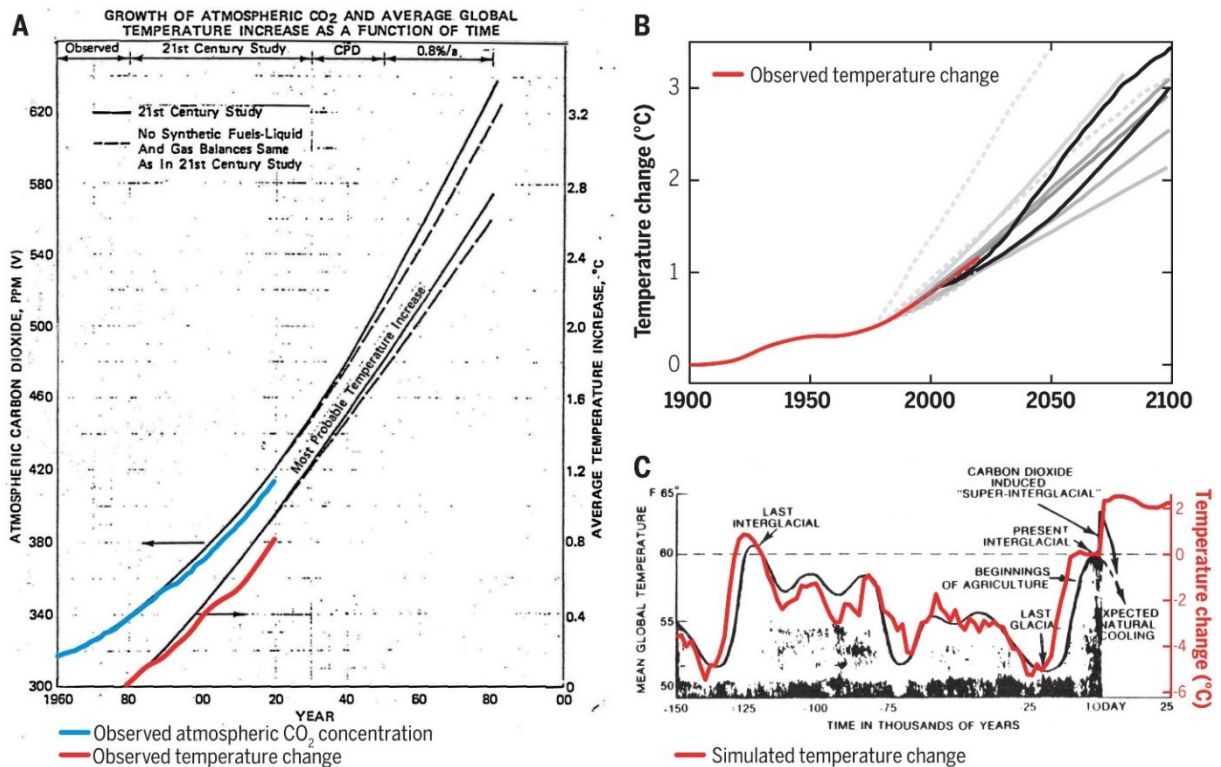
Algumas tomadas de decisões humanas estão interligadas às questões climáticas, sejam elas as mais básicas do cotidiano, ou até se elevando a prováveis desastres naturais e fornecimento de energia (AZEVEDO et al., 2007), mas apesar de o clima estar totalmente envolvido na sobrevivência dos homens, apenas reuniões e discussões foram feitas, mas sem muitos avanços, justificado como prejuízo econômico nacional de alguns países (RATTNER, 2002).

Para compreendermos o que se passou, pode-se começar quando a mudança do clima se tornou uma preocupação. A partir da Segunda Guerra Mundial os seres humanos passaram a modificar fortemente a natureza (KRAUSMANN et al., 2017), nesse momento a ciência teve a sua participação, apontando as modificações ocorrentes, mas a “agnogênese” que é nesse tema o fator da indústria insultar a ciência científica, passou a acontecer, isso no período de 1989-1994 (BONNEUIL; CHOQUET; FRANTA, 2021). No início da década de 1950 as indústrias no Estados Unidos receberam alertas sobre o aquecimento global, e em seguida foram feitas pesquisas, que destacaram que até o fim do século haveria respostas negativas significativas para a humanidade, no entanto, as maiores empresas petrolíferas da época que eram francesas, como a companhia Total, escolheram “diminuir” o peso das consequências do aquecimento global e criar dúvidas sobre a ciência do clima (BONNEUIL; CHOQUET; FRANTA, 2021; LEITE, 2014).

Um exemplo é da empresa ExxonMobil, cujos pesquisadores da própria empresa já sabiam das consequências de uma mudança do climática catastrófica causada pelo homem desde 1977, em documentos encontrados em 2015 (Figura 1) (SUPRAN; RAHMSTORF; ORESKES, 2023). Algumas outras empresas também já sabiam desse caminho, as de petróleo desde 1950 (FRANTA, 2018), carvão 1960 (SUPRAN; RAHMSTORF; ORESKES, 2023) energia elétrica 1970 (ANDERSON; KASPER; TAIT, 2022) e outra empresa petrolífera em 1980 (MOMMERS, 2022).

Figura 1 - Gráfico de um dos relatórios da ExxonMobil encontrados por jornalistas investigativos, com provas que eles sabiam das mudanças antrópicas. “(A) Projeções de 1982 modeladas pela Exxon. (B) Resumo das projeções em sete memorandos internos da empresa e cinco publicações revisadas por pares entre 1977 e 2003 (linhas cinza). (C) Um gráfico publicado internamente em 1977 sobre o “efeito do CO<sub>2</sub> em escala interglacial” do aquecimento global. (A) e (B) exibem observações históricas médias de temperatura, enquanto

o registro histórico de temperatura em (C) é uma simulação suavizada do modelo do sistema terrestre dos últimos 150.000 anos.”



Fonte: (SUPRAN; RAHMSTORF; ORESKES, 2023)

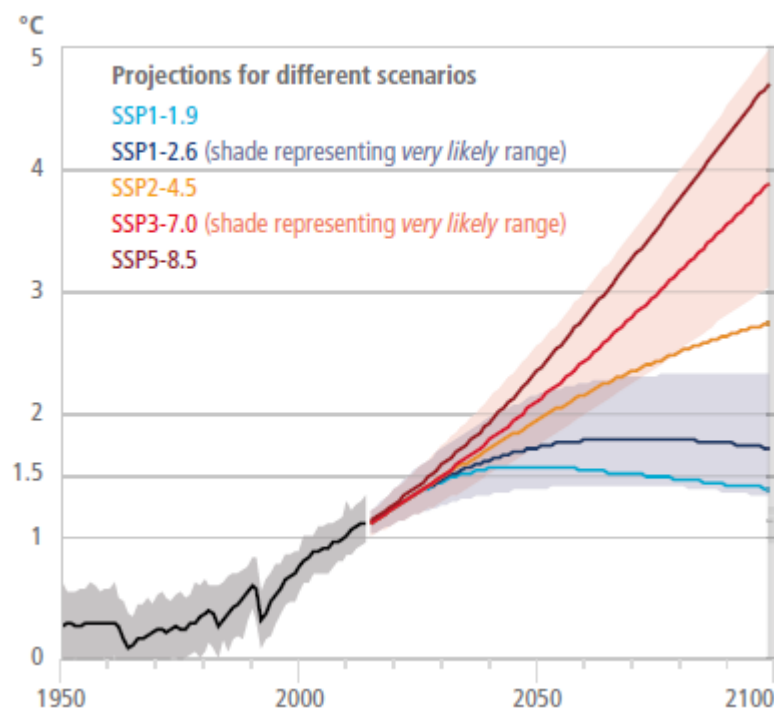
Em meio a todas as modificações ocorrentes, a população não deixou de observar e realizou críticas sobre o combustível com chumbo, derramamento de óleo, e outros (BONNEUIL; CHOQUET; FRANTA, 2021). Era necessário se ter mais informações sobre os possíveis danos dessas modificações, visto que as empresas causadoras estavam a omitir os fatos, como abordado acima. Assim, o Painel Intergovernamental sobre as Mudanças Climáticas (IPCC), criado em 1988 pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e Organização Meteorológica Mundial (OMM), teve como prioridade fornecer informações científicas confiáveis sobre as alterações climáticas para tomadas de decisões governamentais mundiais por meio de vários relatórios anuais (IPCC, 2022), com o primeiro relatório lançado no ano de 1990 (IPCC, 2007).

A partir de então se tem relatórios com modelos climáticos anualmente, essas projeções futuras são impulsionadas por emissões e/ou concentrações de cenários ilustrativos que são Patamares de Concentração Representativos (*Representative Concentration Pathway*) (RCP), que descrevem diferentes níveis de gases de efeito estufa e outras forças radioativas, e as Rotas Socioeconômicas Compartilhadas (SSPs) (IPCC, 2022). Os SSPs são cenários baseados no crescimento populacional, tecnológico e econômico, por exemplo, o SSP 2 tem um

crescimento de um mundo ainda desigual, com poucas mudanças no sistema ambiental, ainda com degradação, e já o SSP4 apresenta um mundo que cresce rapidamente, com desigualdade entre os países e dentro deles, tecnologias somente para países mais ricos, com políticas ambientais que se concentram em questões locais em torno de áreas renda média e alta, no total são cinco caminhos de mundos diferentes (HAUSFATHER, 2018).

Conforme o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014), a intervenção antrópica no sistema climático é nítida, e geram impactos nos sistemas humanos e naturais, nunca houve maior aumento nas emissões antropogênicas de gases de efeito estufa na história. Em 2017 o aquecimento induzido pelo homem atingiu cerca de 1° C (possivelmente entre 0,8° C e 1,2° C) acima dos níveis pré-industriais, e havendo aumento de 0,2° C por década aproximadamente (IPCC, 2022). Pode-se acompanhar na Figura 2, alguns dos cenários publicados pelo IPCC lançado em 2022.

Figura 2 - Exemplos das mudanças de temperaturas em vários cenários propostos pelo IPCC, mostrando as modificações desde 1950.



Fonte: (IPCC, 2022)

A modificação do clima pode alterar os níveis de precipitação, afetando as estruturas dos ecossistemas terrestres e a sua composição, podendo beneficiar determinadas comunidades de plantas e prejudicar outras (HOLMGREN et al., 2013; ZHANG et al., 2019). Kulevicz et al. (2020) citam que essas modificações ocorrem em larga escala dentro dos sistemas florestais, nas quais englobam problemas como inundações, incêndios, secas, geadas e ventos, gerando

perdas ambientais e econômicas, uma vez que essas alterações afetam o crescimento de várias espécies (HANDMER; HONDA; ARNELL, 2012). Existe também o feedback planta-solo, no qual as modificações ocorrentes nas plantas afetam o tipo de organismos presentes no solo e condições abióticas. Nesse contexto o clima é um dos impulsionadores das modificações das distribuições das espécies e crescimento de organismos no solo, afetando esse feedback de modo prejudicial ou positivo (PUGNAIRE, et al., 2019).

As plantas são muito sensíveis a quaisquer mudanças do clima por terem um longo período de vida, dificultando as adaptações nas mudanças ambientais (LINDNER et al., 2010). Por exemplo, Walsh et al. (2019) mencionam que a fertilidade de algumas espécies depende do clima. Por exemplo, o tomate (*Solanum lycopersicum*), sob um estresse térmico, teve a sua viabilidade do pólen diminuída e a suas anteras desenvolveram falhas. A distribuição das espécies também é afetada. Xie et al. (2022) trabalharam com espécies de coníferas ameaçadas na China e identificaram a diminuição do território de algumas delas e a mudança de paisagens onde elas se encontram. Locasselli et al. (2020) alertam sobre a diminuição do crescimento e longevidade de florestas tropicais como a Amazônia, que em temperaturas médias anuais acima de 25.4°C.

### 3.2 MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES

O termo nicho ecológico foi usado em 1957 por Hutchinson, que o definiu como condições ambientais e os seus recursos necessários para adequação e sobrevivência de uma espécie (GIANNINI et al., 2012; TAKOLA; SCHIELZETH, 2022). Os nichos ecológicos são uma parte fundamental da modelagem de distribuição de espécies. Os modelos usam as características atuais do nicho ecológico da espécie e as projetam para o futuro, assim se tem modelos de áreas adequadas para essa espécie (WIENS et al., 2009). A modelagem de distribuição de espécies (Species distribution modelling - SDM) obteve um grande crescimento nesses últimos 20 anos (SOBERÓN; OSORIO-OLVERA; PETERSON, 2017), por efeito da abundância de informações de dados de ocorrências (GAIJI et al., 2013), disponibilidade de dados de cobertura climática global e uma gama de cálculos criados para a correlação desses dados gerando inúmeros resultados (FRANKLIN; MILLER, 2010).

Conforme Phillips et al. (2006) , esses modelos compreendem que as variáveis ambientais de uma determinada área de estudo apresenta uma aproximação ambiental do nicho de uma espécie. Os SDM's constituem a estrutura de modelagem abundantemente utilizada para avaliações de impactos ambientais, no qual pode gerar cenários futuros das espécies (PETERSON et al., 2011). Os seus dados são relativamente mais fáceis de ser adquiridos, e

com muitas opções como o GAM (*Generalised Additive Models*), GARP (*Genetic Algorithm for Rule Set Production*), GLM (*Generalised Linear Models*), ENFA (*Ecological Niche Factor Analysis*), BIOCLIM (*Bioclimatic variables*) e de máxima entropia (*Maximum Entropy Modeling*) (ELITH et al., 2006, 2011; THUILLER et al., 2009).

O algoritmo de Máxima Entropia vem se destacando em desempenho, tendo sido bastante utilizado em estudos que abrangem tanto a fauna como flora (ELITH et al., 2006). Esse algoritmo também se sobrepôs aos demais por possuir mecanismos que trabalham com poucos dados de ocorrência e gerando boas estatísticas (PHILLIPS; ANDERSON; SCHAPIRE, 2006). Sendo utilizado com diversos objetivos, como, por exemplo, prever a riqueza ou diversidade de espécies (GRAHAM; HIJMANS, 2006) (GRAHAM; HIJMANS, 2006), prever as distribuições atuais como entrada para o planejamento de conservação, avaliações de risco ou listagem da IUCN ou novas pesquisas (TINOCO et al., 2009; TITTENSOR et al., 2009), distribuições *hindcast* para compreender os padrões de endemismo, vicariância, entre outros temas (ELITH et al., 2011).

A modelagem de nicho vem sendo aplicada para resolução de vários problemas, por exemplo, Deka (2022) usou a metodologia para criar mapas de risco de contaminação de esquistossomose na África para orientar programas nacionais de controle. Martallana-Puerto et al. (2022) projetaram as futuras distribuição de *Masdevallia coccinea leucophenga* uma espécie muito comercializada na Alta Andina, chegando à conclusão de que a mesma está em risco, e necessita de planos para sua conservação. Ferreira et al. (2022) trabalharam também com o método para verificar como as mudanças do clima modificariam espécies de plantas ameaçadas do cerrado brasileiro.

Na Amazônia estudos sobre perda de espécies endêmicas e mudanças da distribuição de animais e plantas aplica a modelagem de nicho para saber os possíveis resultados sobre as mudanças do clima e eventos antrópicos afetarem a distribuição atual e futura das espécies (GUILHERME et al., 2022; IGAWA; DE TOLEDO; ANJOS, 2022; SILVA et al., 2022). Brandão et al. (2022), investigando as possíveis problemáticas das mudanças climáticas no bioma Amazônia, podem constatar por meio de modelos que espécies associadas a produtos florestais sofreram diminuição, com mudanças na sua composição e qualidade, levando a prejuízos financeiros de \$1-7 bilhões em 2 anos, causando problemas sociais para as populações que se mantêm de recursos da floresta.

### 3.3 FAMÍLIA SAPOTACEAE E O GÊNERO *MANILKARA*.

A família Sapotaceae conforme o APG IV (2016) é da ordem Ericales, contém 232

espécies presentes no Brasil, distribuída em 12 gêneros, sendo que 101 são endêmicas da região Norte como, por exemplo, *M. paraensis* (ZAPPI et al., 2015). O seu descritor mais conhecido é Pennington (1990), que descreve a família como árvores ou arbustos da floresta pantropical e predominante em florestas úmidas de várzea, embora possam ocorrer também em savanas. Apresenta folhas alternas, dificilmente opostas ou verticiladas, com presença ou ausência de estipulas. Suas inflorescências são cimosas, com um conjunto de flores pouco vistosas, unissexuadas ou bissexuadas actinomorfas, cálice variando em dialissépalo e gamossépalo, o número de estame é igual ou em dobro ao das pétalas, anteras rimosas, ovário supero. Seus frutos são do tipo baga e carnudos, contendo uma listra esbranquiçada indicando o local onde se anexava ao fruto (SOUZA; LORENZI; NETO, 2008).

*Manilkara* é o gênero mais importante dentro da família Sapotaceae, sendo maçaramduba o nome popularmente adotado para as espécies (CORRÊA; PENA, 1984; KUKACHKA, 1981). O gênero é descrito por Adason em 1763 e revisado por Pennington com novas coletas, na qual se observou o hábito arbóreo, muito raramente arbustivo com folhas em disposição em espiral, frequentemente com 1 fruto e várias sementes, e se distribuindo na América, Ásia e África, sendo que 30 espécies se encontram no neotrópico (PENNINGTON, 1990).

Dificuldades para identificação de indivíduos de *Manilkara* são relatados desde a obra da flora neotropica, na qual visou auxiliar na identificação correta do gênero, principalmente por conterem alguma semelhança taxonômica. Dessa forma, aqui serão apresentadas três espécies ocorrentes na Amazônia, que na exploração madeireira recebem uma só denominação similar por suas características similares (Tabela 1).

Tabela 1 - Nomes populares utilizados para cada espécie em estudo.

| <b>Nome científico</b>                           | <b>Nome popular</b>                           |
|--|---|
| <i>Manilkara elata</i> (Allemão ex Miq.) Monach. | Maçaranduba (ou Maçaranduba-verdadeira)       |
| <i>M. bidentata</i> (A.DC.) A. Chev.             | Balata, Maparajuba (ou Maparajuba-verdadeira) |
| <i>M. paraensis</i> (Huber) Standley             | Maçarandubinha, Maçaranduba da folha pequena  |

Fonte: (EMBRAPA, 2004)

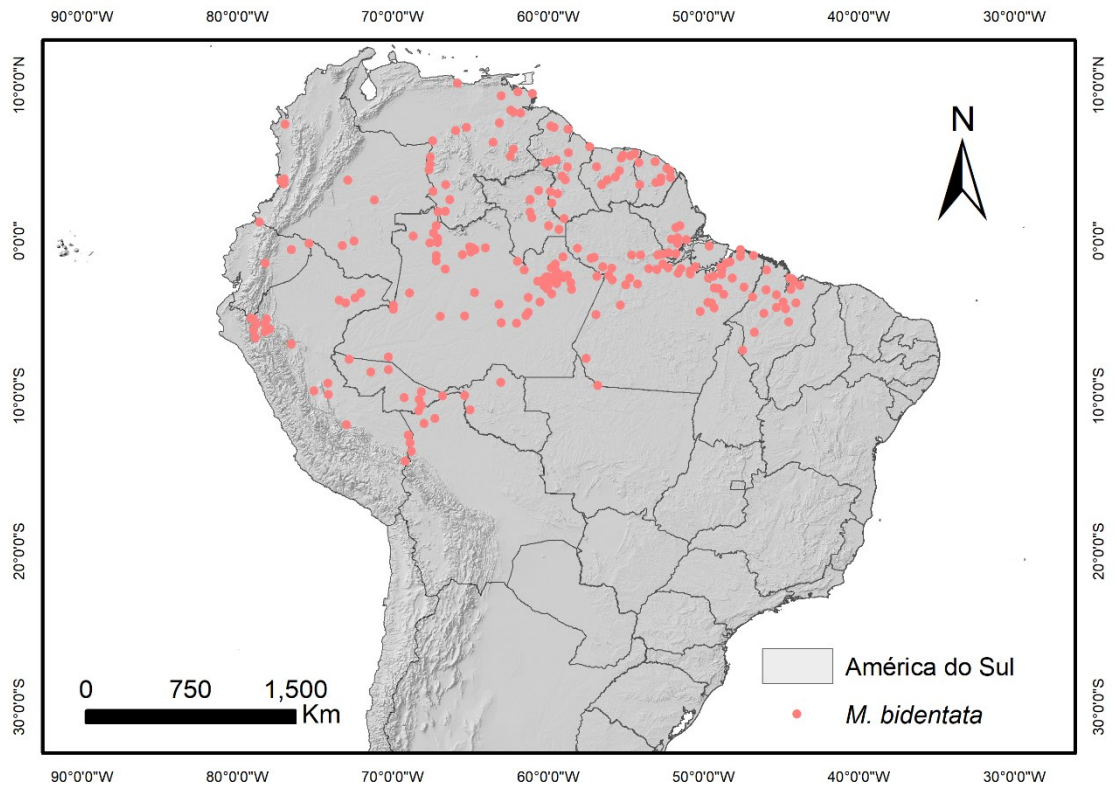
### 3.4 *MANILKARA BIDENTATA* (A.DC.) A.CHEV.

A espécie *Manilkara bidentata* (A.DC.) A.Chev. ocorre naturalmente na região norte e nordeste do Brasil. Seu domínio fitogeográfico é o Cerrado e Amazônia (Figura 3), em vegetações do tipo floresta de terra firme e restinga, no entanto, não é endêmica do Brasil



(ALVES-ARAÚJO, 2020).

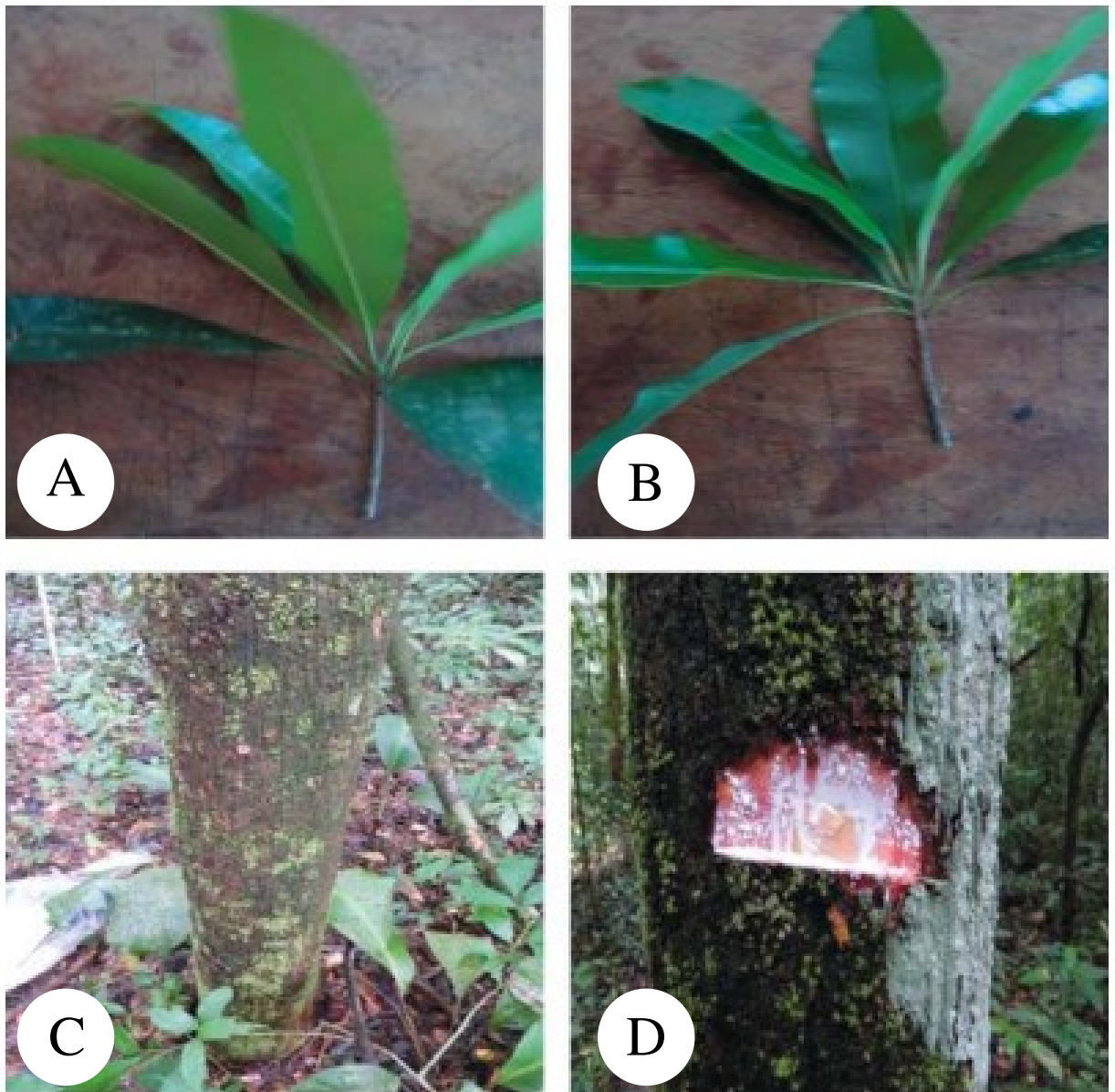
Figura 3 - Mapa de pontos de ocorrência de *M. bidentata* conforme disponíveis no banco de dados specieslink (<http://www.splink.org.br/>).



Fonte: Elaborado pelo autor

Na taxonomia é descrita como caule com lenticelas por Valente et al. (2013) , estípulas ausentes e em outros casos presentes. Folhas com ápice foliar agudo a arredondado, nervuras primárias na face foliar adaxial, pecíolo cilíndricos, superfície foliar glabra em ambas as faces, textura da lâmina coriácea (Figura 4). Inflorescência com número de flores de até 5 ou mais, e flor com ápices dos estaminódios simples ou inteiro, com o ovário glabro apresentando 6/10 lóculos e 1 a 2 sementes por fruto.

Figura 4 – Ramos, folhas na face abaxial e Folhas na face adaxial (a e b), Ritoma (c) e (d) Ritidoma com exsudato após corte, de *M. bidentata*.



Fonte: (REIS et al., 2015)

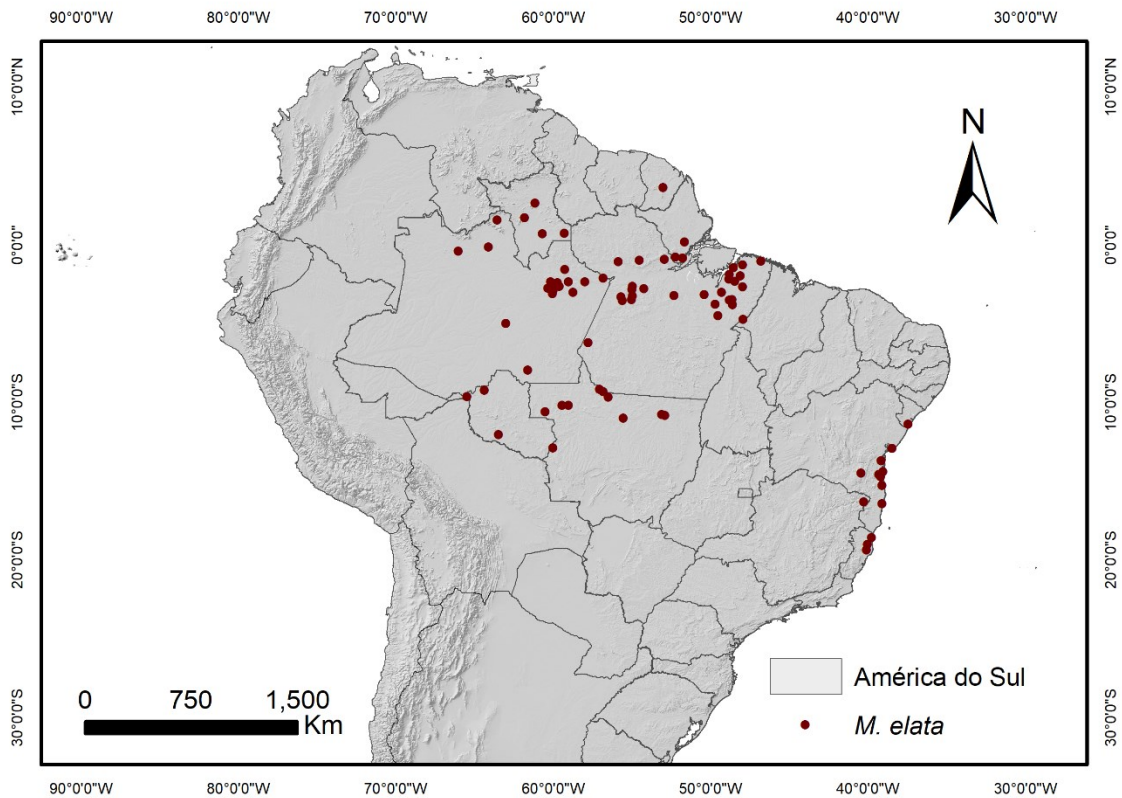
### 3.5 *MANILKARA ELATA* (ALLEMÃO EX MIQ.) MONACH.

*Manilkara elata* (Allemão ex Miq.) Monach., anteriormente chamada de *M. huberi*, é oficialmente a espécie que o mercado madeireiro tabela o valor. A mesma possui ampla distribuição, no Norte (Amazonas, Pará, Rondônia), Nordeste (Bahia), Centro-Oeste (Mato Grosso) e Sudeste (Espírito Santo), e também é encontrada em outros países da América do Sul e Central (Figura 5) (AZEVEDO et al., 2007; PENNINGTON, 1990). Além disso sua área de ocorrência está estabelecida em regiões de terra firme (FERREIRA et al., 2022).

Sua utilização está agregada à construção civil e naval, sendo um dos motivos para

estar em estado de perigo de extinção conforme a IUCN (IUCN, 2021a). Por ser de maior interesse ao mercado mais estudos já foram feitos acerca da mesma, por exemplo estudos genéticos no qual se compreendeu a necessidade de incluir uma conservação em *in situ* de grandes áreas e evitar a fragmentação por possuir uma estruturação genética espacial significativa a um raio de distância de 450 m (AZEVEDO et al., 2007).

Figura 5 - Mapa de ocorrência de *M. elata* conforme pontos de ocorrência disponíveis no banco de dados specieslink (<http://www.splink.org.br/>)



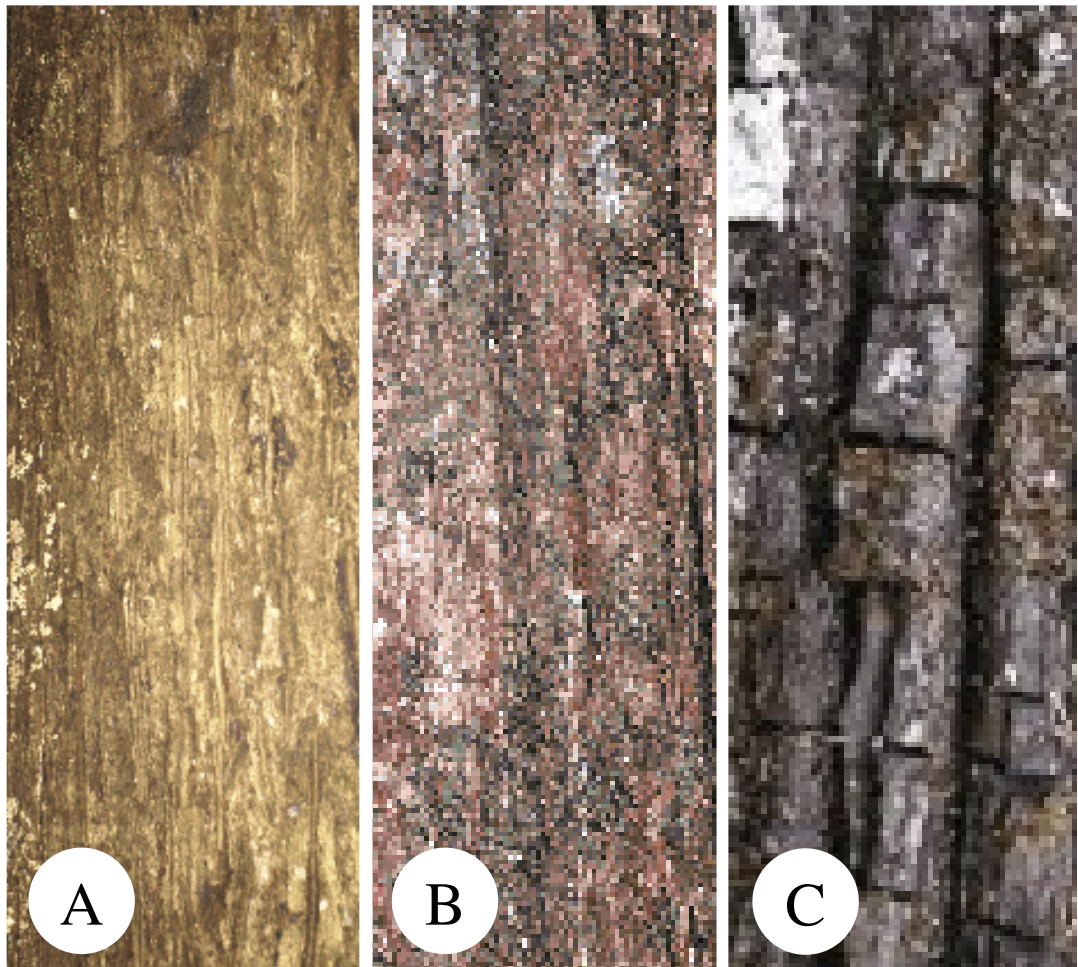
Fonte: Elaborado pelo autor

A *M. pubicarpa* se assemelha a *M. elata*, no entanto possui ovário pubescente. Azevedo (2007) e Amaral et al. (2009) descreveram *M. elata* como uma árvore de grande porte, que pode chegar até 50 metros de altura, com um tronco ereto e cilíndrico com coloração marrom-acinzentado a vermelho (Figura 6 e 7), com fissuras profundas, que está no grupo sucessional como secundária tardia ou clímax. Taxonomicamente o caule apresenta lenticelas, estípulas presentes, folhas com ápice arredondado ou obtuso, nervuras primárias na face foliar adaxial proeminentes, pecíolos cilíndricos, superfícies foliares glabras nas superfícies adaxial e com indumento nas superfícies abaxial, com textura da lâmina coriácea. Inflorescência com 5 flores, com ápices dos estaminódios leve ou fortemente bipartido, irregularmente divididos, e

ovário pubescente ou puberulentos, com a divisão de 6 e somente 1 semente por fruto. Suas sementes são consideradas recalcitrantes e com dormência, com cerca de 300 dias para germinação (BARROS et al., 2019).

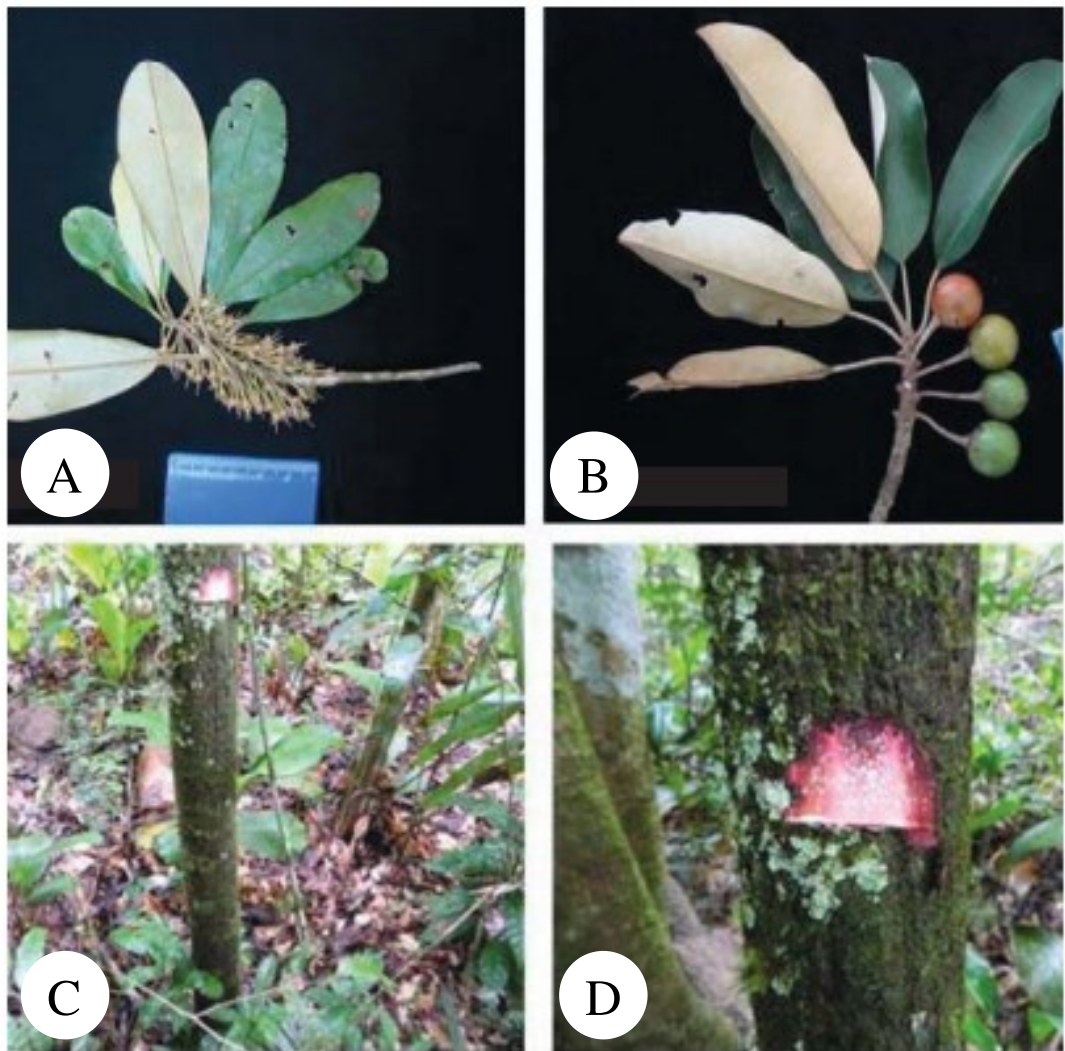
Estudo recentes sobre o tempo de crescimento de *M. elata* apontam que a mesma pode demorar aproximadamente 703 anos para chegar a um diâmetro a altura do peito (DAP) de 50 cm, em um indivíduo que já tenha 5 cm de DAP, e que o maior DAP encontrado de 98,2 cm leva, aproximadamente, 1455 anos para crescer (FERREIRA et al., 2022).

Figura 6 - Ritidoma de *M. elata* com variação de coloração (a) Ritidoma comum; (b-c) mais avermelhado.



Fonte: (EMBRAPA, 2004)

Figura 7 – As imagens retratam a espécie *M. elata* com (a) Ramos com inflorescência; (b) Ramos com fruto, e apresentação de seu (c) Ritidoma e (d) Coloração de ritidoma após corte.



Fonte: (REIS et al., 2015)

*M. elata* apresenta floração no período mais chuvoso (maio) e continua florindo até setembro, passando a iniciar a frutificação em julho até março do ano seguinte, podendo ter uma frequência de 3 a 4 anos, e finalmente sua dispersão começa a ser feita a partir de janeiro até o mês de março, sendo esse último processo feito por zoocoria (LEÃO et al., 2015; RATIARISON; FORGET, 2011), a espécie também apresenta sistema de alogamia, no qual demanda da presença de polinizadores para realizar o fluxo de pólen entre indivíduos (MAUÉS, 2007). Apesar da estrutura floral da espécie ser monoica, a autofecundação dentro da mesma flor é impedida porque a liberação de pólen e a maturação do estigma ocorrem em momentos diferentes (MAUES, 2004).

Os polinizadores da espécie são moscas da família Syrphidae, principalmente as do gênero *Ornidia* e *Eristalis*, bem como abelhas de médio e pequeno porte (e.g. gêneros *Melipona*, *Trigona*, *Aparatrigona*, *Plebeia*, *Exomalopsis*, *Tetrapedia*, *Augochloropsis*, *Pseudoaugochloropsis*, *Augochlora*), que podem forragear por até 2.000 m, reunindo duas

síndromes de polinização, miofilia e melitofilia (MAUÉS, 2007; PAZ et al., 2021). A intensa oferta localizada de flores permite aos polinizadores forragearem áreas restritas, pois é desnecessário procurar alimentos em longas distâncias. Azevedo et al. (2008) encontraram estruturas com uma distância de até 250 m e 300 m, o último feito com coeficiente de coancestria, o que demonstra que árvores próximas são geneticamente relacionadas com algum ancestral comum, e foi salientado que a partir de 1900 m havia valores negativos significativos, não sendo relacionadas geneticamente.

*M. elata* é conhecida como maçaranduba, no entanto existem várias espécies que recebem o mesmo nome popular, o que gera o corte de outros gêneros de forma igualitária, não sendo considerado que cada espécie tem sua dinâmica de população (EMBRAPA, 2004). A mesma é considerada de grande valor como recurso alimentar para a fauna, incluindo répteis, aves e mamíferos. Uhl e Vieira (1989), em estudos sobre impactos da extração de madeira em uma cidade no Pará, registraram que 30% das árvores exploradas eram de *M. elata*, e que a perda desse recurso pode resultar na extinção de algumas espécies de animais.

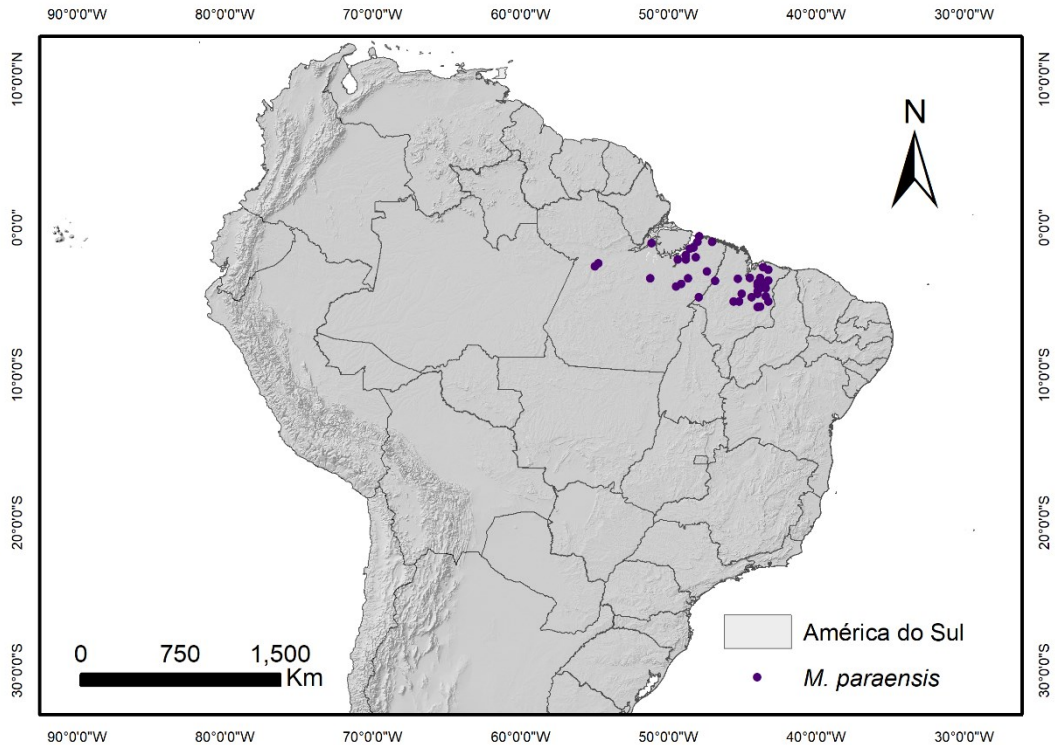
*M. elata* é considerada vulnerável conforme a lista de espécies ameaçadas do Pará e em perigo (EN) na Lista vermelha da IUCN (IUCN, 2021a; SEMAS, 2006).

Em um estudo de dinâmica de população de *M. elata* na Floresta Nacional do Tapajós, foi constatado que existe pouca dinâmica em densidade, frequência e dominância em um período de 26 anos após exploração, o que demonstra que a espécie precisa de um manejo específico, tratamentos silviculturais e deve demorar mais de 100 anos para restabelecer seu estoque inicial (CASTRO; CARVALHO, 2014).

### 3.6 *MANILKARA PARAENSIS* (HUBER) STANDL.

*Manilkara paraenses* (Huber) Standl. tem sua distribuição localizada apenas nos estados do Pará e Maranhão, no domínio fitogeográfico Amazônia (Figura 8). O tipo de floresta é de terra firme e restinga, sendo considerada também como endêmica do Brasil. Amaral (2009) fala sobre a vulnerabilidade da espécie na Reserva Florestal da Amafrutas, o qual vem enfrentando um processo intenso de perda de cobertura vegetal, no entanto é considerada como menos preocupante na Red List (IUCN, 2021b).

Figura 8 - Mapa de pontos de ocorrência de *M. paraensis* conforme disponíveis no banco de dados specieslink (<http://www.splink.org.br/>).

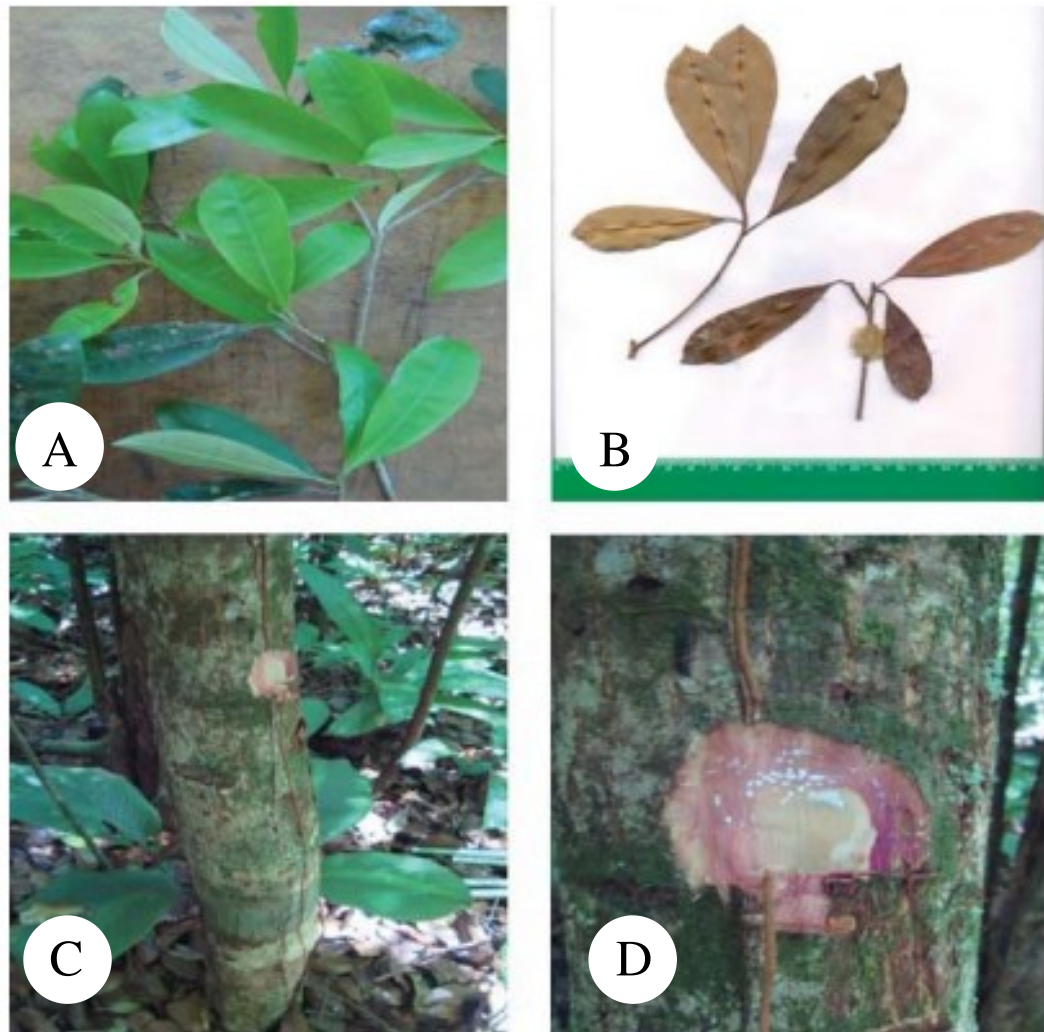


Fonte: Elaborado pelo autor

Conforme Pennington (1990), *M. paraensis* é muito próxima em características taxonômicas a *M. bidentata* e *M. triflora*, na qual só diferencia por apresentar na face abaxial das folhas maior pilosidade e por possuir uma corola mais longa. Ela está apresentada na sucessão como secundária tardia (AMARAL et al., 2009). Em estudo sobre o crescimento diamétrico em área natural, Souza, et al. (2014) obtiveram resultados positivos com o uso de processos de silvicultura, tendo aumento do diâmetro do fuste.

*M. paraensis* possui de 40 cm a 80 cm de DAP e é caracterizada por seu látex branco, caule com lenticelas e estipula presente (Figura 9). As folhas possuem ápices arredondados, com nervuras proeminentes na face adaxial, pecíolos canaliculados, superfície foliar glabra na adaxial e com indumento na abaxial, a textura da lâmina é cartácea. Inflorescência contém até 5 flores. Flor: O ápice dos estaminódios é leve ou fortemente bipartido, ovário glabro e com 6 lóculos, possuindo apenas uma semente.

Figura 9 – As imagens retratam a espécie *M. paraensis* com (a) ramos frescos e (b) ramos secos, e também seu (c) Ritidoma; (d) Ritidoma com exsudato.



Fonte: (REIS et al., 2010)

### 3.7 POTENCIAL MADEIREIRO

*M. elata* é utilizada para construção civil e naval, sua madeira apresenta grande dureza, e é a espécie com maior densidade entre as Sapotaceae, com variação de 0,9 e 1,04 g/cm<sup>3</sup> (FERRAZ et al., 2004). Dessa maneira, esse recurso é muito explorado, por exemplo no estado do Acre já foram explorados 1.446,857m<sup>3</sup>, 17.935,421m<sup>3</sup> no Amazonas, 876,395 m<sup>3</sup> no Amapá, 130,000 m<sup>3</sup> em Mato Grosso, 137.077,816m<sup>3</sup> no Pará, 2.551,061m<sup>3</sup> em Rondônia e 2.859,098m<sup>3</sup> em Roraima (CNCFLORA, 2012a). Os frutos também podem ser consumidos por humanos, mas só é vendido em comércios regionais (EMBRAPA, 2004). Em estudos para substituição de madeiras tradicionais usadas em instrumentos musicais para espécies menos usuais, *M. elata* foi considerada apropriada para substituição do ébano (*Diospyros tessellaria* Koenig ex Retz.)



(RIBEIRO et al., 2021).

*M. bidentata* é conhecida pela produção de balata, no qual pode ser usada na para um excelente látex ou para chiclete (TAKEDA et al., 2017), sua madeira contém alta densidade, e características físico-mecânicas que se assemelham com a de *M. huberi*, sendo usada para os mesmos fins, como torneados, tacos, embarcações, instrumentos musicais e cavacos para construir casas (ALMEIDA JR. et al., 2010). O fruto de *M. bidentata* também é comestível, com uma goma adocicada de cor castanho claro (MOHAMMED; WICKHAM, 2011).

*M. paraensis* se assimila de *M. bidentata*, podendo ser diferenciada por suas folhas que possuem maior pilosidade na parte abaxial (PENNINGTON, 1990). A espécie é visada pelo comercio madeireiro, em 2017 as estimativas disponibilizadas foram que cerca de 6,22 m<sup>3</sup> de madeira foram exploradas no estado do Amazonas, 842,232 m<sup>3</sup> no Pará e 270 m<sup>3</sup> em Rondônia (CNCFLORA, 2012b). Apesar de ter um bom número de indivíduos em determinadas áreas, como os autores, Francez et al. (2009) e Pinheiro et al. (2007) (3,5 indivíduos por hectare e 4,6 indivíduos por hectares respectivamente), a espécie pode sofrer fragmentações severas, impossibilitando o fluxo gênico e prejudicando as futuras gerações por subexploração (CNCFLORA, 2012b).

## REFERÊNCIAS

- ABRAM, N. J. et al. Connections of climate change and variability to large and extreme forest fires in southeast Australia. **Communications Earth and Environment**, v. 2, 2021.
- AHMAD, A.; AHMAD, S. R.; GILANI, H. Potential Tree Species Distribution Modelling Using MaxEnt Model for Resource Partitioning in Azad Jammu and Kashmir (AJK), Pakistan. **Concepts and Applications of Remote Sensing in Forestry**, p. 135–152, 2022.
- AIELLO-LAMMENS, M. E. et al. spThin: An R package for spatial thinning of species occurrence records for use in ecological niche models. **Ecography**, v. 38, n. 5, p. 541–545, 1 maio 2015.
- ALMEIDA JR., E. B. DE et al. DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DE FRUTOS E SEMENTES DE *Manilkara salzmannii* (SAPOTACEAE). **Floresta**, v. 40, n. 3, p. 535–540, 2010.
- ALMEIDA JR., E. B. Flora do Brasil - *Manilkara paraensis* (Huber) Standl. **Rodriguesia**, v. 66, p. 1058–1113, 2015.
- ALVES-ARAÚJO, A. **Flora do Brasil - *Manilkara bidentata* (A.DC.) A.Chev.** Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil/FichaPublicaTaxonUC/FichaPublicaTaxonUC.do?id=FB24785>>. Acesso em: 12 set. 2021.
- AMARAL, D. D. et al. Checklist da Flora Arbórea de Remanescentes Florestais da Região Metropolitana de Belém, Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Ciências Naturais**, v. 4, n. 3, p. 231–289, 2009.
- ANA. ANA, ABC e OTCA lançam Projeto Amazonas — Português (Brasil). Disponível em: <<https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias-antigas/ana-abc-e-otca-lanassam-projeto-amazonas.2019-03-15.7468836688>>. Acesso em: 12 set. 2021.
- ANDERSON, D.; KASPER, M.; TAIT, D. Southern Company Knew. **energyandpolicy.org**, p. 58, 2022.
- ANDERSON, R. P.; LEW, D.; PETERSON, A. T. Evaluating predictive models of species' distributions: Criteria for selecting optimal models. **Ecological Modelling**, v. 162, n. 3, p. 211–232, 2003.
- ANDRES MATA LLANA-PUERTO, C. et al. Rarity up in the mountain: Ecological niche modeling, phenology, and reproductive biology of the most commercialized *Masdevallia* species. **Journal for Nature Conservation**, v. 65, n. November 2021, 2022.
- ARAGÓN, L. E. Desenvolvimento amazônico em questão. <http://journals.openedition.org/rccs>, n. 107, p. 5–16, 1 set. 2015.
- ARRUDA, D.; CANDIDO, H. G.; FONSECA, R. **Amazon fires threaten Brazil's agribusiness.** **Science** American Association for the Advancement of Science, , 27 set. 2019.
- ASSIS, P. C.; FARIA, K. M. S.; BAYER, M. Unidades de Conservação e sua efetividade na proteção dos recursos hídricos na Bacia do Rio Araguaia. **Sociedade & Natureza**, v. 34, n. 1, p. 1–13, 2021.
- AZEVEDO, V. C. R. et al. Genetic structure and mating system of *Manilkara huberi* (Ducke) A. Chev., a heavily logged Amazonian timber species. **Journal of Heredity**, v. 98, n. 7, p. 646–654, 2007.
- AZEVEDO, V. C. R. et al. Variabilidade no cpDNA em *Manilkara huberi*, espécie sob manejo sustentável na Amazônia brasileira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 7, p. 859–867, 2008.
- BARBOSA-SILVA, R. G. et al. Preliminary placement and new records of an overlooked amazonian tree, *Christiana mennegae* (Malvaceae). **PeerJ**, v. 9, p. 1–18, 2021.
- BARROS, H. S. D. et al. Classificação fisiológica de sementes de maçaranduba quanto a tolerância à dessecação e ao armazenamento. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 62, p. 1–5, 2019.
- BARUA, R.; BARDHAN, N.; BANERJEE, D. Impact of the Polar Ice Caps Melting on Ecosystems and Climates. Em: [s.l: s.n.]. p. 722–735.
- BONNEUIL, C.; CHOQUET, P. L.; FRANTA, B. Early warnings and emerging accountability: Total's responses to global warming, 1971–2021. **Global Environmental Change**, v. 71, n. February, 2021.
- BOON, M. A climate of change? The oil industry and decarbonization in historical perspective. **Business History Review**, v. 93, n. 1, p. 101–125, 2019.

- BRANDÃO, D. O.; BARATA, L. E. S.; NOBRE, C. A. The Effects of Environmental Changes on Plant Species and Forest Dependent Communities in the Amazon Region. **Forests**, v. 13, n. 3, p. 1–20, 2022.
- BRANDO, P. M. et al. **The gathering firestorm in southern Amazonia**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.science.org>>.
- BRITO, B.; ALMEIDA, J.; GOMES, P. **Dez fatos essenciais sobre regularização fundiária na Amazônia**. [s.l: s.n.].
- BROENNIMANN, O. et al. Measuring ecological niche overlap from occurrence and spatial environmental data. **Global Ecology and Biogeography**, v. 21, n. 4, p. 481–497, 1 abr. 2012.
- BROWN, J. L. SDMtoolbox: A python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 5, n. 7, p. 694–700, 2014.
- CARROL, C. et al. **Global Change Biology - 2017 - Carroll - Scale-dependent complementarity of climatic velocity and environmental diversity.pdf**. , 2017.
- CASTRO, T. DA C.; CARVALHO, J. O. P. DE. Dinâmica da população de *Manilkara huberi* (Ducke) A. Chev. durante 26 anos após a exploração florestal em uma área de terra firme na Amazônia brasileira. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 1, p. 161–169, 30 mar. 2014.
- CNCFLORA. **Manilkara Huberi in Lista vermelha da Flora brasileira versão 2012**. Disponível em: <[http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Manilkara excelsa](http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Manilkara%20excelsa)>.
- CNCFLORA. **Manilkara paraensis in Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2** . Disponível em: <<http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Manilkara%20paraensis>>. Acesso em: 12 set. 2021b.
- CORRÊA, M. P.; PENA, L. DE A. **Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas (Livro, 1984) [WorldCat.org]**. Disponível em: <<https://www.worldcat.org/title/dicionario-das-plantas-uteis-do-brasil-e-das-exoticas-cultivadas/oclc/21880710>>. Acesso em: 12 set. 2021.
- DAVID, H. C. et al. A 20-year tree liberation experiment in the Amazon: Highlights for diameter growth rates and species-specific management. **Forest Ecology and Management**, v. 453, 1 dez. 2019.
- DEKA, M. A. Predictive Risk Mapping of Schistosomiasis in Madagascar Using Ecological Niche Modeling and Precision Mapping. **Tropical Medicine and Infectious Disease**, v. 7, n. 2, 2022.
- DOCHERTY, E. M. et al. Long-term drought effects on the thermal sensitivity of Amazon forest trees. 2022.
- ELITH, J. et al. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. **Ecography**, v. 29, n. 2, p. 129–151, abr. 2006.
- ELITH, J. et al. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. **Diversity and Distributions**, v. 17, n. 1, p. 43–57, 1 jan. 2011.
- ELITH, J.; KEARNEY, M.; PHILLIPS, S. The art of modelling range-shifting species. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 1, n. 4, p. 330–342, 1 dez. 2010.
- EMBRAPA. **Maçaranduba, Manilkara huberi. Espécies Arbóreas da Amazônia**, 2004. Disponível em: <[www.cpatu.embrapa.br/dendro/tudol.htm](http://www.cpatu.embrapa.br/dendro/tudol.htm)>. Acesso em: 12 set. 2021
- FENG, X. et al. A checklist for maximizing reproducibility of ecological niche models. **Nature Ecology and Evolution**, v. 3, n. 10, p. 1382–1395, 2019.
- FENG, X. et al. How deregulation, drought and increasing fire impact Amazonian biodiversity. **Nature**, 1 set. 2021.
- FERRAZ, I. D. K. et al. Características básicas para um agrupamento ecológico preliminar de espécies madeiras da floresta de terra firme da Amazônia Central. **Acta Amazonica**, v. 34, n. 4, p. 621–633, 2004.
- FERREIRA, B. M. L. et al. Recent trends in the fire dynamics in Brazilian Legal Amazon: Interaction between the ENSO phenomenon, climate and land use. **Environmental Development**, v. 39, n. May, p. 100648, 2021.
- FERREIRA, R. B. et al. Combining ecological niche models with experimental seed germination to estimate the effect of climate change on the distribution of endangered plant species in the Brazilian Cerrado. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 194, n. 4, 2022.
- Flora do Brasil 2020**. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil/PrincipalUC/PrincipalUC.do>>. Acesso em: 12 set. 2021.

- FRANKLIN, J.; MILLER, J. A. **Mapping species distributions: Spatial inference and prediction**. [s.l.: s.n.].
- FRANTA, B. Early oil industry knowledge of CO<sub>2</sub> and global warming Antarctic ice losses tracking high. v. 8, n. December, p. 1024–1025, 2018.
- GAIJI, S. et al. Content assessment of the primary biodiversity data published through GBIF network: Status, challenges and potentials. **Biodiversity Informatics**, v. 8, n. 2, p. 94–172, 9 jul. 2013.
- GIANNINI, T. C. et al. Artigo de Revisão / Review Paper Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies Current challenges of species distribution predictive modelling Resumo A modelagem preditiva tem sido aplicada para analisar a distribuição geográfica de e. **Rodriguésia**, v. 63, n. 3, p. 733–749, 2012.
- GILLESPIE, T. W. Policy, drought and fires combine to affect biodiversity in the Amazon basin. **Nature**, 1 set. 2021.
- GIRASE, SWATI. D. Deforestation: Main cause for global warning in current scenario. **International Journal of climate and Resource Economic Review**, v. 10, n. 4, p. 4, 2022.
- GRAHAM, C. H.; HIJMANS, R. J. A comparison of methods for mapping species ranges and species richness. **Global Ecology and Biogeography**, v. 0, n. 0, p. 060831043455001-???, 31 ago. 2006.
- GUILHERME, D. R. et al. Direct and indirect effects of geographic and environmental factors on ant beta diversity across Amazon basin. **Oecologia**, v. 198, n. 1, p. 193–203, 2022.
- HABIBULLAH, M. S. et al. Impact of climate change on biodiversity loss: global evidence. **Environmental Science and Pollution Research**, 3 ago. 2021.
- HANDMER, J.; HONDA, Y.; ARNELL, N. Changes in impacts of climate extremes: human systems and ecosystems. n. April, 2012.
- HAUSFATHER, Z. **Explainer: How ‘Shared Socioeconomic Pathways’ explore future climate change - Carbon Brief**. Disponível em: <<https://www.carbonbrief.org/explainer-how-shared-socioeconomic-pathways-explore-future-climate-change/>>. Acesso em: 2 fev. 2023.
- HENGL, T. et al. SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. **PLOS ONE**, v. 12, n. 2, p. e0169748, 1 fev. 2017.
- HIJAMANS, R. J. et al. Sistema de Información Geográfica para el Análisis de Datos de Distribución de Especies. **DIVA-GIS**, v. 4, p. 1–83, 2004.
- HILL, M. P.; TERBLANCHE, J. S. Niche Overlap of Congeneric Invaders Supports a Single-Species Hypothesis and Provides Insight into Future Invasion Risk: Implications for Global Management of the *Bactrocera dorsalis* Complex. **PLOS ONE**, v. 9, n. 2, p. e90121, 27 fev. 2014.
- HIRZEL, A. H. et al. Evaluating the ability of habitat suitability models to predict species presences. **Ecological Modelling**, v. 199, n. 2, p. 142–152, 2006.
- HOGAN, J. A. et al. Solar radiation and soil moisture drive tropical forest understory responses to experimental and natural hurricanes. **Ecosphere**, v. 13, n. 7, p. e4150, 1 jul. 2022.
- HOLMGREN, M. et al. Effects of interannual climate variability on tropical tree cover. **Nature Climate Change** 2013 3:8, v. 3, n. 8, p. 755–758, 2 jun. 2013.
- IBGE. **Brasil | Cidades e Estados | IBGE**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados>>. Acesso em: 11 fev. 2023.
- IEA. **Combustíveis e Tecnologias - IEA**. Disponível em: <<https://www.iea.org/fuels-and-technologies>>. Acesso em: 6 fev. 2023.
- IGAWA, T. K.; DE TOLEDO, P. M.; ANJOS, L. J. S. Climate change could reduce and spatially reconfigure cocoa cultivation in the Brazilian Amazon by 2050. **PLoS ONE**, v. 17, n. 1 January, p. 1–14, 2022.
- IMAZON. **Amazônia perdeu quase 3 mil campos de futebol por dia de floresta em 2022, maior desmatamento em 15 anos - Imazon**. Disponível em: <<https://imazon.org.br/imprensa/amazonia-perdeu-quase-3-mil-campos-de-futebol-por-dia-de-floresta-em-2022-maior-desmatamento-em-15-anos/>>. Acesso em: 11 fev. 2023.
- IPCC. **AR5 SYR Glossary – English — IPCC**. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/ar5-syr-glossary-english/>>. Acesso em: 2 fev. 2023.
- IPCC. **AR6 Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change — IPCC**. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-3/>>. Acesso em: 2 fev. 2023.
- IUCN. **Manilkara elata**. Disponível em: <<https://www.iucnredlist.org/species/35609/9943876>>. Acesso em: 12 set. 2021a.

- IUCN. **Manilkara paraensis**. Disponível em: <<https://www.iucnredlist.org/species/35617/9945001>>. Acesso em: 12 set. 2021b.
- IUCN. **IUCN Red List of Threatened Species**. Disponível em: <<https://www.iucnredlist.org/search?query=manilkara&searchType=species>>. Acesso em: 10 fev. 2023.
- IV, A. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 181, n. 1, p. 1–20, 1 maio 2016.
- JACOBI, P. R.; BUCKERIDGE, M.; RIBEIRO, W. C. Governança da água na Região Metropolitana de São Paulo - desafios à luz das mudanças climáticas. **Estudos Avancados**, v. 35, n. 102, p. 209–226, 2021.
- KARGER, D. N. et al. Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. **Scientific Data** 2017 4:1, v. 4, n. 1, p. 1–20, 5 set. 2017.
- KASS, J. M. et al. Wallace 2: a Shiny App for Modeling Species Niches and Distributions Redesigned To Facilitate Expansion Via Module Contributions. **Ecography**, p. 1–9, 2023.
- KRAUSMANN, F. et al. Annual Review of Environment and Resources Material Flow Accounting: Measuring Global Material Use for Sustainable Development. 2017.
- KUKACHKA, B. F. Wood anatomy of the neotropical Sapotaceae. XXIII, Gayella. **Res. Pap. FPL-374. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1981: 3 pages**, v. 374, 1981.
- KULAKHMETOVA, G. A. Географические науки. **BULLETIN OF SCIENCE AND EDUCATION**, v. 1, n. 121, p. 61–67, 2022.
- KULEVICZ, R. A. et al. Análise Da Vulnerabilidade Genética Das Florestas E Argumentos Para Redução Do Desmatamento. **Ambiente & Sociedade**, v. 23, p. 3–18, 2020.
- LACERDA, A. E. B. DE; NIMMO, E. R. Can we really manage tropical forests without knowing the species within? Getting back to the basics of forest management through taxonomy. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 5, p. 995–1002, 20 fev. 2010.
- LAPOLA, D. M. et al. The drivers and impacts of Amazon forest degradation. **Science**, v. 379, n. 6630, 2023.
- LEÃO, M. et al. Certificação da produção de sementes e mudas de espécies florestais nativas. **Pomar de sementes de espécies florestais nativas**, p. 65–82, 2015.
- LEITE, J. C. Controvérsias científicas ou negação da ciência? A agnotologia e a ciência do clima. **Scientiae Studia**, v. 12, n. 1, p. 179–189, 2014.
- LIMA, J.; FILHO, A. CARACTERÍSTICAS ECOLÓGICAS E SILVICULTURAIS DE MAPARAJUBA (*Manilkara paraensis* Standl.) E MAÇARANDUBA (*Manilkara huberi* (Ducke) Standl.) EM UMA FLORESTA PRIMÁRIA DE TERRA FIRME DO AMAPÁ. **EMBRAPA Solos**, v. 4, n. 21, p. 274–5291, 2000.
- LINDNER, M. et al. Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 4, p. 698–709, 2010.
- LIU, C.; NEWELL, G.; WHITE, M. On the selection of thresholds for predicting species occurrence with presence-only data. **Ecology and Evolution**, v. 6, n. 1, p. 337–348, 1 jan. 2016.
- LOCOSSELLI, G. M. et al. Global tree-ring analysis reveals rapid decrease in tropical tree longevity with temperature. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 117, n. 52, p. 33358–33364, 2020.
- MACHADO, R. M. et al. Population structure and intraspecific ecological niche differentiation point to lineage divergence promoted by polyploidization in *Psidium cattleianum* (Myrtaceae). **Tree Genetics and Genomes**, v. 18, n. 3, 2022.
- MARCHIORO, C. A.; SANTOS, K. L.; SIMINSKI, A. Present and future of the critically endangered *Araucaria angustifolia* due to climate change and habitat loss. **Forestry**, v. 93, n. 3, p. 401–410, 2021.
- MAUES, M. M. **Polinização de uma espécie emergente na Floresta Nacional do Tapajós - PA: *Manilkara huberi* (Ducke) Standley Sapotaceae.** - Portal Embrapa. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/408486/polinizacao-de-uma-especie-emergente-na-floresta-nacional-do-tapajos---pa-manilkara-huberi-ducke-standley-sapotaceae>>. Acesso em: 12 set. 2021.
- MAUÉS, M. M. **Sistema de Polinização no dossel de uma floresta ombrófila densa na Amazônia.**

- Anais do VII congresso de ecologia do Brasil. **Anais...**Caxumba: 2007. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/100531/1/3430.pdf>>
- MAXWELL, S., FULLER, R., BROOKS, T., & WATSON, J. The ravages of guns, nets and bulldozers. **Nature**, v. 536, p. 143–145, 2016.
- MOHAMMED, M.; WICKHAM, L. D. Quality changes in balata (*Manilkara bidentata*) fruit as affected by modified atmosphere packaging during refrigerated storage. **Acta Horticulturae**, v. 906, p. 63–66, 1 set. 2011.
- MOMMERS, J. **A Crack in the Shell**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.>>. Acesso em: 10 fev. 2023.
- NOBRE, C. A. et al. Land-use and climate change risks in the amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 113, n. 39, p. 10759–10768, 2016.
- OLIVEIRA, B. F. ALVES DE et al. Deforestation and climate change are projected to increase heat stress risk in the Brazilian Amazon. **Communications Earth and Environment**, v. 2, n. 1, p. 1–8, 2021.
- OLSON, D. M. et al. Terrestrial ecoregions of the world: A new map of life on Earth. **BioScience**, v. 51, n. 11, p. 933–938, 2001.
- OMETTO, J. P.; AGUIAR, A. P. D.; MARTINELLI, L. A. Amazon deforestation in Brazil: Effects, drivers and challenges. **Carbon Management**, v. 2, n. 5, p. 575–585, out. 2011.
- PARREIRAS, O. M. U. DE S. A regulamentação dos jardins botânicos brasileiros: ampliando as perspectivas de conservação da biodiversidade 1. **Rodriguesia**, v. 54, p. 35–54, 2003.
- PAZ, F. S. et al. Edible Fruit Plant Species in the Amazon Forest Rely Mostly on Bees and Beetles as Pollinators. **Journal of Economic Entomology**, v. 114, n. 2, p. 710–722, 2021.
- PENNINGTON, T. D. **Organization for Flora Neotropica Sapotaceae**. [s.l.: s.n.].
- PETERSON, A. T. et al. Ecological Niches and Geographic Distributions (MPB-49). **Ecological Niches and Geographic Distributions (MPB-49)**, 20 nov. 2011.
- PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological Modelling**, v. 190, p. 231–259, 2006.
- PINHEIRO, F. A. S. et al. Morfofisiologia E Anatomia Foliar De *Hippeastrum Stylosum* Herb. Em Diferentes Condições De Luz. **Estudos Dendrológicos e Ecológicos na Amazônia: oportunidades e experiências**, p. 135–150, 2022.
- PINHEIRO, K. A. O. et al. Fitossociologia De Uma Área De Preservação Permanente No Leste Da Amazônia: Indicação De Espécies Para Recuperação De Áreas Alteradas. **Floresta**, v. 37, n. 2, p. 175–187, 2007.
- PORFIRIO, L. L. et al. Improving the use of species distribution models in conservation planning and management under climate change. **PLoS ONE**, v. 9, n. 11, p. 1–21, 2014.
- QUINTANA, Y. G. et al. Seed viability, germination and seedling quality patterns of three forest species for restoration in Amazonian conditions. **Enfoque UTE**, p. 18–32, 2022.
- RAES, N.; TER STEEGE, H. **A Null-Model for Significance Testing of Presence-Only Species Distribution Models on JSTOR**. Disponível em: <[https://www.jstor.org/stable/30244521#metadata\\_info\\_tab\\_contents](https://www.jstor.org/stable/30244521#metadata_info_tab_contents)>. Acesso em: 2 fev. 2023.
- RATIARISON, S.; FORGET, P. M. Fruit availability, frugivore satiation and seed removal in 2 primate-dispersed tree species. **Integrative Zoology**, v. 6, n. 3, p. 178–194, set. 2011.
- RATTNER, H. Meio ambiente e desenvolvimento sustentável: o mundo na encruzilhada da História. **Revista Espaço Acadêmico**, v. 14, p. 2–7, 2002.
- REES, W. E. Ecological economics for humanity's plague phase. **Ecological Economics**, v. 169, n. July 2019, p. 106519, 2020.
- REGOS, A. et al. Mainstreaming remotely sensed ecosystem functioning in ecological niche models. **Remote Sensing in Ecology and Conservation**, v. 8, n. 4, p. 431–447, 2022.
- REIS, L. P. et al. Avaliação do potencial madeireiro na Floresta Nacional do Tapajós após 28 anos da exploração florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 64, p. 265, 27 out. 2010.
- REIS, L. P. et al. Sapotaceae em uma Floresta de Terra Firme no Município de Moju, Pará. **Embrapa Amazônia Oriental**, p. 57, 2015.
- RIBEIRO, R. F. et al. Experimental investigation on variability in properties of Amazonian wood species Muiracatiara (*Astronium lecointei*) and Maçaranduba (*Manilkara huberi*) focusing guitar

- fingerboards manufacturing. **Journal of Bioresources and Bioproducts**, v. 6, n. 1, p. 33–38, 2021.
- RSTUDIO. **Download the RStudio IDE - RStudio**. Disponível em: <<https://support-rstudio.com/netlify.app/products/rstudio/download/>>. Acesso em: 11 fev. 2023.
- SAATCHI, S. et al. Modeling distribution of Amazonian tree species and diversity using remote sensing measurements. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 5, p. 2000–2017, 2008.
- SAUPE, E. E. et al. Reconstructing ecological niche evolution when niches are incompletely characterized. **Systematic Biology**, v. 67, n. 3, p. 428–438, 2018.
- SCHOENER, T. W. Nonsynchronous Spatial Overlap of Lizards in Patchy Habitats. **Ecology**, v. 51, n. 3, p. 408–418, 1 maio 1970.
- SEMAS. **Espécies ameaçadas**. , 2006.
- SILVA, L. B. et al. How future climate change and deforestation can drastically affect the species of monkeys endemic to the eastern Amazon, and priorities for conservation. **Biodiversity and Conservation**, v. 31, n. 3, p. 971–988, 2022.
- SILVA, T. R. et al. Species distribution models of rare tree species as an evaluation tool for synergistic human impacts in the Amazon rainforest. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 40, n. 4, p. 963–971, 2017.
- SMITH, C.; BAKER, J. C. A.; SPRACKLEN, D. V. Tropical deforestation causes large reductions in observed precipitation. **Nature**, v. 615, n. 7951, p. 270–275, 2023.
- SOBERÓN, J.; OSORIO-OLVERA, L.; PETERSON, T. Diferencias conceptuales entre modelación de nichos y modelación de áreas de distribución. **Revista Mexicana de Biodiversidad**, v. 88, n. 2, p. 437–441, 1 jun. 2017.
- SOLTIS, P. S.; NELSON, G.; JAMES, S. A. **Green digitization: Online botanical collections data answering real-world questions: Online. Applications in Plant Sciences** John Wiley and Sons Inc., , 1 fev. 2018.
- SOUZA, C. M. et al. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, 2020.
- SOUZA, D. V. et al. Growth of *Manilkara huberi* and *Manilkara paraensis* after logging and silvicultural treatments in the municipality of Paragominas, Pará, Brazil. **Floresta**, v. 44, n. 3, p. 485–496, 2014.
- SOUZA, P. R. P. DE. Os Princípios Do Direito Ambiental Como Instrumentos De Efetivação Da Sustentabilidade Do Desenvolvimento Econômico. **Veredas do Direito: Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável**, v. 13, n. 26, p. 289–317, 2016.
- SOUZA, V. C.; LORENZI, H.; NETO, A. C. R. **Botânica sistemática : guia ilustrado para identificação das famílias de Fanerógamas nativas e exóticas no Brasil em APG II / Vinicius Castro Souza, Harri Lorenzi ; revisão técnica, Antonio Campos Rocha Neto ... et al. | Smithsonian Institution**. [s.l.: s.n.].
- STEFFEN, W. et al. Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 115, n. 33, p. 8252–8259, 2018.
- SUPRAN, G.; RAHMSTORF, S.; ORESKES, N. Assessing ExxonMobil's global warming projections. **Science (New York, N.Y.)**, v. 379, n. 6628, p. eabk0063, 2023.
- TAKEDA, P. S. et al. Morphological of fruit, seed, seedling and saplings of two species of the *Manilkara* Adans. **Morfologia do fruto, semente, plântula e planta jovem de duas espécies de Manilkara Adans** 1\* 2 3 4. n. 1, p. 48–53, 2017.
- TAKOLA, E.; SCHIELZETH, H. Hutchinson's ecological niche for individuals. **Biology and Philosophy**, v. 37, n. 4, p. 1–21, 2022.
- THUILLER, W. et al. BIOMOD – a platform for ensemble forecasting of species distributions. **Ecography**, v. 32, n. 3, p. 369–373, 1 jun. 2009.
- TINOCO, B. A. et al. Distribution, ecology and conservation of an endangered Andean hummingbird: The Violet-throated Metaltail (*Mettallura baroni*). **Bird Conservation International**, v. 19, n. 1, p. 63–76, 2009.
- TITTENSOR, D. P. et al. Predicting global habitat suitability for stony corals on seamounts. **Journal of Biogeography**, v. 36, n. 6, p. 1111–1128, jun. 2009.
- UHL, C.; VIEIRA, I. C. G. Ecological Impacts of Selective Logging in the Brazilian Amazon: A Case Study from the Paragominas Region of the State of Pará. **Biotropica**, v. 21, n. 2, p. 98, jun. 1989.
- UNITED, T.; ENVIRONMENT, N. Timeline – highlights of IPCC history. p. 2006–2007, 2007.

- VALE, M. M. et al. The COVID-19 pandemic as an opportunity to weaken environmental protection in Brazil. **Biological Conservation**, v. 255, n. February, 2021.
- VALENTE, D. M.; SOUSA, J. DOS S. DE; BASTOS, M. DE N. C. Estudo taxonômico de Sapotaceae Juss. do litoral Paraense. **Acta Amazonica**, v. 43, n. 2, p. 161–168, 2013.
- VELAZCO, S. J. E. et al. Using worldwide edaphic data to model plant species niches: An assessment at a continental extent. **PLOS ONE**, v. 12, n. 10, p. e0186025, 1 out. 2017.
- WALKER, R. T. Collision Course: Development Pushes Amazonia Toward Its Tipping Point. <https://doi.org/10.1080/00139157.2021.1842711>, v. 63, n. 1, p. 15–25, 2020.
- WALSH, B. S. et al. The Impact of Climate Change on Fertility. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 34, n. 3, p. 249–259, 2019.
- WANDELER, P.; HOECK, P. E. A.; KELLER, L. F. **Back to the future: museum specimens in population genetics**. **Trends in Ecology and Evolution**, dez. 2007.
- WIENS, J. A. et al. Niches, models, and climate change: Assessing the assumptions and uncertainties. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 106, n. SUPPL. 2, p. 19729–19736, 2009.
- XIE, D. et al. Effects of climate change on richness distribution patterns of threatened conifers endemic to China. **Ecological Indicators**, v. 136, p. 108594, 2022.
- YEH, S. W. et al. Changes in mixed layer depth under climate change projections in two CGCMs. **Climate Dynamics**, v. 33, n. 2–3, p. 199–213, 2009.
- ZALLES, V. et al. **Rapid expansion of human impact on natural land in South America since 1985** *Sci. Adv.* [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://advances.sciencemag.org/>>.
- ZAPPI, D. C. et al. Growing knowledge: an overview of Seed Plant diversity in Brazil. **The Brazil Flora Group Rodriguésia**, v. 66, n. 4, p. 1085–1113, 2015.
- ZHANG, W. et al. Ecosystem structural changes controlled by altered rainfall climatology in tropical savannas. **Nature Communications**, v. 10, n. 1, p. 671–671, 8 fev. 2019.



1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24

ARTIGO\*

**DISTRIBUIÇÃO ATUAL E FUTURA DE ESPÉCIES DO GÊNERO *MANILKARA*  
ADANS. DE IMPORTÂNCIA MADEIREIRA NA REGIÃO AMAZÔNICA**

Elaborado de acordo com as diretrizes da revista Forest Ecology and Management

## 25 INTRODUÇÃO

26 A temperatura na Amazônia brasileira no último século aumentou de 1 a 1,5 °C  
27 (NOBRE et al., 2016), potencializada em consequência dos desmatamentos e incêndios  
28 florestais, que na década de 2000 destruíram cerca de 85.000 km<sup>2</sup> de florestas (BRANDO et al.,  
29 2020). O impacto direto foi a alteração na área de distribuição de mais de 13 mil espécies de  
30 plantas e vertebrados estudados nesse período, além de aumentar a porcentagem de espécies  
31 ameaçadas de extinção da IUCN (GILLESPIE, 2021). Essa situação é agravada em espécies  
32 que apresentam valor comercial, que têm sido usadas de forma exploratória, aumentando o grau  
33 de ameaça a que essas espécies estão submetidas (MAXWELL, S., FULLER, R., BROOKS,  
34 T., & WATSON, 2016).

35 Esse cenário leva a preocupações relacionadas ao ponto de inflexão (*tipping point*) do  
36 ecossistema natural, ou seja, a partir de um determinado momento não existe mais retorno dos  
37 impactos causados, uma hipótese já retratada para a Amazônia em um caminho que levará a  
38 savanização do Bioma (WALKER, 2020). Para conhecer os efeitos dessas mudanças e  
39 estabelecer estratégias para minimizar o impacto delas, é necessário entender as consequências  
40 desses impactos sobre a ocorrência e distribuição das espécies (REGOS et al., 2022).

41 Nesse sentido, algumas metodologias foram estabelecidas para dar suporte as decisões.  
42 Entre elas a modelagem de nicho, que associa pontos de ocorrência e condições ambientais  
43 (bioclimáticas, solo e topografia) em cenários otimistas e pessimistas, no qual permitem a  
44 produção de modelos de distribuição geográficas potenciais das espécies (FENG et al., 2019).  
45 Essa abordagem tem sido utilizada em diversas espécies arbóreas como *Araucaria angustifolia*  
46 (MARCHIORO; SANTOS; SIMINSKI, 2021), *Pinus* sp., *Abies pindrow*, *Olea ferruginea*  
47 (AHMAD; AHMAD; GILANI, 2022).

48 Feeley e Silman (2010) falam sobre um vazio de dados de modelagem de distribuição  
49 de espécies para florestas tropicais, e como os estudos dessas espécies são importantes na

50 perspectiva das mudanças climáticas. Hoje alguns estudos sobre espécies de porte arbóreo do  
51 bioma Amazônia já vêm sendo feito, por exemplo, as espécies raras *Chrysophyllum*  
52 *colombianum* (Aubrév.) TD Penn. (Sapotaceae), *Xylopiia benthamii* RE Fr. (Annonaceae)  
53 (SILVA et al., 2017); e algumas com o uso madeireiro bem difundidos *Calophyllum brasiliense*  
54 (Clusiaceae), *Carapa guianensis* (Meliaceae), *Virola surinamensis* (Myristicaceae) e  
55 *Manilkara bidentata* (Sapotaceae), (SAATCHI et al., 2008). As espécies do gênero *Manilkara*  
56 vem a enfrentar desafios na região Amazônica, por serem espécies de alto valor agregado no  
57 mercado madeireiro (inter)nacional (FERREIRA et al., 2021).

58         Esse trabalho tem por objetivo avaliar a distribuição e sobreposição de nicho de  
59 *Manilkara bidentata* (A.DC.) A.Chev., *Manilkara elata* (Allemão ex Miq.) Monach., e  
60 *Manilkara paraensis* (Huber) Standl., espécies de valor comercial madeireiro na Amazônia, na  
61 qual podem sofrer efeitos negativos sobre a sua distribuição por modificações do clima,  
62 podendo haver contração das áreas atuais. Essa abordagem visa fornecer uma previsão de  
63 probabilidade sobre áreas potenciais de ocorrência ou refúgios climáticos com base em dados  
64 de nicho ecológico.

## 65             MATERIAIS E MÉTODOS

### 66             Área de estudo

67         A área de estudo é o bioma Amazônia, que compreende mais de 7 milhões de km<sup>2</sup>,  
68 localizado em 8 países (Brasil, Bolívia, Peru, Equador, Colômbia, Venezuela, Guiana e  
69 Suriname) e um departamento francês (Guiana Francesa) (Figura 10). A Amazônia compreende  
70 uma das maiores florestas tropicais úmidas, maior bacia hidrográfica da terra, e contém uma  
71 das maiores biodiversidades e riquezas de minérios do mundo (ANA, 2019; ARAGÓN, 2015).

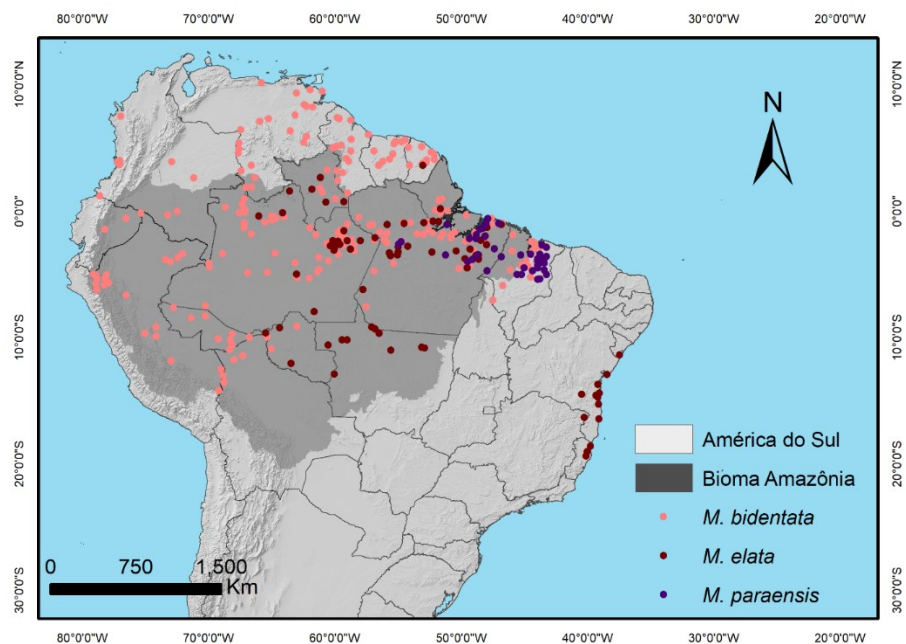
### 72             Obtenção dos registros de ocorrência

73         Foram coletados registros de ocorrência georreferenciadas de *M. elata*, *M. paraensis*, e  
74 *M. bidentata*, por meio de consulta às bases de dados digitais de herbários, sendo eles o

75 SpeciesLink (<http://www.splink.org.br/>), Jabot (<http://jabot.jbrj.gov.br/>) e Global Biodiversity  
 76 Information Facility (GBIF.org (26 de agosto de 2021) Download da ocorrência do GBIF  
 77 <https://doi.org/10.15468/dl.wxs426>) de todos os anos disponíveis. Os registros passaram por  
 78 uma filtragem dos dados a no mínimo de 20 km utilizando o pacote Sphthn (AIELLO-  
 79 LAMMENS et al., 2015), em seguida passou por uma verificação cuidadosa quanto à sua  
 80 correta identificação e precisão geográfica, esse processo consistiu na conferência do  
 81 identificador da planta podendo ele ser um especialista em taxonomia ou áreas afins (a coleta  
 82 não foi descartada em caso afirmativo, se ela for também positiva para segunda pergunta) e se  
 83 faz sentido que a planta ocorra no local georreferenciado. Para tirar essas dúvidas verificou-se  
 84 as abas coletor, área de coleta e as notas (um relato mais livre sobre o local de coleta, onde pode  
 85 se registrar o fato de a planta ser cultivada, se ela for cultivada será retirada da pesquisa). Todos  
 86 os registros foram verificados de forma individual, sendo um dos processos mais importantes  
 87 da pesquisa, pois, qualquer erro pode gerar falsas respostas dos modelos.

88 Figura 10 - Mapa de distribuição atual das espécies em estudo, com pontos de  
 89 ocorrência de cada espécie.

90



91

(Fonte: Elaborado pelo autor, 2022)

### Variáveis ambientais

Foram utilizadas variáveis climáticas, topográficas e de características físicas do solo, que são importantes para caracterizar o nicho de espécies vegetais terrestres (VELAZCO et al., 2017). As variáveis bioclimáticas foram obtidas por meio da base de dados do WorldClim 2.1 (<https://wordclim.org/>) em uma resolução de 2,5 arcminutos (Tabela 3). Os dados climáticos foram compostos por um total de 9 variáveis, representando médias anuais e sazonalidade e fatores ambientais extremos (KARGER et al., 2017). As variáveis físicas do solo foram obtidas por meio do banco de dados SoilGrids (HENGL et al., 2017), com uma resolução de 0,75 segundos de arco (c. 250 m; <ftp://ftp.soilgrids.org/>) e ampliado para a mesma resolução que as variáveis climáticas.

Tabela 2 - Variáveis bioclimáticas e solo disponibilizadas pelo Worldclim e Soilgrids utilizadas no estudo, após filtragem das variáveis com maior contribuição de dados não repetidos.

| <b>Variáveis</b>        |  |
|-------------------------|--|
| BIO1                    | Temperatura média anual (°C)                           |
| BIO4                    | Sazonalidade de temperatura (desvio padrão × 100)      |
| BIO5                    | Temperatura máxima do mês mais quente (°C)             |
| BIO6                    | Temperatura mínima do mês mais frio (°C)               |
| BIO7                    | Faixa anual de temperatura (BIO5-BIO6) (°C)            |
| BIO12                   | Precipitação anual (mm)                                |
| BIO13                   | Precipitação do mês mais úmido (mm)                    |
| BIO14                   | Precipitação do mês mais seco (mm)                     |
| BIO15                   | Sazonalidade de precipitação (coeficiente de variação) |
| Topográfica             | Elevação (m)   |
| Características do solo | Teor de silte (%)                                      |
| Características do solo | Teor de areia (%)                                      |
| Características do solo | Teor de argila (%)                                     |
| Características do solo | Profundidade (m)                                       |

(Fonte: Elaborado pelo autor 2022)

Para as predições futuras foram utilizadas as camadas bioclimáticas de 2021-2040 e

109 2061-2080, e os cenários SSPs 245 e 585, em resolução de 2,5 minutos, para oito modelos  
110 climáticos globais (Global Climate Models - GCMs) disponíveis no Worldclim  
111 (<https://wordclim.org/>): BCC-CSM1-1 (Beijing Climate Center Climate System Model),  
112 CCSM4 (Community Climate System Model), HadGEM2-ES (Met Office Unified Model),  
113 INMCM4 (Institute of Numerical Mathematics), IPSL-CM5A-LR (Institut Pierre Simon  
114 Laplace), MIROC-ESM (Model for Interdisciplinary Research on Climate), MPI-ESM-LR  
115 (Max-Planck Institut) e MRI-CGCM3 (Meteorological Research Institute). Mapas de consenso  
116 foram elaborados por meio da média aritmética entre as projeções obtidas para os oito GCMs.

117 A delimitação da área de treino do modelo foi feita para se realizar corretamente a  
118 classificação das áreas adequadas e inadequadas durante a fase de treinamento. Diversas  
119 metodologias podem ser usadas para realizar essa delimitação, tais como a criação de *buffers*  
120 ao redor dos registros de ocorrência, de mínimo polígono convexo, ou classificações biofísicas  
121 como biomas ou zonas climáticas (HILL; TERBLANCHE, 2014). Nesse estudo, os biomas  
122 com um ou mais registros de ocorrência foram utilizados para delimitar a área de treino do  
123 modelo. As informações sobre os biomas para o treino dos modelos, foram derivadas da  
124 classificação mundial desenvolvida por Olson et al. (OLSON et al., 2001).

125 Para remoção de variáveis ambientais correlacionadas foi empregada a correlação de  
126 Person, utilizando o pacote ENMTools no ambiente estatístico R (RStudio 4.1.1., 2022.02.3  
127 Build 492). As variáveis altamente correlacionadas ( $r \geq 0,80$ ) foram excluídas da modelagem,  
128 quando duas variáveis apresentavam alta correlação, uma era mantida, sendo usado de critério  
129 a relevância ecológica e facilidade de interpretação.

### 130 **Análises de sobreposição de distribuição das espécies**

131 Utilizando das 19 camadas bioclimáticas do Worldclim foi implementado a  
132 metodologia proposta por Broennimann et al., (2012) para comparar as características de nicho  
133 das três espécies estudadas. Empregou-se a Análise de Componentes Principais (PCA) ajustada

134 para a área em estudo, visando medir a sobreposição de nicho de todas as espécies. As  
135 comparações foram realizadas em pares *M. bidentata*, *M. elata* e *M. paraenses*. Esse processo  
136 compara as condições ambientais para as espécies dentro do contexto do estudo completo com  
137 suas ocorrências observadas. Esse método envolve o nicho e a densidade de ocorrência das  
138 espécies, no qual calcula o espaço disponível onde é definido pelos dois primeiros eixos da  
139 PCA para cada área em estudo. Essa metodologia tende a corrigir as amostras potenciais em  
140 registros de ocorrência, ele quantifica as relações dos pontos a partir de um determinado raio,  
141 verificando os padrões traçados por um conjunto de dados avaliando a densidade na área de  
142 estudo, usando a função de densidade de Kernel (BROENNIMANN et al., 2012).

143 Após isso, foi possível calcular a sobreposição de nicho observada para cada par de  
144 espécies usando métrica D de Schoener (1970), que tem uma variação de 0 a 1, sendo que 0  
145 indica nichos completamente diferentes e 1 nichos idênticos. A próxima etapa se caracteriza  
146 pela randomização de duas rotinas que são usadas para testar as hipóteses de evolução do nicho,  
147 ou o quanto existe a modificação da área de nicho de cada espécie. Para iniciar foi realizado o  
148 teste de equivalência de nicho no qual compara se a sobreposição de nicho ambiental é diferente  
149 de aleatória, mantendo os tamanhos originais da amostra. Em seguida o teste de similaridade  
150 de nicho, que compara a sobreposição de nicho de um intervalo distribuído aleatoriamente sobre  
151 seu ambiente mantendo o outro não modificado (1-->2), e depois faz uma comparação recíproca  
152 (1<-- 2). O processo de randomização foi repetido 100 vezes, gerando uma distribuição nula de  
153 valores de sobreposição no qual o ponto observado foi comparado. Como resultado, foi possível  
154 testar a equivalência e similaridade entre os nichos das espécies estudadas.

### 155 **Modelagem da distribuição de espécies**

156 Para construção do modelo foi empregado o ambiente estatístico R (2023), com a  
157 utilização do algoritmo de máxima entropia (MaxEnt), esse algoritmo é capaz de trabalhar com  
158 uma baixa quantidade de registros de ocorrência e mesmo assim gera modelos de alto

159 desempenho. Este método é amplamente utilizado para estimativas de distribuição de espécies  
160 por seu alto desempenho (ELITH; KEARNEY; PHILLIPS, 2010). O mesmo possui um  
161 mecanismo regularizador que evita um problema bem comum dentro dos modelos chamado  
162 *overfitting* que é um subajuste, esse gera modelos de baixo desempenho por não ter  
163 capacidade de generalização (PHILLIPS; ANDERSON; SCHAPIRE, 2006).

164 A complexidade ótima dos modelos foi testada por meio do pacote ENMeval, com  
165 base em 44 modelos com diferentes combinações de funções utilizadas para a transformação  
166 das variáveis (*feature classes*) e valores de regularização (*regularization multiplier*), um  
167 parâmetro que restringe ou amplia a área estimada de distribuição. São cinco as classes de  
168 funções empregadas no Maxent: perda (*Hinge* - H), linear (*Linear* - L), produto (*Product* - P),  
169 quadrático (*Quadratic* - Q) e limiar (*Threshold* - T). Os modelos foram construídos combinando  
170 as classes de funções (H, L, LQ, LQH, LQHPT) e 9 valores de regularização (1 a 5 com um  
171 aumento de 0,5) (MUSCARELLA et al., 2014). O melhor modelo foi selecionado usando o  
172 Critério de informação de Akaike corrigido (AICc), uma métrica que combina informações  
173 sobre a complexidade do modelo e a qualidade do ajuste. Valores baixos de AICc indicam  
174 melhor desempenho do modelo. O modelo selecionado foi validado usando um método de  
175 replicação de validação cruzada (*cross-validation*) com 10 réplicas. Essa metodologia divide  
176 aleatoriamente os registros de ocorrência em 10 partes, sendo que nove são utilizadas para  
177 treinar e uma para testar o modelo.

178 O procedimento *Jackknife* também foi usado para medir a importância das variáveis e  
179 gerar curvas de respostas para cada variável ambiental individualmente (HIJAMANS et al.,  
180 2004). Em seguida o modelo selecionado foi projetado para diferentes cenários de mudanças  
181 climáticas e períodos. Essas etapas foram realizadas com o pacote *dismo* do software R ([cran.r-](http://cran.r-project.org)  
182 [project.org](http://cran.r-project.org)).

183 O índice AUC (Area under the curve of the Receiver Operator Characteristic) foi



184 utilizado para medir o desempenho dos modelos, sendo valores próximos a 1 considerados  
185 ótimos e próximo de 0,5 ruins. Para analisar os resultados obtidos em AUC, foi utilizado a  
186 metodologia de modelo nulo, que tem base em randomizações de dados ecológicos e de uma  
187 amostragem de pontos conhecida ou imaginaria. Segundo esta metodologia, um modelo nulo é  
188 criado com registros de ocorrência gerados aleatoriamente na área de estudo e a mesma  
189 configuração do modelo empírico. Esse processo foi repetido 999 vezes gerando, por fim, um  
190 histograma de valores de AUC. Caso o AUC observado fique acima de 95% dos valores  
191 simulados, considera-se que o AUC obtido pelo modelo é melhor do que o acaso (RAES; TER  
192 STEEGE, 2007). Também foi empregado o índice contínuo de Boyce (CBI), que tem como  
193 função medir de forma adicional o desempenho do modelo para avaliar o quanto uma previsão  
194 do modelo difere de uma distribuição aleatória da presença observada em um gradiente de  
195 previsão (HIRZEL et al., 2006). O CBI tem uma variação de -1 a 1; enquanto os valores  
196 positivos indicam bom desempenho, os valores zero e negativos indicam baixo desempenho do  
197 modelo.

198 Os mapas apresentados foram desenvolvidos com o software ArcGis versão 10.8  
199 ([www.arcgis.com](http://www.arcgis.com)). Para cada espécie foram gerados seis mapas, sendo eles de distribuição  
200 potencial, futura em duas possíveis condições nos anos de 2021-2040 e 2061-2080.

### 201 **Mudança do centroide**

202 Foram medidas as mudanças na distância e direção da geografia (centróide) para cada  
203 espécie em cenários presentes e futuros, calculando as alterações distributivas entre cenários  
204 binários (como por exemplo, SDM's atuais e futuros) usando SDMtoolbox (BROWN, 2014) e  
205 o pacote “plotly” em R (<https://cran.r-project.org/web/packages/plotly/plotly.pdf>).

### 206 **Análises espaciais**

207 Os mapas gerados pelo MaxEnt passaram por um processo de binarização, utilizando  
208 um limiar que maximiza sensibilidade (positivo verdadeiro) e especificidade (negativo

209 verdadeiro) do modelo. Em seguida, os mapas binarizados foram sobrepostos com mapas de  
210 unidades de conservação (UCs) do banco de dados mundial sobre áreas protegidas (World  
211 Database on Protected Areas-WDPA), fornecidos pelo Protected Planet  
212 (<https://www.protectedplanet.net/>). Assim, esses processos foram realizados para avaliação das  
213 áreas classificadas como adequadas que são legalmente protegidas por UCs.

214 Para se quantificar as mudanças na distribuição das espécies em estudo, fez se  
215 necessário o ambiente do Software ArcGis e do pacote SDMtoolbox na função *Distribution*  
216 *Changs Betwen Binary Maps*, que subtrai os valores dos pixels das imagens dos cenários atuais  
217 pelo dos cenários do futuro de cada ano, ressaltando que para cada cenário é executado uma  
218 análise individualmente. Dessa forma obtemos um mapa de distribuição da espécie com  
219 informações de área sem mudança na distribuição da espécie, área ganha e área perdida.

220 Um mapa com dados sobre o arco do desmatamento atual foi feito dentro do ArcGis  
221 com shapefiles coletados no banco de dados Terra Brasilis (<http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/>) para  
222 comparação dos dados de predições de distribuição futuras.

## 223 RESULTADOS

### 224 **Sobreposição de nicho**

225 Os valores de D mostram o nível de sobreposição entre cada espécie, sendo que valores  
226 menores que 0,3 são considerados de baixa sobreposição e maiores que 0,8 de alta sobreposição  
227 (BROENNIMANN et al., 2012). Embora as espécies não tenham apresentado sobreposição  
228 apresentaram valores intermediários de sobreposição segundo esse critério, algumas  
229 apresentaram nichos equivalentes e similares. Apresentaram valores significativos de  
230 similaridade de nicho a comparação entre *M. elata* e *M. paraensis* e entre *M. paraensis* e *M.*  
231 *bidentata* (Tabela 3) (Figura, 11).

232 A hipótese de equivalência de nicho entre *M. elata* e *M. paraensis* foi rejeitada, mas  
233 as demais espécies mostraram equivalência de nicho (Tabela 3, Figura 11 e Anexo 4 á 6). A

234 similaridade de nicho variou conforme o sentido da comparação para todas as espécies.  
 235 Apresentaram valores significativos de similaridade de nicho a comparação entre *M. elata* e  
 236 *M. paraensis* e entre *M. paraensis* e *M. bidentata* (Tabela 3). *M. bidentata* apresentou faixa  
 237 climática mais ampla que *M. elata* e *M. paraensis* (Figura 11).

238 Tabela 3 - Sobreposição de nicho estimado com o índice *D* de Schoener que  
 239 representam a sobreposição das áreas probabilidade de ocorrência e valores de *p* (valores  $p <$   
 240 0,05 similaridade de nicho) para o teste de equivalência e similaridade de nicho, com o  
 241 parâmetro do argumento de greater a 95%.

| Comparação de nicho                                    | D      | Equivalência | Valores de p     |                  |
|--|--------|--------------|------------------|------------------|
|  |        |              | Semelhança 1-->2 | Semelhança 2-->1 |
| <i>M.elata</i> (1) Vs.<br><i>M.paraensis</i> (2)       | 0.5402 | 0.0109       | 0.0679           | 0.0198           |
| <i>M. paraensis</i> (2) Vs.<br><i>M. bidentata</i> (1) | 0.5147 | 0.9041       | 0.1458           | 0.0198           |
| <i>M. bidentata</i> (1)Vs.<br><i>M. elata</i> (2)      | 0.7306 | 0.974        | 0.0369           | 0.1386           |

242

243

Fonte: Elaborado pelo autor

244

245

246

247

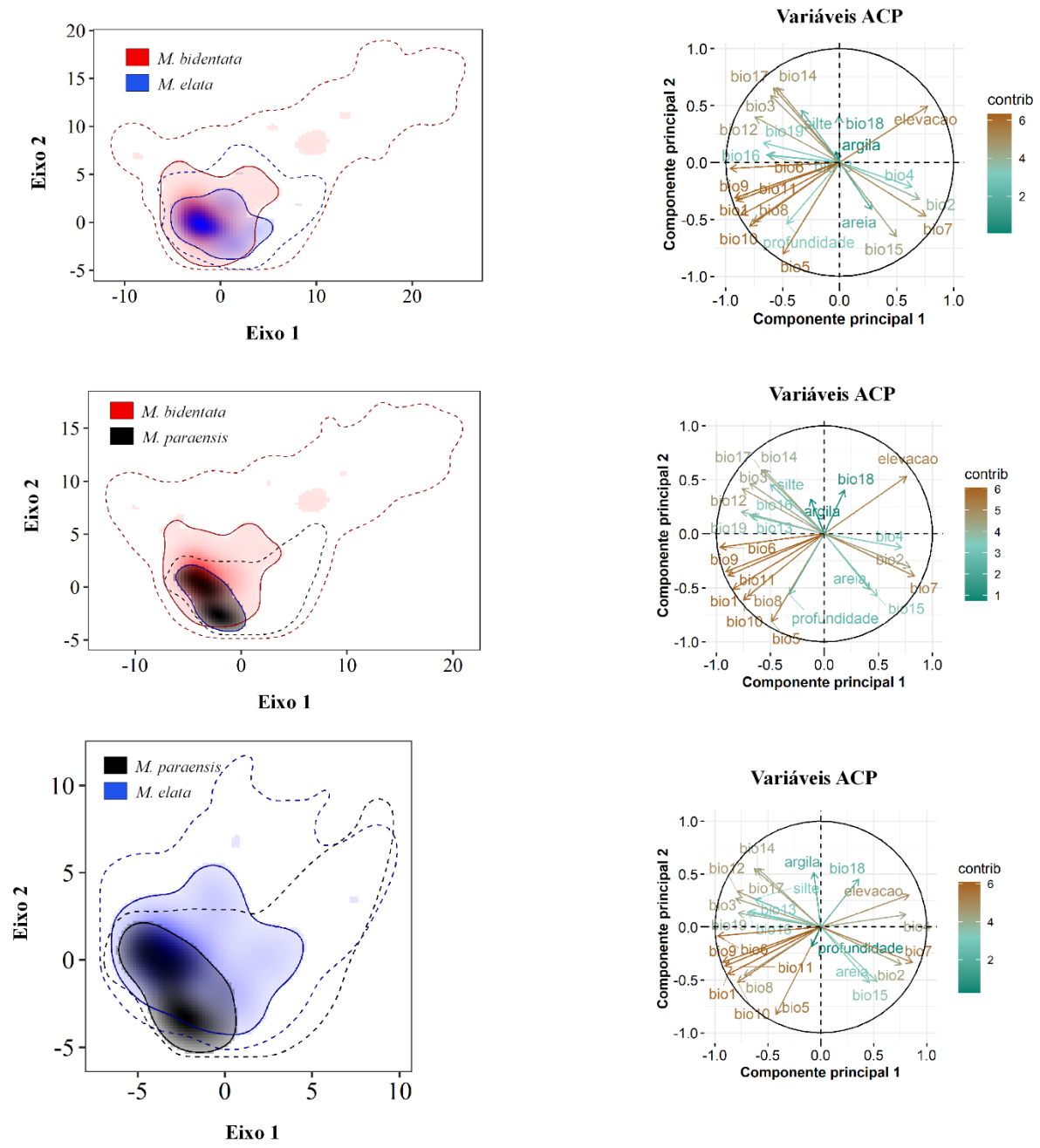
248

249

250

251

252 Figura 11 - Sobreposição de nicho das espécies no espaço ambiental (coluna à  
 253 esquerda), as linhas sólidas representam 100% do ambiente disponível e as tracejadas 50% desse  
 254 ambiente, e as colorações mostram a densidade de ocorrência das espécies por célula. E  
 255 contribuição das variáveis de clima e solo (à direita).



256 Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

257 **Seleção do melhor modelo e importância das variáveis ambientais**

258 Foram gerados 45 modelos para cada espécie, cada um deles com variação de classes

259 e funções. De acordo com o AICc, para *M. bidentata* o melhor modelo obtido foi o que combina  
 260 funções lineares, quadráticas, de perda, produto e limiar e com valor de regularização igual a 3  
 261 (LQHPT 3) (Anexo 1 e 7). Para *M. elata* o melhor modelo foi linear com valor de regularização  
 262 de 1.5 (L 1.5) (Anexo 2 e 8) e para *M. paraensis* o modelo selecionado foi o com as classes de  
 263 função linear, quadrática, e de perda e valor de regularização igual a 4 (LQH 4) (Anexo 3 e 9).

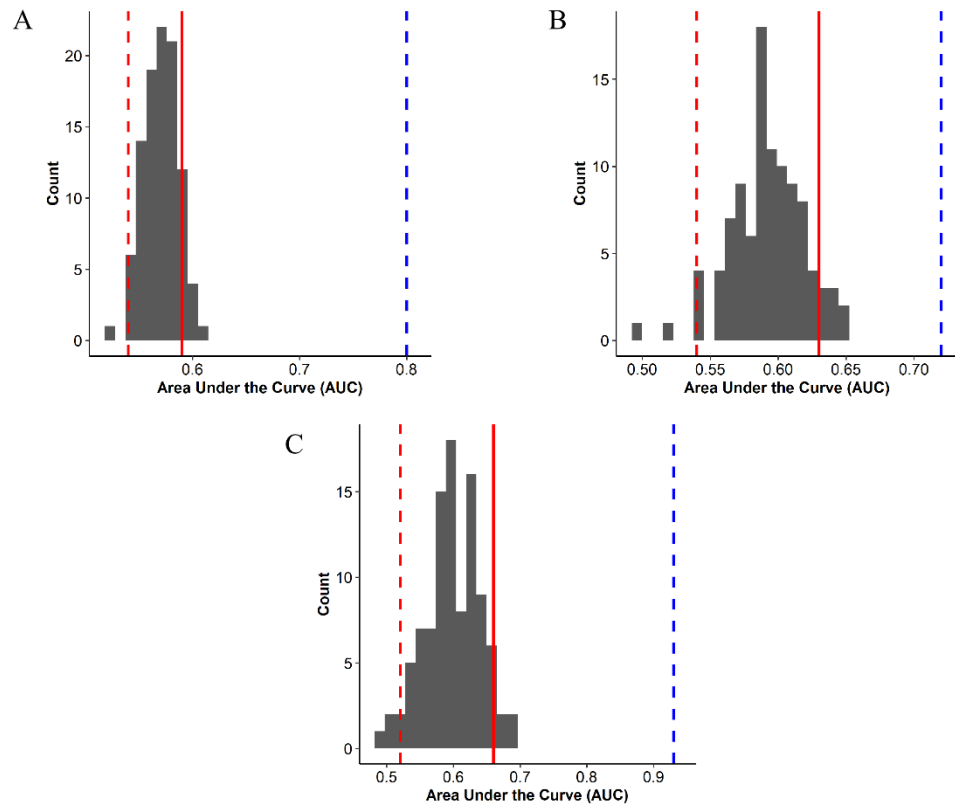
264 Todos os modelos apresentaram um bom desempenho, pois os valores obtidos de AUC  
 265 se aproximaram de 1 (Tabela 4). Além disso, para todas as espécies o valor obtido de AUC foi  
 266 melhor do que o acaso de acordo com a comparação de modelos nulos (Figura 12). Os valores  
 267 de Boyce Index (CBI) confirmam que os modelos tiveram desempenho satisfatório,  
 268 apresentando valores maiores que zero e próximos a 1 (Tabela 4).

269 Tabela 4 - Valores de AUC e CBI das espécies estudadas.

| Espécie             | AUC treino  | AUC teste   | CBI         |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|
| <i>M. bidentata</i> | 0,80 ± 0,00 | 0,79 ± 0,01 | 0,89 ± 0,06 |
| <i>M. elata</i>     | 0,76 ± 0,01 | 0,72 ± 0,03 | 0,80 ± 0,08 |
| <i>M. paraensis</i> | 0,94 ± 0,00 | 0,93 ± 0,02 | 0,65 ± 0,23 |

270 Fonte: Elaborado pelo autor

271                    Figura 12\_ Gráficos de AUC das espécies em estudo, A- *M. bidentata* , B- *M. elata*,  
 272    *C- M. paraensis*. Linha vermelha tracejada representa valores a 95% do valor simulado e linha  
 273    azul são os valores observados.



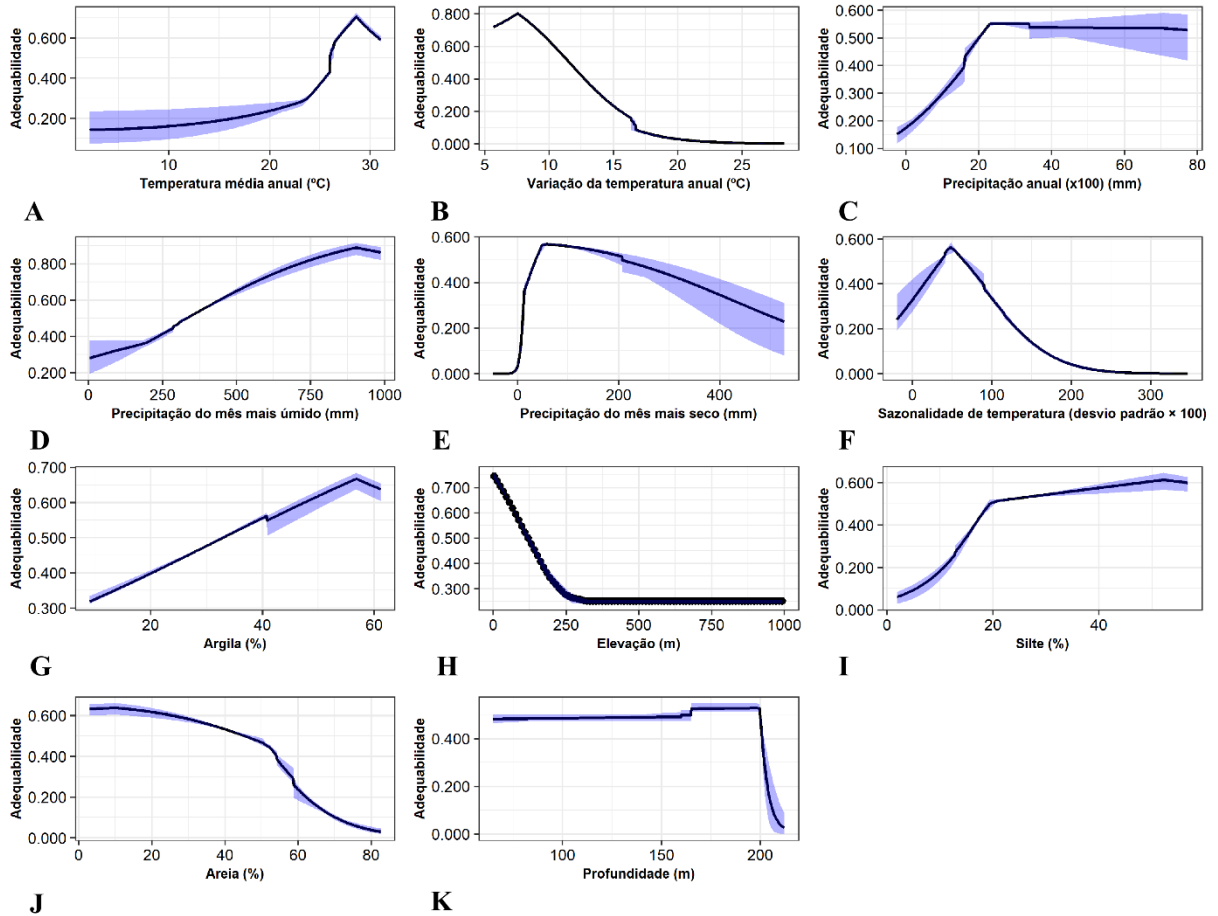
274                    (Fonte: Elaborado pelo autor, 2022).

### 275                    **Influência das variáveis climáticas**

276                    As variáveis de maior contribuição total para o modelo desenvolvido para *M.*  
 277    *bidentata* foram a variação anual de temperatura (Bio7) com 42,8 %, seguida da elevação do  
 278    terreno com 19,9% e precipitação do mês mais seco (Bio14) com 15,0% de contribuição (Anexo  
 279    1,2 e 3). As curvas de resposta indicam que regiões com menor elevação do terreno levam a  
 280    aumentar as áreas propícias para espécie (Figura 13. H). Em relação a precipitação, no mês mais  
 281    seco *M. bidentata* tem melhor distribuição a partir de 50 mm á 100 mm, nota-se que quanto  
 282    maior a umidade, maior será a adequabilidade para a espécie e que em meses em que existe um  
 283    aumento da seca, existe a diminuição da probabilidade de existência da espécie (Figura 13. D-  
 284    E). Solos com maior teor de argila são mais propícios a ocorrência da espécie (Figura 13. G),  
 285    silte a partir de 20 % (Figura 13. I) já ocasiona maior adequabilidade da espécie.

286                    Figura13 - Contribuição das variáveis do clima e solo mais importantes para  
 287                    construção do modelo para *M. bidentata*.

288



289

290

Fonte: Elaborado pelo autor

291

292

293

294

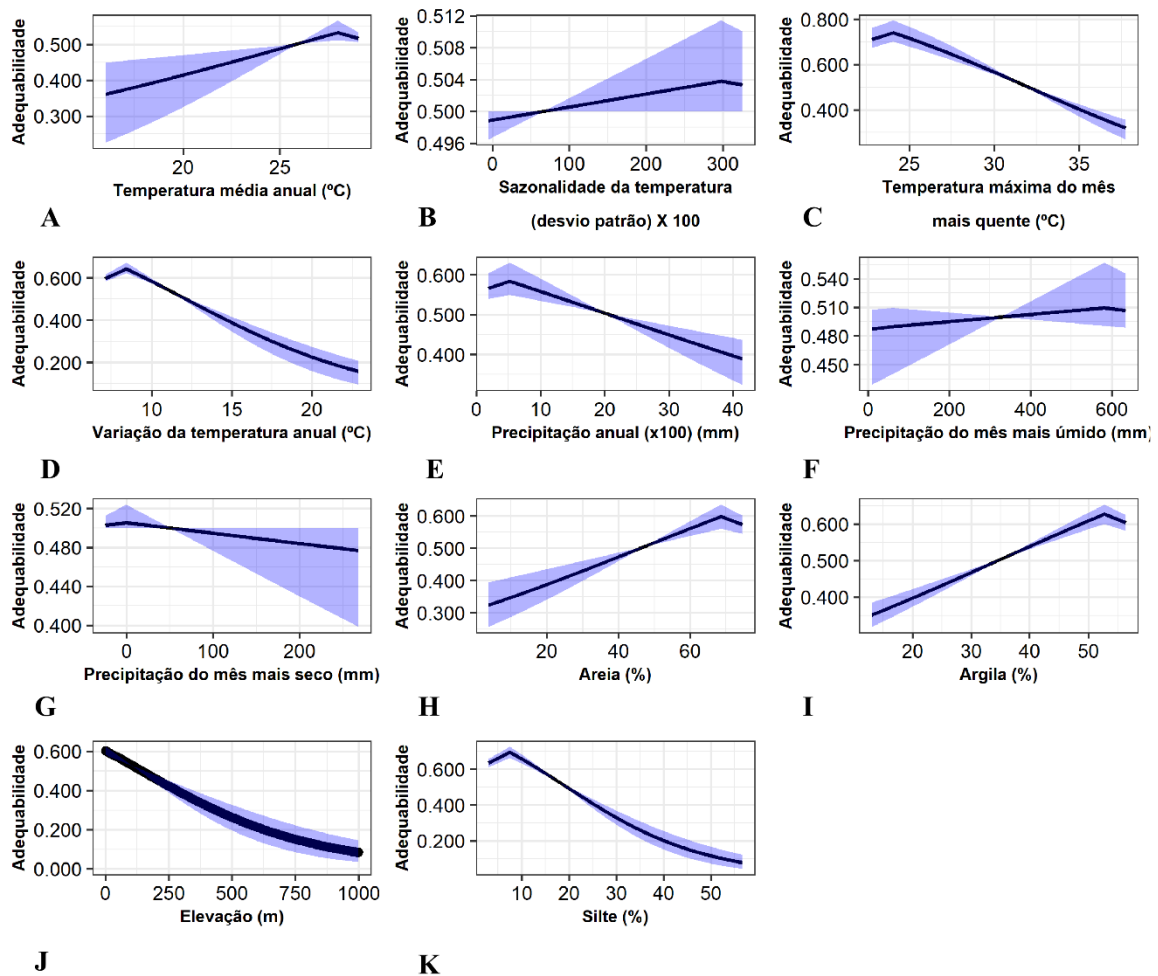
295

296

297

Para *M. elata*, as variáveis que mais contribuíram com o modelo foram a elevação (40,9%), o teor de silte (24,6%), a temperatura máxima do mês mais quente (Bio 5, 12,4%) e a sazonalidade da precipitação (Bio 15, 11,2%). As curvas de resposta indicam que em temperaturas médias anuais a partir de 20 °C observa-se uma elevação exponencial na adequabilidade para a espécie até atingir 28 °C. Regiões com precipitação acima 200 mm apresentam maior adequabilidade para a espécie (Figura 14. E-G). Já a elevação é similar ao de *M. bidentata* que prefere regiões com menor elevação.

298 Figura 14 - Contribuição das variáveis do clima e solo mais importantes para  
 299 construção do modelo para *M. elata*.



300

301

Fonte: Elaborado pelo autor.

302

303

304

305

306

307

308

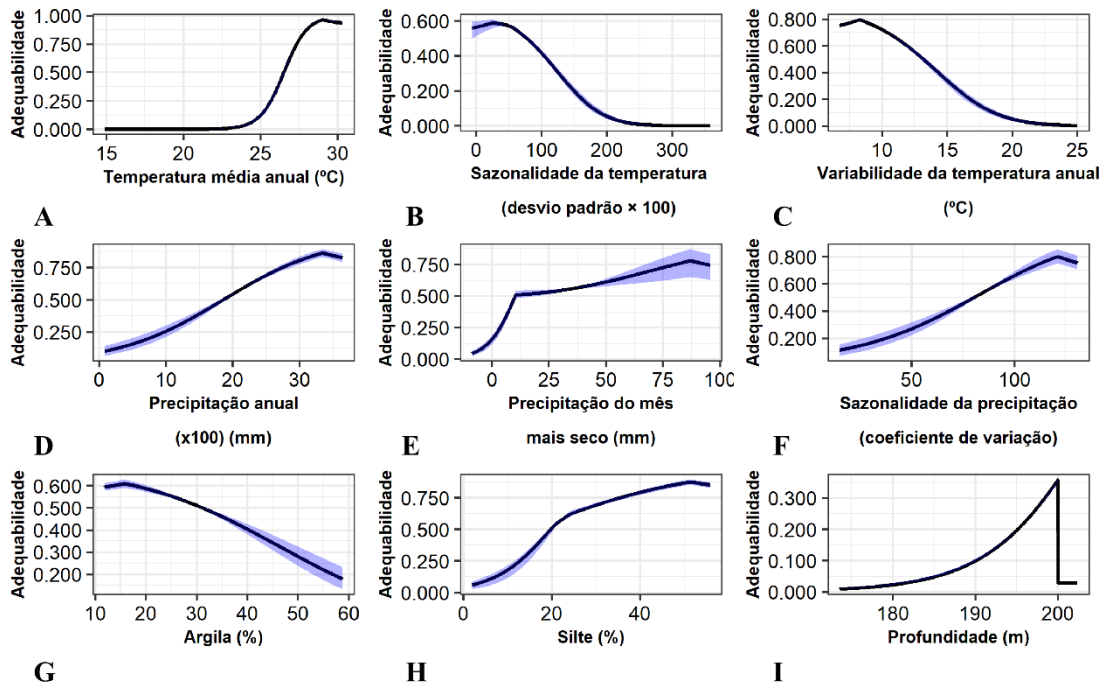
309

310

Para *M. paraensis*, as variáveis que tiveram maior contribuição para o modelo foram a temperatura média anual (Bio 1, 74,9%), seguido da precipitação do mês mais seco (Bio 14, 9,1%) e da sazonalidade na precipitação (Bio 15, 8,4%). As curvas de resposta indicam que *M. paraensis* prefere regiões com clima superior a 24 °C e com áreas de maior precipitação (Figura 15, A-C). Locais com menores taxas de argila são mais propensas a ocorrência, como as demais espécies em estudo, localidades com maiores teores de silte é favorável, sendo os valores de silte acima de 20 m e descendo quando chega a 40 m. Áreas com profundidade a partir de 180 m até 200 m são de crescimento para espécie, após 200 m (Figura 15. I), existe pouca adequabilidade.



311 Figura 15 - Contribuição das variáveis do clima e solo mais importantes para  
 312 construção do modelo para *M. paraensis*.



313

314

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

315

### Adequabilidade em diferentes anos e cenários de mudanças

316

317

318

319

320

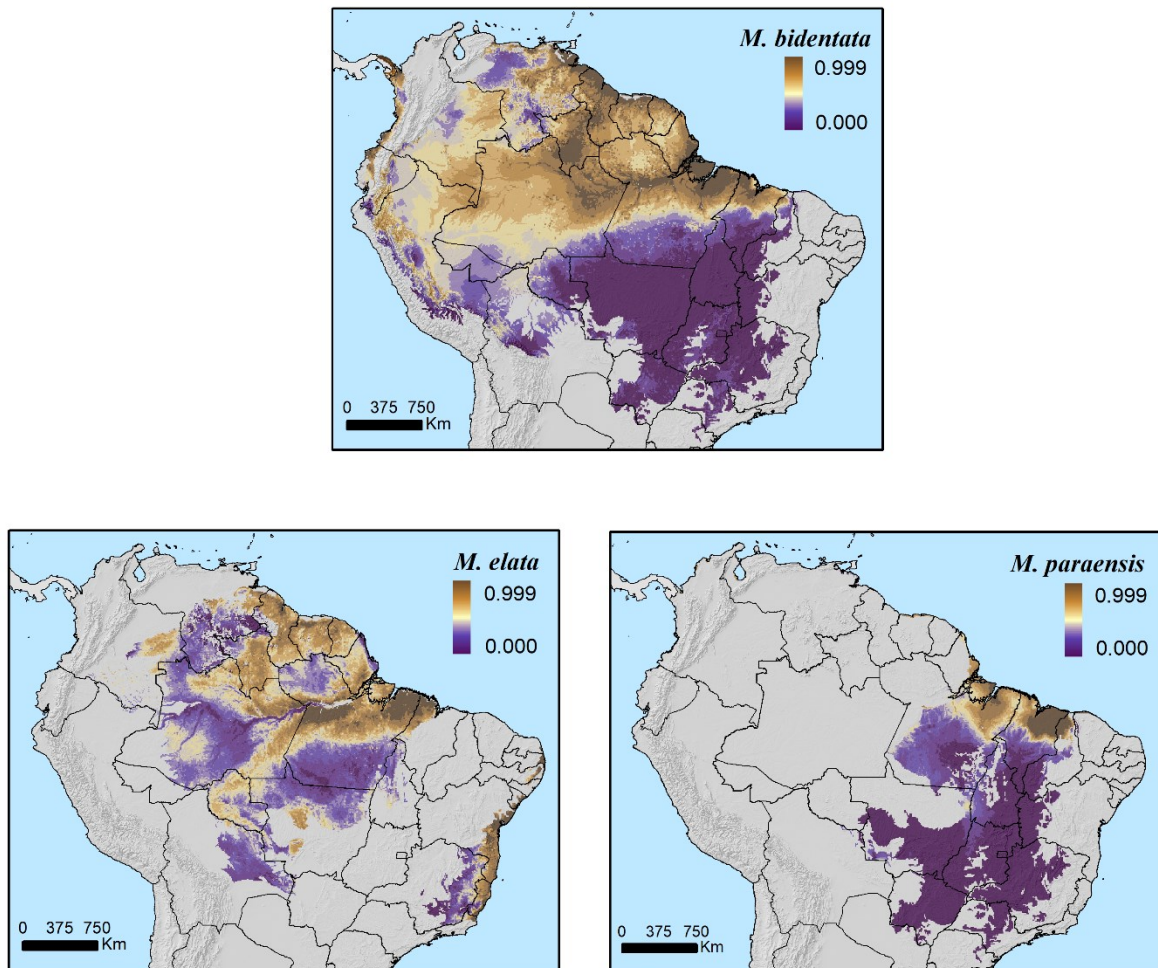
321

322

323

A espécie *M. bidentata* é distribuída não somente no Brasil, mas em sete países que contém a Amazônia internacional. Dentro do Brasil, os estados com probabilidade de ocorrência são Amazonas, Pará, Maranhão, Amapá, Roraima e Piauí, constantemente com maior adequabilidade ao norte da América do Sul (Figura 16). Em condições climáticas do presente, a distribuição de *M. elata* inclui a região norte do estado do Pará, Amazonas, Maranhão, Espírito Santo, Bahia e na região litorânea de outros estados do nordeste do Brasil (Figura 16). *M. paraensis* tem sua distribuição atual localizada nos estados do Amapá, Maranhão, Piauí, Mato Grosso e Pará (Figura 16).

324            Figura 16\_ Mapa contínuo de adequabilidade de distribuição atual de *M. bidentata*, *M.*  
 325 *elata* e *M. bidentata*, áreas em roxo significam regiões com baixa probabilidade de ocorrência  
 326 e regiões com tonalidade marrom representam áreas com maior probabilidade de ocorrência.  
 327 Com áreas distintas de acordo com o seu background.



328            Fonte: elaborado pelo autor

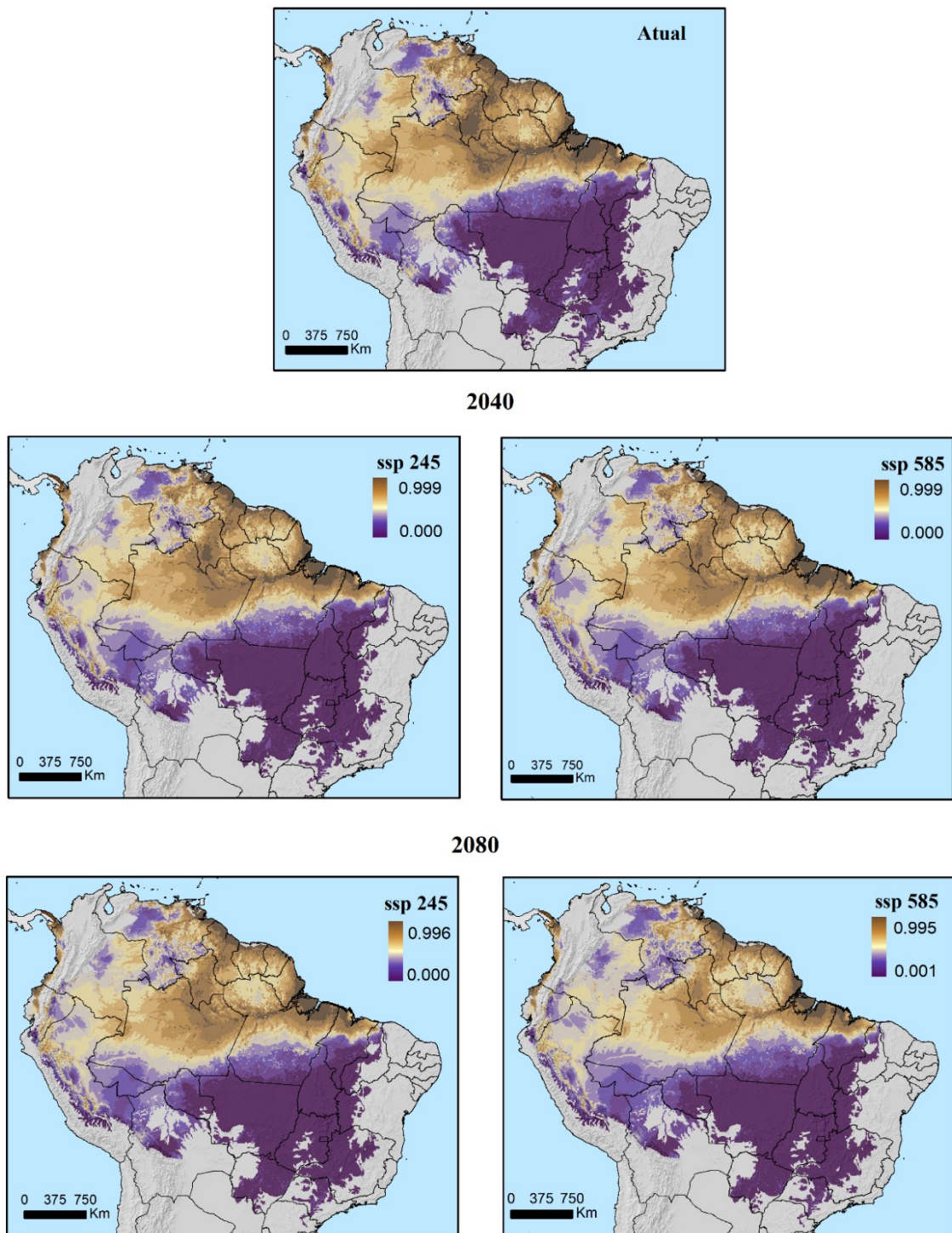
329            Nas projeções futuras (Figura 17) não é possível verificar alterações pronunciadas na  
 330 distribuição de *M. bidentata* nos mapas com adequabilidade contínua, com exceção do norte do  
 331 estado do Pará. Em contraste, os mapas binários (Figura 18) mostram uma perda de  
 332 adequabilidade em todos os anos e cenários de mudanças climáticas avaliados. Nos cenários  
 333 SSP 245 e SSP 585 em 2040, a perda de área adequada foi estimada em 14.60% e 12.96%,  
 334 respectivamente. A perda de habitat prevista para 2080 foi ainda mais acentuada, sendo de  
 335 14.90% e 28.05% para SSP 245 e SSP 585, respectivamente. Segundo as previsões dos

336 modelos, não existe em nenhum cenário a probabilidade de expansão de área adequada.

337 Figura 17 - Mapa contínuo de adequabilidade atual e para diferentes cenários (SSP245  
338 e SSP585) e anos (2040 e 2080) de *M. bidentata* na América do Sul.

339

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022



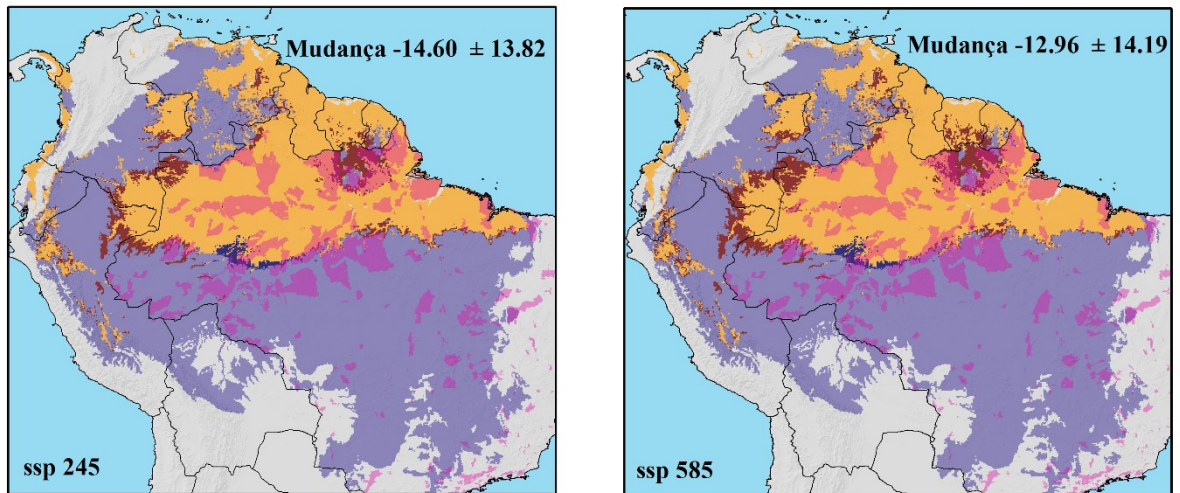
340

341 Figura-18. Mapa binário de adequabilidade atual e para diferentes cenários (SSP245 e

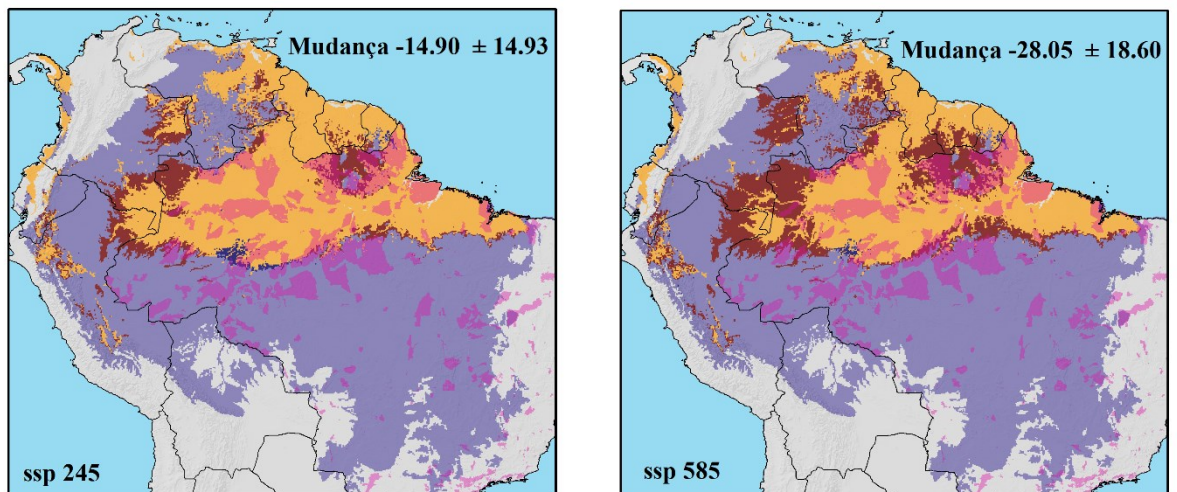
342 SSP585) e anos (2040 e 2080) de *M. bidentata* na América do Sul.

343

2040



2080



344

Fonte: Elaborado pelo autor

345

346

Da mesma forma que o observado para *M. bidentata*, para *M. elata* foi estimada uma

347

perda de área adequada em todos os anos e cenários de mudanças climáticas avaliados, sendo

348 essa perda mais intensa no cenário SSP 585 em 2080 (Figura 19), principalmente no norte da  
349 América do Sul (Figura 19). É possível notar também que não se teve ganho de área, e somente  
350 os estados do Pará e Maranhão continuaram com suas áreas propícias para ocorrência da  
351 espécie. Mas em cenários de 2040 tanto no pessimista como otimista pode-se verificar a  
352 presença de áreas adequadas para a espécie também nos estados do Rio de Janeiro, Espírito  
353 Santo, Minas Gerais, Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba e Rio grande do Norte  
354 (Figura 20).

355

356

357

358

359

360

361

362

363

364

365

366

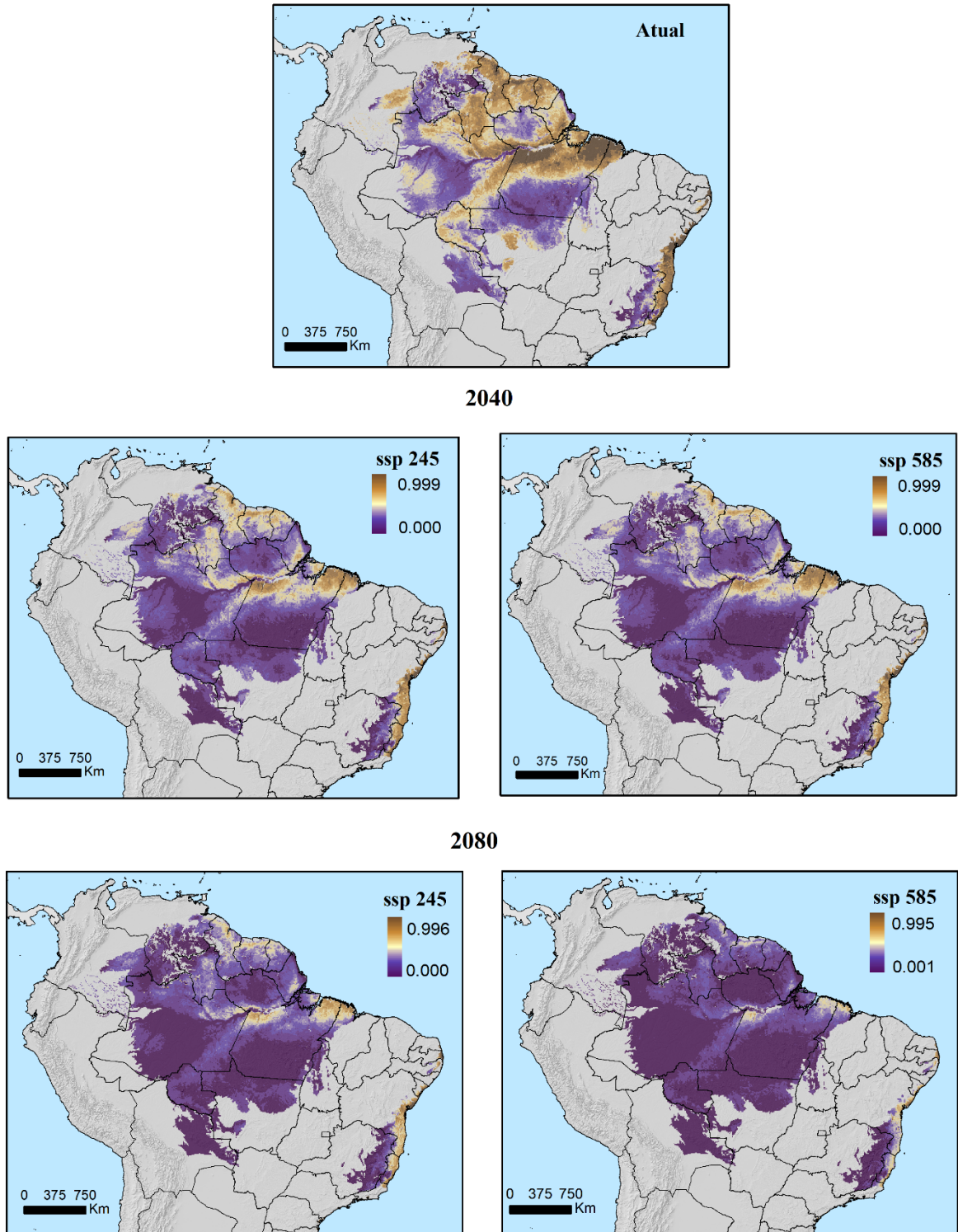
367

368

369

370

371                    Figura 19 -. Mapa contínuo de adequabilidade atual e para diferentes cenários (SSP245  
372 e SSP585) e anos (2040 e 2080) de *M. elata* na América do Sul.  
373

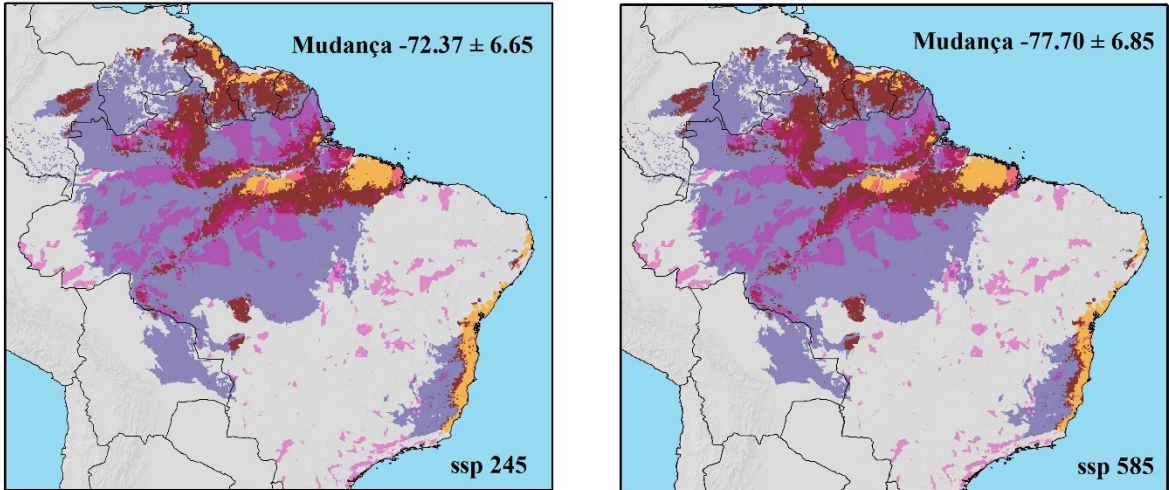


374

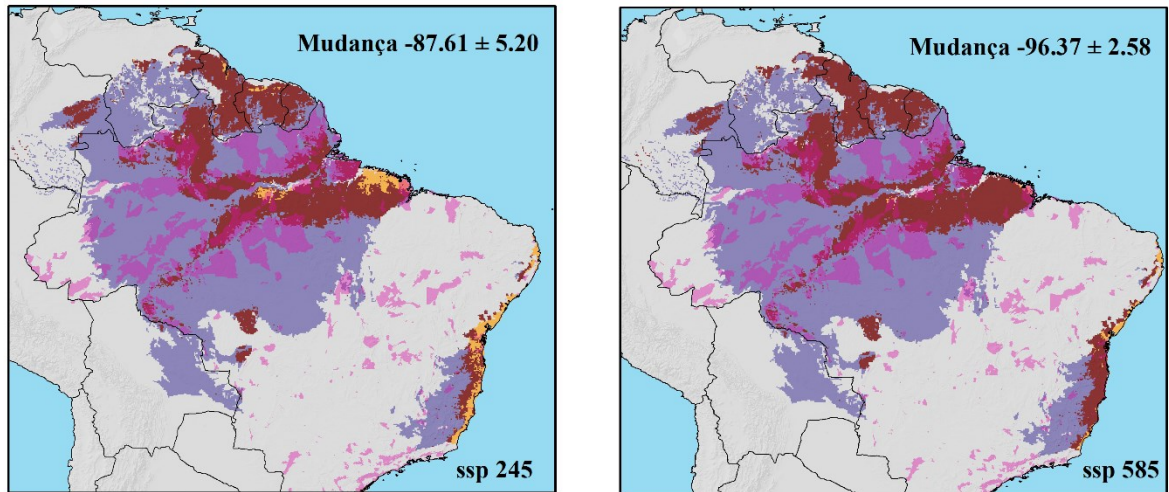
Fonte: Elaborado pelo autor

375                    Figura 20 - Mapa binário de adequabilidade para cada ano e cenário de *M. elata* na  
376 América do Sul.

**2040**



**2080**



377

378

Fonte: Elaborado pelo autor

379

380

Quando se passa para os cenários no ano de 2040 de *M. paraensis*, verifica-se a

381 ocorrência da espécie em direção ao Sul do Brasil tanto em SSP 245 e SSP 585 e em seguida  
382 no ano 2080 mesmo sob a perspectiva pessimista ou otimista as áreas de probabilidade de  
383 ocorrência estão maiores nos dois cenários (Figura 21).

384

385

386

387

388

389

390

391

392

393

394

395

396

397

398

399

400

401

402

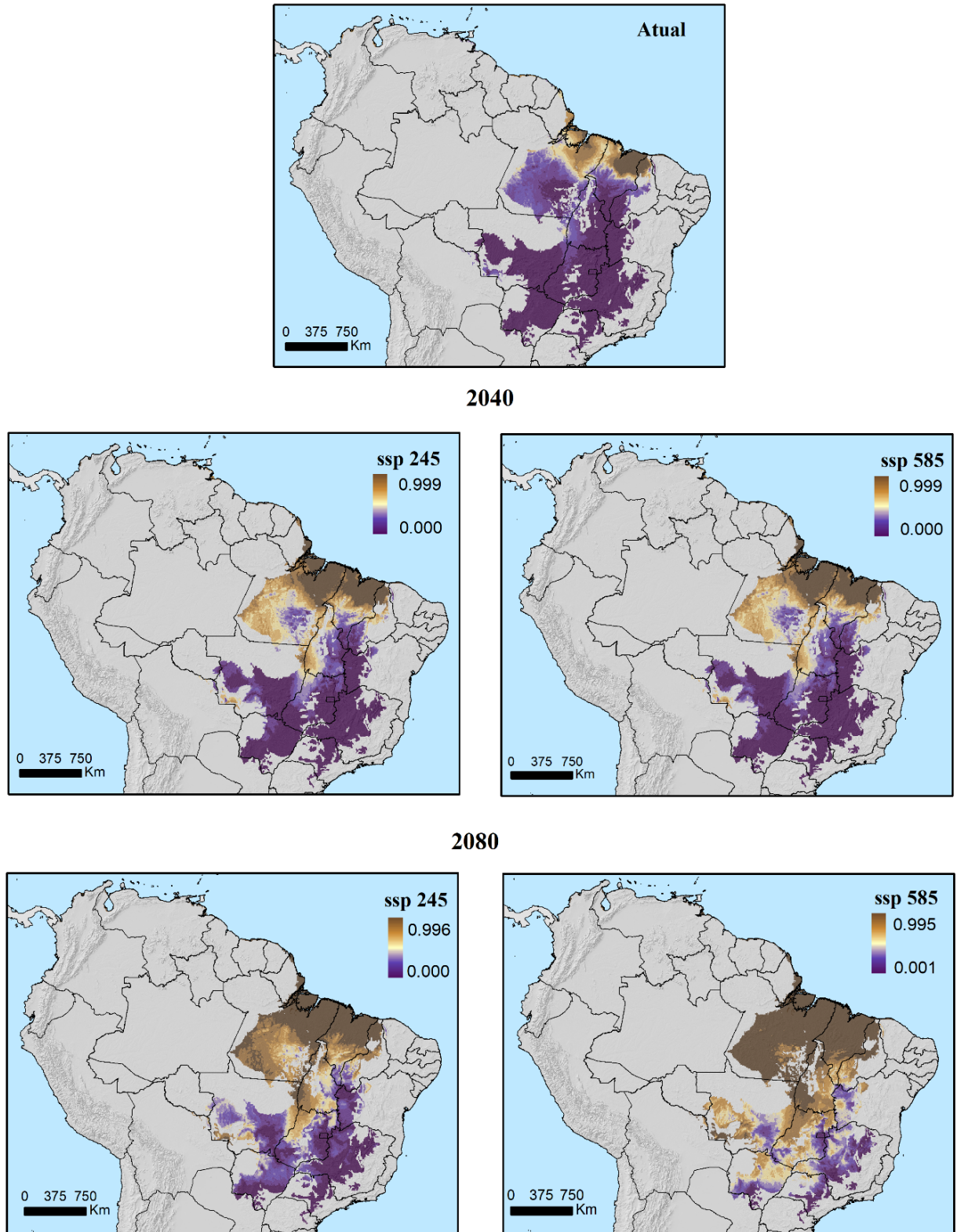
403

404

405



406                    Figura 21 - Mapa contínuo de adequabilidade para cada ano e cenário de *M. paraensis*  
407                    na América do Sul.  
408

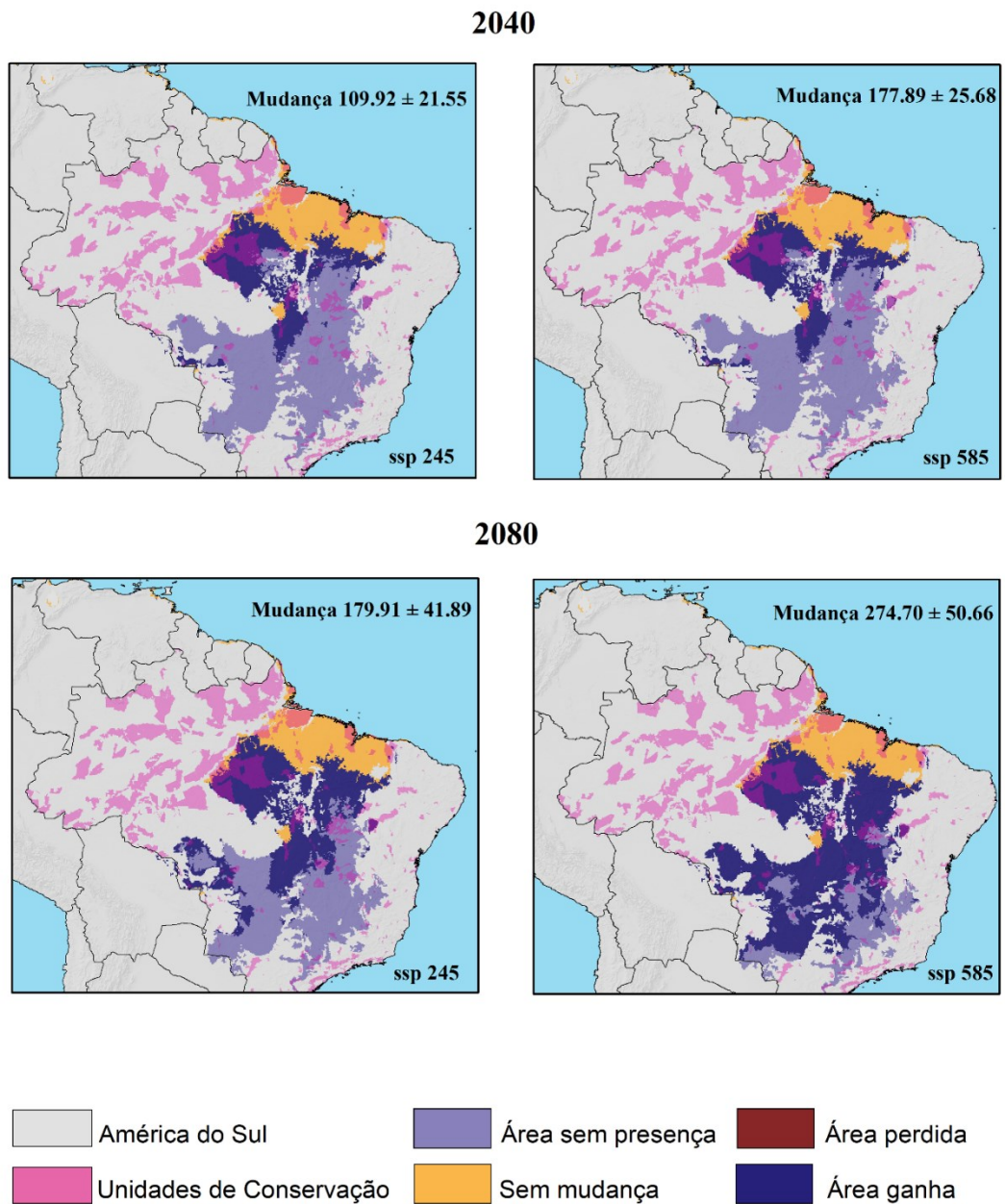


409                    Fonte: Elaborado pelo autor

410                    Passando para os mapas binários de *M. paraensis*, se nota um crescimento da

411 ocorrência em todos os cenários, sendo em 2040 SSP 245 e SSP 585 os valores de 21.55 e 25.68  
 412 respectivamente, e em 2080 os valores de 41.89 e 50.66, sendo interessante notar que no cenário  
 413 2080 SSP 585 ocorre o maior aumento de temperatura, sendo propício para existência da  
 414 espécie (Figura 22).

415 Figura 22 - Mapa binário de adequabilidade para cada ano e cenário de *M. paraensis*  
 416 na América do Sul.



417

Fonte: Elaborado pelo autor

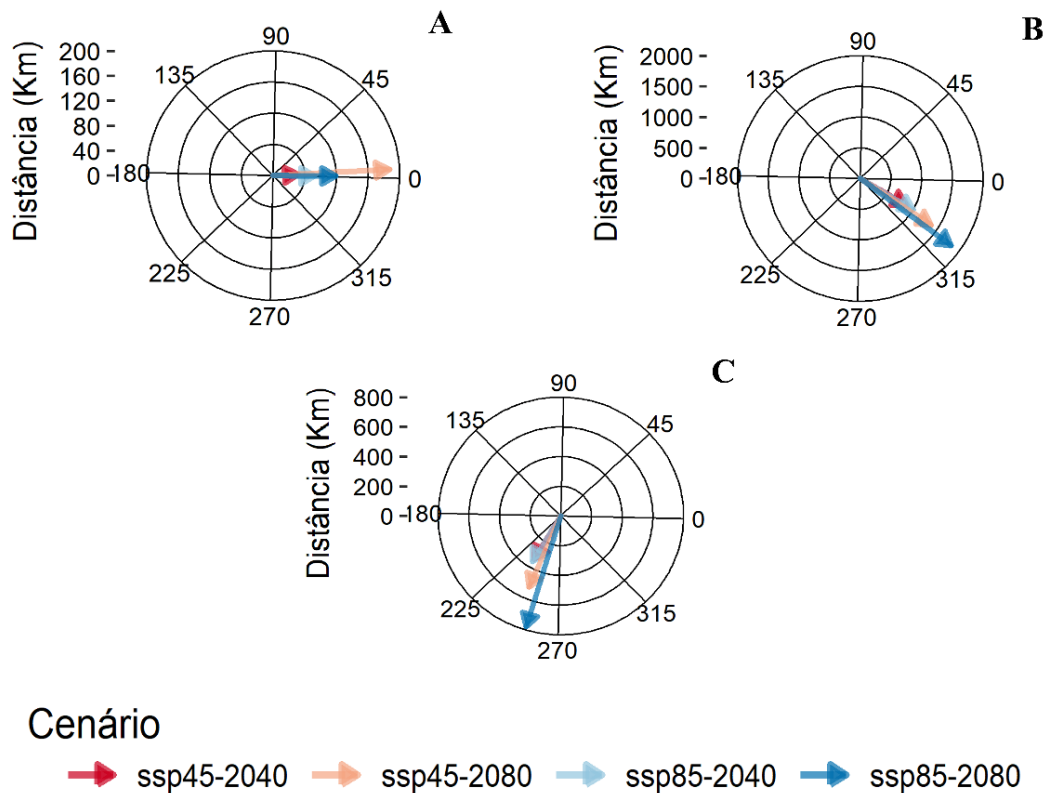
418

419

Na Figura 23 é possível verificar que as três espécies estudadas apresentaram alterações expressivas na posição do seu centro de distribuição, para os cenários projetados de

420 mudanças climáticas. *M. bidentata* teve seu centro de distribuição mais alterado no cenário SSP  
 421 45-2080 com a modificação de 180 km do seu estado de origem atual, em direção a região leste  
 422 (Figura 20 A). Para *M. elata* essa alteração foi bem mais expressiva com 1900 km, no cenário  
 423 SSP 85-2080, em direção a região sudeste do Brasil (Figura 20 B). *M. paraensis* deve seu centro  
 424 modificado em 800 km no cenário SSP 85-2080, em direção a região sul do Brasil (Figura 20-  
 425 C).

426 Figura 23 - Mudança da posição do centroide para *M. bidentata* (A), *M. elata* (B), *M.*  
 427 *Paraensis* (C) em diferentes cenários de mudanças climáticas.



428

429

(Fonte: Elaborado pelo autor).

430

431

432

433

A porcentagem de áreas preditas como adequadas e legalmente protegidas variou conforme a espécie (Tabela 5). Para cada ano e cenários se calculou a porcentagem de áreas protegida por UC, potenciais de ocorrências das espécies apresentou maior proporção para *M. bidentata* com faixa de 20.67% até 21.46% dentro dos cenários estudados (Tabela 5). Para *M.*

434 *elata* o cenário atual é mais positivo, com área de 16.93% dentro de UC, caindo para 7.85% no  
 435 cenário 2040, SSP 8.5 (Tabela 5). *M. paraensis* teve um aumento das suas áreas potencialmente  
 436 protegidas, com um aumento de até 5,88 % do cenário atual (Tabela 5).

437 Tabela 5 - Porcentagem de áreas potenciais para espécies de *Manilkara* legalmente  
 438 protegidas em Unidades de Conservação considerando diferentes anos e cenários de  
 439 mudanças climáticas.

| Cenários     | <i>M. bidentata</i> (%) | <i>M. elata</i> (%) | <i>M. paraensis</i> (%) |
|--------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|
| Atual        | 21.46                   | 16.93               | 11.35                   |
| 2040-SSP 4.5 | 20.67                   | 8.95                | 17.07                   |
| 2040-SSP 8.5 | 20.98                   | 8.10                | 17.18                   |
| 2080-SSP 4.5 | 20.79                   | 7.85                | 16.01                   |
| 2080-SSP 8.5 | 21.23                   | 10.43               | 12.73                   |

440 (Fonte: Elaborado pelo autor, 2023)

## 441 DISCUSSÃO

442 A distribuição das três espécies em estudo tem sua área de distribuição em alguma  
 443 região do bioma Amazônia, principalmente no estado do Pará, região onde perda de habitat é  
 444 um dos principais vetores de ameaças a conservação das espécies. Conforme o sistema de alerta  
 445 de desmatamento do Imazon, em 2022 se teve a maior perda de floresta da amazônica em 15  
 446 anos, equivalente a 3 mil campos de futebol por dia, um total de 10.573 km<sup>2</sup>, e que 38% da  
 447 cobertura florestal restante já está comprometida, e o Pará está no primeiro lugar como o estado  
 448 com maior área desmatada, um total de 3.874 km<sup>2</sup>, seguido por Amazonas e Mato Grosso  
 449 (IMAZON, 2023; LAPOLA et al., 2023).

450 Entre as espécies, *M. bidentata* apresentou faixa climática mais ampla que *M. elata* e  
 451 *M. paraensis* (Figura 11), isso pode ser explicado por sua distribuição mais ampla, que engloba  
 452 todo a Amazônia internacional (“Flora do Brasil 2020”, 2020), muitas espécies possuem a  
 453 capacidade de adaptação a ambiente mais variados, como maior ou menor quantidade de luz e  
 454 falta de recursos hídricos (PINHEIRO et al., 2022; SOUZA et al., 2020), *M. bidentata*

455 demonstra na sua atual distribuição um maior gradiente de ambientes podendo talvez ser uma  
456 espécie com maior adaptabilidade.

457 Foi possível observar que houve similaridade no comportamento observado em *M.*  
458 *elata* e *M. paraensis*, no entanto nenhuma das espécies do estudo atual apresentou alta  
459 sobreposição, isso pode indicar uma especialização ecológica na exploração de recursos  
460 ambientais, ou seja uma adaptação aos recursos disponíveis (MACHADO et al., 2022).

461 As análises do centroide geográfico na comparação entre o atual e os cenários futuros,  
462 revelaram padrões distintos nas três espécies. Ao examinar os mapas de distribuição se ve que  
463 ao oeste temos a perda de área para *M. bidentata*, que tem seu centro de distribuição modificado  
464 para o leste da Amazônia brasileira, a região de probabilidade de ocorrência dessa espécie  
465 apresenta uma expressiva quantidade de unidades de conservação, tendo uma variação de 20 a  
466 21% de proteção da sua área em todos os cenários (Tabela 5). Apesar de parecer um cenário  
467 positivo, as UC de conservação, tem perdido seu espaço por meio do enfraquecimento dos  
468 órgãos ambientais (SOUZA, 2016; VALE et al., 2021).

469 *M. elata* tem o cenário crítico com perda de 96,37% da sua área, o centroide mostra  
470 uma modificação em direção ao leste e sudoeste do Brasil, região que nos mapas de distribuição  
471 ainda apresenta uma pequena faixa de adequabilidade, porém nessas regiões existe a maior parte  
472 da população do país (IBGE, 2023). Apesar de apresentar até 16% de áreas protegidas por UC  
473 (Tabela 5), dentro dessas áreas tem pouca probabilidade de mais locais adequados para  
474 ocorrência natural da espécie. Para *M. paraensis* se verifica uma descida ao sul do país, com  
475 uma área de probabilidade de distribuição da espécie mais ampla do que a região de ocorrência  
476 atual, com variação entre os cenários das taxas de áreas protegidas que varia de 11.35% a  
477 17.18% (Tabela 5).

478 As espécies *M. bidentata* e *M. elata* apresentaram perda da sua área de distribuição  
479 conforme a mudança do clima nos cenários utilizados nessa pesquisa, isso pode ser explicado

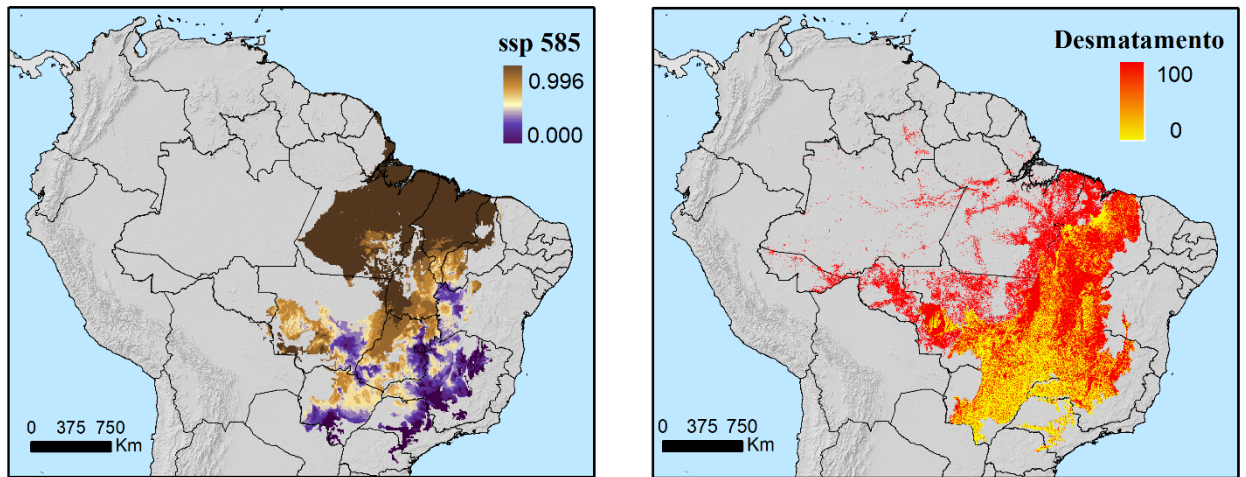
480 por que as áreas de floresta tropical em cenários futuros estão em risco de se converter em  
481 savanas (OLIVEIRA et al., 2021), e essas espécies serem de sucessão tardia e necessitarem de  
482 áreas com maior porcentagem de sombreamento, sendo considerada uma esciófila, não  
483 suportaram essa mudança da paisagem (HOGAN et al., 2022).

484         Apesar de *M. paraensis* também é uma espécie esciófila, ela não apresentou perda de  
485 área, e sim, áreas ganhas (Figura 22). No estudo de Lima & Filho (2000) em uma região da  
486 floresta Amazônica, *M. paraensis* se mostrou dominante, por ter alta adaptação a diversos  
487 fatores ambientais, podendo justificar seu comportamento dentro dos modelos. *M. bidenta* e *M.*  
488 *elata* tiveram maior probabilidade de ocorrência na faixa de temperatura entre 20 e 28° c, e *M.*  
489 *paraensis* teve seu aparecimento em uma faixa de 20°c até um pouco mais de 31°C, uma  
490 preocupação é que a floresta Amazônica tem sofrido com aumentos na temperatura do ar e com  
491 ondas de calor, com os trópicos batendo recordes de temperatura mais cedo que outros biomas,  
492 podendo mudar a composição de espécies, sendo as mais resistentes as modificações as  
493 sobreviventes (DOCHERTY et al., 2022).

494         Podemos acompanhar na Figura 24 que apesar da probabilidade do aumento da área  
495 de ocorrência de *M. paraensis* no cenário pessimista em 2080, ela encontra a barreira já  
496 existente do arco de desmatamento que vêm aumentando durante os anos (BARBOSA-SILVA  
497 et al., 2021), não sendo possível a sua expansão.

498 Figura 24 - *M. paraensis* nos cenários pessimistas de 2080 SSP 585 em contraste ao  
 499 desmatamento ocorrente de 2000 até 2021 no Cerrado e Amazônia conforme TerraBrasilis.

500 (Fonte: Elaborado pelo autor, 2022)



501 Conforme estudos realizados por Smith, Backer e Spracklen (2023) o desmatamento  
 502 ocorrido dentro da Amazônia de 2003 a 2017, causaram uma diminuição da precipitação na  
 503 região local, e em outras áreas com perda de 8% a 10%. As 3 espécies em estudo *M. bidentata*,  
 504 *M. elata* e *M. paraensis* conforme os modelos gerados, tem maior probabilidade de ocorrência  
 505 em regiões com maior umidade e precipitação, assim a perda de vegetação gera um risco para  
 506 áreas adequadas para as três espécies.

507 Para realmente se aplicar a conservação de todas as espécies em estudo é necessário a  
 508 conhecimento mais detalhado sobre cada uma, Quintana et al. (2022) advertem que a falta de  
 509 estudo, sobre a fisiologia das sementes, germinação e adaptabilidade da planta a determinados  
 510 locais, leva a perda de indivíduos e insucesso de ações de reflorestamento. Então estudos mais  
 511 aprofundados sobre ecologia de *M. bidentata*, *M. elata* e *M. paraensis*, devem ser realizados,  
 512 para direcionar de forma mais eficaz os processos de restauração e proteção dos seus  
 513 descendentes.

514 Esses modelos contribuem para informar a gestão que cuida da conservação da vida  
 515 selvagem e de seus habitats que estão sobre uma mudança do clima que evolui rapidamente,  
 516 junto a ela é necessário monitoramento contínuo das espécies alvo para verificar as mudanças  
 517 de forma gradativa, assim se pode fazer um planejamento sistemático da conservação das

518 espécies (PORFIRIO et al., 2014). Apesar das UC estarem em risco pela falta de assistência  
519 governamental, elas ainda são a melhor forma de proteção da biodiversidade e belezas naturais  
520 encontradas hoje (ASSIS; FARIA; BAYER, 2021).

521 Os resultados do trabalho demonstram o risco do desaparecimento ou diminuição de 2  
522 espécies e expansão de uma, com resalve dos problemas gerados pelo arco do desmatamento  
523 na região de probabilidade de ocorrência, produzindo um alerta para o monitoramento constante  
524 do seu uso, manejo e conservação. Para *M. bidentata*, *M. elata* e *M. paraensis*, as UC são a  
525 principal estratégia para conservação, com porcentagens significativas de áreas de refúgio.  
526 Também se é necessário a criação de áreas de preservação permanente (APPs) e reservas legais  
527 (RL), nas regiões onde se encontra o arco do desmatamento, e fortalecimento das UC já  
528 existentes.

529 Os mapas de áreas propícias para ocorrência da espécie gerados pelos modelos, podem  
530 auxiliar para definir as áreas prioritárias para as estratégias de restauração e conservação  
531 (CARROL et al., 2017). Apesar da modelagem de nicho hoje ser uma importante ferramenta,  
532 ela contém alguns limitantes como por exemplo a complexidade dos dados ecológicos e de  
533 evolução, que nem sempre são acompanhados na produção dos modelos de distribuição de  
534 espécies, no entanto a cada ano pesquisadores se esforçam em criar metodologias para superar  
535 essas adversidades (KASS et al., 2023). Além disso, é necessário a escolha adequada para o  
536 modelo a ser criado, dentro da gama de opções disponíveis, podendo ser escolhido por meio de  
537 outros trabalhos já realizados, pois, escolhas inadequadas de métodos tendem a levar a  
538 conclusões erradas (SAUPE et al., 2018).

## 539 CONCLUSÕES

540 Todas as espécies em estudo apresentaram sobreposição de nicho em níveis  
541 intermediários, assim, se resalta a importância no cuidado necessário em distinguir as espécies



542 em campo, pois, se houver erros na identificação pode ser retirada uma espécie que tem seu  
543 habitat mais restrito ou até mesmo em maior risco, como *M. elata* que já é considerada.

544 A ampla distribuição de *M. bidentata* e *M. elata* não se mostrou continua dentro dos  
545 cenários futuros, estas apresentaram perda em sua área de ocorrência atual, *M. elata* com o  
546 quadro mais potencial ao risco de extinção com perda de quase 100% de sua área de  
547 distribuição. *M. paraensis* teve a menor distribuição atual em relação as outras espécies estudadas,  
548 porém demonstrou grande plasticidade dentro dos modelos, certas precauções devem ser  
549 tomadas sobre a mesma, pois, sua nova área de ocorrência se estende exatamente sobre o arco  
550 do desmatamento, se tornando uma barreira para sua distribuição e permanência.

551 Os dados obtidos nessa pesquisa são de importância para preencher lacunas sobre  
552 espécies ocorrentes na Amazonia, com a atual distribuição das espécies *M. bidentata*, *M. elata*  
553 e *M. paraensis* e o que pode ocorrer com elas em cenários futuros.

554

555

556

## REFERÊNCIAS

- 557 ABRAM, N. J. et al. Connections of climate change and variability to large and extreme forest fires in  
558 southeast Australia. **Communications Earth and Environment**, v. 2, 2021.
- 559 AHMAD, A.; AHMAD, S. R.; GILANI, H. Potential Tree Species Distribution Modelling Using  
560 MaxEnt Model for Resource Partitioning in Azad Jammu and Kashmir (AJK), Pakistan. **Concepts and  
561 Applications of Remote Sensing in Forestry**, p. 135–152, 2022.
- 562 AIELLO-LAMMENS, M. E. et al. spThin: An R package for spatial thinning of species occurrence  
563 records for use in ecological niche models. **Ecography**, v. 38, n. 5, p. 541–545, 1 maio 2015.
- 564 ALMEIDA JR., E. B. DE et al. DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DE FRUTOS E SEMENTES DE  
565 *Manilkara salzmannii* (SAPOTACEAE). **Floresta**, v. 40, n. 3, p. 535–540, 2010.
- 566 ALMEIDA JR, E. B. Flora do Brasil - *Manilkara paraensis* (Huber) Standl. **Rodriguesia**, v. 66, p. 1058–  
567 1113, 2015.
- 568 ALVES-ARAÚJO, A. **Flora do Brasil - *Manilkara bidentata* (A.DC.) A.Chev.** Disponível em:  
569 <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil/FichaPublicaTaxonUC/FichaPublicaTaxonUC.do?id=FB24785>>. Acesso em: 12 set. 2021.
- 571 AMARAL, D. D. et al. Checklist da Flora Arbórea de Remanescentes Florestais da Região  
572 Metropolitana de Belém, Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Ciências Naturais**,  
573 v. 4, n. 3, p. 231–289, 2009.
- 574 ANA. ANA, ABC e OTCA lançam Projeto Amazonas — Português (Brasil). Disponível em:  
575 <<https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias-antigas/ana-abc-e-otca-lanassam-projeto-amazonas.2019-03-15.7468836688>>. Acesso em: 12 set. 2021.
- 577 ANDERSON, D.; KASPER, M.; TAIT, D. Southern Company Knew. **energyandpolicy.org**, p. 58,  
578 2022.
- 579 ANDERSON, R. P.; LEW, D.; PETERSON, A. T. Evaluating predictive models of species'

- distributions: Criteria for selecting optimal models. **Ecological Modelling**, v. 162, n. 3, p. 211–232, 2003.
- ANDRES MATA LLANA-PUERTO, C. et al. Rarity up in the mountain: Ecological niche modeling, phenology, and reproductive biology of the most commercialized *Masdevallia* species. **Journal for Nature Conservation**, v. 65, n. November 2021, 2022.
- ARAGÓN, L. E. Desenvolvimento amazônico em questão. <http://journals.openedition.org/rccs>, n. 107, p. 5–16, 1 set. 2015.
- ARRUDA, D.; CANDIDO, H. G.; FONSECA, R. **Amazon fires threaten Brazil's agribusiness**. **Science** American Association for the Advancement of Science, , 27 set. 2019.
- ASSIS, P. C.; FARIA, K. M. S.; BAYER, M. Unidades de Conservação e sua efetividade na proteção dos recursos hídricos na Bacia do Rio Araguaia. **Sociedade & Natureza**, v. 34, n. 1, p. 1–13, 2021.
- AZEVEDO, V. C. R. et al. Genetic structure and mating system of *Manilkara huberi* (Ducke) A. Chev., a heavily logged Amazonian timber species. **Journal of Heredity**, v. 98, n. 7, p. 646–654, 2007.
- AZEVEDO, V. C. R. et al. Variabilidade no cpDNA em *Manilkara huberi*, espécie sob manejo sustentável na Amazônia brasileira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 7, p. 859–867, 2008.
- BARBOSA-SILVA, R. G. et al. Preliminary placement and new records of an overlooked amazonian tree, *Christiana menegae* (Malvaceae). **PeerJ**, v. 9, p. 1–18, 2021.
- BARROS, H. S. D. et al. Classificação fisiológica de sementes de maçaranduba quanto a tolerância à dessecação e ao armazenamento. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 62, p. 1–5, 2019.
- BARUA, R.; BARDHAN, N.; BANERJEE, D. Impact of the Polar Ice Caps Melting on Ecosystems and Climates. Em: [s.l: s.n.]. p. 722–735.
- BONNEUIL, C.; CHOQUET, P. L.; FRANTA, B. Early warnings and emerging accountability: Total's responses to global warming, 1971–2021. **Global Environmental Change**, v. 71, n. February, 2021.
- BOON, M. A climate of change? The oil industry and decarbonization in historical perspective. **Business History Review**, v. 93, n. 1, p. 101–125, 2019.
- BRANDÃO, D. O.; BARATA, L. E. S.; NOBRE, C. A. The Effects of Environmental Changes on Plant Species and Forest Dependent Communities in the Amazon Region. **Forests**, v. 13, n. 3, p. 1–20, 2022.
- BRANDO, P. M. et al. **The gathering firestorm in southern Amazonia**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.science.org>>.
- BRITO, B.; ALMEIDA, J.; GOMES, P. **Dez fatos essenciais sobre regularização fundiária na Amazônia**. [s.l: s.n.].
- BROENNIMANN, O. et al. Measuring ecological niche overlap from occurrence and spatial environmental data. **Global Ecology and Biogeography**, v. 21, n. 4, p. 481–497, 1 abr. 2012.
- BROWN, J. L. SDMtoolbox: A python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 5, n. 7, p. 694–700, 2014.
- CARROL, C. et al. **Global Change Biology - 2017 - Carroll - Scale-dependent complementarity of climatic velocity and environmental diversity.pdf**. , 2017.
- CASTRO, T. DA C.; CARVALHO, J. O. P. DE. Dinâmica da população de *Manilkara huberi* (Ducke) A. Chev. durante 26 anos após a exploração florestal em uma área de terra firme na Amazônia brasileira. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 1, p. 161–169, 30 mar. 2014.
- CNCFLORA. **Manilkara Huberi in Lista vermelha da Flora brasileira versão 2012**. Disponível em: <[http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Manilkara excelsa](http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Manilkara%20excelsa)>.
- CNCFLORA. **Manilkara paraensis in Lista Vermelha da flora brasileira versão 2012.2** . Disponível em: <<http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/profile/Manilkara%20paraensis>>. Acesso em: 12 set. 2021b.
- CORRÊA, M. P.; PENA, L. DE A. **Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas (Livro, 1984) [WorldCat.org]**. Disponível em: <<https://www.worldcat.org/title/dicionario-das-plantas-uteis-do-brasil-e-das-exoticas-cultivadas/oclc/21880710>>. Acesso em: 12 set. 2021.
- DAVID, H. C. et al. A 20-year tree liberation experiment in the Amazon: Highlights for diameter growth rates and species-specific management. **Forest Ecology and Management**, v. 453, 1 dez. 2019.
- DEKA, M. A. Predictive Risk Mapping of Schistosomiasis in Madagascar Using Ecological Niche Modeling and Precision Mapping. **Tropical Medicine and Infectious Disease**, v. 7, n. 2, 2022.
- DOCHERTY, E. M. et al. Long-term drought effects on the thermal sensitivity of Amazon forest trees. 2022.
- ELITH, J. et al. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data.

- 635 **Ecography**, v. 29, n. 2, p. 129–151, abr. 2006.
- 636 ELITH, J. et al. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. **Diversity and Distributions**, v. 17,  
637 n. 1, p. 43–57, 1 jan. 2011.
- 638 ELITH, J.; KEARNEY, M.; PHILLIPS, S. The art of modelling range-shifting species. **Methods in**  
639 **Ecology and Evolution**, v. 1, n. 4, p. 330–342, 1 dez. 2010.
- 640 EMBRAPA. **Maçaranduba, Manilkara huberi. Espécies Arbóreas da Amazônia**, 2004. Disponível  
641 em: <[www.cpatu.embrapa.br/dendro/tudol.htm](http://www.cpatu.embrapa.br/dendro/tudol.htm)>. Acesso em: 12 set. 2021
- 642 FENG, X. et al. A checklist for maximizing reproducibility of ecological niche models. **Nature Ecology**  
643 **and Evolution**, v. 3, n. 10, p. 1382–1395, 2019.
- 644 FENG, X. et al. How deregulation, drought and increasing fire impact Amazonian biodiversity. **Nature**,  
645 1 set. 2021.
- 646 FERRAZ, I. D. K. et al. Características básicas para um agrupamento ecológico preliminar de espécies  
647 madeiras da floresta de terra firme da Amazônia Central. **Acta Amazonica**, v. 34, n. 4, p. 621–633,  
648 2004.
- 649 FERREIRA, B. M. L. et al. Recent trends in the fire dynamics in Brazilian Legal Amazon: Interaction  
650 between the ENSO phenomenon, climate and land use. **Environmental Development**, v. 39, n. May,  
651 p. 100648, 2021.
- 652 FERREIRA, R. B. et al. Combining ecological niche models with experimental seed germination to  
653 estimate the effect of climate change on the distribution of endangered plant species in the Brazilian  
654 Cerrado. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 194, n. 4, 2022.
- 655 **Flora do Brasil 2020.** Disponível em:  
656 <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil/PrincipalUC/PrincipalUC.do>>. Acesso em: 12 set.  
657 2021.
- 658 FRANKLIN, J.; MILLER, J. A. **Mapping species distributions: Spatial inference and prediction.**  
659 [s.l.: s.n.].
- 660 FRANTA, B. Early oil industry knowledge of CO<sub>2</sub> and global warming Antarctic ice losses tracking  
661 high. v. 8, n. December, p. 1024–1025, 2018.
- 662 GAIJI, S. et al. Content assessment of the primary biodiversity data published through GBIF network:  
663 Status, challenges and potentials. **Biodiversity Informatics**, v. 8, n. 2, p. 94–172, 9 jul. 2013.
- 664 GIANNINI, T. C. et al. Artigo de Revisão / Review Paper Desafios atuais da modelagem preditiva de  
665 distribuição de espécies Current challenges of species distribution predictive modelling Resumo A  
666 modelagem preditiva tem sido aplicada para analisar a distribuição geográfica de e. **Rodriguésia**, v. 63,  
667 n. 3, p. 733–749, 2012.
- 668 GILLESPIE, T. W. Policy, drought and fires combine to affect biodiversity in the Amazon basin.  
669 **Nature**, 1 set. 2021.
- 670 GIRASE, SWATI. D. Deforestation: Main cause for global warming in current scenario. **International**  
671 **Journal of climate and Resource Economic Review**, v. 10, n. 4, p. 4, 2022.
- 672 GRAHAM, C. H.; HIJMANS, R. J. A comparison of methods for mapping species ranges and species  
673 richness. **Global Ecology and Biogeography**, v. 0, n. 0, p. 060831043455001-???, 31 ago. 2006.
- 674 GUILHERME, D. R. et al. Direct and indirect effects of geographic and environmental factors on ant  
675 beta diversity across Amazon basin. **Oecologia**, v. 198, n. 1, p. 193–203, 2022.
- 676 HABIBULLAH, M. S. et al. Impact of climate change on biodiversity loss: global evidence.  
677 **Environmental Science and Pollution Research**, 3 ago. 2021.
- 678 HANDMER, J.; HONDA, Y.; ARNELL, N. Changes in impacts of climate extremes: human systems  
679 and ecosystems. n. April, 2012.
- 680 HAUSFATHER, Z. **Explainer: How ‘Shared Socioeconomic Pathways’ explore future climate**  
681 **change - Carbon Brief.** Disponível em: <[https://www.carbonbrief.org/explainer-how-shared-](https://www.carbonbrief.org/explainer-how-shared-socioeconomic-pathways-explore-future-climate-change/)  
682 [socioeconomic-pathways-explore-future-climate-change/](https://www.carbonbrief.org/explainer-how-shared-socioeconomic-pathways-explore-future-climate-change/)>. Acesso em: 2 fev. 2023.
- 683 HENGL, T. et al. SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. **PLOS**  
684 **ONE**, v. 12, n. 2, p. e0169748, 1 fev. 2017.
- 685 HIJAMANS, R. J. et al. Sistema de Información Geográfica para el Análisis de Datos de Distribución  
686 de Especies. **DIVA-GIS**, v. 4, p. 1–83, 2004.
- 687 HILL, M. P.; TERBLANCHE, J. S. Niche Overlap of Congeneric Invaders Supports a Single-Species  
688 Hypothesis and Provides Insight into Future Invasion Risk: Implications for Global Management of the  
689 *Bactrocera dorsalis* Complex. **PLOS ONE**, v. 9, n. 2, p. e90121, 27 fev. 2014.

- 690 HIRZEL, A. H. et al. Evaluating the ability of habitat suitability models to predict species presences.  
691 **Ecological Modelling**, v. 199, n. 2, p. 142–152, 2006.
- 692 HOGAN, J. A. et al. Solar radiation and soil moisture drive tropical forest understory responses to  
693 experimental and natural hurricanes. **Ecosphere**, v. 13, n. 7, p. e4150, 1 jul. 2022.
- 694 HOLMGREN, M. et al. Effects of interannual climate variability on tropical tree cover. **Nature Climate  
695 Change 2013 3:8**, v. 3, n. 8, p. 755–758, 2 jun. 2013.
- 696 IBGE. **Brasil | Cidades e Estados | IBGE**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados>>. Acesso em: 11 fev. 2023.
- 697  
698 IEA. **Combustíveis e Tecnologias - IEA**. Disponível em: <<https://www.iea.org/fuels-and-technologies>>. Acesso em: 6 fev. 2023.
- 699  
700 IGAWA, T. K.; DE TOLEDO, P. M.; ANJOS, L. J. S. Climate change could reduce and spatially  
701 reconfigure cocoa cultivation in the Brazilian Amazon by 2050. **PLoS ONE**, v. 17, n. 1 January, p. 1–  
702 14, 2022.
- 703 IMAZON. **Amazônia perdeu quase 3 mil campos de futebol por dia de floresta em 2022, maior  
704 desmatamento em 15 anos - Imazon**. Disponível em: <[https://imazon.org.br/imprensa/amazonia-  
705 perdeu-quase-3-mil-campos-de-futebol-por-dia-de-floresta-em-2022-maior-desmatamento-em-15-  
706 anos/](https://imazon.org.br/imprensa/amazonia-perdeu-quase-3-mil-campos-de-futebol-por-dia-de-floresta-em-2022-maior-desmatamento-em-15-anos/)>. Acesso em: 11 fev. 2023.
- 707 IPCC. **AR5 SYR Glossary – English – IPCC**. Disponível em:  
708 <<https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/ar5-syr-glossary-english/>>. Acesso em: 2 fev. 2023.
- 709 IPCC. **AR6 Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change – IPCC**. Disponível em:  
710 <<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-3/>>. Acesso em: 2 fev. 2023.
- 711 IUCN. **Manilkara elata**. Disponível em: <<https://www.iucnredlist.org/species/35609/9943876>>.  
712 Acesso em: 12 set. 2021a.
- 713 IUCN. **Manilkara paraensis**. Disponível em: <<https://www.iucnredlist.org/species/35617/9945001>>.  
714 Acesso em: 12 set. 2021b.
- 715 IUCN. **IUCN Red List of Threatened Species**. Disponível em:  
716 <<https://www.iucnredlist.org/search?query=manilkara&searchType=species>>. Acesso em: 10 fev.  
717 2023.
- 718 IV, A. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of  
719 flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 181, n. 1, p. 1–20, 1 maio  
720 2016.
- 721 JACOBI, P. R.; BUCKERIDGE, M.; RIBEIRO, W. C. Governança da água na Região Metropolitana  
722 de São Paulo - desafios à luz das mudanças climáticas. **Estudos Avancados**, v. 35, n. 102, p. 209–226,  
723 2021.
- 724 KARGER, D. N. et al. Climatologies at high resolution for the earth’s land surface areas. **Scientific  
725 Data 2017 4:1**, v. 4, n. 1, p. 1–20, 5 set. 2017.
- 726 KASS, J. M. et al. Wallace 2: a Shiny App for Modeling Species Niches and Distributions Redesigned  
727 To Facilitate Expansion Via Module Contributions. **Ecography**, p. 1–9, 2023.
- 728 KRAUSMANN, F. et al. Annual Review of Environment and Resources Material Flow Accounting:  
729 Measuring Global Material Use for Sustainable Development. 2017.
- 730 KUKACHKA, B. F. Wood anatomy of the neotropical Sapotaceae. XXIII, Gayella. **Res. Pap. FPL-  
731 374. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory,  
732 1981: 3 pages**, v. 374, 1981.
- 733 KULAKHMETOVA, G. A. Географические науки. **BULLETIN OF SCIENCE AND  
734 EDUCATION**, v. 1, n. 121, p. 61–67, 2022.
- 735 KULEVICZ, R. A. et al. Análise Da Vulnerabilidade Genética Das Florestas E Argumentos Para  
736 Redução Do Desmatamento. **Ambiente & Sociedade**, v. 23, p. 3–18, 2020.
- 737 LACERDA, A. E. B. DE; NIMMO, E. R. Can we really manage tropical forests without knowing the  
738 species within? Getting back to the basics of forest management through taxonomy. **Forest Ecology  
739 and Management**, v. 259, n. 5, p. 995–1002, 20 fev. 2010.
- 740 LAPOLA, D. M. et al. The drivers and impacts of Amazon forest degradation. **Science**, v. 379, n. 6630,  
741 2023.
- 742 LEÃO, M. et al. Certificação da produção de sementes e mudas de espécies florestais nativas. **Pomar  
743 de sementes de espécies florestais nativas**, p. 65–82, 2015.
- 744 LEITE, J. C. Controvérsias científicas ou negação da ciência? A agnotologia e a ciência do clima.

- 745 **Scientiae Studia**, v. 12, n. 1, p. 179–189, 2014.
- 746 LIMA, J.; FILHO, A. CARACTERÍSTICAS ECOLÓGICAS E SILVICULTURAIS DE  
747 MAPARAJUBA (*Manilkara paraensis* Standl.) E MAÇARANDUBA (*Manilkara huberi* (Ducke)  
748 Standl.) EM UMA FLORESTA PRIMÁRIA DE TERRA FIRME DO AMAPÁ. **EMBRAPA Solos**, v.  
749 4, n. 21, p. 274–5291, 2000.
- 750 LINDNER, M. et al. Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest  
751 ecosystems. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 4, p. 698–709, 2010.
- 752 LIU, C.; NEWELL, G.; WHITE, M. On the selection of thresholds for predicting species occurrence  
753 with presence-only data. **Ecology and Evolution**, v. 6, n. 1, p. 337–348, 1 jan. 2016.
- 754 LOCOSSELLI, G. M. et al. Global tree-ring analysis reveals rapid decrease in tropical tree longevity  
755 with temperature. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**,  
756 v. 117, n. 52, p. 33358–33364, 2020.
- 757 MACHADO, R. M. et al. Population structure and intraspecific ecological niche differentiation point to  
758 lineage divergence promoted by polyploidization in *Psidium cattleianum* (Myrtaceae). **Tree Genetics  
759 and Genomes**, v. 18, n. 3, 2022.
- 760 MARCHIORO, C. A.; SANTOS, K. L.; SIMINSKI, A. Present and future of the critically endangered  
761 *Araucaria angustifolia* due to climate change and habitat loss. **Forestry**, v. 93, n. 3, p. 401–410, 2021.
- 762 MAUES, M. M. **Polinização de uma espécie emergente na Floresta Nacional do Tapajós - PA:  
763 Manilkara huberi (Ducke) Standley Sapotaceae. - Portal Embrapa.** Disponível em:  
764 <[https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/408486/polinizacao-de-uma-especie-  
765 emergente-na-floresta-nacional-do-tapajos---pa-manilkara-huberi-ducke-standley-sapotaceae](https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/408486/polinizacao-de-uma-especie-emergente-na-floresta-nacional-do-tapajos---pa-manilkara-huberi-ducke-standley-sapotaceae)>. Acesso  
766 em: 12 set. 2021.
- 767 MAUÉS, M. M. **Sistema de Polinização no dossel de uma floresta ombrófila densa na Amazônia.**  
768 Anais do VII congresso de ecologia do Brasil. **Anais...Caxumba: 2007.** Disponível em:  
769 <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/100531/1/3430.pdf>>
- 770 MAXWELL, S., FULLER, R., BROOKS, T., & WATSON, J. The ravages of guns, nets and bulldozers.  
771 **Nature**, v. 536, p. 143–145, 2016.
- 772 MOHAMMED, M.; WICKHAM, L. D. Quality changes in balata (*Manilkara bidentata*) fruit as affected  
773 by modified atmosphere packaging during refrigerated storage. **Acta Horticulturae**, v. 906, p. 63–66,  
774 1 set. 2011.
- 775 MOMMERS, J. **A Crack in the Shell.** [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.>>. Acesso em: 10 fev.  
776 2023.
- 777 NOBRE, C. A. et al. Land-use and climate change risks in the amazon and the need of a novel sustainable  
778 development paradigm. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of  
779 America**, v. 113, n. 39, p. 10759–10768, 2016.
- 780 OLIVEIRA, B. F. ALVES DE et al. Deforestation and climate change are projected to increase heat  
781 stress risk in the Brazilian Amazon. **Communications Earth and Environment**, v. 2, n. 1, p. 1–8, 2021.
- 782 OLSON, D. M. et al. Terrestrial ecoregions of the world: A new map of life on Earth. **BioScience**, v.  
783 51, n. 11, p. 933–938, 2001.
- 784 OMETTO, J. P.; AGUIAR, A. P. D.; MARTINELLI, L. A. Amazon deforestation in Brazil: Effects,  
785 drivers and challenges. **Carbon Management**, v. 2, n. 5, p. 575–585, out. 2011.
- 786 PARREIRAS, O. M. U. DE S. A regulamentação dos jardins botânicos brasileiros: ampliando as  
787 perspectivas de conservação da biodiversidade I. **Rodriguesia**, v. 54, p. 35–54, 2003.
- 788 PAZ, F. S. et al. Edible Fruit Plant Species in the Amazon Forest Rely Mostly on Bees and Beetles as  
789 Pollinators. **Journal of Economic Entomology**, v. 114, n. 2, p. 710–722, 2021.
- 790 PENNINGTON, T. D. **Organization for Flora Neotropica Sapotaceae.** [s.l.: s.n.].
- 791 PETERSON, A. T. et al. Ecological Niches and Geographic Distributions (MPB-49). **Ecological Niches  
792 and Geographic Distributions (MPB-49)**, 20 nov. 2011.
- 793 PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species  
794 geographic distributions. **Ecological Modelling**, v. 190, p. 231–259, 2006.
- 795 PINHEIRO, F. A. S. et al. Morfofisiologia E Anatomia Foliar De *Hippeastrum Stylosum* Herb. Em  
796 Diferentes Condições De Luz. **Estudos Dendrológicos e Ecológicos na Amazônia: oportunidades e  
797 experiências**, p. 135–150, 2022.
- 798 PINHEIRO, K. A. O. et al. Fitossociologia De Uma Área De Preservação Permanente No Leste Da  
799 Amazônia: Indicação De Espécies Para Recuperação De Áreas Alteradas. **Floresta**, v. 37, n. 2, p. 175–

- 187, 2007.
- PORFIRIO, L. L. et al. Improving the use of species distribution models in conservation planning and management under climate change. **PLoS ONE**, v. 9, n. 11, p. 1–21, 2014.
- QUINTANA, Y. G. et al. Seed viability, germination and seedling quality patterns of three forest species for restoration in Amazonian conditions. **Enfoque UTE**, p. 18–32, 2022.
- RAES, N.; TER STEEGE, H. **A Null-Model for Significance Testing of Presence-Only Species Distribution Models on JSTOR**. Disponível em: <[https://www.jstor.org/stable/30244521#metadata\\_info\\_tab\\_contents](https://www.jstor.org/stable/30244521#metadata_info_tab_contents)>. Acesso em: 2 fev. 2023.
- RATIARISON, S.; FORGET, P. M. Fruit availability, frugivore satiation and seed removal in 2 primate-dispersed tree species. **Integrative Zoology**, v. 6, n. 3, p. 178–194, set. 2011.
- RATTNER, H. Meio ambiente e desenvolvimento sustentável: o mundo na encruzilhada da História. **Revista Espaço Acadêmico**, v. 14, p. 2–7, 2002.
- REES, W. E. Ecological economics for humanity’s plague phase. **Ecological Economics**, v. 169, n. July 2019, p. 106519, 2020.
- REGOS, A. et al. Mainstreaming remotely sensed ecosystem functioning in ecological niche models. **Remote Sensing in Ecology and Conservation**, v. 8, n. 4, p. 431–447, 2022.
- REIS, L. P. et al. Avaliação do potencial madeireiro na Floresta Nacional do Tapajós após 28 anos da exploração florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 64, p. 265, 27 out. 2010.
- REIS, L. P. et al. Sapotaceae em uma Floresta de Terra Firme no Município de Moju, Pará. **Embrapa Amazônia Oriental**, p. 57, 2015.
- RIBEIRO, R. F. et al. Experimental investigation on variability in properties of Amazonian wood species Muiracatiara ( *Astronium lecontei* ) and Maçaranduba ( *Manilkara huberi* ) focusing guitar fingerboards manufacturing. **Journal of Bioresources and Bioproducts**, v. 6, n. 1, p. 33–38, 2021.
- RSTUDIO. **Download the RStudio IDE - RStudio**. Disponível em: <<https://support--rstudio-com.netlify.app/products/rstudio/download/>>. Acesso em: 11 fev. 2023.
- SAATCHI, S. et al. Modeling distribution of Amazonian tree species and diversity using remote sensing measurements. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 5, p. 2000–2017, 2008.
- SAUPE, E. E. et al. Reconstructing ecological niche evolution when niches are incompletely characterized. **Systematic Biology**, v. 67, n. 3, p. 428–438, 2018.
- SCHOENER, T. W. Nonsynchronous Spatial Overlap of Lizards in Patchy Habitats. **Ecology**, v. 51, n. 3, p. 408–418, 1 maio 1970.
- SEMAS. **Espécies ameaçadas**. , 2006.
- SILVA, L. B. et al. How future climate change and deforestation can drastically affect the species of monkeys endemic to the eastern Amazon, and priorities for conservation. **Biodiversity and Conservation**, v. 31, n. 3, p. 971–988, 2022.
- SILVA, T. R. et al. Species distribution models of rare tree species as an evaluation tool for synergistic human impacts in the Amazon rainforest. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 40, n. 4, p. 963–971, 2017.
- SMITH, C.; BAKER, J. C. A.; SPRACKLEN, D. V. Tropical deforestation causes large reductions in observed precipitation. **Nature**, v. 615, n. 7951, p. 270–275, 2023.
- SOBERÓN, J.; OSORIO-OLVERA, L.; PETERSON, T. Diferencias conceptuales entre modelación de nichos y modelación de áreas de distribución. **Revista Mexicana de Biodiversidad**, v. 88, n. 2, p. 437–441, 1 jun. 2017.
- SOLTIS, P. S.; NELSON, G.; JAMES, S. A. **Green digitization: Online botanical collections data answering real-world questions: Online. Applications in Plant Sciences** John Wiley and Sons Inc., , 1 fev. 2018.
- SOUZA, C. M. et al. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, 2020.
- SOUZA, D. V. et al. Growth of *Manilkara huberi* and *Manilkara paraensis* after logging and silvicultural treatments in the municipality of Paragominas, Pará, Brazil. **Floresta**, v. 44, n. 3, p. 485–496, 2014.
- SOUZA, P. R. P. DE. Os Princípios Do Direito Ambiental Como Instrumentos De Efetivação Da Sustentabilidade Do Desenvolvimento Econômico. **Veredas do Direito: Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável**, v. 13, n. 26, p. 289–317, 2016.
- SOUZA, V. C.; LORENZI, H.; NETO, A. C. R. **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Fanerógamas nativas e exóticas no Brasil em APG II / Vinicius Castro Souza, Harri Lorenzi; revisão técnica, Antonio Campos Rocha Neto ... et al. | Smithsonian**

- 855 **Institution.** [s.l: s.n.].
- 856 STEFFEN, W. et al. Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. **Proceedings of the National**
- 857 **Academy of Sciences of the United States of America**, v. 115, n. 33, p. 8252–8259, 2018.
- 858 SUPRAN, G.; RAHMSTORF, S.; ORESKES, N. Assessing ExxonMobil’s global warming projections.
- 859 **Science (New York, N.Y.)**, v. 379, n. 6628, p. eabk0063, 2023.
- 860 TAKEDA, P. S. et al. Morphological of fruit, seed, seedling and saplings of two species of the Manilkara
- 861 Adans Morfologia do fruto, semente, plântula e planta jovem de duas espécies de Manilkara Adans 1\*
- 862 2 3 4. n. 1, p. 48–53, 2017.
- 863 TAKOLA, E.; SCHIELZETH, H. Hutchinson’s ecological niche for individuals. **Biology and**
- 864 **Philosophy**, v. 37, n. 4, p. 1–21, 2022.
- 865 THUILLER, W. et al. BIOMOD – a platform for ensemble forecasting of species distributions.
- 866 **Ecography**, v. 32, n. 3, p. 369–373, 1 jun. 2009.
- 867 TINOCO, B. A. et al. Distribution, ecology and conservation of an endangered Andean hummingbird:
- 868 The Violet-throated Metaltail (*Mettallura baroni*). **Bird Conservation International**, v. 19, n. 1, p. 63–
- 869 76, 2009.
- 870 TITTENSOR, D. P. et al. Predicting global habitat suitability for stony corals on seamounts. **Journal of**
- 871 **Biogeography**, v. 36, n. 6, p. 1111–1128, jun. 2009.
- 872 UHL, C.; VIEIRA, I. C. G. Ecological Impacts of Selective Logging in the Brazilian Amazon: A Case
- 873 Study from the Paragominas Region of the State of Para. **Biotropica**, v. 21, n. 2, p. 98, jun. 1989.
- 874 UNITED, T.; ENVIRONMENT, N. Timeline – highlights of IPCC history. p. 2006–2007, 2007.
- 875 VALE, M. M. et al. The COVID-19 pandemic as an opportunity to weaken environmental protection in
- 876 Brazil. **Biological Conservation**, v. 255, n. February, 2021.
- 877 VALENTE, D. M.; SOUSA, J. DOS S. DE; BASTOS, M. DE N. C. Estudo taxonômico de Sapotaceae
- 878 Juss. do litoral Paraense. **Acta Amazonica**, v. 43, n. 2, p. 161–168, 2013.
- 879 VELAZCO, S. J. E. et al. Using worldwide edaphic data to model plant species niches: An assessment
- 880 at a continental extent. **PLOS ONE**, v. 12, n. 10, p. e0186025, 1 out. 2017.
- 881 WALKER, R. T. Collision Course: Development Pushes Amazonia Toward Its Tipping Point.
- 882 <https://doi.org/10.1080/00139157.2021.1842711>, v. 63, n. 1, p. 15–25, 2020.
- 883 WALSH, B. S. et al. The Impact of Climate Change on Fertility. **Trends in Ecology and Evolution**, v.
- 884 34, n. 3, p. 249–259, 2019.
- 885 WANDELER, P.; HOECK, P. E. A.; KELLER, L. F. **Back to the future: museum specimens in**
- 886 **population genetics.** **Trends in Ecology and Evolution**, dez. 2007.
- 887 WIENS, J. A. et al. Niches, models, and climate change: Assessing the assumptions and uncertainties.
- 888 **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 106, n. SUPPL.
- 889 2, p. 19729–19736, 2009.
- 890 XIE, D. et al. Effects of climate change on richness distribution patterns of threatened conifers endemic
- 891 to China. **Ecological Indicators**, v. 136, p. 108594, 2022.
- 892 YEH, S. W. et al. Changes in mixed layer depth under climate change projections in two CGCMs.
- 893 **Climate Dynamics**, v. 33, n. 2–3, p. 199–213, 2009.
- 894 ZALLES, V. et al. **Rapid expansion of human impact on natural land in South America since**
- 895 **1985** **Sci. Adv.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://advances.sciencemag.org/>>.
- 896 ZAPPI, D. C. et al. Growing knowledge: an overview of Seed Plant diversity in Brazil. **The Brazil**
- 897 **Flora Group Rodriguésia**, v. 66, n. 4, p. 1085–1113, 2015.
- 898 ZHANG, W. et al. Ecosystem structural changes controlled by altered rainfall climatology in tropical
- 899 savannas. **Nature Communications**, v. 10, n. 1, p. 671–671, 8 fev. 2019.
- 900

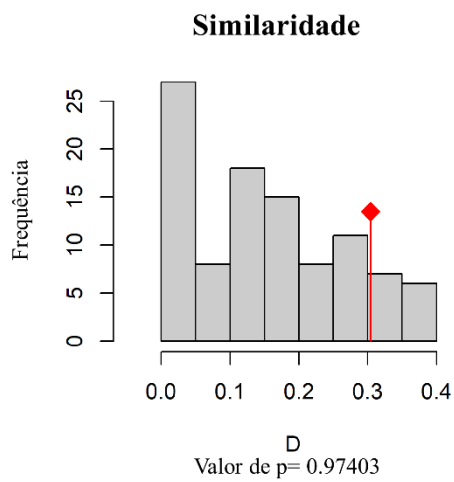
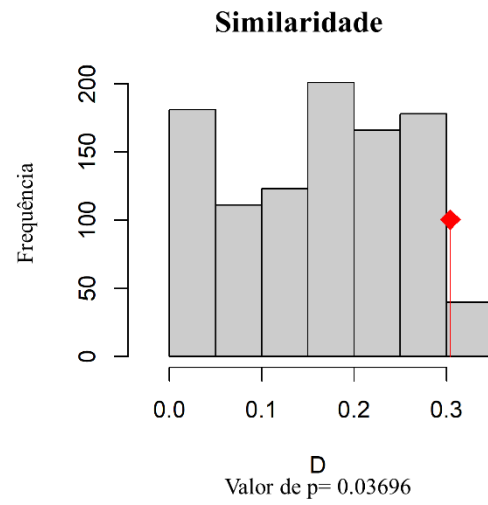
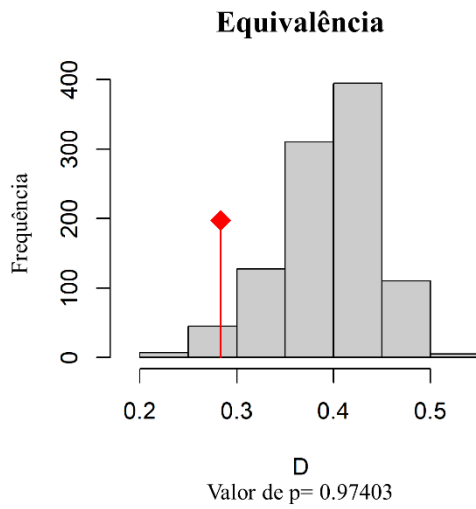








Anexo 4. Histogramas de equivalência e similaridade de *M. bidentata* versus *M. elata*



35 Anexo 5. Histogramas de equivalência e similaridade de *M. bidentata* versus *M.*  
 36 *paraensis*

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

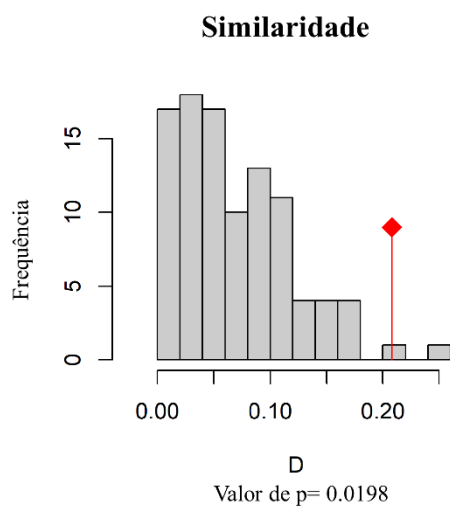
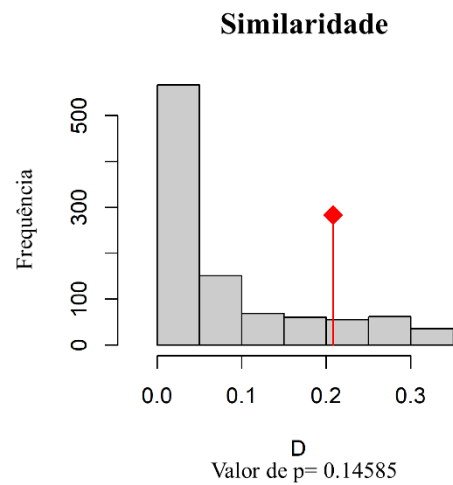
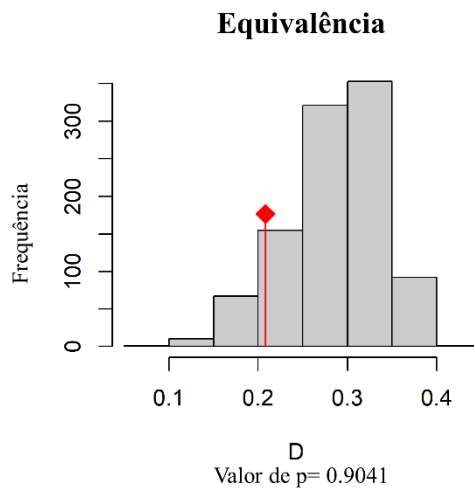
64

65

66

67

68



69 Anexo 6. Histogramas de equivalência e similaridade de *M. elata* versus *M. paraensis*

70

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

82

83

84

85

86

87

88

89

90

91

92

93

94

95

96

97

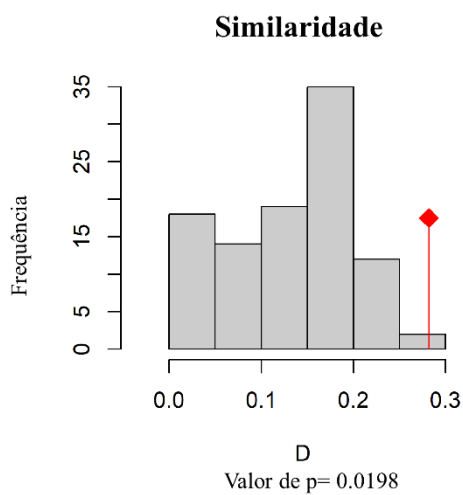
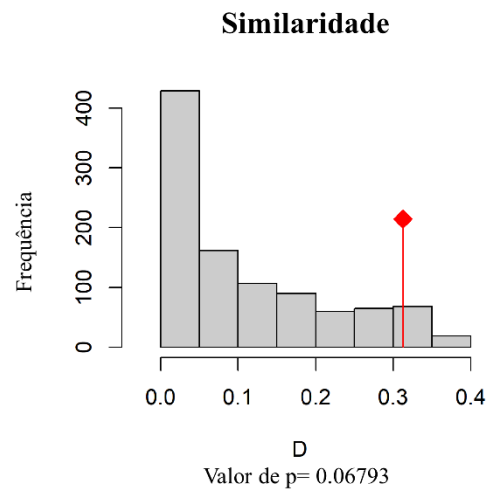
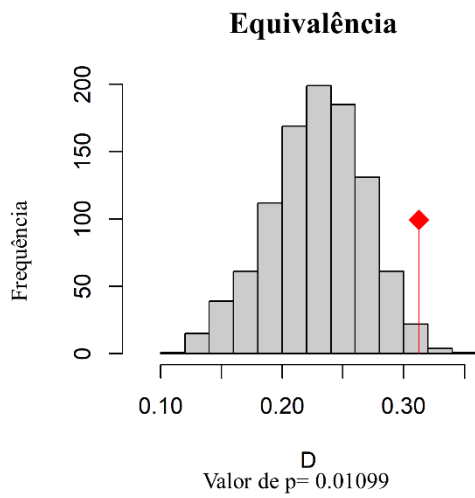
98

99

100

101

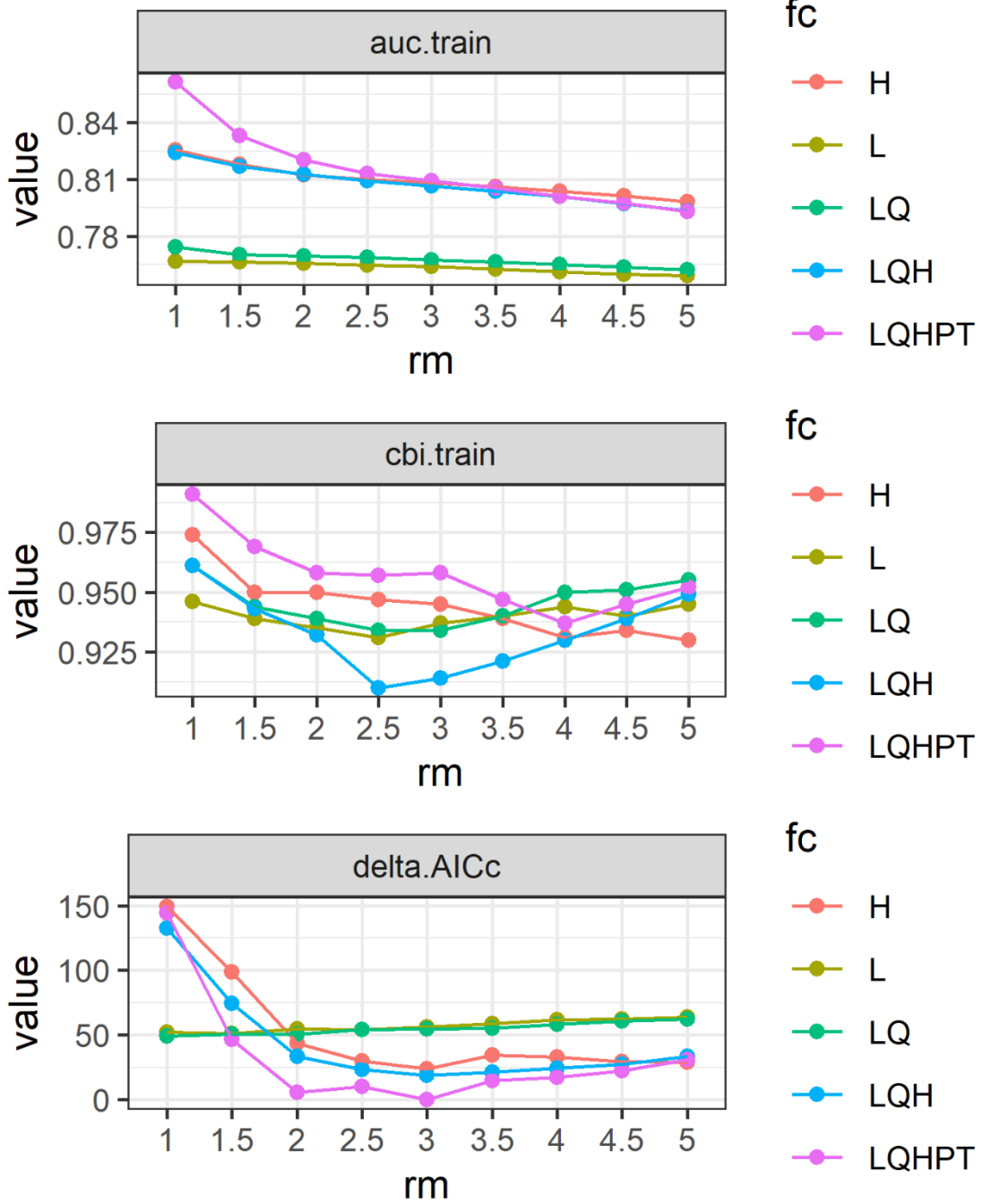
102



103 **Anexo 7**

104 Escolha do melhor modelo *M. bidentata* pelo AICc.

105



106

107 **Anexo 8**108 Escolha do melhor modelo de *M. elata* pelo AICc.

109

110

111

112

113

114

115

116

117

118

119

120

121

122

123

124

125

126

127

128

129

130

131

132

133

134

135

136

137

138

139

140

141

142

143

144

145

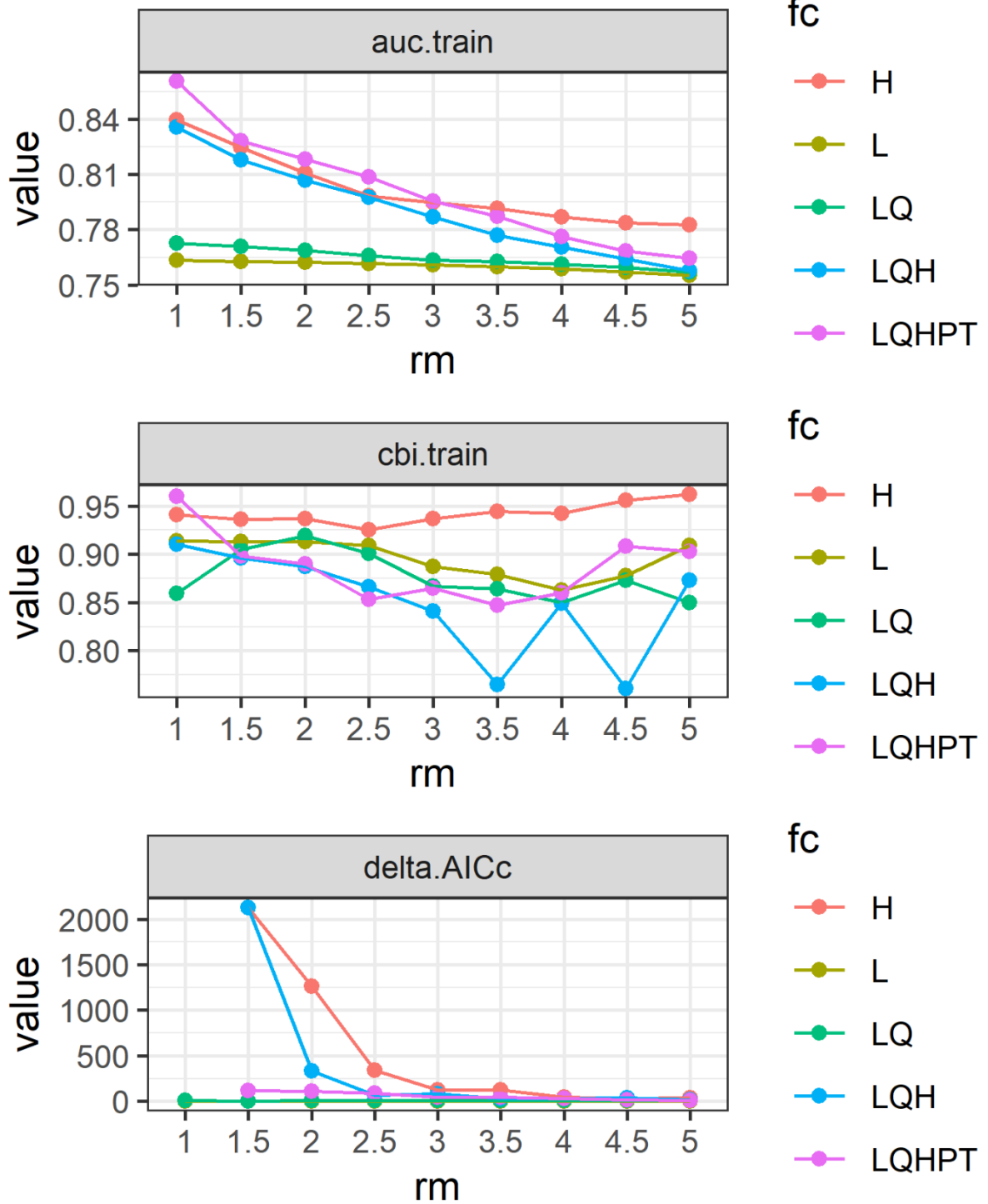
146

147

148

149

150



151

152 **Anexo 9**153 Escolha do melhor modelo de *M. paraensis* pelo AICc.

154

155

156

157

158

159

160

161

162

163

164

165

166

167

168

169

170

171

172

173

174

175

176

177

178

179

180

181

182

183

184

185

186

187

188

189

190

191

192

193

194

195

196

197

198

