



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Instituto de Biociências

A riqueza e adequabilidade ambiental para os polinizadores são importantes para a produtividade e o valor da produção de maracujá (*Passiflora edulis*) no Brasil?

Karla Akemy Bonaldi Otsu

Rio de Janeiro

2018

Karla Akemy Bonaldi Otsu

A riqueza e adequabilidade ambiental para os polinizadores são importantes para a produtividade e o valor da produção de maracujá (*Passiflora edulis*) no Brasil?

Monografia do Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Instituto de Biociências da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos à obtenção do título de Bacharel em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Maria Lucia Lorini

Rio de Janeiro

2018

OTSU, Karla

A RIQUEZA E ADEQUABILIDADE AMBIENTAL PARA OS POLINIZADORES SÃO IMPORTANTES PARA A PRODUTIVIDADE E O VALOR DA PRODUÇÃO DE MARACUJÁ (*PASSIFLORA EDULIS*) NO BRASIL?

Rio de Janeiro, 2018

40f

Monografia do Trabalho de Conclusão de Curso

Orientador: Prof.^a Dr.^a Maria Lucia Lorini

1. Biogeografia da Conservação 2. Abelhas Polinizadoras 3. Mamangavas
4. Maracujá 5. Modelagem de Nicho Ecológico 6. Modelagem de Distribuição
de Espécies

I. Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

II. A riqueza e adequabilidade ambiental para os polinizadores são importantes para a produtividade e o valor da produção de maracujá (*Passiflora edulis*) no Brasil?

Karla Akemy Bonaldi Otsu

A RIQUEZA E ADEQUABILIDADE AMBIENTAL PARA OS POLINIZADORES SÃO
IMPORTANTES PARA A PRODUTIVIDADE E O VALOR DA PRODUÇÃO DE MARACUJÁ
(*PASSIFLORA EDULIS*) NO BRASIL?

Monografia do Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Instituto de Biociências da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos à obtenção do título de Bacharel em Ciências Ambientais.

Aprovada em

Dra. Maria Lucia Lorini, DCN, UNIRIO

Dr. Bruno Moreira de Carvalho, Instituto Oswaldo Cruz (FIOCRUZ)

Dr. Rafael da Rocha Fortes, DERM, UNIRIO



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO - UNIRIO Instituto de
Biociências**

Aos 26 dias do mês de julho do ano de dois mil e dezoito, às 16 horas, realizou-se na sala 502, 5º andar do Prédio do Instituto de Biociências/CCET da UNIRIO (Campus da Avenida Pasteur, 458) o exame da monografia intitulada "A riqueza e a adequabilidade ambiental para os polinizadores são importantes para a produtividade do maracujá (*Passiflora edulis*) no Brasil?" do discente Karla Akemy Bonaldi Otsu, do Curso de Ciências Ambientais, da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO), como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Bacharel em Ciências Ambientais. A presente monografia foi orientada pelo Prof^a. Dr^a. Maria Lucia Lorini. A Banca Examinadora foi devidamente constituída pelos professores, a saber: Prof^a. Dr^a. Maria Lucia Lorini - DCN/UNIRIO, presidente da Banca, Dr. Bruno Moreira de Carvalho – FIOCRUZ e Dr. Rafael da Rocha Fortes – UNIRIO. Após arguir o candidato e considerar que o mesmo demonstrou capacidade no trato do tema escolhido e sistematização nos dados, a Banca Examinadora houve por bem aprová-lo com grau 8,0 (oito). O grau obtido foi resultado dos graus concedidos pelos examinadores, a saber: Prof^a. Dr^a. Maria Lucia Lorini – DCN/UNIRIO, grau 8,0 (oito), Dr. Bruno Moreira de Carvalho - FIOCRUZ, grau 8,0 (oito), Dr. Rafael da Rocha Fortes – UNIRIO, grau 8,0 (oito). Uma vez encerrado o exame, eu Maria Lucia Lorini, lavrei a presente Ata que assino com os demais membros da Banca Examinadora.

Rio de Janeiro, 26 de julho de 2018.

Dr.^a Maria Lucia Lorini

Dr. Bruno Moreira de Carvalho

Dr. Rafael da Rocha Fortes



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Rio de Janeiro, 26 de julho de 2018.

À Secretaria Acadêmica

Prezados Senhores, gostaria de informar que no dia vinte e seis de julho de dois mil e dezoito, o discente Karla Akemy Bonaldi Otsu do Curso de Bacharelado em Ciências Ambientais, matrícula 20142114032, defendeu sob minha orientação a monografia de conclusão de curso intitulada: " A riqueza e a adequabilidade ambiental para os polinizadores são importantes para a produtividade do maracujá (*Passiflora edulis*) no Brasil?", tendo sido aprovado com grau oito, conforme consta na Ata da defesa em anexo. Aproveito também para informar que o referido discente já fez todas as modificações e correções sugeridas pela banca e esta versão que o mesmo apresenta é a versão final e corrigida.

Cordialmente,

Dr.^a Maria Lucia Lorini

Professor Titular

“A ciência é muito mais do que um corpo de conhecimento. É uma forma de pensar. Uma maneira cética de interrogar o universo com pleno entendimento da falibilidade humana.”

Sagan, Carl.

Dedico à presente e futura geração para que se conscientizem, viabilizando a existência e melhorando a qualidade de vida não só de nossa espécie, como de todas as outras.

Agradecimentos

Agradeço à minha família, principalmente aos meus pais, por todo o suporte emocional e financeiro.

À Prof.^a Dra. Maria Lucia Lorini, minha orientadora, que nunca desistiu de mim e sempre me deu todo suporte e incentivo para alcançar meus objetivos.

Ao Prof. Dr. Fábio Veríssimo, que me acompanha desde o primeiro período me aconselhando e ensinando.

Aos amigos de laboratório, Carlos Eduardo Arlé, Gabriel Panigai, e Eduardo Minsky – que tiveram muita paciência para me ensinar a mexer no R -, Rodrigo Índio e Michelle Andreu, muito obrigada por todas as conversas e por toda a convivência.

Ao Mestre Renato Regazzi que permitiu que estagiasse no SEBRAE, me introduzindo a um ambiente completamente diferente do que estava acostumada, ajudando na minha melhoria profissional.

Aos meus queridos, Matheus Drago, Nestor Rodrigues, Thayane Moura, Renan Habib, Vitor Aguiar e Vinicius Chiapetta por me ajudarem durante a graduação.

À UNIRIO pela bolsa de Iniciação Científica.

Resumo

A polinização mediada por animais é um processo ecossistêmico integral e um serviço ecossistêmico chave. Cerca de 90% das plantas floríferas dependem, pelo menos em parte, da polinização por animais. As abelhas são o grupo mais importante de polinizadores, visitando mais de 90% dos 107 principais tipos de culturas globais, sendo que colheitas dependentes destes polinizadores contribuem para 35% do volume da produção global. No Brasil, cerca de um terço das culturas são parcial ou totalmente dependentes de polinizadores. O cultivo do maracujá, *Passiflora edulis* é classificado como essencialmente dependente dos polinizadores. O Brasil ocupa a posição de maior produtor mundial de maracujá, que está entre as 20 frutas mais cultivadas no país. Contudo, a produtividade do maracujá no Brasil é considerada baixa, o que é atribuído à carência de polinizadores naturais nas regiões de cultura, uma vez que a frutificação do maracujá depende inteiramente da polinização cruzada em virtude da autoincompatibilidade. A planta é totalmente dependente de agentes polinizadores que, devido à peculiar morfologia da flor, são principalmente as abelhas de grande porte conhecidas como mamangavas. Dentre os polinizadores mais eficientes para o maracujá destacam-se *Epicharis flava*, *Euglossa cordata*, *Euglossa ignita*, *Xylocopa frontalis*, *Xylocopa ordinaria* e *Xylocopa suspecta*. A importância dessas abelhas é evidenciada pela correlação entre o tamanho de suas populações nas áreas com cultivos de maracujá e a lucratividade dessas plantações. Estudos têm demonstrado que a adequabilidade ambiental para as plantas e seus polinizadores afeta positivamente a produtividade para plantas de interesse econômico. Sugere-se também que o valor de produção seja afetado por fatores socioeconômicos. Este estudo visou investigar a produtividade e o valor da produção de *P. edulis* nos municípios brasileiros, determinar o potencial para a distribuição geográfica de seus polinizadores, bem como avaliar a influência de variáveis ecológicas e socioeconômicas na produtividade e valor da produção do maracujá. A distribuição das áreas ambientalmente adequadas para as mamangavas foram obtidas através de Modelos de Nicho Ecológico, utilizando o algoritmo de Máxima Entropia (Maxent). A produtividade e o valor da produção de maracujá para os municípios do Brasil foram levantados. Além disso, para explicar a variação da produtividade e do valor da produção foram construídos modelos baseados em variáveis ecológicas (vegetação natural remanescente, riqueza e de polinizadores e adequabilidade ambiental para polinizadores) e socioeconômicas (Produto Interno Bruto, Índice de Desenvolvimento Humano e população rural). Os modelos foram selecionados usando o Critério de Informação de Akaike. Os resultados indicam que a produtividade teve como preditores mais importantes variáveis ecológicas ligadas aos polinizadores. O valor de produção do maracujá foi positivamente relacionado com a população rural a vegetação natural remanescente, que foram os preditores mais importantes. A riqueza de polinizadores afetou positivamente a produtividade e o valor de produção de *P. edulis*, sendo a variável mais importante para prever o rendimento da produção de maracujá e a terceira mais importante para prever o valor de produção. Os resultados deste estudo reforçam a importância da presença das mamangavas para o cultivo do maracujá.

Palavras-chave: Biogeografia da Conservação, abelhas polinizadoras, mamangavas, produtividade de maracujá, modelagem de nicho ecológico, modelagem de distribuição de espécies

Abstract

Animal-mediated pollination is an integral ecosystem process and a key ecosystem service. About 90% of flowering plants depend, at least in part, on pollination by animals. Bees are the most important group of pollinators, visiting more than 90% of the 107 main types of global crops, and dependent harvests of these pollinators contribute to 35% of the global production volume. In Brazil, about one third of the crops are partially or totally dependent on pollinators. The cultivation of passion fruit, *Passiflora edulis* is classified as essentially dependent on pollinators. Brazil ranks as the world's largest producer of passion fruit, which is among the 20 most cultivated fruits in the country. However, the productivity of passion fruit in Brazil is considered low, which is attributed to the lack of natural pollinators in the crop regions, since the fruiting of passion fruit depends entirely on cross-pollination due to self-incompatibility. The plant is totally dependent on pollinating agents which, due to the peculiar morphology of the flower, are mainly large bees known as *mamangavas*. Among the most efficient pollinators for passion fruit are the large-bodied bees (called *mamangavas*) *Epicharis flava*, *Euglossa cordata*, *Euglossa ignita*, *Xylocopa frontalis*, *Xylocopa ordinaria* and *Xylocopa suspecta*. The importance of these bees is evidenced by the correlation between the size of their populations in areas with passion fruit crops and the profitability of these plantations. Studies have shown that environmental suitability for plants and their pollinators positively affects productivity for plants of economic interest. It is also suggested that the production value be affected by socioeconomic factors. This study aimed to investigate the productivity and value of the production of *P. edulis* in Brazilian municipalities, to determine the potential for the geographical distribution of its pollinators, as well as to evaluate the influence of ecological and socioeconomic variables on the productivity and value of passion fruit production. The distribution of the environmentally appropriate areas for the *mamangavas* was obtained through Ecological Niche Models, using the Maximum Entropy (Maxent) algorithm. The productivity and value of passion fruit production for the municipalities of Brazil were surveyed. In addition, models based on ecological variables (remaining natural vegetation, pollinators and environmental suitability for pollinators) and socioeconomic variables (Gross Domestic Product, Human Development Index and rural population) were constructed to explain the variation in productivity and production value). The models were selected using the Akaike Information Criteria. The results indicate that productivity had as important ecological predictors variables linked to pollinators. The production value of the passion fruit was positively related to the rural population the remaining natural vegetation, which were the most important predictors. The richness of pollinators positively affected the productivity and production value of *P. edulis*, being the most important variable to predict the yield of passion fruit production and the third most important to predict the production value. The results of this study reinforce the importance of the presence of *mamangavas* for the cultivation of passion fruit.

Keywords: Conservation Biogeography, pollinator large-bodied bees, *mamangavas*, passion fruit productivity, ecological niche modeling, species distribution modeling

Lista de Figuras

Figura 1. Adequabilidade ambiental da <i>Epicharis flava</i>	11
Figura 2. Adequabilidade ambiental da <i>Euglossa cordata</i>	12
Figura 3. Adequabilidade ambiental da <i>Euglossa ignita</i>	13
Figura 4. Adequabilidade ambiental da <i>Xylocopa frontalis</i>	14
Figura 5. Adequabilidade ambiental da <i>Xylocopa ordinaria</i>	15
Figura 6. Adequabilidade ambiental da <i>Xylocopa suspecta</i>	16
Figura 7. Riqueza dos polinizadores estudados.....	17

Lista de Tabelas

Tabela 1. Desempenho (AUC) dos modelos para as espécies de polinizadores de <i>Passiflora edulis</i>	Erro! Indicador não definido.	10
Tabela 2. Modelos plausíveis (Delta AICc < 2) para explicar o rendimento médio da produção de maracujá em quilogramas por hectare (RPR).....		18
Tabela 3. Importância de cada variável e coeficiente angular, que indica a relação com a variável dependente, o rendimento médio da produção de maracujá em quilogramas por hectare (RPR).....		19
Tabela 4. Modelos plausíveis (Delta AICc < 2) para explicar o valor da produção de maracujá em mil reais (VPR).		20
Tabela 5. Importância de cada variável e coeficiente angular, que indica a relação com a variável dependente, valor da produção de maracujá em mil reais (VPR)..		20

Sumário

Agradecimentos	ix
Resumo	x
Abstract	xi
Lista de Figuras	xii
Lista de Tabelas	xiii
Sumário	xiv
Introdução.....	1
Objetivos.....	4
Material e métodos.....	5
Resultados.....	9
Discussão.....	21
Conclusão.....	23
Referências bibliográficas	24

Introdução

Os serviços ecossistêmicos, definidos como os benefícios que o ser humano obtém direta ou indiretamente dos ecossistemas, promovem a melhora na qualidade de vida humana (MEA 2005, Kremen *et al.* 2007). A Plataforma Intergovernamental sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (IPBES) das Nações Unidas tem destacado que compreender os efeitos das mudanças globais sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos tornou-se uma necessidade premente (Carpenter *et al.* 2009, Larigauderie & Mooney 2010, Giannini *et al.* 2015a), sendo que esforços substanciais são necessários para avaliar tais efeitos e traduzir o conhecimento gerado em políticas que visem conservar ou restaurar o capital natural e os serviços ecossistêmicos (Harris *et al.* 2006, Egoh *et al.* 2007, Bignaut *et al.* 2014, Giannini *et al.* 2015a). A Avaliação Ecossistêmica do Milênio (MEA 2005) das Nações Unidas classificou os serviços ecossistêmicos como de provisão, de regulação, culturais e de suporte. Dentre os serviços de regulação, pode-se destacar o controle do clima, de doenças e pragas e polinização (MEA 2005).

A polinização mediada por animais é um processo ecossistêmico integral e um serviço ecossistêmico chave (Strange *et al.* 2017). Muitas plantas, inclusive as que são utilizadas para a agricultura, são parcial ou totalmente dependentes de polinização e de atividades providas por comunidades de polinizadores selvagens (Biesmeijer *et al.* 2006). Aproximadamente 90% das plantas floríferas dependem, pelo menos em parte, da transferência de pólen por animais (Potts *et al.* 2016). O valor dos polinizadores na agricultura foi estimado entre US\$ 235 bilhões e US\$ 577 bilhões em dólares americanos de 2015 (Potts *et al.* 2016). As abelhas são o grupo mais importante de polinizadores, visitando mais de 90% dos 107 principais tipos de culturas globais (Potts *et al.* 2016). Dentre as espécies de polinizadores, predominantemente selvagens, existem mais de 20000 espécies de abelhas, sendo que colheitas dependentes de polinizadores contribuem para 35% do volume da produção global (Potts *et al.* 2016). No Brasil, cerca de um terço das culturas são parcial ou totalmente dependentes de polinizadores (Giannini *et al.* 2015b).

O cultivo do maracujá, *Passiflora edulis* (Sims), é classificado como essencialmente dependente dos polinizadores (Giannini *et al.* 2015b). *Passiflora edulis* é uma espécie de planta trepadeira que é nativa do sul do Brasil, Paraguai e norte da Argentina, sendo amplamente cultivada em muitas regiões tropicais e subtropicais do mundo (Taiwe & Kuete 2017). No ano de 2015, a produção apresentou um volume estimado em 694.539 toneladas, estando entre as 20 frutas mais cultivadas no Brasil (IBGE 2015). O país ocupa a posição de maior produtor mundial de maracujá, sendo que 792 milhões de reais foram oriundos dessa cultura agrícola em 2010 (Lamim-Guedes 2013).

Contudo, segundo Lamim-Guedes (2013), a produtividade do maracujá no Brasil é considerada baixa, o que é atribuído à carência de polinizadores naturais nas regiões de cultura, uma vez que a frutificação do maracujá depende inteiramente da polinização cruzada em virtude da autoincompatibilidade (Bruckner *et al.* 1995), ou seja, a planta é totalmente dependente de agentes polinizadores, principalmente abelhas. A proeminência das abelhas deve-se ao fato dos adultos e das crias dependerem de pólen e néctar para a alimentação, ademais apresentam constância floral durante o forrageamento (Rasmussen *et al.* 2010). Em função da peculiar morfologia da flor, os principais polinizadores de *Passiflora edulis* são as abelhas de grande porte, conhecidas usualmente como mamangavas, que incluem sobretudo espécies do gênero *Xylocopa* (Apidae) (Sazima & Sazima 1989), mas também algumas espécies dos gêneros *Bombus*, *Eulaema*, *Epicharis* e *Centris* (Martarello 2016).

Dentre as espécies mais eficientes para a polinização do maracujá, citam-se as *Epicharis flava*, *Euglossa cordata*, *Euglossa ignita*, *Xylocopa frontalis*, *Xylocopa ordinaria* e *Xylocopa suspecta* (Benevides *et al.* 2009). A importância dessas abelhas é evidenciada pela correlação entre o tamanho de suas populações nas áreas com cultivos de maracujá e a lucratividade dessas plantações. A maior riqueza (Yamamoto *et al.* 2012), abundância e a frequência de visitação de espécies polinizadoras comprovadamente aumentam o conjunto de frutos em pomares de maracujá (Benevides *et al.* 2009).

Os serviços de polinização estão entre os serviços ecossistêmicos mais afetados pela perda e fragmentação do habitat (Giannini *et al.* 2015a, Pots *et al.* 2016). Os polinizadores principais, como as abelhas silvestres, mostraram-se suscetíveis à degradação dos habitats naturais, pois vários estudos mostraram que a abundância e a riqueza de abelhas são afetadas negativamente pela perda e fragmentação do habitat (Giannini *et al.* 2015a, Pots *et al.* 2016). Existe um declínio global de polinizadores, afetando qualitativamente e quantitativamente na produção agrícola, pois limita a produção e diminui a qualidade, com a má formação de fruto ou redução de óleo por sementes (Vaissière *et al.* 2011). O declínio é devido a muitos fatores, dentre eles consequências do uso de pesticidas, poluição ambiental, declínio da diversidade de recursos, espécies invasoras, dispersão de doenças e mudanças climáticas (Potts *et al.* 2010, 2016). Nesse cenário, o manejo de polinizadores é imprescindível para a produção agrícola, e, conseqüentemente, para a permanência humana (Garibaldi 2013).

Para desenvolver planos efetivos de manejo para os polinizadores é fundamental dispor de conhecimento sobre a ocorrência destas espécies. Uma forma eficiente de se atingir este propósito seria a avaliação da distribuição geográfica das espécies em questão através de inferência baseada em modelagem (Pearson 2007, (Zimmermann *et al.* 2010). Nesse sentido, Modelos de Nicho Ecológico / Distribuição Potencial de Espécies são

bastante promissores, uma vez que permitem identificar áreas ambientalmente adequadas onde a espécie pode estar. Esses modelos correlativos relacionam a ocorrência atual da espécie a variáveis ambientais, definem o seu nicho ecológico no espaço ambiental e permitem projetá-lo no espaço geográfico e, desse modo, identificar a distribuição potencial do espaço ambiental adequado para a espécie, inclusive em diferentes cenários temporais e geográficos (Peterson et al. 2011, Bellard *et al.* 2012). Recentemente este tipo de abordagem começou a ser aplicada a plantas de interesse econômico (*e.g.* Nabout *et al.* 2011, 2012, 2016a, 2016b) e a seus polinizadores (*e.g.* Giannini *et al.* 2013, Elias *et al.* 2017, Imbach *et al.* 2017). Estudos têm demonstrado que a adequabilidade ambiental para as plantas e seus polinizadores afeta positivamente a produtividade para plantas de interesse econômico (Nabout *et al.* 2011, 2012, 2016a, 2016b). Sugere-se também que o valor de produção seja afetado por fatores socioeconômicos como o Produto Interno Bruto e o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (2016a).

Objetivos

Os objetivos do presente estudo foram: (i) investigar a produtividade e valor da produção de *Passiflora edulis* nos municípios brasileiros, (ii) determinar o potencial para a distribuição geográfica dos polinizadores de *P. edulis* com base em Modelos de Nicho Ecológico, (iii) avaliar a influência de variáveis ecológicas (vegetação natural remanescente, riqueza de polinizadores e adequabilidade ambiental para os polinizadores) e socioeconômicas (Produto Interno Bruto e o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal) na produtividade e valor da produção de *P. edulis*.

Especificamente, foram testadas as seguintes hipóteses (e previsões):

1. Os fatores ecológicos afetam a produtividade e o valor de produção de *P. edulis* e são as variáveis mais importantes para explicar a produtividade.
2. As variáveis socioeconômicas são as mais importantes para explicar o valor de produção de *P. edulis*.
3. As variáveis ligadas à adequabilidade ambiental para polinizadores afetam a produtividade e o valor de produção de *P. edulis*.
4. A riqueza de polinizadores afeta positivamente a produtividade e o valor de produção de *P. edulis* e é a variável mais importante para explicar a produtividade.

Material e métodos

Dados de produtividade e valor da produção de Passiflora edulis

O banco de dados sobre o cultivo e produção de maracujá (*Passiflora edulis*) nos municípios brasileiros foi elaborado a partir de dados compilados em uma busca no Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA) (<https://sidra.ibge.gov.br>), no acervo "Produção Agrícola Nacional - Lavouras Permanentes". A busca revelou 1176 municípios associados ao cultivo de maracujá no ano de 2016. Para cada município foram obtidos as variáveis de produtividade, representada pelo rendimento médio da produção, em kg/ha) (RMP) e valor da produção em mil reais (VPR).

Dados ecológicos de vegetação natural e polinizadores

Para cada município foram estimadas variáveis ecológicas referentes à vegetação natural remanescente e à adequabilidade ambiental para os polinizadores de *Passiflora edulis*. A partir dos mapas de cobertura e uso da terra do ano base de 2016 (Coleção 2; Projeto MAPBIOMAS 2017) foi calculada a área de remanescentes de vegetação natural em km² (AREA_REM). A fim de evitar distorções nos cálculos de áreas, todos os mapeamentos de vegetação remanescente foram convertidos para a Projeção Cônica Equivalente de Albers.

As estimativas da adequabilidade ambiental para cada polinizador e da riqueza de polinizadores de *Passiflora edulis* para cada município foram baseadas na abordagem correlativa de Modelos de Nicho Ecológico/Modelos de Distribuição de Espécies). Esses modelos relacionam a ocorrência atual da espécie a variáveis ambientais para definir o seu nicho ecológico no espaço ambiental e, posteriormente, projetá-lo no espaço geográfico para identificar a distribuição potencial das áreas ambientalmente adequado para a espécie (Peterson *et al.* 2011). A realização deste tipo de modelagem depende de condições básicas: um conjunto de dados de ocorrência das espécies e outro de variáveis ambientais explicativas; um algoritmo que relacione as características ambientais aos dados das espécies e uma avaliação quanto à acurácia do modelo (Guisan & Zimmermann 2000, Peterson *et al.* 2011).

Para obter os dados de ocorrência, foi desenvolvido um banco de dados georreferenciado com registros de ocorrência de todas as espécies de abelhas, escolhidas para o estudo, do gênero *Epicharis*, *Euglossa* e *Xylocopa*, que ocorrem no Brasil, a partir de registros oriundos de literatura, bases de dados online (e.g. Global Biodiversity Information

Facility <http://www.gbif.org>, Species Link <http://splink.cria.org.br>, Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira <http://www.sibbr.gov.br>) e coleções científicas. Os dados compilados foram filtrados para eliminar registros duvidosos em termos taxonômicos ou de localização. Posteriormente, no software ArcGIS 10.4, o conjunto dos registros originais já filtrados de cada espécie sofreu uma rarefação espacial de modo a eliminar registros com distância menor do que 50km, com o intuito de reduzir possíveis problemas associados a viés amostral e à autocorrelação espacial (Brown 2014, Souza 2017). Assim, para cada espécie foram compilados os seguintes conjuntos de registros de ocorrência (totais / filtrados e rarefeitos): *Epicharis flava* (130 / 22), *Euglossa cordata* (189 / 57), *Euglossa ignita* (224 / 71), *Xylocopa frontalis* (171 / 60), *Xylocopa ordinaria* (33 / 32) e *Xylocopa suspecta* (95/ 95).

Os dados ambientais utilizados para a modelagem de nicho ecológico das espécies de abelhas polinizadoras de *Passiflora edulis* foram selecionados a partir de um conjunto de 19 variáveis bioclimáticas obtidas na base de dados WorldClim (<http://worldclim.org>). A seleção das variáveis para a realização dos modelos se deu a partir de dois aspectos principais: (1) maior contribuição para o modelo e (2) redução da colinearidade das variáveis do conjunto original. Para avaliar a contribuição houve a construção de um modelo preliminar, onde o ganho estimado considerando cada uma das variáveis foi medido através do método *jackknife*. Este método consiste na avaliação dos ganhos do modelo analisando cada variável de forma isolada e em conjunto. Quanto à avaliação da colinearidade entre as variáveis, foi gerada uma matriz de correlação para análise das variáveis par-a-par, através do pacote USDM para a plataforma R (Naimi 2015). A partir desta matriz, foram excluídas do conjunto as variáveis mais correlacionadas ($r^2 \geq |0,7|$). A seleção respeitou uma relação mínima de cinco registros de ocorrência para cada variável, mantendo entre quatro a oito variáveis por espécie. As variáveis selecionadas para cada espécies foram: *Epicharis flava* - bio 14, bio 2, bio 5, bio 12 e bio 18; *Euglossa cordata* - bio 2, bio6, bio 19, bio 5, bio 14, bio 3, bio 12 e bio 13; *Euglossa ignita* - bio 4, bio 7, bio 12, bio 11, bio 18, bio 5 e bio 15; *Xylocopa frontalis*: bio 11, bio 5, bio 7, bio 19, bio 3, bio 18, bio 13 e bio 14; *Xylocopa ordinária* - bio 4, bio 8, bio 17, bio 15 e bio 18; *Xylocopa suspecta* - bio 5, bio 2, bio 11, bio 19, bio 16, bio 3, bio 14 e bio 18.

A predição da distribuição de áreas ambientalmente adequadas para as espécies de abelhas polinizadoras de *Passiflora edulis* foi realizada através da abordagem de máxima entropia, utilizando um algoritmo amplamente empregado na literatura implementado no software Maxent. O algoritmo Maxent é baseado no princípio de que a melhor aproximação para uma distribuição de probabilidade desconhecida é a mais próxima da uniforme, desde

que satisfaça todas as restrições impostas pelo conjunto de dados empíricos, ou seja, considerando a associação dos registros de ocorrência e das variáveis ambientais (Phillips *et al.* 2006). Na execução da modelagem preditiva, Maxent utiliza apenas dados de presença (localidades com registros de ocorrência) e pontos de *background*, que consistem em um conjunto de pontos escolhidos ao acaso ao longo de toda a área de estudo, usados para caracterizar as condições ambientais presentes em toda a extensão analisada, os quais durante a modelagem servem como contraponto aos registros de ocorrência da espécie (Phillips *et al.* 2006, Peterson *et al.* 2011). Foram realizadas dez repetições dos modelos para cada espécie, utilizando a abordagem da validação cruzada, com dez partições dos dados de presença, sendo nove para calibração dos modelos e uma para teste. Para avaliar o desempenho dos modelos foi utilizada a estatística AUC (em inglês *Area Under the Receiver Operating Characteristic curve*). A AUC varia de 0 a 1, sendo que o valor de 0,5 indica desempenho igual ao de um modelo gerado de forma aleatória, e valores acima de 0,5 indicam modelos melhores do que resultados aleatórios e modelos, $\geq 0,7$ são consideradas predições moderadas, $\geq 0,8$ boas e $\geq 0,9$ excelentes) (Swets 1988, Lobo *et al.* 2008, Franklin 2009). Os modelos foram gerados em saída contínua logística (adequabilidade ambiental em valores contínuos de 0 a 1). Cada modelo foi convertido em um mapa binário (áreas adequadas ou não adequadas) utilizando como limiar de corte a maximização da soma da sensibilidade e especificidade (*maximum training sensitivity plus specificity*) (Liu *et al.* 2013). Com o intuito de produzir predições mais robustas, foi adotada a abordagem de consenso das réplicas de validação cruzada (Araújo & New 2007, Diniz-Filho *et al.* 2010). Os modelos de consenso foram elaborados a partir dos modelos com desempenho de moderado a excelente ($AUC > 0,7$) (Swets 1988, Lobo *et al.* 2008, Franklin 2009). Os consensos contínuos foram gerados pela regra da média e os consensos binários pela regra da maioria (Araújo & New 2007, Diniz-Filho *et al.* 2010). Os consensos englobaram a área de extensão de ocorrência de cada espécie, delimitada pelo polígono mínimo convexo que envolve todos os registros de ocorrência, além de um entorno de ~500km.

Para cada município foram estimadas as variáveis correspondentes à adequabilidade climática média para cada espécie de abelha (ADQ_Ec, ADQ_Ef, ADQ_Ei, ADQ_Xf, ADQ_Xo, ADQ_Xs), calculadas a partir dos consensos contínuos. Também foi estimada a riqueza de polinizadores por município (RIQ), com base na soma dos consensos binários.

Dados socioeconômicos

O banco de dados socioeconômicos dos municípios brasileiros foi elaborado a partir de dados compilados do Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil (www.atlasbrasil.org.br). Para cada um dos municípios produtores de maracujá, foram obtidos os seguintes dados socioeconômicos: Produto Interno Bruto *per capita* em R\$ (PIB), Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH) e população humana residente na área rural (POP_RUR).

Análise de dados

Foi utilizado o GLM como método do modelo em si. Para explicar a produtividade e valor de produção (VPR) de maracujá nos municípios brasileiros foi utilizada a abordagem de seleção de modelos pelo Critério de Informação de Akaike (*Akaike Information Criterion - AIC*). Foram utilizadas as seguintes variáveis como preditores: área de vegetação natural remanescente em km² (AREA_REM), riqueza de espécies (RIQ), adequabilidade ambiental média para *Epicharis flava* (ADQ_Ef), *Euglossa cordata* (ADQ_Ec), *Euglossa ignita* (ADQ_Ei), *Xylocopa frontalis* (ADQ_Xf), *Xylocopa ordinaria* (ADQ_Xo), *Xylocopa suspecta* (ADQ_Xs), Produto Interno Bruto (PIB), Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH) e população humana residente na área rural (POP_RUR). Dos 2047 modelos gerados (isto é, modelos com 2047 combinações diferentes de preditores), apresentamos apenas os modelos plausíveis para explicar a produtividade e o valor da produção (delta AICc < 2; Burnham & Anderson 2002). A seleção de modelos foi realizada no programa *Spatial Analysis in Macroecology* (SAM V.4) (Rangel *et al.* 2010). Para reduzir a dimensionalidade e normalizar os dados, todas as variáveis foram log-transformadas (LogX + 1).

Resultados

Dentre os estados com maior número de municípios que cultivam o maracujá, destacaram-se: Bahia (196), Minas Gerais (170), São Paulo (136), Pará (71) e Ceará (54). A produção anual dos estados em 2016 foi de 341.580 toneladas na Bahia, 98.122 toneladas no Ceará, 38.960 toneladas em Minas Gerais, 28.237 toneladas em São Paulo e 21.278 toneladas no Pará. A produção total variou de 1 a 63000 toneladas em 2016, sendo que esta maior produção total foi registrada no município de Livramento de Nossa Senhora, na Bahia.

A produtividade em 2016, representada pelo rendimento médio da produção em kg/ha) (RMP), apresentou média de 13913,6 (\pm 6193,48), variando entre 500 e 55000. O estado de Mato Grosso destacou-se com três dos dez municípios com maior produtividade no país, que foram: Bonfim - RR (55000), Sátiro Dias - BA (45000), Pedras Grandes - SC (40000), Itanhangá - MT (40000), Nova Mutum - MT (40000), Tapurah - MT (40000), Coruripe - AL (40000), Mucurici - ES (35000), Conchal - SP (35000) e Santo Antônio da Platina - PR (35000). O valor da produção em R\$ 1000,00 (VPR) em 2016 apresentou média de 875,02 (\pm 3379,32), variando entre 1 e 62370. Porém o estado da Bahia destacou-se com quatro dos dez municípios com maior valor da produção, que foram: Livramento de Nossa Senhora - BA (62370), Dom Basílio - BA (46740), Ituaçu - BA (42000), Jandaíra - BA (30105), Tianguá - CE (28191), Sooretama - ES (19758), São Benedito - CE (18817), Rio Real - (16800), Viçosa do Ceará - CE (16500), Sombrio - SC (16260). Os municípios com maior produtividade não foram correspondentes aos municípios com maior valor da produção, De fato, o rendimento médio da produção e o valor da produção apresentaram baixa correlação ($r = 0,39$; $p < 0,001$).

Em relação à adequabilidade ambiental para as espécies de abelhas polinizadoras de *Passiflora edulis*, todos os modelos gerados apresentaram desempenho de moderado a excelente (Tabela 1), que posteriormente foram utilizados na formação dos consensos finais. O valor médio de AUC foi mais alto para os modelos de *Epicharis flava* e mais baixo para os de *Xylocopa frontalis*, que também apresentaram o maior valor de desvio padrão (Tabela 1), Os modelos de consenso de adequabilidade ambiental apresentaram congruência com a distribuição dos registros de ocorrência para todas as espécies (Figuras 1 a 6), exceto para *Euglossa ignita* que possui uma distribuição mais ampla, ocorrendo inclusive em locais com adaptabilidade abaixo de 0,1 (Figura 3). A adequabilidade ambiental para as espécies é maior na região nordeste e, em geral. Contudo, para *Euglossa ignita* a adequabilidade ambiental é maior na região norte.

Tabela 1. Desempenho (AUC) dos modelos para as espécies de polinizadores de *Passiflora edulis*.

Espécie	AUC (média)	AUC (desvio padrão)
<i>Epicharis flava</i>	0.901	0.142
<i>Euglossa cordata</i>	0.820	0.179
<i>Euglossa ignita</i>	0.845	0.105
<i>Xylocopa frontalis</i>	0.767	0.184
<i>Xylocopa ordinaria</i>	0.898	0.137
<i>Xylocopa suspecta</i>	0.799	0.141

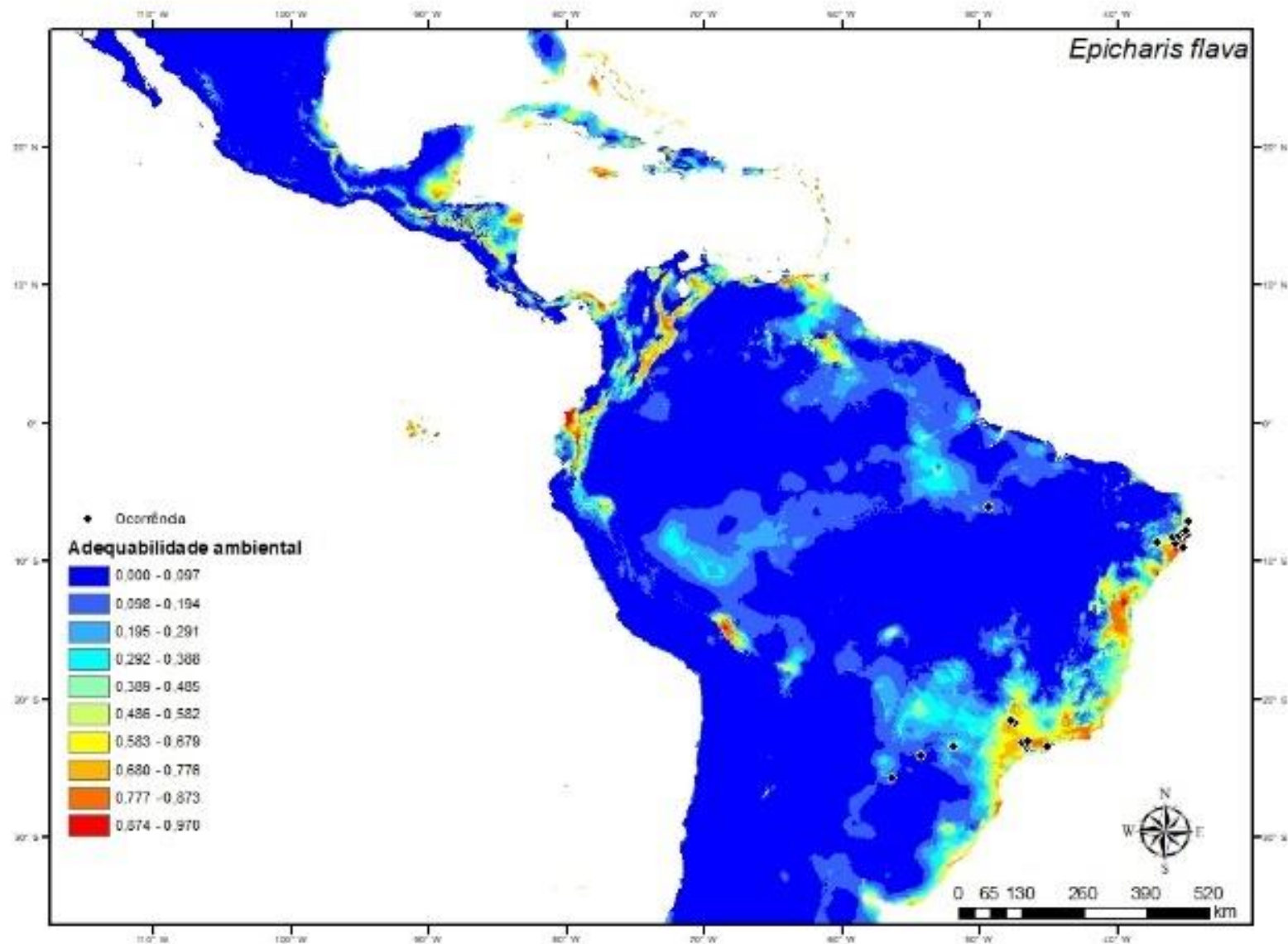


Figura 1. Adequabilidade ambiental para *Epicharis flava*.

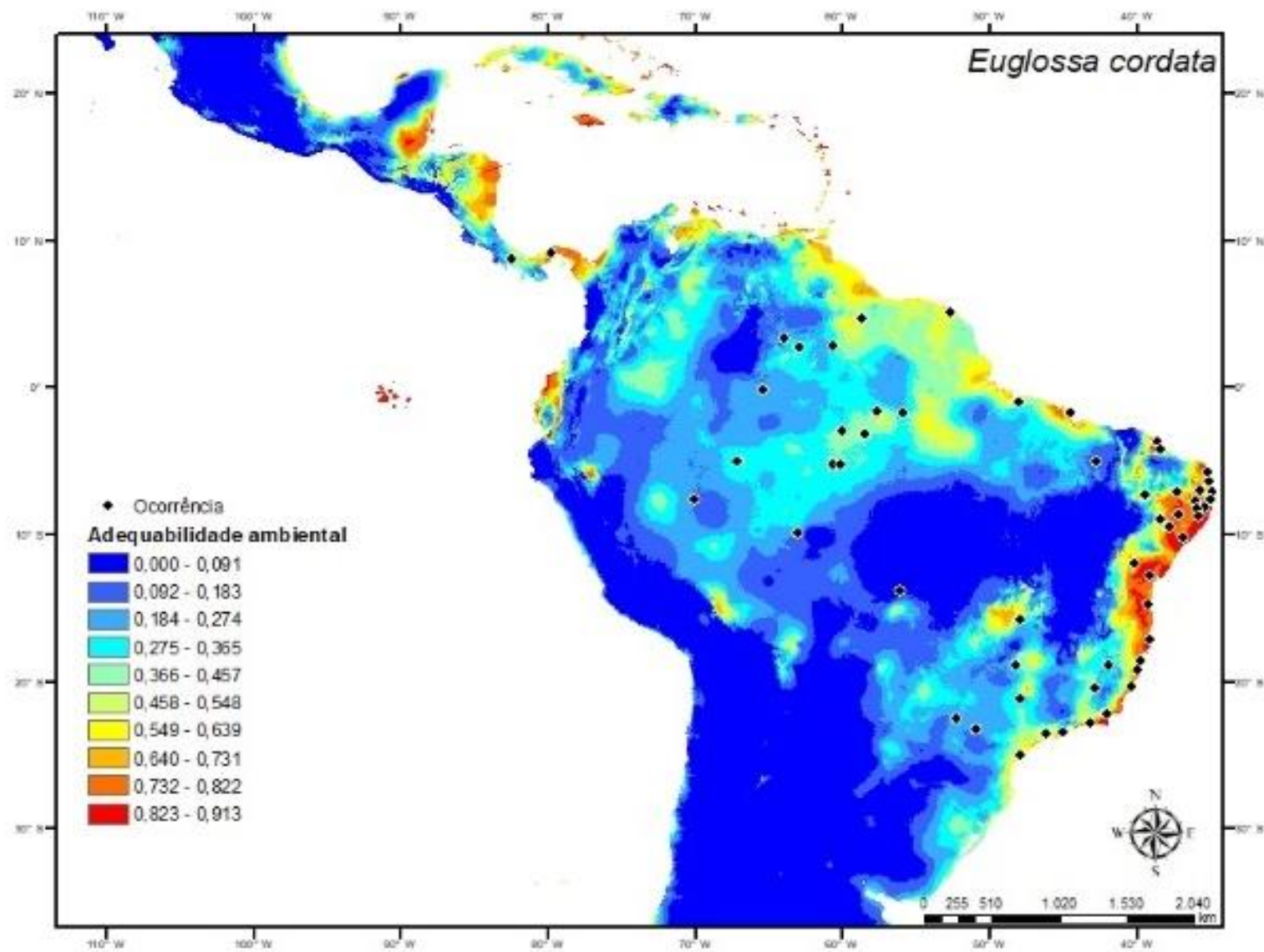


Figura 2. Adequabilidade ambiental para *Euglossa cordata*.

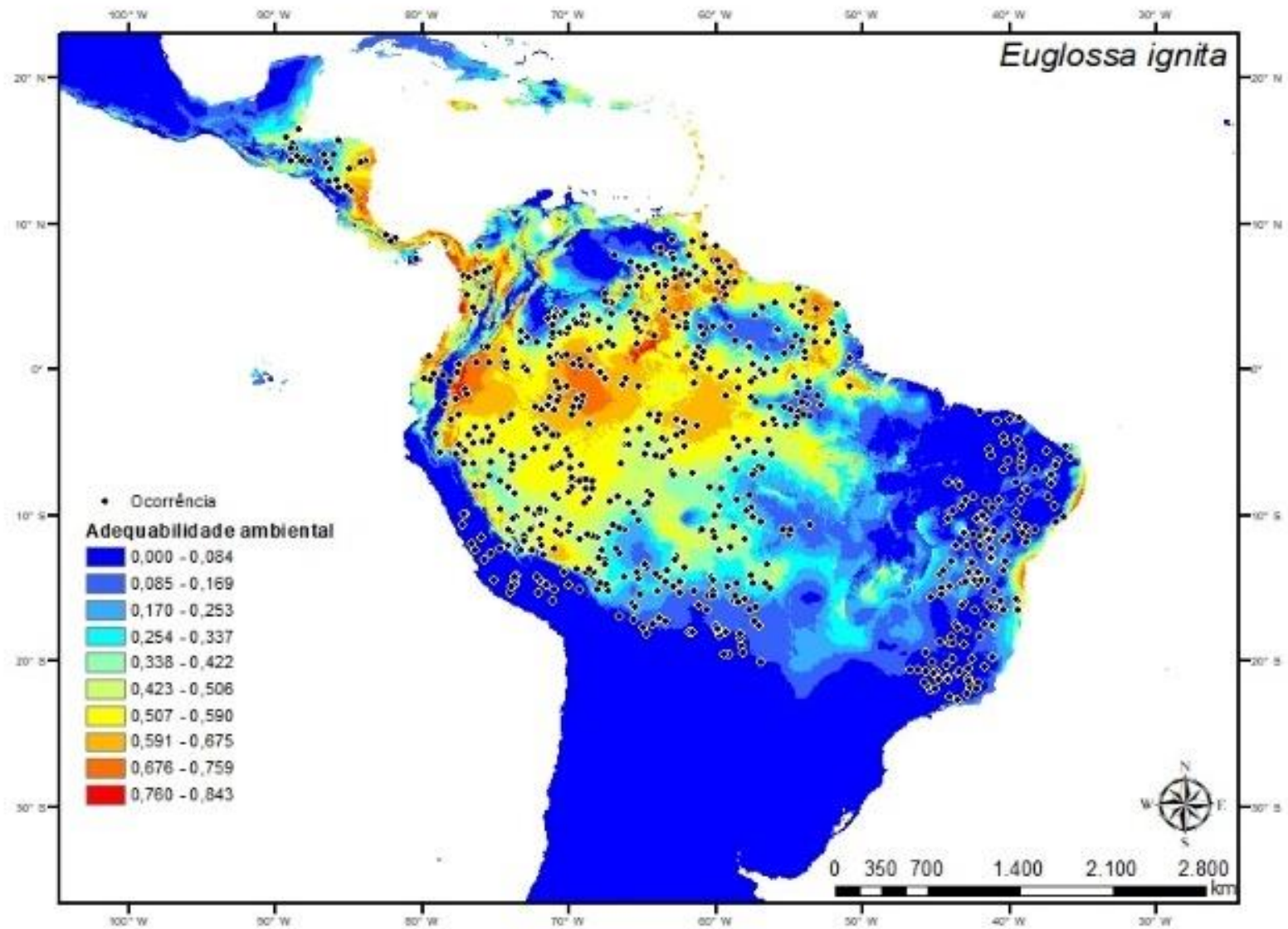


Figura 3. Adequabilidade ambiental para *Euglossa ignita*.

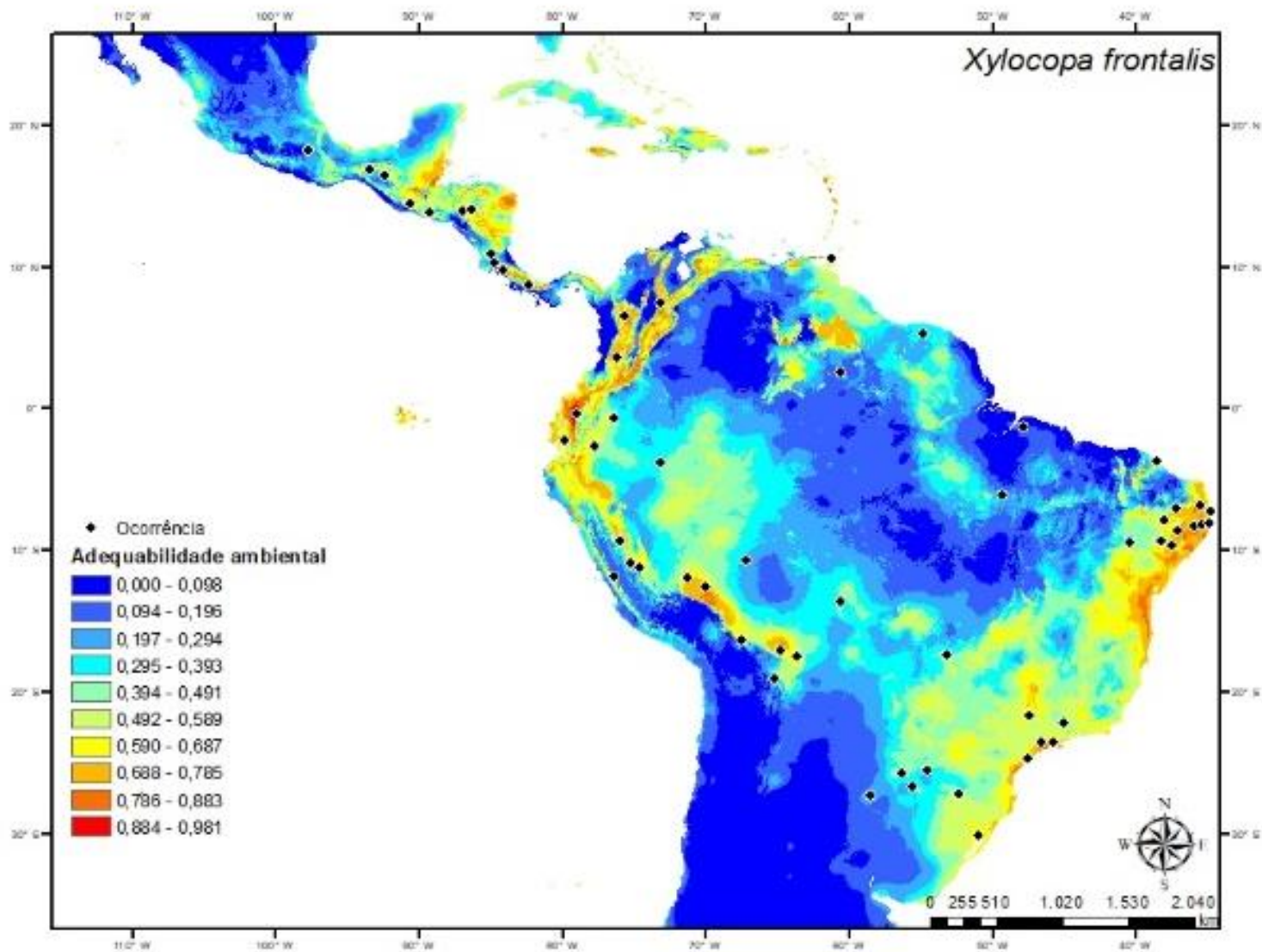


Figura 4 Adequabilidade ambiental para *Xylocopa frontalis*.

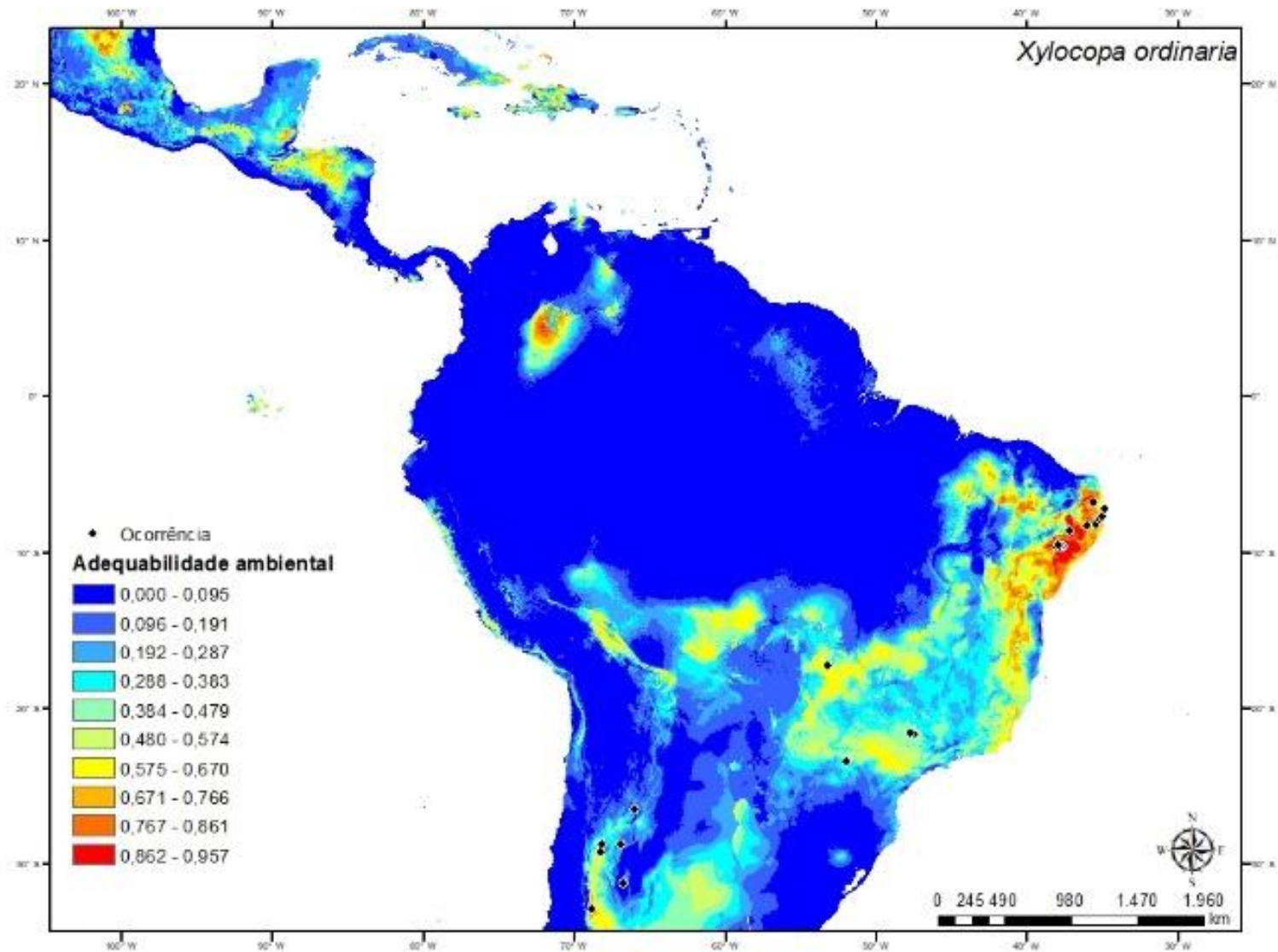


Figura 5 - Adequabilidade ambiental para *Xylocopa ordinaria*.

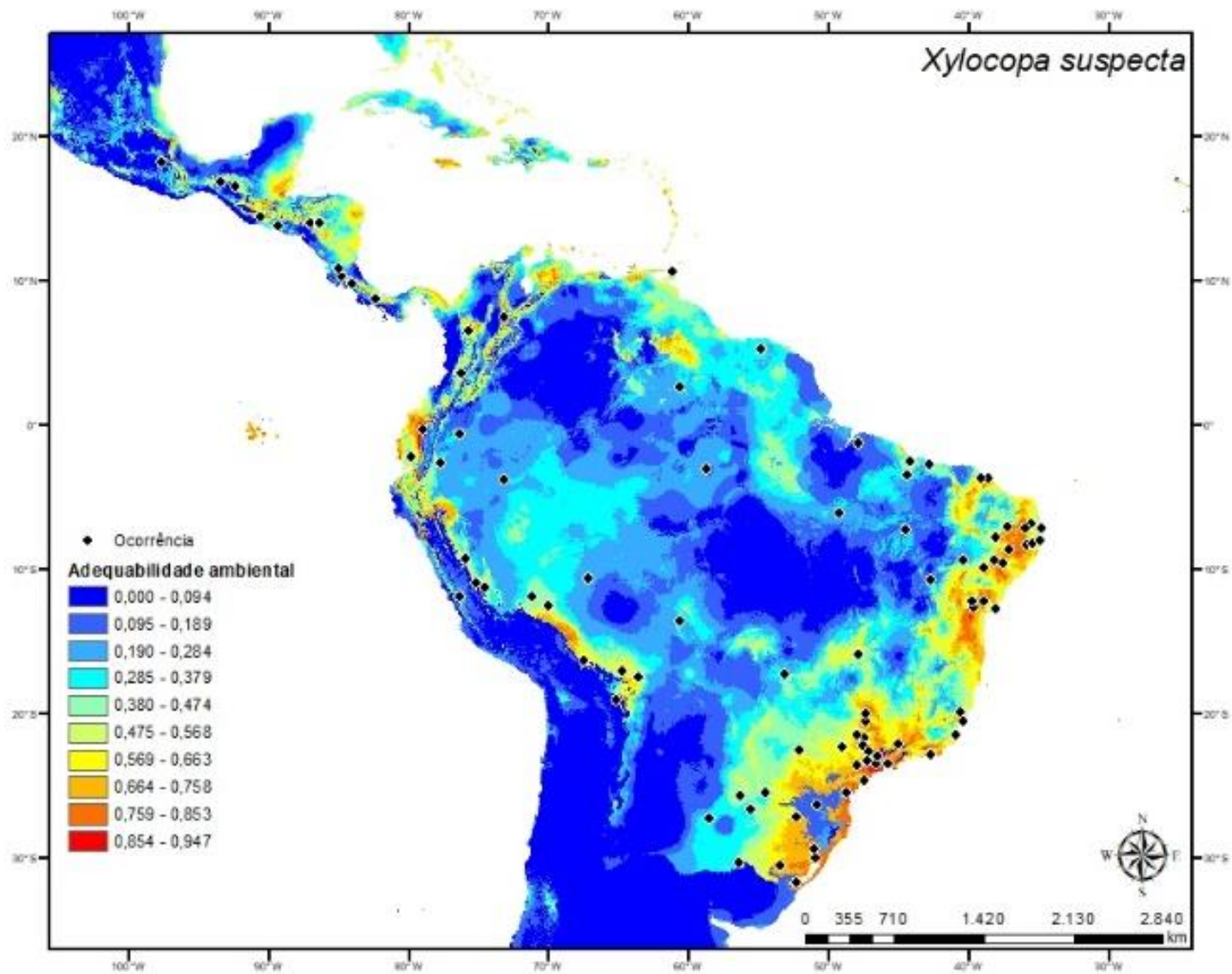


Figura 6. Adequabilidade ambiental da *Xylocopa suspecta*.

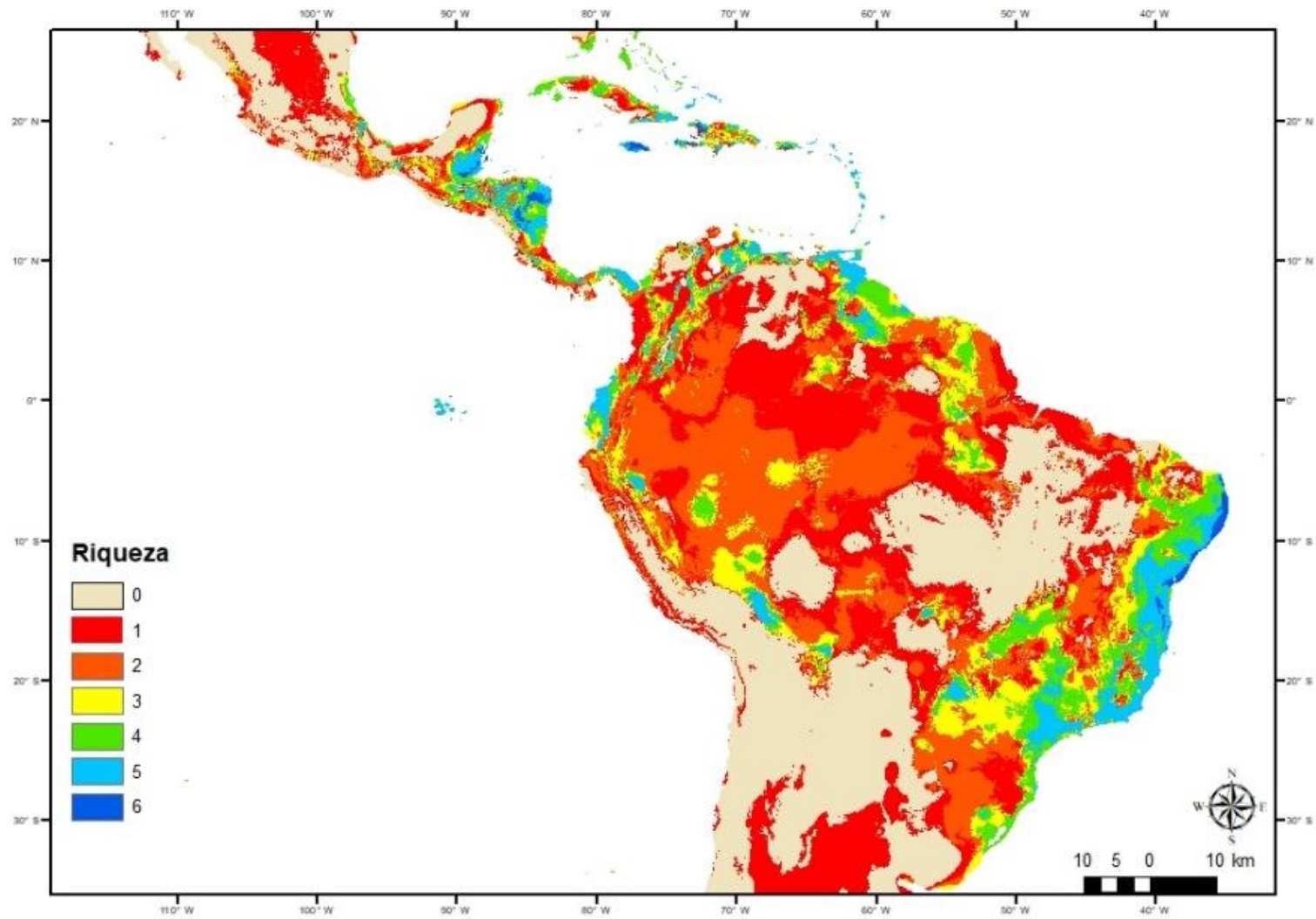


Figura 7. Riqueza dos polinizadores de *Passiflora edulis*.

A riqueza das espécies de abelhas polinizadoras de *Passiflora edulis* foi maior na região leste do Brasil, nordeste, onde atingiu os valores máximos (Figura 7). A maior parte das regiões norte, centro-oeste e sul do Brasil apresentou baixos valores de riqueza.

Em relação aos modelos para explicar a produtividade de maracujá nos municípios, representada pelo rendimento médio da produção em kg/ha (RMP), foram gerados 18 modelos plausíveis (delta AICc < 2)(Tabela 2). O melhor modelo para explicar a produtividade foi aquele que combinou a riqueza de polinizadores (RIQ), a adequabilidade ambiental média para *Euglossa cordata* (ADQ_Ec), para *Epicharis flava* (ADQ_Ef) e para *Xylocopa ordinaria* (ADQ_Xo), além do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH). As três variáveis que apareceram em todos os modelos plausíveis e que apresentaram maior importância no conjunto de todos os modelos gerados para explicar a produtividade foram três variáveis ecológicas ligadas aos polinizadores, sendo a mais importante a riqueza, que apresentou um relacionamento positivo com a produtividade (Tabela 3).

Na seleção dos modelos para explicar o valor da produção de maracujá nos municípios em mil reais (VPR), foram gerados nove modelos plausíveis (delta AICc < 2) (Tabela 4). O melhor modelo para explicar o valor da produção foi aquele que combinou a população residente na área rural (POP_RUR), a área de vegetação natural remanescente (AREA_REM), a riqueza de polinizadores (RIQ), a adequabilidade ambiental média para *Epicharis flava* (ADQ_Ef) e para *Xylocopa frontalis* (ADQ_Xf. As três variáveis que apareceram em todos os modelos plausíveis e que apresentaram maior importância no conjunto de todos os modelos gerados para explicar o valor de produção foram uma variável socioeconômica (POP_RUR) e duas variáveis ecológicas (AREA_REM e RIQ). As variáveis mais importantes foram a população residente na área rural (POP_RUR) e a área de vegetação natural remanescente (AREA_REM), seguidas pela riqueza de polinizadores (RIQ), sendo que todas apresentaram um relacionamento positivo com o valor de produção (Tabela 5).

Tabela 2. Modelos plausíveis (Delta AICc < 2) para explicar o rendimento médio da produção de maracujá em quilogramas por hectare (RPR).

Modelos	R ²	AICc	Delta AICc
3, 5, 6, 7, 10	0,079	-369.596	0
3, 5, 6, 7, 10, 11	0,080	-368.784	0,813
1, 5, 6, 7	0,077	-368.473	1.123
3, 5, 6, 7, 8, 10	0,080	-368.458	1.138
1, 3, 5, 6, 7, 10	0,080	-368.439	1.158
1, 5, 6, 7, 10, 11	0,080	-368.385	1.212

3, 5, 6, 7	0,077	-368,300	1.296
3, 4, 5, 6, 7, 10	0,080	-368.231	1.366
1, 3, 5, 6, 7	0,078	-368.131	1.466
1, 3, 5, 6, 7, 10, 11	0,081	-368.117	1.479
1, 5, 6, 7, 8, 10	0,080	-368.002	1.594
2, 3, 5, 6, 7, 10	0,080	-367.981	1.615
1, 4, 5, 6, 7, 10	0,080	-367.971	1.625
1, 4, 5, 6, 7, 10, 11	0,081	-367.809	1.787
3, 5, 6, 7, 9, 10	0,079	-367.766	1.831
1, 5, 6, 7, 10	0,078	-367.747	1.849
1, 5, 6, 7, 11	0,078	-367.646	1,950
1, 3, 4, 5, 6, 7, 10	0,081	-367.604	1.993

Variáveis: (1) Produto Interno Bruto, (2) população residente na área rural, (3) Índice de Desenvolvimento Humano, (4) área de vegetação natural remanescente, (5) riqueza de polinizadores, (6) adequabilidade ambiental média para *Euglossa cordata*, (7) adequabilidade ambiental média para *Epicharis flava*, (8) adequabilidade ambiental média para *Euglossa ignita*, (9) adequabilidade ambiental média para *Xylocopa forntalis*, (10) adequabilidade ambiental média para *Xylocopa ordinária*, (11) adequabilidade ambiental média para *Xylocopa suspecta*.

Tabela 3. Importância de cada variável e coeficiente angular, que indica a relação com a variável dependente, o rendimento médio da produção de maracujá em quilogramas por hectare (RPR). O valor de importância varia de 0 a 1, com valores mais próximos de 1 indicando que a variável ocorreu nos melhores modelos.

Variáveis	Importância	Coeficiente angular
PIB	0,665	0,124
POP_RUR	0,303	0,017
IDH	0,620	0,116
AREA_REM	0,377	-0,038
RIQ	0,999	0,194
Ec_ADQ	0,998	-0,277
ADQ_Ef	0,839	0,137
ADQ_Ei	0,340	-0,028
ADQ_Xf	0,295	-0,003
ADQ_Xo	0,657	-0,091
ADQ_Xs	0,414	0,068

Variáveis: Produto Interno Bruto (PIB), população residente na área rural (POP_RUR), Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), área de vegetação natural remanescente (AREA_REM), riqueza de polinizadores (RIQ), adequabilidade ambiental média para *Euglossa cordata* (Ec_ADQ), adequabilidade ambiental média para *Epicharis flava* (ADQ_Ef), (8) adequabilidade ambiental média para *Euglossa ignita* (ADQ_Ei), adequabilidade ambiental média para *Xylocopa forntalis* (ADQ_Xf), adequabilidade ambiental média para *Xylocopa ordinária* (ADQ_Xo), adequabilidade ambiental média para *Xylocopa suspecta* (ADQ_Xs).

Tabela 4. Modelos plausíveis (Delta AICc < 2) para explicar o valor da produção de maracujá em mil reais (VPR).

Variáveis	R ²	AICc	Delta AICc
2, 4, 5, 7, 9	0,067	2417,9	0
2, 4, 5, 9	0,065	2418,3	0,353
2, 4, 5, 6, 7, 9	0,068	2418,4	0,555
2, 4, 5, 6, 7, 8, 9	0,069	2419,1	1,229
2, 4, 5, 7, 8, 9	0,067	2419,5	1,572
2, 4, 5, 7, 9, 10	0,067	2419,6	1,714
2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11	0,070	2419,8	1,877
2, 4, 5, 7, 9, 11	0,067	2419,8	1,969
1, 2, 4, 5, 7, 9	0,067	2419,9	1,979

Variáveis: (1) Produto Interno Bruto, (2) população residente na área rural, (3) Índice de Desenvolvimento Humano, (4) área de vegetação natural remanescente, (5) riqueza de polinizadores, (6) adequabilidade ambiental média para *Euglossa cordata*, (7) adequabilidade ambiental média para *Epicharis flava*, (8) adequabilidade ambiental média para *Euglosa ignita*, (9) adequabilidade ambiental média para *Xylocopa forntalis*, (10) adequabilidade ambiental média para *Xylocopa ordinária*, (11) adequabilidade ambiental média para *Xylocopa suspecta*.

Tabela 5. Importância de cada variável e coeficiente angular, que indica a relação com a variável dependente, valor da produção de maracujá em mil reais (VPR).

Variáveis	Importância	Coeficiente angular
PIB	0,286	0,013
POP_RUR	0,999	0,121
IDH	0,276	-0,003
AREA_REM	0,999	0,176
RIQ	0,859	0,137
Ec_ADQ	0,385	-0,051
ADQ_Ef	0,648	0,095
ADQ_Ei	0,407	0,046
ADQ_Xf	0,764	-0,116
ADQ_Xo	0,324	0,028
ADQ_Xs	0,341	0,018

Variáveis: Produto Interno Bruto (PIB), população residente na área rural (POP_RUR), Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), área de vegetação natural remanescente (AREA_REM), riqueza de polinizadores (RIQ), adequabilidade ambiental média para *Euglossa cordata* (Ec_ADQ), adequabilidade ambiental média para *Epicharis flava* (ADQ_Ef), (8) adequabilidade ambiental média para *Euglosa ignita* (ADQ_Ei), adequabilidade ambiental média para *Xylocopa forntalis* (ADQ_Xf), adequabilidade ambiental média para *Xylocopa ordinária* (ADQ_Xo), adequabilidade ambiental média para *Xylocopa suspecta* (ADQ_Xs).

Discussão

Neste estudo foram utilizadas variáveis ecológicas (vegetação natural remanescente, riqueza e de polinizadores e adequabilidade ambiental para polinizadores) e socioeconômicas (Produto Interno Bruto, Índice de Desenvolvimento Humano e população rural) para prever a produtividade e o valor da produção de *Passiflora edulis* em municípios brasileiros. Corroborando as hipóteses 1 e 3 propostas anteriormente, os resultados indicam que a produtividade, representada pelo rendimento médio da produção em kg/ha, teve como preditores mais importantes variáveis ecológicas ligadas aos polinizadores, mostrando a influência da presença das mamangavas para este cultivo. Estes resultados corroboram a relação positiva entre variáveis ecológicas ligadas à adequabilidade ambiental e produtividade já indicada na literatura para plantas de interesse econômico como o pequi (Nabout *et al.* 2011), o milho (Nabout *et al.* 2012), a mangaba (Nabout *et al.* 2016a) e o açaí (Nabout *et al.* 2016b).

Os resultados corroboraram parcialmente a hipótese 2, já que uma das variáveis mais importantes para prever o valor de produção indicando de *Passiflora edulis* foi uma variável socioeconômica, como já foi demonstrado em estudos anteriores para a mangaba (Nabout *et al.* 2016a). Contudo, nos modelos preditivos para o valor de produção do maracujá foi igualmente importante uma variável ecológica, a área de vegetação natural remanescente. As variáveis socioeconômicas IDH e PIB apresentaram, respectivamente, relacionamento negativo e positivo com o valor de produção de maracujá, assim como já foi demonstrado para a mangaba (Nabout *et al.* 2016a). Ou seja, corrobora um padrão indicado por estes autores de que municípios com menor IDH e maior PIB apresentem maior valor de produção de itens de fruticultura. Locais com um IDH baixo, encontram-se principalmente em áreas rurais, dessa forma os pequenos produtores colocam o preço do maracujá mais elevado do que produtores em larga escala, fazendo com que o valor do maracujá seja mais alta, aumentando o PIB. Enquanto os grandes produtores, por terem mais demanda, diminuem o preço para vender em maior quantidade.

Corroborando as hipótese 4, os resultados deste estudo indicaram que a riqueza de polinizadores afetou positivamente a produtividade e o valor de produção de *Passiflora edulis*, sendo a variável mais importante para prever o rendimento da produção de maracujá e a terceira mais importante para prever o valor de produção. Isto demonstra a grande relevância de manter condições adequadas para as mamangavas no entorno dos cultivos de maracujá e corrobora estudos de campo que comprovaram o efeito positivo da riqueza de polinizadores sobre a produtividade de maracujá (Yamamoto *et al.* 2012). Dentre condições favoráveis, destaca-se ter remanescentes florestais, uma vez que estas espécies utilizam

troncos de árvore para nidificar e conseguir pólen de outras flores, pois não é possível com a do maracujá.

Em relação aos Modelos de Nicho Ecológico, na etapa da construção do banco de dados foi possível observar que para a espécie *Xylocopa ordinaria* não houve uma diminuição significativa no número de pontos de ocorrência durante a filtragem, provavelmente porque estes foram compilados exclusivamente a partir de coleções científicas. Para as demais, espécies os registros, foram em boa parte compilados a partir de bases de dados e depois conferidos em artigos científicos, (fazendo com que houvesse uma diminuição significativa no número de registros após o processo de filtragem). Isto reforça a importância de contar com boas coleções científicas, já que um maior número de registros confiáveis possibilita a melhora na predição de modelos (Figueiredo *et al.* 2014).

No presente estudo a abordagem de Modelos de Nicho Ecológico mostrou-se uma boa ferramenta para demonstrar a importância da presença das mamangavas para a produtividade e o valor da produção de maracujá nos municípios brasileiros. Estes modelos têm se tornado um instrumento promissor para avaliar o impacto das mudanças climáticas sobre plantas de interesse econômico (Nabout *et al.* 2011, 2012, 2016a, 2016b) e seus polinizadores (Giannini *et al.* 2013, Elias *et al.* 2017, Imbach *et al.* 2017), sugerindo que as mudanças climáticas poderão afetar negativamente a produção agrícola no futuro. Tal abordagem pode auxiliar na elaboração de planos de manejo para as plantas e seus polinizadores. No caso de *Passiflora edulis*, o impacto do declínio das mamangavas pode ser minimizado pela ação de polinizar manualmente as flores, mas este é um processo oneroso, enquanto a polinização natural é livre de custos e aumenta a qualidade e a quantidade dos frutos (Roubik 1995), proporcionando maior renda e agregando valor a esse produto. Além disso, a cultura é produzida principalmente por pequenas propriedades e agricultura familiar (Meletti 2011). Essas características proporcionam uma boa oportunidade para a implementação do manejo amigável dos polinizadores, à luz de boas práticas agrícolas e do impacto das mudanças climáticas (Giannini *et al.* 2013).

Conclusão

Os valores de adequabilidade ambiental e os pontos de ocorrência foram maiores na região nordeste do Brasil. Confirmando que abordagem de Modelos de Nicho Ecológico é uma boa ferramenta para demonstrar a importância da presença dos polinizadores estudados para a produtividade e o valor da produção de maracujá nos municípios brasileiros.

A polinização é um dos serviços ecossistêmicos fundamentais para existência humana. Muitas plantas possuem dependência de polinizadores, como no caso de *Passiflora edulis*, que para ter o impacto do declínio das mamangavas minimizado, seria necessário polinizar manualmente as flores. Porém demandando mais dinheiro e tempo, perdendo a qualidade e a quantidade dos frutos.

O manejo das mamangavas é essencial para a produção de maracujá, visto que a variável riqueza foi a mais importante para prever o rendimento da produção de maracujá e a terceira mais importante para prever o valor de produção.

A produtividade e o valor de produção não estão correlacionados, pois a produtividade teve como preditores mais importantes variáveis ecológicas ligadas aos polinizadores, e para o valor de produção, variáveis socioeconômicas como o IDH e PIB.

Referências bibliográficas

- ARAÚJO, M.B. & NEW, M. 2007. Ensemble forecasting of species distributions. *TREE*, 22: 4247.
- BELLARD, C. *et al.* 2012. Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecol. Lett.*, 15: 365-377.
- BENEVIDES, C.R., GAGLIANONE, M.C., HOFFMANN, M. 2009. Visitantes florais do maracujá amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg. Passifloraceae) em áreas de cultivo com diferentes proximidades a fragmentos florestais na região Norte Fluminense, RJ. *Rev. Bras. Entomol.*, 53: 415–421.
- BIESMEIJER, J.C., *et al.* 2006. Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. *Science* 313, 351–354.
- BRUCKNER, C.H.; CASALI, V.W.D. & MORAES, C.F. 1995. Self incompatibility in Passion Fruit (*Passiflora edulis* Sims). *Acta Horticulturae*, 370(7):4558.
- CARPENTER, S. R. *et al.* 2009. Science for managing ecosystem services: Beyond the Millennium Ecosystem Assessment. *PNAS*, 106: 1305–1312.
- COLWELL, R.; RANGEL, T. F. 2009. Hutchinson's duality: The once and future niche. *PNAS*, 106: 19651-19658.
- DAWSON T.P. *et al.* 2011. Beyond predictions: biodiversity conservation in a changing climate. *Science*, 332: 53-58.
- DINIZ-FILHO, J.A.F.; BINI, L.M.; RANGEL, T.F.; LOYOLA, R.D.; HOF, C.; *et al.* 2009. Partitioning and mapping uncertainties in ensembles of forecasts of species turnover under climate change. *Ecography*, 32: 897-906.
- ELIAS, M.A.S. *et al.* 2017. Climate change threatens pollination services in tomato crops in Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 239: 257–264. EGOH, B. *et al.*

2007. Integrating ecosystem services into conservation assessments: a review. *Ecol. Econ.*, 63: 714–721.
- FIGUEIREDO, S.M.M., VENTICINQUE, E.M., FIGUEIREDO, E.O., FERREIRA, E.J.L. 2014. Predição da distribuição de espécies florestais usando variáveis topográficas e de índice de vegetação no leste do Acre, Brasil. *Acta Amazonica*, vol. 45(2) 2015: 167 - 174
- FRANKLIN, J. 2010. *Mapping Species Distributions: Spatial inference and prediction*. Cambridge, UK, Cambridge Univ. Press. 320 pp.
- GARIBALDI, L. A., STEFFAN-DEWENTER, I., WINFREE, R., AIZEN, M. A., BOMMARCO, R. et al. 2013. Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. *Science* 339(6127), 1608-1611
- GIANNINI, T.C., ACOSTA, A.L., GARÓFALO, C.A., SARAIVA, A.M., ALVESDOSSANTOS, I., IMPERATRIZFONSECA, V.L., 2012. Pollination services at risk: bee habitats will decrease owing to climate change in Brazil. *Ecol. Model.*, 244, 127–131.
- GIANNINI, T.C., ACOSTA, A.L., SILVA, C.I., OLIVEIRA, P.E.A.M., IMPERATRIZFONSECA, V.L., SARAIVA, A.M., 2013. Identifying the areas to preserve passion fruit pollination service in brazilian tropical savannas under climate change. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 171, 39–46.
- GIANNINI, T.C., CORDEIRO, G.D., FREITAS, B.M., SARAIVA, A.M., IMPERATRIZFONSECA, V.L. 2015. The dependence of crops for pollinators and the economic value of pollination in Brazil. *J. Econ. Entomol.*, 108, 849– 857.
- GIOVANELLI, J.G.R.; ARAUJO, C.O.; HADDAD, C.F.B.; ALEXANDRINO, J. 2008. Ecological modeling of *Phyllomedusa ayeaye* (Anura: Hylidae): prediction of new occurrence areas for a rare species. *Neotropical Biology and Conservation*, 3(2): 59-65.
- GONZÁLEZ-VARO, J. P. et al. 2013. Combined effects of global change pressures on animal-mediated pollination. *TREE*, 28: 524–350.
- GUTIÉRREZ, J.M., WILLIAMS, D., FAN, H.W., WARRELL, D.A. 2010. Snakebite envenoming from a global perspective: Towards an integrated approach. *Toxicon* 56: 1223-1235.
- HANNAH, L. 2011. *Climate Change Biology*. Vasa, Elsevier Ltd.
- HARRIS, J. A., HOBBS, R. J., HIGGS, E., ARONSON, J. 2006. Ecological Restoration and Global Climate Change. *Restor. Ecol.*, 14: 170–176.

- IMBACH, P., FUNG, E., HANNAH, L., NAVARRO-RACINES, C.E., ROUBIK, D.W., RICKETTS, T.H., HARVEY, C.A., DONATTI, C.I., LADERACH, P., LOCATELLI, B., ROEHRDANZ, P.R. 2017. Coupling of pollination services and coffee suitability under climate change
- KLEIN, A.M. et al. 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc. R. Soc. B.*, 274: 303–313.
- KREMEN, C. et al. 2007. Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change. *Ecology Letters* 10, 299–314.
- LAMINGUEDES, V. 2013. Vinte anos da Rio92: a conservação da biodiversidade e os serviços de polinização. *Bioikos*, 27(1):1323.
- LARIGAUDERIE, A., MOONEY, H. A. 2010. The Intergovernmental science-policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services: moving a step closer to an IPCC-like mechanism for biodiversity. *Curr. Opin. Environ. Sustainability*, 2: 9–14.
- LOBO, J. M., JIMÉNEZ-VALVERDE, A. & Real, R. 2008. AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography*, 17: 145-151.
- MORITZ, C. & AGUDO, R. 2013. The Future of Species Under Climate Change: Resilience or Decline? *Science*, 341: 504-508.
- MOSS, R.H. et al. 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463: 747-756.
- NABOUT, J.C., MAGALHAES, M.R., GOMES, M.A.A., CUNHA, H.F. 2016. The impact of global climate change on the geographic distribution and sustainable harvest of *hancornia speciosa* Gomes (Apocynaceae) in Brazil. Springer Science+Business Media New York
- PARMESAN C. 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Ann. Rev. Ecol. Evol. and Systematics*, 37: 637-669.
- PETERSON A.T. et al. 2011. *Ecological Niches and Geographic Distributions*. Princeton, Princeton Univ. Press. 328 p. PETERSON, A.T. et al. 2011. *Ecological Niches and Geographic Distributions*. Princeton Univ. Press. 328 p.
- POLCE, C. et al. 2014. Climate driven spatial mismatches between British Orchards and their pollinators: increased risks of pollination deficits. *Glob. Change Biol.*, 20: 2815–2828.

- POTS, S.G. et al. 2010. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *TREE*, 25: 345–353.
- POTS, S. G. et al. 2016. Safeguarding pollinators and their values to human well being. *Nature*, 540: 220–229.
- RANGEL, T.F.L.V.B, DINIZ-FILHO, J.A.F and BINI, L.M. (2010) SAM: a comprehensive application for Spatial Analysis in Macroecology. *Ecography*, 33:46-50.
- RASMUSSEN, C., NIEH, J. C., BIESMEIJER J. C. 2010. Foraging biology of neglected bee pollinators. *Psyche* 2010, 1-2
- SAZIMA, I. & SAZIMA, M. 1989. Mamangavas e irapuás (Hymenoptera, Apoidea): visitas, interações e consequências para polinização do maracujá (Passifloraceae). *Revista Brasileira de Entomologia*, 1(1):10918.
- SOBERÓN, J.; NAKAMURA, M. 2009. Nichs and distributional areas: Concepts, methods, and assumptions. *PNAS*, 106, suppl.2: 19644-19650.
- SOUZA, C.E.A.R. 2017. Exposição das espécies do gênero *Hemitriccus* (aves, Rhynchocyclidae) a mudanças climáticas futuras.
- TAÏWE, G. S., KUETE, V. 2017. *Passiflora edulis*. In Kuete, V. Medicinal Spices and Vegetables from Africa: Therapeutic Potential against Metabolic, Inflammatory, Infectious and Systemic Diseases. p. 513-526.
- VAISSIÈRE, B. E., FREITAS, B. M., GEMMILL-HERREN, B. 2011. Protocol to detect and assess pollination deficits in crops: a handbook for its use. (FAO) Food and Agriculture Organization, Roma.
- VALE, M.M., ALVES, M.A.S. & LORINI, M.L. 2009. Mudanças Climáticas: desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade brasileira *Oecologia Brasiliensis*, 13: 518-535.
- VANBERGEN, A. J. 2013. Insect Pollinators Initiative. Threats to an ecosystem service: pressures on pollinators. *Front. Ecol. Environ.*, 11: 251–259.
- VAZ, U.L., NABOUT, J.C. 2016. Using ecological niche models to predict the impact of global climate change on the geographical distribution and productivity of *Euterpe oleracea* Mart. (Arecaceae) in the Amazon. *Acta Botanica Brasilica*, 30(2): 290-295
- YAMAMOTO, M. et al. 2012. The role of bee diversity in pollination and fruit set of yellow passion fruit (*Passiflora edulis* forma *flavicarpa*, Passifloraceae) crop in Central Brazil. *Apidologie*, 43: 51–62.

- ZHANG, L. et al. 2015. Consensus Forecasting of Species Distributions: The Effects of Niche Model Performance and Niche Properties. *PlosOne*, 10(3): e0120056.
- ZIMMERMANN, N.E. et al. 2010. New trends in species distribution modelling. *Ecography*, 33: 985-989. BLIGNAUT, J., ARONSON, J., GROOT, R. 2014. Restoration of natural capital: A key strategy on the path to sustainability. *Ecol. Eng.*, 65: 54–61.