



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA



BRUNA NASCIMENTO DE OLIVEIRA

**Áreas prioritárias para a conservação de morcegos (Mammalia:
Chiroptera) do Brasil**

Belém
2023

BRUNA NASCIMENTO DE OLIVEIRA

**Áreas prioritárias para a conservação de morcegos (Mammalia:
Chiroptera) do Brasil**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia do convênio da Universidade Federal do Pará e Embrapa Amazônia Oriental, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ecologia.

Área de Concentração: Ecologia.

Linha de Pesquisa: Ecologia Teórica e Aplicada

Orientador: Prof. Dr. Thiago Bernardi Vieira

Belém
2023

FOLHA DE APROVAÇÃO

BRUNA NASCIMENTO DE OLIVEIRA

**Áreas prioritárias para a conservação de morcegos (Mammalia:
Chiroptera) do Brasil**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia do convênio da Universidade Federal do Pará e Embrapa Amazônia Oriental, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ecologia pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

Prof Dr Thiago Bernardi Vieira
Universidade Federal do Pará (Presidente)

Prof Dr Daniel de Brito Candido da Silva
Universidade Federal do Goiás

Prof Dr Erlane José Rodrigues da Cunha
Universidade Federal do Pará

Prof Dr Fernando Geraldo de Carvalho
Universidade Federal do Pará

Prof Dr Karina Dias Silva
Universidade Federal do Pará

Prof Dr Leandro Schlemmer Brasil
Universidade Federal de Mato Grosso

Aprovada em:

Áreas prioritárias para a conservação de morcegos do Brasil

Bruna Nascimento de Oliveira¹, Thiago Bernardi Vieira²

¹ Programa de Pós-graduação em Ecologia (UFPA/PPGECO), Universidade Federal do Pará, Campus Belém, e-mail: bruna.oliveira@icb.ufpa.br, orcid: 0000-0001-7910-5160

² Faculdade de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará, Rua Coronel José Porfírio n8 2514, São Sebastião, Altamira, PA 68372-040, Brazil, orcid: 0000-0003-1762-8294

Resumo

Existem várias ameaças à biodiversidade dos morcegos como a perda de habitat, a caça ilegal, o desmatamento, transformação de áreas naturais para agricultura e agropecuária, produção de energia, construção civil, extração mineral. Todos esses problemas são agravados pelo desconhecimento da biodiversidade existente e de sua distribuição geográfica para os diferentes grupos. O objetivo desse trabalho propõe a avaliar a rede atual de reservas brasileiras para o grupo de morcegos, criar mapas de áreas prioritárias para a conservação dos morcegos, para as guildas tróficas objetivando identificar seus serviços ecossistêmicos e o índice de vulnerabilidade (IUCN), verificar se as UCs e TIs são eficazes, bem como, se a importância delas é consistente entre os biomas. Usamos as ocorrências de espécies (banco de dados da biodiversidade on-line, artigos, grupos de coleta) e usamos as 19 variáveis bioclimáticas para construir os modelos de distribuição potencial das espécies usando o pacote ENMTML. Com os resultados potenciais dos modelos calculamos as métricas de importância, sobrepomos com as atuais Unidades de Conservação e Terras Indígenas no Brasil.

Palavras-chave: guilda trófica, serviços ecossistêmicos, priorização da conservação, unidades de conservação, zonation, modelagem de distribuição de espécies.

Sumário

Introdução	6
Métodos	11
Área de estudo	11
Ocorrência de espécies de morcegos	12
Variáveis Ambientais	13
Algoritmo	13
Avaliação dos modelos	14
Contribuição dos tipos de unidades (UCs e TI)	15
Identificação das áreas prioritárias e de sua importância	16
Resultados	17
Discussão	20
Referências	22

Introdução

Existem várias ameaças à biodiversidade dos morcegos, incluindo a perda de habitat (Kasso and Balakrishnan 2013; Novaes et al. 2017), a caça ilegal (Sousa and Srbek-Araujo 2017) e a ameaça de doenças como a síndrome de mordedura de morcego (Dantas-Torres 2008). Algumas espécies de morcegos estão listadas como ameaçadas ou em perigo de extinção devido a essas ameaças (dos Reis et al. 2007). No entanto, é importante notar que existem ações sendo tomadas para proteger os morcegos e suas populações, incluindo programas de conservação (SNUC 2000; Silva et al. 2018), leis e regulamentos (SNUC 2000), e estudos científicos (Jaramillo 2018; Delgado-Jaramillo et al. 2020a) para entender melhor as necessidades das espécies.

Os morcegos são mamíferos voadores da ordem Chiroptera, que incluem 1456 espécies diferentes no mundo (Fenton and Ratcliffe 2010; Simmons and Cirranello 2022) e no Brasil existem 181 espécies (Garbino et al. 2020, 2022; Siles and Baker 2020). Eles são encontrados em todos os continentes, exceto na Antártida (Fenton and Ratcliffe 2010). Os morcegos têm asas alongadas e flexíveis formadas por pele e músculos, que lhes permitem voar, possuem dentes afiados e garras para capturar insetos e outros pequenos animais (Fenton and Ratcliffe 2010), e algumas espécies também se alimentam de frutas, néctar e sangue (KALKO et al. 1996; Kalko et al. 2008; Fenton and Ratcliffe 2010; Saldaña-Vázquez et al. 2010). Eles também possuem capacidade de ecolocalização (KALKO et al. 1996; Kalko et al. 1998; Schnitzler and Kalko 2001; Jung et al. 2007, 2014), ou seja, eles emitem sons e ouvem os ecos para navegar e localizar presas no escuro. Algumas espécies de morcegos são importantes polinizadores (Howe and Smallwood 1982; Eguiarte et al. 1987; Sazima and Sazima 2022) e dispersores de sementes (Howe and Smallwood 1982; Godínez-Alvarez and Valiente-Banuet 2000; Wagner et al. 2015; Zapata-Mesa et al. 2017), enquanto outras são importantes controladores de pragas (Kunz et al. 2011; Segura-Trujillo et al. 2016; Ancillotto et al. 2022). Os morcegos são animais fascinantes e importantes para muitos ecossistemas, mas infelizmente, muitas espécies estão ameaçadas devido à perda de habitat, caça furtiva e doenças.

Há várias maneiras de proteger a biodiversidade dos morcegos, incluindo proteger e restaurar habitats naturais (Kunz et al. 2011; Silva et al. 2018; Almeida et al. 2022) onde os morcegos vivem por meio da preservação de florestas, cavernas, ecológicas e rios (Borroto-Páez and Mancina 2017; Almeida et al. 2022). É importante ainda continuar a estudar os morcegos para entender melhor suas necessidades e como protegê-los (Kasso and Balakrishnan 2013; Silva et al. 2018; Ancillotto et al. 2022). Educar a população

sobre a importância dos morcegos e como eles contribuem para o ecossistema (Prokop and Tunnicliffe 2008) pode ajudar a mudar as atitudes negativas em relação aos morcegos e aumentar a conscientização sobre sua conservação.

As lacunas do conhecimento biogeográfico, também conhecidas por lacuna Wallaceana (Bini et al. 2006; Aguiar et al. 2020), referem-se às áreas onde ainda há pouco ou nenhum conhecimento sobre a distribuição, diversidade e ecologia das espécies. Essas lacunas podem ser encontradas em áreas remotas, inacessíveis ou pouco estudadas, como florestas tropicais profundas, montanhas, desertos ou oceanos e essas informações biogeográficas são escassas até mesmo em hotspots de biodiversidade (Bini et al. 2006; Gonçalves et al. 2021). Elas podem ser causadas por falta de recursos, infraestrutura ou capacitação para realizar estudos de campo, ou pela dificuldade de acessar essas áreas (Bini et al. 2006).

Essas lacunas têm implicações importantes para a conservação e gestão de recursos naturais, pois impedem a identificação e priorização de áreas importantes para a conservação e impede a implementação de medidas de proteção eficazes (Rezende 2013; Aguiar et al. 2020; Velazco et al. 2020). Portanto, é importante continuar a investir em pesquisa e estudos para preencher essas lacunas e garantir a conservação da biodiversidade global.

As Unidades de Conservação (SNUC 2000) são áreas protegidas criadas com o objetivo de preservar a biodiversidade e os recursos naturais (Rodrigues and Gaston 2002; López-Wilchis et al. 2021). Elas são fundamentais para a proteção dos morcegos e contribuem para a manutenção da saúde dos ecossistemas (Lim and Engstrom 2001; Almeida et al. 2022). As UCs no Brasil têm tido algum sucesso na proteção desses animais, mas também enfrentam desafios (Dias-Silva et al. 2021). Algumas UCs são, como parques nacionais e reservas biológicas, têm áreas protegidas significativas e programas de conservação bem-sucedidos para morcegos (FEIJO and DA ROCHA 2017). No entanto, ainda há desafios para a proteção dos morcegos e seus habitats no país (Diniz-Filho et al. 2009; Silva et al. 2018).

As Terras Indígenas no Brasil são áreas demarcadas e protegidas pelo governo para o uso e ocupação exclusiva dos povos indígenas do país. Essas terras incluem florestas, rios e outros recursos naturais importantes para as comunidades indígenas. A demarcação dessas terras é feita com base na Constituição Brasileira e em convenções internacionais de direitos humanos dos povos indígenas (lei nº 6.001, de 19 de

dezembro de 1973; decreto 1775/96). No entanto, infelizmente muitas vezes essas terras são invadidas e desrespeitadas (Stocks 2005).

Os recursos financeiros e humanos adequados para implementar programas de conservação eficazes, e o monitoramento das populações de morcegos e sua distribuição geográfica ainda são insuficientes em algumas áreas (Kalko and Handley 2001; Lim and Engstrom 2001; Lim and Da Tavares 2012; Silva et al. 2018). Além disso a falta de conscientização sobre a importância dos morcegos e sua conservação podem dificultar a implementação de medidas de proteção (Kasso and Balakrishnan 2013; Ancillotto et al. 2022). Em resumo, as unidades de conservação de morcegos no Brasil têm tido algum sucesso na proteção desses animais, mas ainda enfrentam desafios. É importante continuar a investir em programas de conservação eficazes, monitoramento, pesquisa e conscientização para proteger a biodiversidade dos morcegos e seus habitats no país.

Os critérios escolhidos para a criação de áreas de conservação devem ser científicos e ecológicos (Soberón and Nakamura 2009), com o objetivo de preservar a biodiversidade e os recursos naturais. É importante notar que na prática outros fatores podem influenciar a seleção das áreas, como a disponibilidade de recursos, a viabilidade política e a participação comunitária. Além disso, esses critérios e prioridades podem ser atualizados de acordo com o avanço da ciência, dados e informações disponíveis e mudanças ambientais (Howard et al. 2000; Christensen et al. 2009).

Esses critérios utilizados para escolha das áreas de conservação podem incluir: Riqueza de espécies: As áreas com alta diversidade de espécies de morcegos são priorizadas para proteção (Kalko and Handley 2001; Delgado-Jaramillo et al. 2020a); Endemismo: As áreas com espécies endêmicas (só encontradas nessa região) são consideradas importantes para a proteção (Delgado-Jaramillo et al. 2020a; Garbino et al. 2021; Silva et al. 2022); Vulnerabilidade: As áreas com espécies ameaçadas ou vulneráveis são priorizadas para proteção (Núñez et al. 2019; Velazco et al. 2019; Da Silva et al. 2021); Representatividade: As áreas escolhidas devem representar a diversidade de habitats e ecossistemas onde os morcegos vivem (Margules and Pressey 2000b, a); Conectividade: As áreas escolhidas devem ser conectadas entre si para permitir a movimentação e reprodução dos morcegos (Margules and Pressey 2000a; Rodrigues and Gaston 2002); Pressão humana: As áreas com menor pressão humana são priorizadas para proteção (Fernández-Llamazares et al. 2021); Oportunidades de conservação: As áreas com boas oportunidades de conservação, como a possibilidade de criação de unidades de conservação, são priorizadas; Serviços ecossistêmicos: As

áreas onde os morcegos desempenham papéis importantes como polinizadores, controladores de pragas e dispersores de sementes, são priorizadas (Jones et al. 2009; Saldaña-Vázquez et al. 2010; Kunz et al. 2011; Segura-Trujillo et al. 2016; Brasileiro et al. 2022b).

Atualmente existem dados sobre a distribuição e abundância de morcegos no Brasil, mas eles são geralmente incompletos e desatualizados (Garbino et al. 2020). A maioria dos estudos sobre morcegos no Brasil foram realizados em áreas específicas, como parques nacionais e reservas biológicas, e em algumas regiões do país, como a Amazônia (Diniz-Filho et al. 2009; Decastro and Michalski 2015; Novaes et al. 2015; Barros et al. 2017; Tavares et al. 2017; Silva et al. 2018; Cláudio et al. 2020). A falta de monitoramento e estudos sobre morcegos em outras áreas do país significa que ainda há muito a ser descoberto sobre a distribuição e abundância desses animais no Brasil.

No entanto, alguns esforços têm sido feitos para melhorar essa situação, como o projeto "Morcegos do Brasil", que tem como objetivo documentar a distribuição de todas as espécies de morcegos no país e fornecer informações sobre suas necessidades ecológicas para a conservação (dos Reis et al. 2007). E também projetos de pesquisa científica, monitoramento e conservação tem sido realizado por universidades, instituições de pesquisa e organizações não-governamentais, que tem contribuído para o aumento do conhecimento sobre os morcegos no país.

Os morcegos são um exemplo de como as guildas tróficas estão relacionadas aos serviços ecossistêmicos (Wilson 1999; Kunz et al. 2011; Brasileiro et al. 2022b). No Brasil, as guildas tróficas de morcegos incluem espécies que se alimentam de frutas (Morrison 1980; Godínez-Alvarez and Valiente-Banuet 2000; Saldaña-Vázquez et al. 2010; Garbino et al. 2021), insetos (KALKO et al. 1996; Kalko and Handley 2001; Schnitzler and Kalko 2001; Ancillotto et al. 2022) e néctar (Winkelman 1972; Koopman 1981; Tschapka 2004; Schmidt 2020). Cada uma dessas guildas desempenha um papel importante na manutenção do ecossistema e na prestação de serviços ecossistêmicos (Ancillotto et al. 2022). Por exemplo, os morcegos frugívoros são responsáveis pela polinização e dispersão de sementes de muitas plantas, permitindo a reprodução e a regeneração florestal (Muscarella and Fleming 2007; Kelm et al. 2008). Eles também são importantes controladores de pragas (Kasso and Balakrishnan 2013; Ancillotto et al. 2022), pois se alimentam de insetos que podem prejudicar as culturas agrícolas. Além disso, os morcegos nectarívoros desempenham um papel importante na polinização de plantas (Eguiarte et al. 1987; Schmidt 2020), permitindo a produção de frutos e sementes (Morrison 1980; Zapata-Mesa et al. 2017). Portanto, a presença de diferentes guildas tróficas

de morcegos no Brasil é essencial para a manutenção dos ecossistemas e para o fornecimento de serviços ecossistêmicos valiosos para as comunidades humanas e os ecossistemas (Ancillotto et al. 2022).

Os índices de vulnerabilidade dos morcegos (Brasileiro et al. 2022b) são medidos através de diferentes categorias de ameaça, como a lista vermelha da IUCN (União Internacional para a Conservação da Natureza; <https://www.iucnredlist.org/>) e a lista oficial de espécies ameaçadas do governo brasileiro (<https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/noticias/ultimas-noticias/lista-oficial-das-especies-ameacadas-de-extincao-e-divulgada>). A lista vermelha da IUCN classifica as espécies em diferentes categorias de ameaça, incluindo: Extinto (EX): Espécie que não é mais encontrada na natureza; Em perigo crítico (CR): Espécie com uma população extremamente reduzida e/ou em rápida declínio; Em perigo (EN): Espécie com uma população significativamente reduzida e/ou em declínio; Vulnerável (VU): Espécie com uma população reduzida e/ou vulnerável a ameaças; Quase ameaçada (NT): Espécie com uma população relativamente baixa, mas ainda estável; Preocupação menor (LC): Espécie com uma população ampla e estável, mas ainda sujeita a ameaças (IUCN; <https://www.iucnredlist.org/>).

Já a lista oficial de espécies ameaçadas do governo brasileiro é realizada pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA; <http://www.ibama.gov.br/>) e Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio; <https://www.gov.br/icmbio>). As espécies são classificadas como ameaçadas, vulneráveis, raras ou em extinção de acordo com sua situação de conservação (Portaria MMA nº 148, de 7 de junho de 2022; <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-mma-n-148-de-7-de-junho-de-2022-406272733>). Essa classificação é baseada em avaliações populacionais, distribuição geográfica, tendência de declínio e ameaças à sobrevivência das espécies. O objetivo é fornecer informações para a elaboração de políticas e ações de conservação e manejo adequadas.

Tendo em vista os limites de investimento e recursos humanos, este trabalho se propõe a avaliar a rede atual de reservas brasileiras para o grupo de morcegos, identificar as áreas prioritárias para a conservação de morcegos e de seus serviços ecossistêmicos. Para alcançar esse objetivo as áreas com maior importância para a conservação foram mapeadas por bioma, guildas tróficas, e índice de vulnerabilidade (IUCN). Com isso foi possível verificar se as UCs e TIs são eficazes, bem como, se a importância delas é consistente entre os biomas.

Métodos

Área de estudo

Os seis biomas brasileiros incluem a Amazônia, Cerrado, Caatinga, Pantanal, Mata Atlântica e Pampa (Fig. 1). Todos esses biomas possuem uma variedade de espécies de morcegos, incluindo frugívoros, nectarívoros, insetívoros, carnívoros e hematófagos (Novaes et al. 2015; Ito et al. 2016; Maas et al. 2018; Schmidt 2020; Cordero-Schmidt et al. 2021). No entanto, a degradação (Heer et al. 2015) e fragmentação dos habitats (Appel et al. 2021), causadas por atividades humanas, representam ameaças significativas para essas espécies. Existem muitas unidades de conservação e terras indígenas no país, que foram criadas para proteger esses biomas e suas espécies (Jaramillo 2018; Fernández-Llamazares et al. 2021).



Fig. 1 Localização dos biomas brasileiros com os pontos de ocorrência utilizados para a realização dos modelos

Ocorrência de espécies de morcegos

O estudo sobre as 181 espécies de morcegos existentes no Brasil (Garbino et al. 2020, 2022; Siles and Baker 2020) foi desenvolvido através do levantamento em bases on-line de biodiversidade, como o Global Biodiversity Information Facility (GBIF; <https://www.gbif.org/>), o SpeciesLink (<https://specieslink.net/>), o Map of Life (MOL; <https://mol.org/>), o Integrated Taxonomic Information System (ITIS; <https://www.itis.gov/>), e de coletas pelo grupo de pesquisa ChiroXingu UFPA/Altamira, e ainda por mecanismos de busca on-line como a ISI Web of Knowledge e Google Scholar com as palavras-chave “chiroptera”, “morcego”, “bat”. Foram selecionadas apenas as ocorrências registradas a partir de 1970, ignorando os registros sem ocorrência de data, sem coordenadas geográficas e fora da região Neotropical.

Para facilitar a visualização, validação e organização dos registros de ocorrência, foi utilizado o editor de planilhas Microsoft Office Excel, mas devido às limitações de processamento de grandes volumes de dados, foi desenvolvido um sistema WEB na linguagem PHP (Lei et al. 2014), utilizando MySQL como Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD; Denton and Peace 2003). Esse sistema suporta um volume de dados maior, possui tolerância a falhas e permite a integração com diversos tipos de sistemas (Denton and Peace 2003). Além disso, o sistema realiza buscas via API HTTP nas plataformas on-line de dados abertos citados anteriormente, para buscar as informações e arquivá-las no SGBD sobre a taxonomia das espécies de morcegos, como a família, subfamília, gênero, autor, sinônimos e atualização de nomenclatura atuais.

As espécies de morcegos do Brasil podem ser separadas em diferentes grupos tróficos, conhecidos como guildas (Wilson 1999). Essas guildas incluem os insetívoros, os frugívoros, os nectarívoros, os hematófagos e os carnívoros (KALKO et al. 1996). Os insetívoros podem ser divididos em dois subgrupos: os que se alimentam apenas de insetos e os que também utilizam a técnica de *gleaner*, que consiste em capturar insetos que caem no chão ou em folhas (Schnitzler and Kalko 2001). Já os frugívoros se alimentam principalmente de frutos (Lauren; Muscarella and Fleming 2007) e nectarívoros se alimentam de néctar (Winkelman 1972; Koopman 1981). Os hematófagos se alimentam de sangue (Gregorin et al. 2017; Torquetti et al. 2023) e os carnívoros se alimentam de pequenos animais (Gual-Suárez and Medellín 2021; Sánchez and Carrizo 2021). Cada guilda trófica desempenha um papel importante na ecologia dos morcegos e na manutenção dos ecossistemas (Ancillotto et al. 2022).

Finalmente, para avaliar o estado de conservação de cada espécie de morcegos encontrada, foi realizada uma consulta na categoria específica de cada espécie na Lista Vermelha da União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN, sigla em inglês; <https://www.iucnredlist.org/>). Essa lista fornece informações sobre a situação de conservação de espécies, classificando-as em diferentes categorias, tais como: Não Avaliada (NE), Dados Insuficientes (DD), Preocupação Menor (LC), Quase Ameaçada (NT), Vulnerável (VU), Em Perigo (EN), Criticamente em Perigo (CR), Extinta na Natureza (EW) e Extinta (EX).

Variáveis Ambientais

Utilizamos as 19 variáveis bioclimáticas disponíveis no site WorldClim (<https://www.worldclim.org/>) com resolução espacial de 10 arc-minutos para toda a região Neotropical (Fick and Hijmans 2017), com uma resolução aproximada de 20 x 20km (de Marco and Nóbrega 2018). Logo em seguida realizamos um recorte para o cálculo referente a toda região do Brasil em formato de *grid* (para a geração das células) com resolução de 0,083° (Dias-Silva et al. 2021). Essas variáveis são derivadas de valores mensais de temperatura e precipitação coletados durante os anos de 1970 a 2000 (Fick and Hijmans 2017). Esses dados são frequentemente utilizados em técnicas de modelagem ecológica para estimar a distribuição potencial de espécies (Lisón and Calvo 2013; Mendes et al. 2020; Pimenta et al. 2022). Para reduzir a multicolinearidade dos dados, realizamos uma Análise de Componentes Principais (PCA; Legendre and Legendre 2012) e utilizamos os valores próprios como variáveis ambientais. Selecionamos apenas os eixos que apresentam uma explicação igual ou superior a 95% (de Marco and Nóbrega 2018), os quais foram utilizados como variáveis do modelo.

Algoritmo

O algoritmo é um conjunto de instruções lógicas que são fornecidas a um computador através de uma linguagem de programação para que ele possa interpretar e executar as tarefas desejadas (Hill 2016). Neste caso, utilizamos a linguagem R® (R Core Team 2021), que é especializada em estatística e gráficos. Para isso, construímos uma rotina em R® (R Core Team 2021) usando o pacote ENMTML (Andrade et al. 2020), que possui vários parâmetros e recursos voltados especificamente para a modelagem de distribuição de espécies (SDM). Com esse pacote, utilizamos 4 modelos de algoritmos como parâmetros, ou seja, realizamos uma modelagem em que a ferramenta de análise de dados foi baseada nesses 4 algoritmos: MaxEnt (MXD; Elith et al. 2006; Merow et al. 2013), Support Vector Machine (SVM; Noble 2006; Awad

and Khanna 2015), Random Forest (RDF; Speiser et al. 2019) e Bayesian Gaussian Process (GAU; Rasmussen and Kuss 2004; Seeger 2004).

O script R® foi dividido em dois momentos principais para gerar mapas de distribuição de probabilidade para diferentes espécies de morcegos. No primeiro momento, utilizamos o método de partição BOOT com 10 réplicas numa proporção de 70% por 30% com ocorrência mínima de 5 pontos para gerar 4 mapas por espécie (Pimenta et al. 2022). No segundo momento, utilizamos o método de partição BLOCK com ocorrência mínima de 30 pontos para gerar 4 mapas por espécie (Pimenta et al. 2022). Cada um advindo de um algoritmo: MaxEnt, Support Vector Machine, Random Forest e Bayesian Gaussian Process. Utilizamos o índice de Jaccard (Leroy et al. 2018; Pimenta et al. 2022) como métrica do Threshold e o SUP (média dos melhores algoritmos com TSS acima da média para cada espécie) para gerar um único mapa final por espécie (Velazco et al. 2019, 2020; Andrade et al. 2020; Mendes et al. 2020; Pimenta et al. 2022). A técnica de Ensemble SUP, que combina os resultados dos algoritmos foi escolhida baseada em análises de desempenho prévias e na literatura para aumentar a precisão do modelo final de distribuição de probabilidade de espécies de morcegos (Qiao et al. 2015; Andrade et al. 2020; Pimenta et al. 2022).

Os algoritmos mencionados anteriormente são reconhecidos por serem robustos e eficientes em prever distribuições de espécies a partir de dados de ocorrência segundo Pimenta et al. (2022). Eles são amplamente utilizados na área de aprendizado de máquina para resolver problemas de classificação e regressão. O MaxEnt é um algoritmo de aprendizado supervisionado baseado em princípios de entropia, amplamente utilizado na classificação de espécies (Phillips et al. 2006; Merow et al. 2013). O SVM é um algoritmo de classificação que busca encontrar uma linha de separação entre as classes, com boa performance em problemas de classificação binária e multi-classe (Noble 2006; Awad and Khanna 2015). O Random Forest é baseado em árvores de decisão, utilizado para classificação e regressão, conhecido pela sua capacidade de lidar com grande quantidade de variáveis e alta dimensionalidade (Speiser et al. 2019). Por fim, o GAU é um algoritmo de inferência bayesiana, utilizado para modelagem de dados contínuos e é amplamente utilizado em problemas de regressão (Rasmussen and Kuss 2004; Seeger 2004).

Avaliação dos modelos

Para avaliar os modelos gerados a partir dos algoritmos de distribuição de espécies, como MaxEnt, GAU, Random Forest e SVM, é preciso utilizar as curvas ROC e o indicador TSS (de Marco and Nóbrega 2018).

A curva ROC é usada para avaliar o desempenho dos modelos de classificação binária, ela mostra a relação entre a taxa de verdadeiros positivos (TPR) e a taxa de falsos positivos (FPR) para diferentes limiares de classificação (Fawcett 2006). A área sob a curva (AUC) é comumente usada como uma medida global do desempenho do modelo, sendo que valores próximos a 1 indicam bom desempenho e valores próximos a 0 indicam desempenho ruim (Fawcett 2006). Já o indicador TSS (True Skill Statistic) que é a soma da diferença entre a taxa de verdadeiros positivos e a taxa de falsos positivos tem valores entre -1 e 1, sendo que valores próximos a 1 indicam bom desempenho e valores próximos a -1 indicam desempenho ruim, ele é uma medida de desempenho que permite comparar a precisão dos modelos no qual é calculado com base na proporção de acertos e erros dos modelos (Allouche et al. 2006; Leroy et al. 2018).

Além disso, é importante mencionar o uso do método Ensemble SUP (Supervised Ensemble), que consiste em combinar vários modelos de classificação para obter um único modelo que possa ser mais preciso do que qualquer um dos modelos individuais por ser uma técnica amplamente utilizada na ecologia de conservação, pois permite priorizar a conservação de espécies (Velazco et al. 2019). Esse processo é realizado através de diferentes estratégias como a média, mediana, voto majoritário e outras, em cada uma dessas estratégias, é possível fazer uma avaliação dos modelos gerados a partir dos algoritmos mencionados anteriormente, de forma que seja possível identificar qual modelo é o melhor para a distribuição de espécies em questão. A combinação dos modelos permite obter uma classificação mais precisa e confiável, aumentando as chances de sucesso na conservação das espécies (Qiao et al. 2015).

Contribuição dos tipos de unidades (UCs e TI)

Para identificar a contribuição dos tipos de unidades de conservação e terras indígenas foi utilizada uma rotina em R® (R Core Team 2021) baseada no teste de randomização Monte Carlo (Carvalho 2017), com 10.000 aleatorizações, para avaliar a importância relativa das células protegidas e desprotegidas. As células são classificadas como "protegidas" (se estiverem com 60 a 100% dentro de uma unidade de conservação ou terra indígena) e "desprotegidas" (de 0 a 59% fora de uma unidade de conservação ou terra indígena) e a importância média das células protegidas é estimada através da análise de zoneamento. Esse procedimento é realizado usando as redes de reservas segundo o mapa oficial das unidades de conservação na categoria: "proteção integral - UPI", "uso sustentável - UUS" e "terra indígena - TI" que estão disponíveis no Ministério do Meio Ambiente (MMA; <https://www.gov.br/mma>) e Fundação Nacional dos Povos Indígenas (FUNAI; <https://www.gov.br/funai>). As fronteiras oficiais dos biomas (também disponíveis no site do

MMA) foram consideradas como representativas da distribuição histórica dos biomas biológicos. Esse procedimento será realizado para todas as espécies de morcegos, para cada guilda trófica e para cada categoria IUCN separadamente. Ao identificar a contribuição de diferentes tipos de unidades de conservação e terra indígena para a proteção da biodiversidade obtém-se um valor de significância através da comparação da importância observada com as importâncias aleatórias.

A técnica Zonation se baseia em princípios teóricos de conservação da biodiversidade, como a noção de complementaridade, insubstituibilidade e representatividade (Moilanen 2007; Lehtomäki and Moilanen 2013; Minin et al. 2014). A complementaridade sugere que a conservação de uma variedade de espécies e ecossistemas é mais eficaz do que a conservação de apenas alguns deles (Moilanen 2007; Lehtomäki and Moilanen 2013; Minin et al. 2014). A insubstituibilidade se refere ao fato de que algumas áreas são mais importantes para a conservação de certas espécies ou ecossistemas do que outras (Moilanen 2007; Lehtomäki and Moilanen 2013). Já a representatividade sugere que as áreas prioritárias devem incluir um exemplo representativo de cada tipo de ecossistema ou habitat (Moilanen 2007). Além disso, a técnica Monte Carlo é uma técnica estatística que consiste em gerar várias amostras aleatórias de uma distribuição de probabilidade, com o objetivo de estimar valores de interesse (CARVALHO 2017). Nesse caso, a técnica de Monte Carlo somada à técnica Zonation, é utilizado para avaliar a importância relativa das células protegidas e desprotegidas, a medida de importância é gerada usando algoritmos matemáticos que levam em conta dados de biodiversidade, topografia, cobertura vegetal e condições climáticas.

Identificação das áreas prioritárias e de sua importância

A sobreposição de mapas de distribuição de espécies com unidades de conservação e terras indígenas utilizando a ferramenta Zonation (Moilanen 2007; Lehtomäki and Moilanen 2013) é uma técnica valiosa para avaliar a conservação da biodiversidade. A geração dos modelos de distribuição de espécies permite identificar as áreas com maior presença e frequência de determinadas espécies (Moilanen 2007; Lehtomäki and Moilanen 2013). A ferramenta Zonation, além de precisa e eficiente, permite avaliar o grau de proteção e conservação dessas espécies em áreas protegidas ou em terras com direitos especiais (Moilanen 2007; Lehtomäki and Moilanen 2013). A sobreposição dos mapas também possibilita identificar áreas críticas para conservação, priorizadas em futuros planos de conservação, pois concentram alta incidência de espécies ameaçadas de extinção sem proteção adequada.

A técnica *Core-area Zonation* prioriza a remoção de células que possuem uma alta concentração de espécies ameaçadas ou endêmicas. Essa técnica se baseia na ideia de que as áreas mais ricas em biodiversidade devem ser preservadas primeiro, uma vez que protegê-las garante a proteção de um número significativo de espécies (Moilanen 2007; Lehtomäki and Moilanen 2013; Minin et al. 2014). Em seguida, *Additive benefit function* avalia a remoção de células de acordo com a soma de benefícios que serão obtidos ao protegê-las, esse benefício pode incluir a proteção de espécies ameaçadas, a conservação de habitats importantes, entre outros (Moilanen 2007; Lehtomäki and Moilanen 2013; Minin et al. 2014). Já a técnica *Target-based planning* tem como objetivo atingir metas específicas de conservação, tais como proteger uma determinada porcentagem de habitats ou espécies ameaçadas, a remoção de células é avaliada de acordo com o impacto que causará no alcance dessas metas (Moilanen 2007; Lehtomäki and Moilanen 2013; Minin et al. 2014). Nesse trabalho utilizamos a técnica *Additive benefit function* por ser a mais adequada em relação aos objetivos da pesquisa.

Resultados

O Brasil possui 181 espécies registradas de morcegos, das quais foram encontradas 228.197 ocorrências. Nós modelamos 164 espécies, sendo que apenas as com pelo menos 5 ocorrências foram incluídas. Nossos modelos apresentaram valores de AUC variando de 0,275 a 1, conforme descrito na tabela 2 do material suplementar. Além disso, os valores de TSS também variaram de 0 a 1. Utilizamos o índice de Jaccard como limiar para nossos modelos, conforme mencionado na tabela 2 do material suplementar. A análise de contribuição de unidades de conservação e terras indígenas apontou que o valor observado é maior do que o esperado, conforme descrito na tabela 1 do material suplementar.

O mapa de importância com as unidades de conservação e terras indígenas (fig. 2) mostra que a porção mais à sudoeste do Cerrado, porções do Cerrados que fazem divisa com o bioma Mata Atlântica, regiões ao norte (regiões litorâneas) do Cerrado e Caatinga são importantes para a conservação de morcegos. Em geral para os biomas não diferem entre si na conservação de morcegos.

O mapa com a medida de importância para cada guilda trófica de morcegos (fig. 3) nos mostra que os insetívoros hematófagos (fig. 3b) toda a extensão sul e sudeste do Cerrado, área leste da Caatinga são importantes para a conservação de morcegos, para os insetívoros sem a técnica *gleaner* a região oeste do Pampa são pontos importantes para a conservação. Já para os morcegos frugívoros (fig. 3c) e nectarívoros

(fig. 3d) coincidem com as regiões mais leste-central englobando os biomas Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica são áreas importantes para a conservação. O mapa com a medida de importância para cada categoria IUCN de morcegos (fig. 4) nos mostra que as espécies de morcegos com categoria DD (fig. 4a) a região central-sul do Cerrado, sul da Mata Atlântica e as regiões litorâneas do Cerrado e Caatinga são áreas importantes para a conservação.

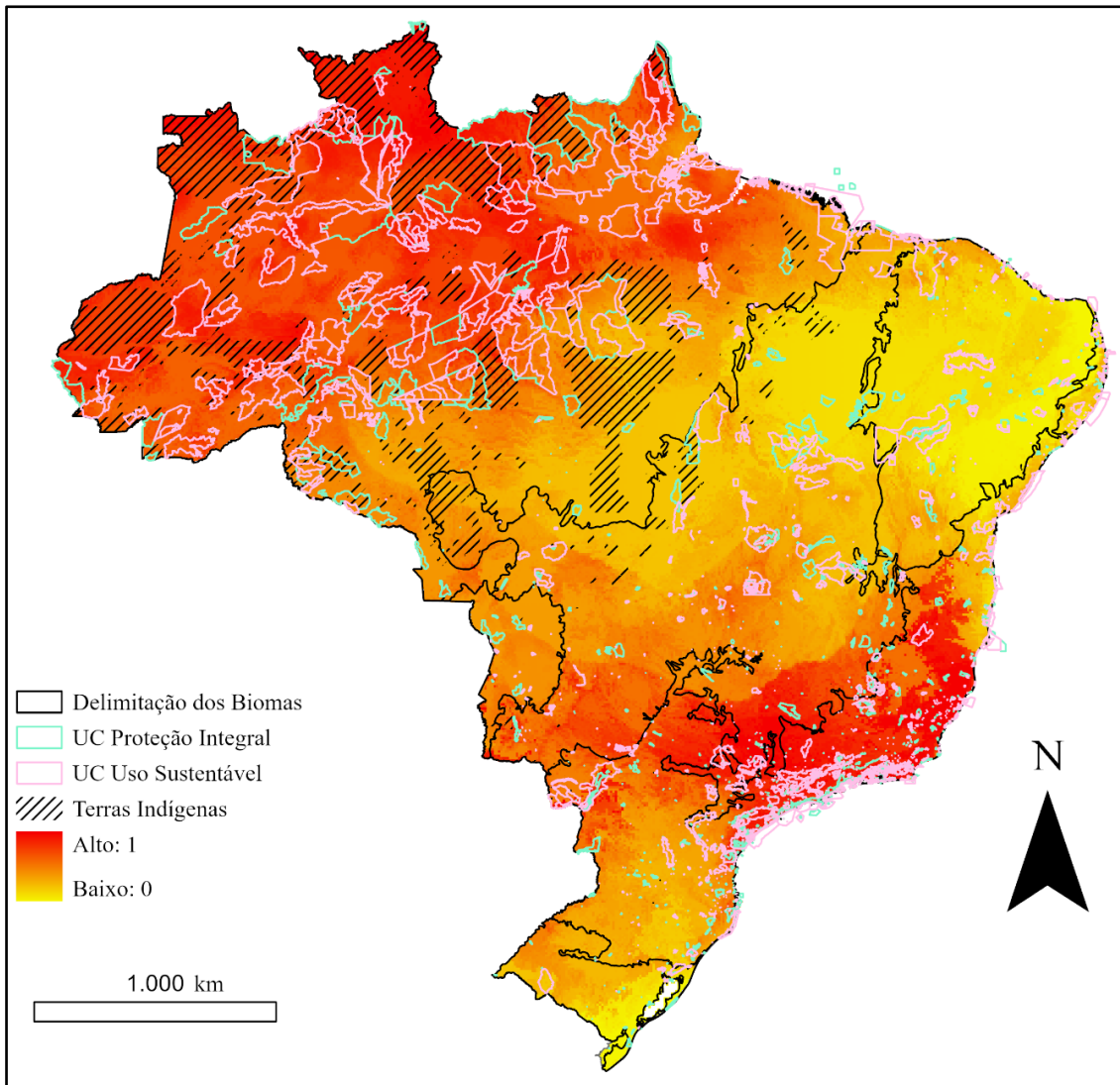


Fig. 2 Áreas prioritárias para a conservação de morcegos (Mammalia: Chiroptera) de acordo com o algoritmo Zonation. Os valores indicam a importância onde quanto mais vermelha for a área, maior será sua importância. Figura construída no ArgGIS Pro.

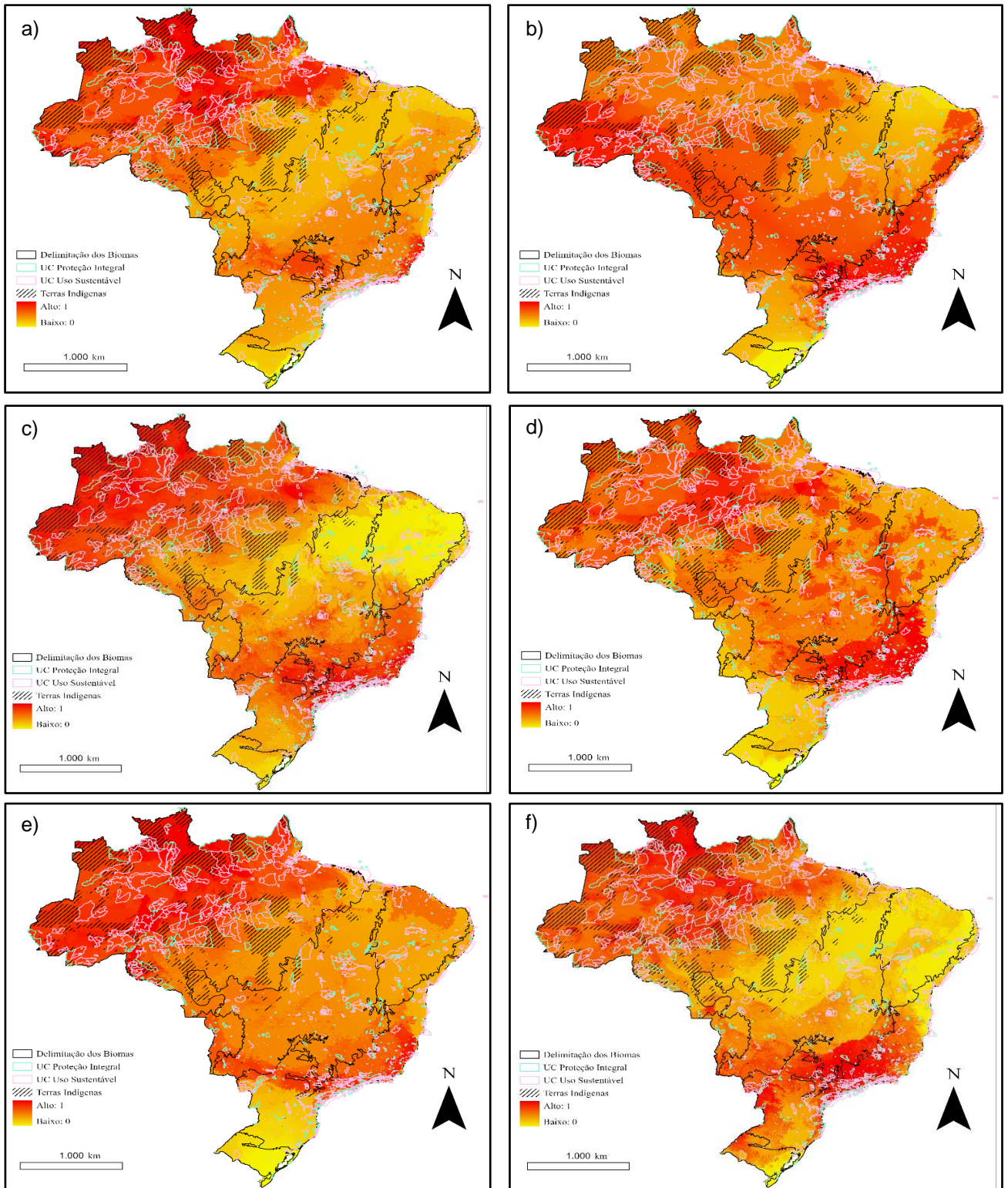


Fig. 3 Áreas prioritárias para a conservação por guilda trófica de morcegos, em a) guilda dos morcegos carnívoros, b) guilda dos hematófagos, c) dos frugívoros, d) nectarívoros, e) guilda de insetívoros com técnica *gleaner* e f) guilda dos insetívoros sem a técnica *gleaner*

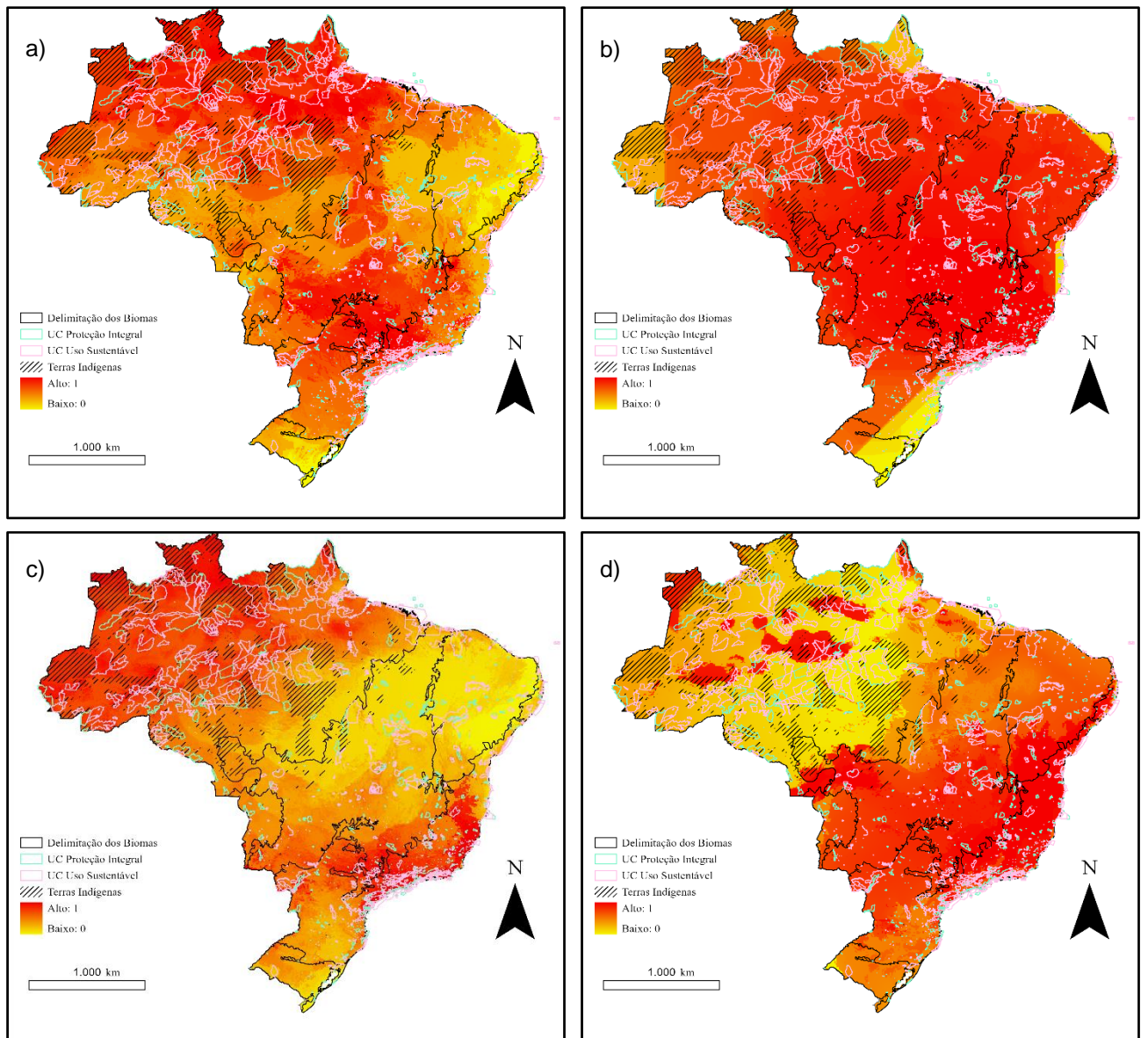


Fig. 4 Áreas prioritárias para a conservação por categoria IUCN, onde em a) situação DD, b) EN, c) LC e d) NT

Discussão

Em nosso estudo, percebemos que os valores aleatórios de morcegos para o Brasil pertencentes ao IUCN (União Internacional para a Conservação da Natureza) nas categorias EN (Espécie em Perigo) e NT (Espécie Quase Ameaçada) são maiores do que o observado em diferentes tipos de Unidades de Proteção. Em Unidades de Proteção Integrais (UPI), Unidades de Uso Sustentável (UUS) e Terras Indígenas (TI), o valor aleatório também é superior ao observado em relação a espécies pertencentes ao IUCN das classificações EN e NT. Quando analisamos o conjunto UPI+UUS+TI, a tendência é mantida. Quando

analisamos por biomas, iniciando pela Amazônia, seus valores aleatorizados de espécies pertencentes às categorias EN (Espécies Em Perigo) e NT (Quase Ameaçadas) são maiores do que o observado, da mesma forma na UUS, o valor aleatorizado é superior ao observado para espécies nas categorias EN e NT. Na TI, ocorre o mesmo para as espécies nas categorias EN e NT. Quando analisamos o conjunto UPI + UUS + TI, vemos que ocorre o mesmo para as espécies nas categorias EN e NT. Na Caatinga, todas as guildas de morcegos (grupos funcionais de animais) têm valores aleatórios superiores ao observado, incluindo as espécies categorias DD (Depende de Conservação) e LC (Pouco Preocupante). No Cerrado, exceto a guilda de morcegos nectarívoros, todas as outras têm valores aleatórios superiores ao observado e estão classificadas nas categorias DD e LC, situação semelhante é descrita no trabalho de Silva et al. (2018). Na Mata Atlântica, as guildas de morcegos carnívoros e insetívoros *gleaner* (morcegos que possuem a habilidade de coletar insetos de folhas, troncos de árvores e outras superfícies) têm valores aleatórios superiores ao observado na categoria EN. No Pampa, todos os valores aleatórios são superiores ao observado. No Pantanal, a tendência é a mesma, com os valores aleatórios superiores ao observado para as guildas de morcegos carnívoros, frugívoros, nectarívoros e os demais insetívoros, todas as categorias IUCN sendo DD e LC. Todos os valores comparativos da média dos valores observados e da média dos valores aleatorizados estão disponibilizados na tabela 1 do material suplementar.

Os morcegos desempenham um papel crucial na conservação da biodiversidade (Vleut et al. 2013) e na manutenção de diversos serviços ecossistêmicos (Cleveland et al. 2006). Em nosso estudo, percebemos que os valores aleatórios de morcegos para o Brasil pertencentes ao IUCN (União Internacional para a Conservação da Natureza) nas categorias EN (Espécie em Perigo) e NT (Espécie Quase Ameaçada) são maiores do que o observado em diferentes tipos de Unidades de Proteção, incluindo Unidades de Proteção Integrais (UPI), Unidades de Uso Sustentável (UUS) e Terras Indígenas (TI). Esse fato é particularmente preocupante, pois os morcegos desempenham um papel importante na polinização de plantas (Suripto 2021; Baqi et al. 2022; Buxton et al. 2022; Ortega-García and Saldaña-Vázquez 2022; Pretorius and Keith 2022) e na regulação de populações de insetos (Mainea and Boylesa 2015; Rodríguez-San Pedro et al. 2020; Ferreira et al. 2022; Tanalgo et al. 2022; Yoh et al. 2022), ambos serviços ecossistêmicos cruciais para a saúde dos ecossistemas. Além disso, a presença de espécies ameaçadas de extinção em áreas protegidas sugere que a conservação desses animais ainda é insuficiente.

Analisando por biomas, encontramos que na Amazônia, na Caatinga, no Cerrado, na Mata Atlântica, no Pampa e no Pantanal, todas as guildas de morcegos têm valores aleatórios superiores ao observado, incluindo as espécies categorizadas como Dependentes de Conservação (DD) e Pouco Preocupantes (LC). Isso significa que as populações de morcegos em todo o país estão em risco, o que afetará negativamente seus serviços ecossistêmicos (Cleveland et al. 2006; Trevelin et al. 2013; Delgado-Jaramillo et al. 2020b; Brasileiro et al. 2022a).

Portanto, é crucial que sejam implementadas medidas de conservação eficazes para garantir a proteção dessas espécies e os serviços ecossistêmicos que elas prestam. Isso inclui a preservação de habitats naturais, a redução de ameaças como a perda de habitats e a morte acidental por interação com humanos, bem como a promoção da conscientização sobre a importância dos morcegos para os ecossistemas.

Referências

- Aguiar LMS, Pereira MJR, Zortéa M, Machado RB (2020) Where are the bats? An environmental complementarity analysis in a megadiverse country. *Divers Distrib* 26:1510–1522. <https://doi.org/10.1111/ddi.13137>
- Allouche O, Tsoar A, Kadmon R (2006) Assessing the accuracy of species distribution models: Prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology* 43:1223–1232. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01214.x>
- Almeida MH, Mischiatti FL, Tokumaru RS, Ditchfield AD (2022) Importance of Green Areas for Insectivorous Bat Activity. 1–19
- Ancillotto L, Rummo R, Agostinetto G, et al (2022) Bats as suppressors of agroforestry pests in beech forests. *For Ecol Manage* 522:120467. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120467>
- Andrade AFA de, Velazco SJE, de Marco Júnior P (2020) ENMTML: An R package for a straightforward construction of complex ecological niche models. *Environmental Modelling and Software* 125:104615. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.104615>
- Appel G, López-Baucells A, Rocha R, et al (2021) Habitat disturbance trumps moonlight effects on the activity of tropical insectivorous bats. *Anim Conserv* 24:1046–1058. <https://doi.org/10.1111/acv.12706>
- Awad M, Khanna R (2015) Support Vector Machines for Classification. In: *Efficient Learning Machines*. Apress, Berkeley, CA, pp 39–66
- Baqi A, Lim VC, Yazid H, et al (2022) A review of durian plant-bat pollinator interactions. *J Plant Interact* 17:105–126. <https://doi.org/10.1080/17429145.2021.2015466>
- Barros MAS, Morais CMG, Figueiredo BMB, et al (2017) Morcegos (Mammalia, Chiroptera) da Floresta Nacional de Nísia Floresta, com novos registros para o estado do Rio Grande do Norte, nordeste do Brasil. *Biota Neotrop* 17:. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2017-0351>
- Bini LM, Diniz-Filho JAF, Rangel TFLVB, et al (2006) Challenging Wallacean and Linnean shortfalls: knowledge gradients and conservation planning in a biodiversity hotspot. *Diversity and Distributions - A Journal of Conservation Biogeography* 12:475–482. <https://doi.org/10.1111/j.1366-9516.2006.00286.x>

- Borroto-Páez R, Mancina CA (2017) Biodiversity and conservation of Cuban mammals: Past, present, and invasive species. *J Mammal* 98:964–985. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyx017>
- Brasileiro LAM, Machado RB, Aguiar LMS (2022a) Ecosystems Services Provided by Bats Are at Risk in Brazil. *Front Ecol Evol* 10:1–15. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.852177>
- Brasileiro LAM, Machado RB, Aguiar LMS, Espinosa CI (2022b) Ecosystems Services Provided by Bats Are at Risk in Brazil. 10:1–15. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.852177>
- Buxton MN, Gaskett AC, Lord JM, Pattenmore DE (2022) A global review demonstrating the importance of nocturnal pollinators for crop plants. *Journal of Applied Ecology* 1–12. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14284>
- CARVALHO AR de (2017) MÉTODO MONTE CARLO E SUAS APLICAÇÕES. Dissertação, UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA
- Christensen V, Ferdaña Z, Steenbeek J (2009) Spatial optimization of protected area placement incorporating ecological, social and economical criteria. *Ecol Modell* 220:2583–2593. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.06.029>
- Cláudio VC, Barbosa GP, Rocha VJ, et al (2020) The bat fauna (Mammalia: Chiroptera) of Carlos Botelho state park, atlantic forest of southeastern Brazil, including new distribution records for the state of São Paulo. *Zoologia* 37:1–32. <https://doi.org/10.3897/zoologia.37.e36514>
- Cleveland CJ, Betke M, Federico P, et al (2006) Economic value of the pest control service provided by Brazilian free-tailed bats in south-central Texas. *Front Ecol Environ* 4:238–243. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2006\)004\[0238:EVOTPC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2006)004[0238:EVOTPC]2.0.CO;2)
- Cordero-Schmidt E, Maruyama PK, Vargas-Mena JC, et al (2021) Bat–flower interaction networks in Caatinga reveal generalized associations and temporal stability. *Biotropica* 53:1546–1557. <https://doi.org/10.1111/btp.13007>
- Da Silva FP, Montes MA, Lauer Garcia AC, et al (2021) Distribution Modelling and Habitat Requirements of *Micronycteris sanborni* (Phyllostomidae) across the South America Dry Diagonal. *Acta Chiropt* 23:433–441. <https://doi.org/10.3161/15081109ACC2021.23.2.013>
- Dantas-Torres F (2008) Bats and their role in human rabies epidemiology in the Americas. *Journal of Venomous Animals and Toxins Including Tropical Diseases* 14:193–202. <https://doi.org/10.1590/S1678-91992008000200002>
- de Marco P, Nóbrega CC (2018) Evaluating collinearity effects on species distribution models: An approach based on virtual species simulation. *PLoS One* 13:e0202403. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202403>
- Decastro IJ, Michalski F (2015) Bats of a varzea forest in the estuary of the Amazon River, state of Amapá, Northern Brazil. *Biota Neotrop* 15:1–8. <https://doi.org/10.1590/1676-06032015016814>
- Delgado-Jaramillo M, Aguiar LMS, Machado RB, Bernard E (2020a) Assessing the distribution of a species-rich group in a continental-sized megadiverse country: Bats in Brazil. *Divers Distrib* 26:632–643. <https://doi.org/10.1111/ddi.13043>
- Delgado-Jaramillo M, Aguiar LMS, Machado RB, Bernard E (2020b) Assessing the distribution of a species-rich group in a continental-sized megadiverse country: Bats in Brazil. *Divers Distrib* 26:632–643. <https://doi.org/10.1111/ddi.13043>
- Denton JW, Peace a G (2003) Selection and Use of MySQL in a Database Management Course. *Journal of Information Systems Education* 14:401–407
- Dias-Silva K, Vieira TB, Moreira FFF, et al (2021) Protected areas are not effective for the conservation of freshwater insects in Brazil. *Sci Rep* 11:21247. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00700-0>

- Diniz-Filho JAF, Bini LM, de Oliveira G, et al (2009) Macroecologia, biogeografia e áreas prioritárias para conservação no cerrado. *Oecologia Brasiliensis* 13:470–497. <https://doi.org/10.4257/oeco.2009.1303.05>
- dos Reis NR, Peracchi AL, Pedro WA, et al (2007) *Morcegos do Brasil*, 1st edn. Londrina
- Eguiarte L, del Rio CM, Arita H (1987) El Nectar y el Polen como Recursos: El Papel Ecologico de los Visitantes a las Flores de *Pseudobombax ellipticum* (H.B.K.) Dugand. *Biotropica* 19:74. <https://doi.org/10.2307/2388462>
- Elith J, H. Graham C, P. Anderson R, et al (2006) Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29:129–151. <https://doi.org/10.1111/J.2006.0906-7590.04596.X>
- Fawcett T (2006) An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognit Lett* 27:861–874. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2005.10.010>
- FEIJO A, DA ROCHA PA (2017) Morcegos Da Estação Ecológica Aiuaba, Ceará, Nordeste Do Brasil: Uma Unidade De Proteção Integral Na Caatinga. *Mastozool Neotrop* 24:333–351
- Fenton MB, Ratcliffe JM (2010) Bats. *Current Biology* 20:R1060–R1062. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2010.10.037>
- Fernández-Llamazares Á, López-Baucells A, Velazco PM, et al (2021) The importance of Indigenous Territories for conserving bat diversity across the Amazon biome. *Perspect Ecol Conserv* 19:10–20. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2020.11.001>
- Ferreira DF, Gibb R, López-Baucells A, et al (2022) Species-specific responses to land-use change in island insectivorous bats. *J Nat Conserv* 67:. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2022.126177>
- Fick SE, Hijmans RJ (2017) WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37:4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Garbino GST, Gregorin R, Lima IP, et al (2020) Updated checklist of Brazilian bats: versão 2020. Comitê da Lista de Morcegos do Brasil-CLMB. In: Sociedade Brasileira para o Estudo de Quirópteros (Sbeq). <https://www.sbeq.net/lista-de-especies>. Accessed 30 Jan 2022
- Garbino GST, Pessoa da Silva F, Gonçalves da Silva L (2021) Distribution, habitat suitability, and revised morphological diagnosis confirm that the fruit bat *Platyrrhinus recifinus* is an Atlantic Forest endemic. *Stud Neotrop Fauna Environ* 00:1–12. <https://doi.org/10.1080/01650521.2021.1962678>
- Garbino GSTT, Brandão MV, Tavares V da C, et al (2022) First confirmed records of Godman's Long-tailed Bat, *Choeronyctus godmani* (Thomas, 1903) (Chiroptera, Phyllostomidae), from Brazil and Panama. *Check List* 18:493–499. <https://doi.org/10.15560/18.3.493>
- Godínez-Alvarez H, Valiente-Banuet A (2000) Fruit-Feeding Behavior of the Bats *Leptonycteris curasoae* and *Choeronycteris mexicana* in Flight Cage Experiments: Consequences for Dispersal of Columnar Cactus Seeds1. In: *BIOTROPICA*, 32(3): . [https://bioone.org/journals/biotropica/volume-32/issue-3/0006-3606_2000_032_0552_FFBOTB_2.0.CO_2/Fruit-Feeding-Behavior-of-the-Bats-Leptonycteris-curasoae-and-Choeronycteris/10.1646/0006-3606\(2000\)032\[0552:FFBOTB\]2.0.CO;2.short](https://bioone.org/journals/biotropica/volume-32/issue-3/0006-3606_2000_032_0552_FFBOTB_2.0.CO_2/Fruit-Feeding-Behavior-of-the-Bats-Leptonycteris-curasoae-and-Choeronycteris/10.1646/0006-3606(2000)032[0552:FFBOTB]2.0.CO;2.short). Accessed 26 Mar 2022
- Gregorin R, Bernard E, Lobão KW, et al (2017) Vertical stratification in bat assemblages of the Atlantic Forest of south-eastern Brazil. *J Trop Ecol* 33:299–308. <https://doi.org/10.1017/S026646741700027X>
- Gual-Suárez F, Medellín RA (2021) We eat meat: a review of carnivory in bats. *Mamm Rev* 51:540–558. <https://doi.org/10.1111/mam.12254>

- Heer K, Helbig-Bonitz M, Fernandes RG, et al (2015) Effects of land use on bat diversity in a complex plantation-forest landscape in Northeastern Brazil. *J Mammal* 96:720–731. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyv068>
- Hill RK (2016) What an Algorithm Is. *Philos Technol* 29:35–59. <https://doi.org/10.1007/s13347-014-0184-5>
- Howard PC, Davenport TRB, Kigenyi FW, et al (2000) Protected area planning in the tropics: Uganda's national system of forest nature reserves. *Conservation Biology* 14:858–875. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.99180.x>
- Howe HF, Smallwood J (1982) Ecology of Seed Dispersal. *Annu Rev Ecol Syst* 13:201–228. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.13.110182.001221>
- Ito F, Bernard E, Torres RA (2016) What is for Dinner? First Report of Human Blood in the Diet of the Hairy-Legged Vampire Bat *Diphylla ecaudata*. *Acta Chiropt* 18:509–515. <https://doi.org/10.3161/15081109ACC2016.18.2.017>
- Jaramillo MID (2018) Modelagem de pressões, ameaças e oportunidades para a conservação de morcegos no Brasil. 124
- Jones G, Jacobs DS, Kunz TH, et al (2009) Carpe noctem: The importance of bats as bioindicators. *Endanger Species Res* 8:93–115. <https://doi.org/10.3354/esr00182>
- Jung K, Kalko EKV v., von Helversen O (2007) Echolocation calls in Central American emballonurid bats: Signal design and call frequency alternation. *J Zool* 272:125–137. <https://doi.org/10.1111/J.1469-7998.2006.00250.X>
- Jung K, Molinari J, Kalko EKV (2014) Driving factors for the evolution of species-specific echolocation call design in new world free-tailed bats (Molossidae). *PLoS One* 9:. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085279>
- Kalko EKV, Estrada Villegas S, Schmidt M, et al (2008) Flying high - Assessing the use of the atmosphere by bats. *Integr Comp Biol* 48:60–73. <https://doi.org/10.1093/icb/icn030>
- Kalko EKV, Handley CO (2001) Neotropical bats in the canopy: Diversity, community structure, and implications for conservation. *Plant Ecol* 153:319–333. <https://doi.org/10.1023/A:1017590007861>
- KALKO EKV, HANDLEY CO, HANDLEY D (1996) Organization, Diversity, and Long-Term Dynamics of a Neotropical Bat Community. In: *Long-Term Studies of Vertebrate Communities*. pp 503–553
- Kalko EKV, Schnitzler HU, Kaipf I, Grinnell AD (1998) Echolocation and foraging behavior of the lesser bulldog bat, *Noctilio albiventris*: Preadaptations for piscivory? *Behav Ecol Sociobiol* 42:305–319. <https://doi.org/10.1007/s002650050443>
- Kasso M, Balakrishnan M (2013) Ecological and Economic Importance of Bats (Order Chiroptera). *ISRN Biodiversity* 2013:1–9. <https://doi.org/10.1155/2013/187415>
- Kelm DH, Wiesner KR, Helversen O von (2008) Effects of artificial roosts for frugivorous bats on seed dispersal in a neotropical forest pasture mosaic. *Conservation Biology* 22:733–741. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.00925.x>
- Koopman KF (1981) The Distributional Patterns of New World Nectar-Feeding Bats. Source: *Annals of the Missouri Botanical Garden* 68:352–369
- Kunz TH, de Torrez EB, Bauer D, et al (2011) Ecosystem services provided by bats. *Ann N Y Acad Sci* 1223:1–38. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2011.06004.x>
- Lauren R Food Choice in Frugivorous Bats. Department of Biology, Trinity University
- Legendre P, Legendre L (2012) Cluster analysis. *Developments in Environmental Modelling* 24:337–424. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53868-0.50008-3>

- Lehtomäki J, Moilanen A (2013) Methods and workflow for spatial conservation prioritization using Zonation. *Environmental Modelling and Software* 47:128–137. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.05.001>
- Lei K, Ma Y, Tan Z (2014) Performance Comparison and Evaluation of Web Development Technologies in PHP, Python, and Node.js. In: 2014 IEEE 17th International Conference on Computational Science and Engineering. IEEE, pp 661–668
- Leroy B, Delsol R, Hugueny B, et al (2018) Without quality presence-absence data, discrimination metrics such as TSS can be misleading measures of model performance
- Lim BK, Da Tavares VC (2012) Review of species richness and biogeography of bats (Chiroptera) from the Guiana subregion of South America with comments on conservation. *Ecotropica* 18:105–118
- Lim BK, Engstrom MD (2001) Species diversity of bats (Mammalia: Chiroptera) in Iwokrama Forest, Guyana, and the Guianan subregion: Implications for conservation. *Biodivers Conserv* 10:613–657. <https://doi.org/10.1023/A:1016660123189>
- Lisón F, Calvo JF (2013) Ecological niche modelling of three pipistrelle bat species in semiarid Mediterranean landscapes. *Acta Oecologica* 47:68–73. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2013.01.002>
- López-Wilchis R, Méndez-Rodríguez A, Juste J, et al (2021) Genetic consequences of forest fragmentation in a widespread forest bat (*Natalus mexicanus*, chiroptera: Natalidae). *Diversity (Basel)* 13:1–18. <https://doi.org/10.3390/d13040140>
- Maas ACS, Gomes LAC, Martins MA, et al (2018) Bats in a Cerrado landscape of Northern Brazil: Species occurrence, influence of environmental heterogeneity and seasonality, and eight new records for the State of Tocantins. *Mammalia* 82:469–480. <https://doi.org/10.1515/mammalia-2017-0023>
- Mainea JJ, Boylesa JG (2015) Bats initiate vital agroecological interactions in corn. *Proc Natl Acad Sci U S A* 112:12438–12443. <https://doi.org/10.1073/pnas.1505413112>
- Margules CR, Pressey RL (2000a) Systematic conservation planning. *Nature* 405:243–253. <https://doi.org/10.1038/35012251>
- Margules CR, Pressey RL (2000b) A framework for systematic conservation planning. *Nature* 405:243–253
- Mendes P, Velazco SJE, de Andrade AFA, de Marco P (2020) Dealing with overprediction in species distribution models: How adding distance constraints can improve model accuracy. *Ecol Modell* 431:. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109180>
- Merow C, Smith MJ, Silander JA (2013) A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography* 36:1058–1069. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x>
- Minin E, Veach V, Lehtomäki J, et al (2014) A quick introduction to Zonation. Version 1 (for Zv4). User Manual.
- Moilanen A (2007) Landscape Zonation, benefit functions and target-based planning: Unifying reserve selection strategies. *Biol Conserv* 134:571–579. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.09.008>
- Morrison DW (1980) Foraging and Day-Roosting Dynamics of Canopy Fruit Bats in Panama. *J Mammal* 61:20–29. <https://doi.org/10.2307/1379953>
- Muscarella R, Fleming TH (2007) The role of frugivorous bats in tropical forest succession. *Biological Reviews* 82:573–590. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2007.00026.x>
- Noble WS (2006) What is a support vector machine? *Nat Biotechnol* 24:1565–1567. <https://doi.org/10.1038/nbt1206-1565>

- Novaes RLM, Laurindo RDS, Souza RDF (2015) Structure and natural history of an assemblage of bats from a xerophytic area in the Caatinga of northeastern Brazil. *Stud Neotrop Fauna Environ* 50:40–51. <https://doi.org/10.1080/01650521.2015.1006478>
- Novaes RLM, Souza RF, Felix S, et al (2017) Seasonality and habitat influence on bat assemblage structure in an urban Atlantic Forest remnant from Southeastern Brazil. *Mammalia* 81:265–274. <https://doi.org/10.1515/mammalia-2015-0115>
- Núñez SF, López-Baucells A, Rocha R, et al (2019) Echolocation and Stratum Preference: Key Trait Correlates of Vulnerability of Insectivorous Bats to Tropical Forest Fragmentation. *Front Ecol Evol* 7:1–12. <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00373>
- Ortega-García S, Saldaña-Vázquez RA (2022) Synthesis of knowledge of the plant diet of nectar-feeding bats of México. *Therya* 13:335–343. <https://doi.org/10.12933/therya-22-1165>
- Phillips SB, Aneja VP, Kang D, Arya SP (2006) Modelling and analysis of the atmospheric nitrogen deposition in North Carolina. *International Journal of Global Environmental Issues* 6:231–252. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Pimenta M, Andrade AFA de, Fernandes FHS, et al (2022) One size does not fit all : Priority areas for real world problems. *Ecol Modell* 470:110013. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2022.110013>
- Pretorius M, Keith M (2022) The Shortfall of Using Locality Records in the Conservation Planning of South African Cavernicolous Bats: The Natal Long-Fingered Bat as a Case Study. *Afr J Wildl Res* 52:83–89. <https://doi.org/10.3957/056.052.0083>
- Prokop P, Tunnicliffe SD (2008) “Disgusting” animals: Primary school children’s attitudes and myths of bats and spiders. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education* 4:87–97. <https://doi.org/10.12973/ejmste/75309>
- Qiao H, Soberón J, Peterson AT (2015) No silver bullets in correlative ecological niche modelling: insights from testing among many potential algorithms for niche estimation. *Methods Ecol Evol* 6:1126–1136. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12397>
- Rasmussen CE, Kuss M (2004) Gaussian processes in reinforcement learning. *Adv Neural Inf Process Syst*
- Rezende DT de (2013) Modelos aplicados ao estudo de mamíferos deficientes em dados no Brasil: identificação de áreas para amostragem e estimativa de custos para obtenção de informações. 91
- Rodrigues ASL, Gaston KJ (2002) Maximising phylogenetic diversity in the selection of networks of conservation areas. *Biol Conserv* 105:103–111. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(01\)00208-7](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(01)00208-7)
- Rodríguez-San Pedro A, Allendes JL, Beltrán CA, et al (2020) Quantifying ecological and economic value of pest control services provided by bats in a vineyard landscape of central Chile. *Agric Ecosyst Environ* 302:107063. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107063>
- Saldaña-Vázquez RA, Sosa VJ, Hernández-Montero JR, López-Barrera F (2010) Abundance responses of frugivorous bats (Stenodermatinae) to coffee cultivation and selective logging practices in mountainous central Veracruz, Mexico. *Biodivers Conserv* 19:2111–2124. <https://doi.org/10.1007/s10531-010-9829-6>
- Sánchez MS, Carrizo L v. (2021) Forelimb Bone Morphology and its Association with Foraging Ecology in Four Families of Neotropical Bats. *J Mamm Evol* 28:99–110. <https://doi.org/10.1007/S10914-020-09526-5/FIGURES/5>
- Sazima I, Sazima M (2022) Two in one: the little bat that pollinates and disperses plants at an urban site in Southeastern Brazil. *Biota Neotrop* 22:2022. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2021-1290>
- Schmidt EC (2020) Interações, mecanismos de persistência e coexistência de morcegos nectarívoros e das plantas das quais se alimentam em uma floresta tropical sazonal seca no nordeste brasileiro. 160

- Schnitzler H-U, Kalko EK v (2001) Echolocation by Insect-Eating Bats. *Bioscience* 51:557–569. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0557:EBIEB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0557:EBIEB]2.0.CO;2)
- Seeger M (2004) Gaussian processes for machine learning. *Int J Neural Syst* 14:69–106. <https://doi.org/10.1142/S0129065704001899>
- Segura-Trujillo CA, Lidicker WZ, Álvarez-Castañeda ST (2016) New perspectives on trophic guilds of arthropodivorous bats in North and Central America. *J Mammal* 97:644–654. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyv212>
- Siles L, Baker RJ (2020) Revision of the pale-bellied *Micronycteris* Gray, 1866 (Chiroptera, Phyllostomidae) with descriptions of two new species. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research* 58:1411–1431. <https://doi.org/10.1111/jzs.12388>
- Silva DC, Oliveira HFM, Zangrandi PL, Domingos FMCB (2022) Flying Over Amazonian Waters: The Role of Rivers on the Distribution and Endemism Patterns of Neotropical Bats. *Front Ecol Evol* 10. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.774083>
- Silva DC, Vieira TB, da Silva JM, de Cassia Faria K (2018) Biogeography and priority areas for the conservation of bats in the Brazilian Cerrado. *Biodivers Conserv* 27:815–828. <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1464-z>
- Simmons NB, Cirranello AL (2022) Bat Species of the World: A taxonomic and geographic database. *American Museum of Natural History* 1–94
- SNUC (2000) Lei Federal N° 9.985, de 18 de julho de 2000 SISTEMA NACIONAL DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO (SNUC). In: Ministério do Meio Ambiente (MMA). http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm. Accessed 30 Jan 2022
- Soberón J, Nakamura M (2009) Niches and distributional areas: Concepts, methods, and assumptions. *Proc Natl Acad Sci U S A* 106:19644–19650. <https://doi.org/10.1073/PNAS.0901637106>
- Sousa JAC, Srbek-Araujo AC (2017) Are we headed towards the defaunation of the last large Atlantic Forest remnants? Poaching activities in one of the largest remnants of the Tabuleiro forests in southeastern Brazil. *Environ Monit Assess* 189:1–13. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-5854-1>
- Speiser JL, Miller ME, Tooze J, Ip E (2019) A comparison of random forest variable selection methods for classification prediction modeling. *Expert Syst Appl* 134:93–101. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.05.028>
- Stocks A (2005) Too much for too few: Problems of indigenous land rights in Latin America. *Annu Rev Anthropol* 34:85–104. <https://doi.org/10.1146/annurev.anthro.33.070203.143844>
- Suripto B (2021) Economic Contribution of Fruit Bats (Family Pteropodidae) Through Durian Fruit Production in the Agroecosystem in Java Island. *Proceedings of the 7th International Conference on Research, Implementation, and Education of Mathematics and Sciences (ICRIEMS 2020)* 528:8–15. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.210305.002>
- Tanalgo KC, Oliveira HFM, Hughes AC (2022) Mapping global conservation priorities and habitat vulnerabilities for cave-dwelling bats in a changing world. *Sci Total Environ* 843:156909. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156909>
- Tavares VDC, Nobre CC, Palmuti CFDS, et al (2017) The Bat Fauna from Southwestern Brazil and Its Affinities with the Fauna of Western Amazon. *Acta Chiropt* 19:93–106. <https://doi.org/10.3161/15081109ACC2017.19.1.007>
- Team RC, Core R Team (2021) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing 2:<https://www.R-project.org>
- Torquetti CG, de Carvalho TP, de Freitas RMP, et al (2023) Influence of landscape ecology and physiological implications in bats from different trophic guilds. *Science of the Total Environment* 857:. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159631>

- Trevelin LC, Silveira M, Port-Carvalho M, et al (2013) Use of space by frugivorous bats (Chiroptera: Phyllostomidae) in a restored Atlantic forest fragment in Brazil. *Ecol Manage* 291:136–143. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.11.013>
- Tschapka M (2004) Energy density patterns of nectar resources permit coexistence within a guild of Neotropical flower-visiting bats. *J Zool* 263:7–21. <https://doi.org/10.1017/S0952836903004734>
- Velazco SJE, Ribeiro BR, Laureto LMO, de Marco Júnior P (2020) Overprediction of species distribution models in conservation planning: A still neglected issue with strong effects. *Biol Conserv* 252:108822. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108822>
- Velazco SJE, Villalobos F, Galvão F, de Marco Júnior P (2019) A dark scenario for Cerrado plant species: Effects of future climate, land use and protected areas ineffectiveness. *Divers Distrib* 25:660–673. <https://doi.org/10.1111/ddi.12886>
- Vleut I, Levy-Tacher SI, de Boer WF, et al (2013) Tropical Secondary Forest Management Influences Frugivorous Bat Composition, Abundance and Fruit Consumption in Chiapas, Mexico. *PLoS One* 8:1–10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077584>
- Wagner I, Ganzhorn JU, Kalko EKV, Tschapka M (2015) Cheating on the mutualistic contract: Nutritional gain through seed predation in the frugivorous bat *Chiroderma villosum* (Phyllostomidae). *Journal of Experimental Biology* 218:1016–1021. <https://doi.org/10.1242/jeb.114322>
- Wilson JB (1999) Guilds, Functional Types and Ecological Groups. *Oikos* 86:507. <https://doi.org/10.2307/3546655>
- Winkelmann JR (1972) Adaptations for Nectar-Feeding in Glossophagine Bats. PhD thesis, Univ Mich
- Yoh N, Clarke JA, López-Baucells A, et al (2022) Edge effects and vertical stratification of aerial insectivorous bats across the interface of primary-secondary Amazonian rainforest. *PLoS One* 17:1–21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0274637>
- Zapata-Mesa N, Montoya-Bustamante S, Murillo-García OE (2017) Temporal variation in bat-fruit interactions: Foraging strategies influence network structure over time. *Acta Oecologica* 85:9–17. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2017.09.003>