



VICTÓRIA DE NAZARÉ GAMA SILVA

**Diversidade morfológica de aves e extinções na Região Metropolitana de Belém,
Pará, Brasil**

Belém,
2018

VICTÓRIA DE NAZARÉ GAMA SILVA

**Diversidade morfológica de aves e extinções na Região Metropolitana de Belém,
Pará, Brasil**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zoologia, do convênio da Universidade Federal do Pará e Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Zoologia.

Área de concentração: Biodiversidade e Conservação.

Linha de Pesquisa: Ecologia Animal.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Rosa da Silva

Co-orientador: Prof. Dr. Alexandre Luis Padovan Aleixo

Belém,

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
(CIP) Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal
do Pará

Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)
autor(a)

S586d Silva, Victória de Nazaré Gama
Diversidade morfológica de aves e extinções na Região Metropolitana de Belém,
Pará, Brasil / Victória de Nazaré Gama Silva, Rogério Rosa da Silva. — 2018
62 f. : il. color

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Zoologia (PPGZOO),
Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.
Orientação: Prof. Dr. Rogério Rosa da Silva
Coorientação: Prof. Dr. Alexandre Luis Padovan
Aleixo.

1. Avifauna. 2. Caracteres Morfológicos. 3. Espaço Morfológico. 4. Urbanização. I.
Silva, Rogério Rosa da. *orient.* II. Título

CDD 598.09811

FOLHA DE APROVAÇÃO

VICTÓRIA DE NAZARÉ GAMA SILVA

Diversidade morfológica de aves e extinções na Região Metropolitana de Belém, Pará, Brasil

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zoologia, do convênio da Universidade Federal do Pará e Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Zoologia, sendo a COMISSÃO JULGADORA composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. ROGÉRIO ROSA DA SILVA
Museu Paraense Emílio Goeldi (Orientador)

Prof. Dr. ALEXANDRE LUIS PADOVAN ALEIXO
Museu Paraense Emílio Goeldi (Co-orientador)

Prof. Dr. MARCOS PÉRSIO DANTAS SANTOS
Universidade Federal do Pará

Prof. Dra. MARIA CRISTINA DOS SANTOS COSTA
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. BRUNO DA SILVEIRA PRUDENTE
Universidade Federal Rural da Amazônia

Prof. Dr. CAIO GRACO MACHADO
Universidade Estadual Feira Santana

Prof. Dr. JOSÉ CARLOS MORANTE FILHO
Universidade Estadual Santa Cruz

Aprovada em: 01 de março de 2018.
Local de defesa: Belém.

Dedico esta conquista à minha família, meus pais, Rita Maria Dias Gama Silva e Aldomário Antônio Silva, e à minha avó, Irene Dias Gama.

*“E tem ave de rapina, comedor de aruá
Pica-pau, Galinha d’água, tem caboclo e sabiá
tem o galo de campina, irerê e tem xexéu
Craúna, fura-barreira, são aves do nosso céu”
(Aves do Sertão – Zeca Brasil)*

AGRADECIMENTOS

À Deus, “*Nunca ore suplicando cargas mais leves, e sim ombros mais fortes*”, Phillips Brooks. Obrigada por me fazer mais forte a cada dia.

À minha família, aos meus pais, Rita Gama Silva e Aldomário Antônio Silva, a minha avó Irene Gama, aos meus cachorros, Lucky (*in memoriam*), Cadu, e Eva, vocês sempre foram os meus maiores incentivadores e motivadores de buscar algo mais. Obrigada por todo o apoio, carinho e todas as risadas diárias que vocês sempre me proporcionaram. Obrigada pelo amor incondicional de vocês.

A Ayrton Leal Carvalho, obrigada por sempre me incentivar a buscar mais, a permanecer perante as dificuldades, desde quando eu pensei em desistir da faculdade e você me ajudou a continuar, a quando tive que medir bicho na coleção do MPEG e você foi me ajudar. Obrigada por ter me ajudado a pagar a minha inscrição para a prova da pós-graduação, e por ir me buscar a maioria dos dias por se preocupar com a minha segurança. Obrigada por ser o melhor amigo, namorado, incentivador e companheiro que você poderia ser para mim.

Ao Dr. Rogério R. Silva (orientador), obrigada por ser tão paciente com todas as minhas dúvidas e por me ajudar a enfrentar todos os problemas que apareceram na dissertação, e a dizer “*vai dar certo*”, isso de alguma forma sempre confortava meu coração nervoso; e ao Dr. Alexandre Aleixo (co-orientador) obrigada por sempre me receber na sua sala, mesmo quando estava visivelmente ocupado e sempre “parou tudo” para me ajudar. É muito bom contar com pessoas assim, obrigada. Tenho certeza que fiz vocês rirem bastante todas as vezes que entrava desesperada nas suas salas, e vocês sempre calmos e dispostos a me ajudar e orientar, obrigada.

Aos meus amigos do *AntMor*, Emília, Rony, Joudellys, Lívia, Emely, Diego, Isis e Gracilene obrigada por todo o suporte, desde pequenas dúvidas às grandes ajudas com o *R* e o *qgis*, obrigada por sempre alegrarem meu dia com um abraço a cada ida na “16”; Kelly Liane, uma amiga que a pesquisa me deu, obrigada por sempre me entender e por ouvir as minhas histórias, rir e se emocionar comigo, e rir de novo, obrigada por todos os abraços e sorrisos de todos os dias. A todos vocês, meus amigos, meu muito obrigada.

À Maria Cristina dos Santos Costa, Kita, obrigada por ter me dado a carta de aceite para inscrição na prova. E por ter me avisado que eu tinha passado na seleção (rs), mesmo quando todas as minhas esperanças haviam caído por terra. Obrigada por ter me incentivado a ir atrás, sem seu apoio eu não chegaria aqui. Mais que uma professora da graduação, uma amiga e um exemplo de pessoa e profissional para a vida.

Ao programa de Pós-graduação em Zoologia (PPGZOO) por todo o suporte e excelentes disciplinas que acrescentaram muito ao trabalho e minha formação profissional, e fornecerem

excelentes profissionais. Assim como a Universidade Federal do Pará e ao Museu Paraense Emílio Goeldi pela estrutura e apoio durante o mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Código de Financiamento 001, pela concessão do apoio financeiro, por meio do Programa de Pós-graduação em Zoologia (PPGZOO).

À Bianca Darski pela concessão parcial dos dados, por todo material que me disponibilizou e se propor a me ajudar de diversas formas.

À Lincoln Carneiro e Fátima Lima, que durante o período de coleta de dados na coleção, sempre estiveram disponíveis a tirar as minhas dúvidas e a ajudar de todas as formas possíveis.

Aos meus amigos próximos que me apoiaram e sempre entenderam minha ausência, Ana Andrade, Arianderson Silva, Bárbara Carneiro, Diego Garcia, Izis de Cássia, Oliviane Novais, Robert Carvalho e Suelen Vangelier. Obrigada por serem amigos maravilhosos.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE TABELAS.....	10
ÍNDICE DE FIGURAS.....	11
RESUMO.....	13
<i>ABSTRACT</i>	14
INTRODUÇÃO.....	15
MATERIAL E MÉTODOS.....	18
ÁREA DE ESTUDO	18
COLETA DE DADOS	19
Lista de espécies de aves e dados sobre extinção na RMB	19
Dados morfológicos das aves da RMB	21
ANÁLISE DE DADOS	22
Preparação dos Dados	22
Análises de estruturação morfológica	23
Medidas de diversidade morfológica	23
Modelos de simulação de extinção na RMB	24
RESULTADOS.....	26
ESPAÇO MORFOLÓGICO DE AVES	26
Região Metropolitana de Belém	26
Extinção ou ameaça de extinção na Região Metropolitana de Belém	28
DIVERSIDADE MORFOLÓGICA	29
MODELOS DE SIMULAÇÃO DE EXTINÇÃO	30
Extinção aleatória e as listas de ausências de aves na RMB	30
Simulação de extinção acumulada de espécies na RMB	35
DISCUSSÃO.....	37
ESPAÇO MORFOLÓGICO	37
DIVERSIDADE MORFOLÓGICA	38
EXTINÇÃO DE ESPÉCIES	39
CONCLUSÃO.....	40
REFERÊNCIAS.....	41
ANEXO.....	46

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Conjuntos de dados de aves na Região Metropolitana de Belém, Pará com informações de ausência de espécies e ameaças de extinção, conforme a literatura.....20

Tabela 2: Análise de Componentes Principais da avifauna (490 espécies) da Região Metropolitana de Belém (RMB), Pará, utilizando uma matriz de correlação e nove caracteres morfológicos: BC = Tamanho total do cúlmen; BN = Comprimento da ponta do bico até a narina; BW = Largura do bico; BD = Profundidade do bico; WC = Tamanho da asa; KD = Medida de distância de Kipp; TaiL = Tamanho da cauda; TarL = Comprimento do tarso; Mass = Massa.....27

Tabela 3: Medidas de diversidade morfológica para a avifauna da Região Metropolitana de Belém (RMB) e para quatro conjuntos de dados que contém informações sobre extinções ou ameaças de extinções de aves na RMB. RMB = lista de aves conhecidas para a Região Metropolitana de Belém; Conjunto A: 9 espécies extintas; Conjunto B: 44 espécies possivelmente extintas; Conjunto C: 32 espécies ameaçadas de extinção; Conjunto D: 92 espécies registradas em Belém (levantamento local).....30

Tabela 4: Simulações de extinções de espécies para cada conjunto de dados sobre extinções ou ameaças de extinções de aves na Região Metropolitana de Belém (RMB), Pará. Conjunto A: Extinção de nove espécies da RMB; Conjunto B: 44 espécies possivelmente extintas da RMB; Conjunto C: 32 espécies ameaçadas de extinção; Conjunto D: 92 espécies registradas em um recente levantamento da avifauna no município de Belém. Valores de p foram calculados com o ranque do valor observado (RMB ou para cada lista) em relação aos valores simulados, dividido por 2.000. Valores significantes de p ($0,025 \leq p \leq 0,975$) são destacados em negrito. n = número de espécies ausentes na lista regional (RMB).....31

Tabela 5: Características morfológicas utilizadas para a análise de diversidade morfológica de aves na Região Metropolitana de Belém, Pará, com definição de cada medida, importância funcional e referências.....48

Tabela 6: Espécies de aves registradas da Região Metropolitana de Belém (RMB), Pará, Brasil, com base no livro de Novaes e Lima (2009). As colunas da tabela descrevem listas de aves consideradas extintas ou ameaçadas de extinção com base em outros estudos. Conjunto A: nove espécies extintas; Conjunto B: 44 espécies possivelmente extintas; Conjunto C: 32 espécies ameaçadas de extinção; Conjunto D: 92 espécies registradas em levantamento de aves no município de Belém.....49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Região Metropolitana de Belém, Pará, com destaque para os sete municípios que compõem a região.....19

Figura 2: Espaço morfológico baseado na Análise de Componentes Principais das espécies de aves registradas na Região Metropolitana de Belém (RMB), Pará. Cada ponto representa uma das 490 espécies de aves conhecidas na RMB. A relação entre os dois primeiros eixos e as variáveis morfológicas é descrita por vetores no espaço bidimensional, onde: BC = Tamanho total do cúlmen; BN = Comprimento da ponta do bico até a narina; BW = Largura do bico; BD = Profundidade do bico; WC = Tamanho da asa; KD = Medida de distância de Kipp; TaiL = Tamanho da cauda; TarL = Comprimento do tarso; Mass = Massa. O círculo representa a força da correlação.....27

Figura 3: Espaço morfológico de aves da Região Metropolitana de Belém (RMB), Pará e incluindo espécies extintas ou ameaçadas de extinção. Os pontos cinzas representam aves presentes na RMB e, pontos pretos, espécies extintas, ameaçadas de extinção ou ausentes nas listas de aves da RMB. Conjunto A: nove espécies extintas; Conjunto B: 44 espécies possivelmente extintas; Conjunto C: 32 espécies ameaçadas de extinção; Conjunto D: 92 espécies registradas no município de Belém. Fonte: Moura et al. 2014; IUCN 2017; Lees e Moura 2017.....28

Figura 4: Distribuição de valores simulados de diversidade morfológica (MPD) para quatro conjuntos de dados sobre extinção de espécies de aves na Região Metropolitana de Belém, Pará (RMB). Para cada conjunto de dados, valores simulados foram gerados por reamostragem de espécies da RMB. Conjunto A: Extinção de nove espécies da RMB; Conjunto B: Possível extinção de 44 espécies da RMB; Conjunto C: 32 espécies registradas na RMB e ameaçadas de extinção; e Conjunto D: 92 espécies registradas em levantamento de aves realizado no município de Belém. A linha vertical vermelha indica o valor de MPD observado no cenário analisado. Fonte: Moura et al. 2014; IUCN 2017; Lees e Moura 2017.....32

Figura 5: Distribuição de valores simulados de distribuição ecológica entre as espécies (MNND) para quatro conjuntos de dados sobre extinção de espécies de aves na Região Metropolitana de Belém, Pará (RMB). Para cada conjunto de dados, valores simulados foram gerados por reamostragem de espécies da RMB. Conjunto A: Extinção de nove espécies da RMB; Conjunto B: Possível extinção de 44 espécies da RMB; Conjunto C: 32 espécies registradas na RMB e ameaçadas de extinção; e Conjunto D: 92 espécies registradas em levantamento de aves realizado no município de Belém. A linha vertical vermelha indica o valor de MPD observado no cenário analisado. Fonte: Moura et al. 2014; IUCN 2017; Lees e Moura 2017.....33

Figura 6: Distribuição dos valores simulados de riqueza funcional multivariada (FD) para quatro conjuntos de dados sobre extinção de espécies de aves na Região Metropolitana de Belém, Pará (RMB). Para cada conjunto de dados, valores simulados foram gerados por reamostragem de espécies da RMB. Conjunto A: Extinção de nove espécies da RMB; Conjunto B: Possível extinção de 44 espécies da RMB; Conjunto C: 32 espécies registradas na RMB e ameaçadas de extinção; e Conjunto D: 92 espécies registradas em levantamento de aves realizado no município de Belém. A linha vertical vermelha indica o valor de MPD observado no cenário analisado. Fonte: Moura et al. 2014; IUCN 2017; Lees e Moura 2017.....34

Figura 7: Diversidade morfológica e extinções acumuladas de espécies na Região Metropolitana de Belém (RMB), Pará. As espécies foram retiradas da lista de aves da RMB uma a uma e o valor da métrica foi recalculado. As figuras da esquerda (A, C, E) representam um modelo de extinção completamente aleatório; as figuras da direita (B, D, F) representam um modelo com probabilidade de extinção determinada pela massa (kg) de cada espécie. As linhas pontilhadas (A e B) representam a perda de 25% e 50% das espécies, respectivamente.....36

Figura 8: Protocolo usado neste estudo para obtenção das variáveis morfológicas de aves da Região Metropolitana de Belém (RMB), Pará. A lista de medidas segue a ordem da tabela 5. Fonte: Borrás et al. (2000).....46

Figura 9: Matriz ilustrando relações bivariadas entre as nove variáveis morfológicas usadas no estudo sobre a fauna de aves da Região Metropolitana de Belém (RMB), Pará. BC = Tamanho total do cúlmen; BN = Comprimento da ponta do bico até a narina; BW = Largura do bico; BD = Profundidade do bico; TarL = Comprimento do tarso; KD = Medida de distância de Kipp; WC = Tamanho da asa; TaiL = Tamanho da cauda. A diagonal da matriz apresenta histogramas com a frequência de distribuição dos valores de cada variável morfológica. A matriz inferior apresenta os valores de correção entre as variáveis (correlação de Pearson). A matriz superior apresenta gráficos de dispersão e uma linha (vermelha) ilustrando a forma da relação entre as variáveis.....47

RESUMO

A diversidade morfológica, um conceito diretamente relacionado à diversidade funcional, envolve a caracterização da diversidade de caracteres fenotípicos e representa uma das medidas de diversidade biológica de comunidades. A abordagem morfológica tem sido tradicionalmente aplicada em estudos sobre estruturação de comunidades de aves. No presente estudo, avaliamos se extinções de aves documentadas na Região Metropolitana de Belém (RMB), localizada no nordeste do Estado do Pará, alteraram o espaço morfológico das espécies na RMB através de mudanças na distribuição dos caracteres morfológicos. Inicialmente, os registros de aves para a RMB foram compilados da literatura, resultando em 490 espécies documentadas. Em seguida, uma base de dados sobre extinções regionais de aves ou de espécies ameaçadas de extinção foi determinada para a RMB, a partir de dados da literatura, o que resultou em quatro listas (subconjuntos da lista total de espécies na RMB). Na fase final de aquisição de dados, organizamos uma matriz morfológica para as aves da RMB, envolvendo medidas de 2.360 indivíduos e nove caracteres morfológicos comumente usados em estudos sobre ecologia e morfologia de aves (dados sobre tamanho do bico, asa, cauda e tarso). O espaço morfológico ocupado pela avifauna da RMB foi descrito por uma Análise de Componentes Principais. Em seguida, métricas de distância morfológica (MPD e MNND) foram utilizadas para comparar valores observados com cenários de extinções de espécies na RMB (as quatro listas de espécies ou subconjuntos da lista regional). Extinções simuladas de aves da RMB foram empregadas para quantificar valores esperados em modelos de extinção aleatória ou modelos com probabilidade de extinção. Os resultados sugerem que, se a RMB perder espécies que delimitam a periferia do espaço morfológico, mudanças na estrutura da avifauna podem acontecer, ainda que um número relativamente pequeno de espécies desapareça. Modelos simulados de extinção sugerem uma relação monotônica entre diversidade morfológica e riqueza de espécies, estritamente decrescente, indicando que a RMB perderá diversidade funcional com extinção acumulada de espécies; por outro lado, medidas sobre estrutura do espaço morfológico (como MPD e MNND), sugerem maior redundância da estrutura do espaço morfológico de aves na região. Em conjunto, os resultados obtidos indicam efeitos de extinções regionais na estrutura morfológica de aves da RMB, com possíveis desaparecimentos de aspectos funcionais para a região, como polinização e dispersão de plantas por aves.

Palavras-chave: Avifauna; Caracteres Morfológicos; Espaço Morfológico; Urbanização.

ABSTRACT

Morphological diversity, a concept intimately related to functional diversity, involves the characterization of the diversity of phenotypic characters and can be used as a measure of diversity in communities. The morphological approach has traditionally been applied in studies on structuring bird communities. In this study, we evaluated if bird extinctions documented in the Metropolitan Region of Belém (MRB), located in the northeast of the State of Pará, may have altered the morphological space of birds in the region. Initially, bird records for the MRB were compiled from the literature, resulting in 490 species documented. The database on regional extinctions of birds or endangered species was determined for the MRB, from literature, which resulted in four lists (subsets of the total species list in the MRB). In the final phase of data acquisition, we organized a morphological matrix for the birds of the MRB, defined by measurements of 2,360 individuals and nine characters commonly used in studies on bird ecology and morphology (beak, wing, tail, and tarsus length data). The morphological space occupied by the bird fauna in the MRB was described by a Principal Component Analysis. Morphological diversity metrics (MPD and MNND) were used to compare observed values with scenarios of extinctions in the MRB (the four lists of species that were a subset of the regional fauna). Simulated extinctions of MRB's bird fauna were used to determine expected values in random extinction models or probability models of extinction. The results suggest that if the MRB lose species that delimit the periphery of the morphological space, changes in the morphological structure of the bird fauna can be expected, although a relatively small number of species disappear. Simulated models of extinction indicate a monotonic relationship between morphological diversity and species richness, strictly decreasing, indicating that the MRB will lose functional diversity with accumulated extinction of species; on the other hand, morphological space structure (such as MPD and MNND), suggest a greater functional redundancy of birds in the region. Taken together, the results indicate significant effects of regional extinctions on the morphological structure of MRB birds, with possible functional consequences for the region.

Keywords: Birds; Morphological Character; Morphological Space; Urbanization.

INTRODUÇÃO

Áreas urbanas e seus ecossistemas associados, podem ser descritos como sistemas determinados por ações humanas, de origem comportamental e/ou amparadas por leis, com senso de controle de recursos de acordo com áreas de interesses econômicos (Adams 2009; Sacco 2012). Dentre as características de áreas urbanas, podemos ressaltar a alta impermeabilidade às chuvas, alta densidade populacional, a substituição de espécies vegetais e animais nativas por espécies domesticadas, a modificação do fluxo de energia e de nutrientes (McKinney 2002; Blair 2004; Sacco 2012). Apesar das perturbações causadas pela urbanização serem parecidas com desmatamento, os impactos da urbanização são em sua maioria permanentes, e o retorno às condições naturais são improváveis (McKinney 2002, 2006; Blair 2004).

A urbanização está entre as mais graves perturbações em grande escala que afetam a heterogeneidade da paisagem e influenciam a estruturação de comunidades ecológicas, substituindo habitats e seus recursos pelo desenvolvimento de infraestruturas em vias de transporte e edificações (Devictor et al. 2007). As diversas alterações da estrutura do ambiente urbano afetam a dispersão das espécies; nesse caso, as espécies mais generalistas, em termos de uso de habitat, permanecem por serem tolerantes. Diferentemente, espécies mais especialistas, em uso do habitat, podem desaparecer de uma determinada área por necessitarem de um ambiente com condições ambientais favoráveis (Devictor et al. 2007). Por isso, pesquisas com o intuito de documentar extinção e a recuperação das espécies extintas em ambientes degradados têm sido cada vez mais importantes para o estudo do ecossistema (Korn et al. 2013).

Declarar se uma espécie está extinta em uma região exige um grande esforço de coleta, tempo e recursos. Além disso, quanto mais rara uma espécie se torna em resposta à modificação de habitats, mais difícil será detectá-la (Moura et al. 2014). Porém, separar espécies extintas de possivelmente extintas é difícil, devido as seguintes situações: (i) a vulnerabilidade à extinção varia entre táxons, (ii) extinções futuras podem acontecer devido a mudanças no habitat e mudanças climáticas, (iii) espécies podem ser resilientes, ocupando habitats secundários e/ou sobrevivendo com baixo tamanho populacional (Costello et al. 2013).

Além das dificuldades para declarar extinção de espécies, a ausência de dados sobre distribuição geográfica das espécies no espaço e dados ao longo do tempo (monitoramento) impede estimativas e avaliações mais precisas sobre risco de extinção (Costello et al. 2013; Moura et al. 2014). Estudos a curto prazo podem não capturar padrões de ocupação de habitats detectados a longo prazo, pois há espécies que demandam um longo tempo de nidificação ou que as perturbações

aconteçam numa escala espacial relativamente grande para caracterizar vulnerabilidade à extinção a curto prazo (Moura et al. 2014).

Há uma preocupação crescente sobre extinção de aves na região Neotropical (Marini e Garcia 2005). Nos últimos anos, alguns estudos têm analisado extinção de espécie de aves usando bancos de dados espacialmente grandes e séries temporais. Por exemplo, em 25 anos, 13,5% das espécies de aves da Ilha de Barro Colorado, Panamá (Robinson 2001) foram extintas; em 109 anos 9,5% da avifauna de Palenque, México, desapareceu (Patten et al. 2010); nos últimos 117 anos Lagoa Santa, Minas Gerais, perdeu aproximadamente 12% da avifauna (Christiansen e Pitter 1997); em 67 anos, cerca de 17,2% das espécies de aves conhecidas na região foram extintas em Viçosa, Minas Gerais (Ribon et al. 2003). Por fim, na Amazônia, o estudo de Moura e colaboradores (2014), descreve a perda de 14,5% de espécies da Região Metropolitana de Belém, representando 168 anos de informações.

Modelos mais recentes sobre cenários de extinções de diversos organismos têm também considerado implicitamente dados morfológicos das espécies, em estudos com animais (Silva e Brandão 2010; Teresa e Casatti 2012; Wilman et al. 2014) e plantas (Sasaki et al. 2014; Carmona et al. 2015, 2017; Jenerette et al. 2016). De fato, análises morfológicas em estudos de ecologia de comunidades podem acrescentar importantes informações sobre relações intra e interespecíficas (Lockwood e Moulton 1994). Além disso, medidas morfológicas podem expressar as pressões competitivas e ambientais durante a vida dos indivíduos (Ricklefs e Travis 1980), permitindo avaliar a influência de competição e restrições ambientais na estruturação morfológica de comunidades, além da variação das características morfológicas ao longo do ano e entre diferentes estações climáticas (Sick 2001; Novaes e Lima 2009; Vielliard et al. 2010). As características morfológicas podem ser medidas independentemente da composição de espécies das áreas comparadas, permitindo também análises macroecológicas entre habitats e regiões.

As adaptações dos organismos refletem suas relações ecológicas na comunidade e, assim, morfologia tem sido proposta como um indicador da ecologia (Ricklefs e Travis 1980). Essa abordagem têm levado a testes sobre a relação entre forma, função dos organismos e estruturação de comunidades (Miles e Ricklefs 1984). Por exemplo, o tamanho do corpo é frequentemente relacionado com estrutura do habitat, fisiologia e estrutura trófica (Peters 1986; Weiser e Kaspari 2006). Além disso, medidas morfológicas contém também informação sobre covariação entre características morfológicas e ecológicas (Derrickson e Ricklefs 1988; Weiser e Kaspari 2006). Ainda que morfologia e ecologia não estejam perfeitamente correlacionadas, análises morfológicas podem revelar padrões no contexto ecológico e evolutivo (Ricklefs e Travis 1980), uma vez que os padrões

morfológicos observados nas comunidades são resultados de processos evolutivos e ecológicos (McPeck e Miller 1996).

A diversidade funcional pode ser definida como “o valor e variação de características funcionais que influenciam o funcionamento das comunidades” (Tilman 2001; Petchey e Gaston 2002; Cianciaruso et al. 2009). Características funcionais têm sido definidas como caracteres morfológicos, fisiológicos ou comportamentais que influenciam a performance ecológica das espécies nos ecossistemas (McGill et al. 2006, 2015). Estes caracteres que compõem os fenótipos dos organismos também influenciam processos nas comunidades (Cianciaruso et al. 2009), como por exemplo, controle de pragas, polinização e dispersão de plantas por aves (Wenny et al. 2011). O interesse nas análises do fenótipo para determinar a diversidade morfológica tem recentemente ressurgido como uma importante abordagem nos estudos sobre a diversidade dos organismos e relação com o meio ambiente (McGill et al. 2015).

Diversidade morfológica, um dos componentes da biodiversidade biológica relacionada à diversidade funcional, está sendo crescentemente usada como uma medida de diversidade fenotípica de comunidades (McGill et al. 2015). Em estudos de diversidade morfológica, o espaço morfológico dos organismos é descrito por um conjunto de caracteres morfológicos relacionados à ecologia das espécies. Essa abordagem tem sido usada para testar estruturação de comunidades entre locais, regiões e continentes para determinar como as atividades humanas afetam os processos ecológicos (Mayfield et al. 2010).

As aves são um grupo amplo e diverso, consideradas excelentes indicadoras da diversidade dos ecossistemas. São bem conhecidas e estudadas taxonomicamente, são fáceis de identificar e grande parte das espécies têm atividade diurna. Ainda, são comumente usadas como objeto de estudos ecológicos e levantamentos de fauna (Sick 2001; Novaes e Lima 2009). Estão presentes em todos os biomas e continentes do planeta, e ocupam uma ampla diversidade de nichos ecológicos (Vielliard et al. 2010), explorando desde alimentos líquidos (néctar) (beija-flores) até vertebrados (gaviões e falcões) (Sick 2001; Novaes e Lima 2009). Por serem bastante sensíveis às condições ambientais, a degradação do hábitat afeta as aves em vários níveis de organização biológica, desde os indivíduos (escala local) até as comunidades (escala de paisagem), o que facilita a detecção de modificações na estrutura da fauna e comunidades de aves (Blair 2004; Sacco 2012).

Para aves, as diferenças morfológicas podem representar estratégias para reduzir interações competitivas, revelando padrões ou associações entre abundância de espécies e fatores bióticos ou abióticos (Cotgreave e Harvey 1994; Lockwood e Moulton 1994). Tamanho e forma do bico são

frequentemente relacionadas com o tipo de alimento, assim como o tamanho e forma da asa são associadas às técnicas de forrageamento das aves (Schoener 1974; Martins e Macedo 2007). A correlação entre a morfologia e ecologia de aves foi amplamente explorada a partir da década de 1980 (Ricklefs e Travis 1980), como em estudos de padrões de homogeneidade nas comunidades de aves (Miles et al. 1987), de análise da variabilidade morfológica ligada à riqueza de espécies (Ricklefs 2004), e de divergência genética ligada à distância morfológica entre as espécies (Ricklefs e Bermingham 2007).

Neste estudo, avaliamos se as extinções documentadas na Região Metropolitana de Belém (RMB) como resultado do avanço do espaço urbano, podem ter também mudado o espaço morfológico das aves desta região. Utilizamos informações sobre o número de espécies de aves registradas na RMB, dados sobre extinções locais e dados morfológicos das espécies de aves da região. Para responder essa questão, descrevemos a estrutura do espaço morfológico de aves da RMB, comparamos a estrutura morfológica e a diversidade morfológica entre diferentes conjuntos de perda de espécies na região. As seguintes hipóteses foram testadas: (i) o espaço morfológico da avifauna da RMB sofreu alterações com as extinções documentadas na região, e (ii) com o aumento de extinções de aves, a diversidade morfológica da RMB também é reduzida pelo desaparecimento de caracteres morfológicos únicos.

MATERIAL E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende a região metropolitana de Belém (RMB), localizada a nordeste do estado do Pará (1° 27' 21'' S, 48° 30' 16'' W). A região ocupa uma área aproximada de 3.565 km², e engloba os municípios de Belém, Ananindeua, Marituba, Benevides, Santa Isabel, Santa Bárbara do Pará e Castanhal (figura 1). A população estimada é de aproximadamente 2,4 milhões de habitantes. A RMB é a área e com a mais longa história de ocupação humana dos centros de endemismo do estado do Pará e tem a maior proporção de perda de floresta dos interflúvios amazônicos, restando atualmente apenas 24% de sua cobertura vegetal original primária (Almeida e Vieira 2010; Chediek 2014; Moura et al. 2014). Entretanto, os fragmentos florestais remanescentes se apresentam de forma irregular, onde na região central e sudeste apresenta-se a mais forte fragmentação florestal (Ferreira et al. 2012).

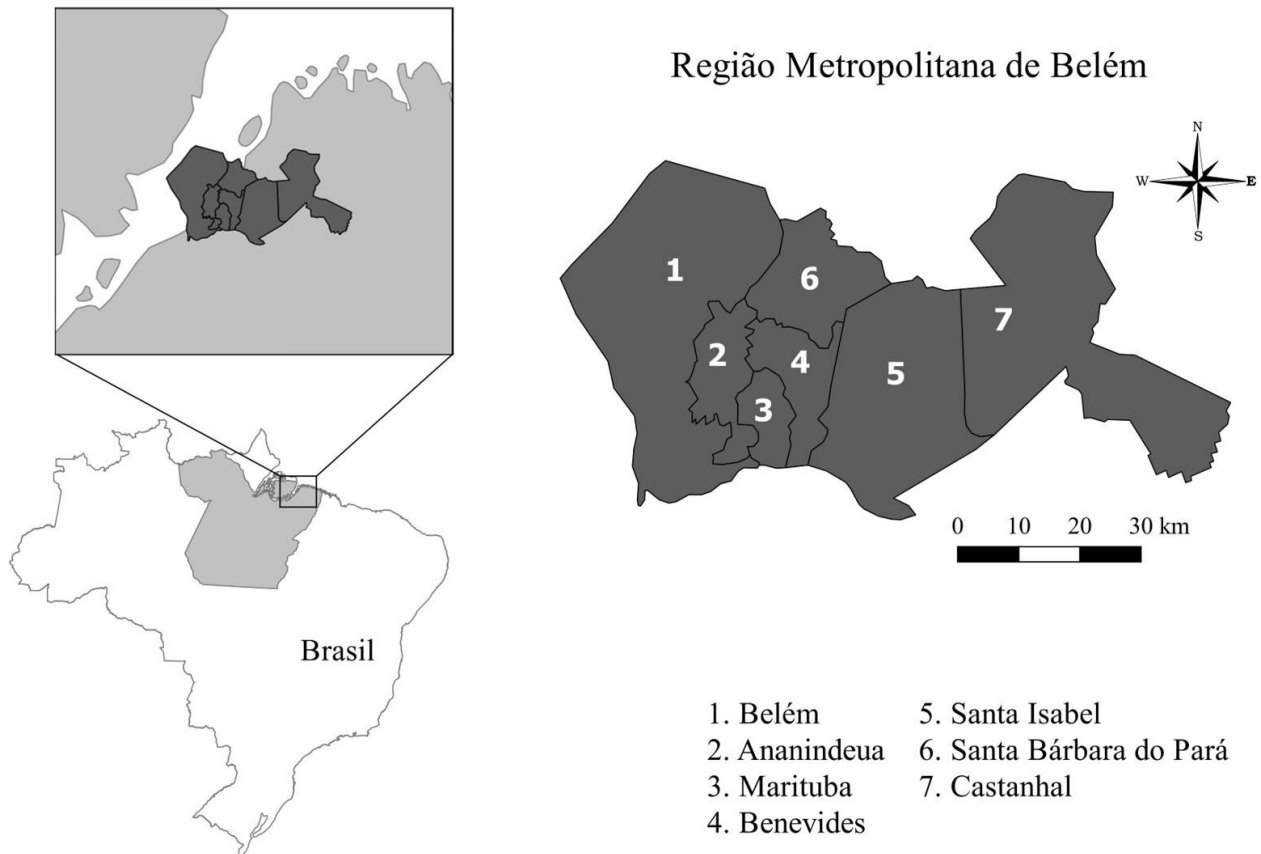


Figura 1: Região Metropolitana de Belém, Pará, com destaque para os sete municípios que compõem a região.

COLETA DE DADOS

Lista de espécies de aves e dados sobre extinção na RMB

A base de registros de espécies de aves na RMB foi organizada a partir do estudo de Novaes e Lima (2009), com 491 espécies documentadas na RMB. O estudo descreve os registros das espécies da RMB a partir do ano de 1965, quando Fernando Novaes iniciou o projeto da lista de espécies da região, incluindo também notas sobre biologia e breves resumos sobre as características físicas da região. Ao analisar a lista de espécies de Novaes e Lima (2009), detectamos que a distribuição do gaturamo-bandeira (*Chlorophonia cyanea*) não se estende a RMB; portanto, a lista final analisada no presente estudo contém 490 espécies (Tabela 6 – ANEXO).

A partir de informações publicadas, compilamos quatro conjuntos de dados, que descrevem ausências de espécies na região da RMB, ou seja, extinções documentadas ou o número local de

espécies na área urbana mais densamente habitada da RMB. Primeiramente, consideramos o estudo de Moura et al. (2014) sobre extinções na RMB, que usaram como base a lista de espécies descrito para a RMB, de Novaes e Lima (2009), e compilaram listas de espécies por registro de espécimes em museus ou observações documentadas (registros fotográficos e sonoros).

Na tabela 1 reunimos os conjuntos de extinções ou ameaças de extinção descritos na literatura. Moura e colaboradores (2009), apresentam dados sobre o desaparecimento de nove espécies de aves da RMB, que denominamos de conjunto A e uma lista de 44 espécies de aves possivelmente extintas localmente, pois não foram registradas nos últimos 30, 50 e 100 anos, que chamamos de conjunto B. Posteriormente, avaliamos outros cenários de perda de espécies de aves na RMB. Usamos os dados da União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN), para formar o conjunto C, que descreve 32 espécies com algum nível de ameaça de extinção, assim distribuídas: espécies quase ameaçadas (NT, 16 espécies), vulneráveis (VU, 14 espécies) e ameaçadas de extinção (EN, 2 espécies). Finalmente, consideramos também o recente estudo sobre ocorrências de espécies de aves no centro urbano do município de Belém (Lees e Moura 2017) denominado aqui de conjunto D, que documentou 92 espécies (isto é, 398 ausências), em um transecto de 5 km a partir da Rua dos Mundurucus visitando a Praça batista Campos, o Portal da Amazônia e termina em frente ao Mangal das Garças. Os quatro conjuntos de dados (tabela 1) descrevem extinções ou o número aproximado de espécies no centro urbano e foram usados em análises comparadas com a lista de 490 espécies de aves registradas para a RMB de Novaes e Lima 2009 (isto é, a lista conhecida para a região da RMB) (Tabela 6 – ANEXO).

Tabela 1: Conjuntos de dados de aves na Região Metropolitana de Belém, Pará com informações de ausência de espécies e ameaças de extinção, conforme a literatura.

	Número de Espécies	Espécies Ausentes ou Ameaçadas de Extinção	Fonte
RMB	490	-	Novaes e Lima 2009
Conjunto A	481	9	Moura et al. 2014
Conjunto B	446	44	Moura et al. 2014
Conjunto C	458	32	IUCN 2017
Conjunto D	92	-	Lees e Moura 2017

Dados morfológicos das aves da RMB

Para descrever a morfologia das aves, selecionamos nove caracteres frequentemente utilizados em estudos sobre estrutura morfológica de aves ou diversidade funcional (Ricklefs e Travis 1980; Miles e Ricklefs 1984; Dawideit et al. 2009; Las-Casas e Azevedo-Júnior 2009; Almeida et al. 2016; Oliveira 2017) (ANEXO - Tabela 5 e Figura 8). Inicialmente, utilizamos um banco de dados disponibilizado por Bianca Darski Silva (Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul). Esse banco de dados (identificado como “BDS” ao longo do texto), contém unicamente dados morfológicos contínuos (medidas de tamanho de corpo, bico, asa e tarso), os quais foram obtidos entre 2012 e 2014, a partir da análise de espécimes depositados na coleção de aves do Museu Paraense Emílio Goeldi. O BDS contém dados sobre morfologia de 384 espécies que estão na lista de aves da RMB. Em média foram medidos 4 espécimes, dois machos e duas fêmeas; na ausência de adultos foram medidos indivíduos jovens. Em seguida, foram medidos caracteres de outras 106 espécies, seguindo o mesmo protocolo adotado na construção BDS. O banco de dados final utilizado para as análises contém 2.360 indivíduos com caracteres morfológicos mensuradas de 490 espécies registradas na RMB.

Foram tomadas medidas associadas ao bico, asa, cauda e tarso dos espécimes. Nas medidas envolvendo o bico, os seguintes caracteres morfológicos foram obtidos: (1) tamanho total do cúlmen, (2) comprimento da ponta do bico até a narina, (3) largura do bico, e (4) profundidade do bico. Em relação às medidas associadas com asa, utilizamos (5) o comprimento da asa e (6) a distância de Kipp (medida da ponta da primeira pena secundária, até a ponta mais longa das penas primárias). O (7) comprimento da cauda e o (8) comprimento do tarso também foram medidos. Essas medidas são consideradas importantes em ecologia de aves, pois possuem relação com estratégias e padrões de forrageamento, recurso alimentar usado, capacidade de dispersão e capacidade de voo (Dawideit et al. 2009; Las-Casas e Azevedo-Júnior 2009; Trisos et al. 2014). Além disso, incluímos dados sobre peso das espécies (biomassa), sendo os valores obtidos do estudo de Wilman et al. (2014). Na tabela 5 (anexo) apresentamos a descrição e a importância funcional de cada medida. Para tomada de medidas, ilustradas na figura 8 (anexo), usando um paquímetro digital e uma régua, seguindo o mesmo protocolo utilizado no banco BDS.

ANÁLISE DE DADOS

Preparação dos Dados

A matriz morfológica inicial para as análises contém nove variáveis contínuas, de 2.360 espécimes de 490 espécies de aves da RMB. Inicialmente, avaliamos a correlação entre as variáveis, usando o protocolo descrito por Zuur et al. (2010), usando correlação de Pearson para determinar quais variáveis estavam mais fortemente associadas.

Avaliamos também se diferenças morfológicas estavam associadas ao sexo. Para verificar se havia diferenças entre machos e fêmeas, usamos figuras univariadas, analisando a distribuição dos valores observados condicionado pelo sexo. Como não observamos diferenças entre as medidas de machos e fêmeas, sexo não foi incluído como covariável nas análises. Dessa forma, valores médios de cada espécie e de cada variável morfológica foram estimados usando todos os indivíduos do banco de dados.

Valores ausentes na matriz morfológica foram estimados usando equações lineares, usando os parâmetros de um modelo de regressão linear, isto é, o intercepto e o coeficiente de variação da regressão. Esse foi o caso de duas espécies: (i) um exemplar de *Podilymbus podiceps* (mergulhão-caçador) que não tinha dados sobre o comprimento da cauda, (ii) espécimes de *Ramphastos toco* (tucanuçu) que não tinham informações sobre comprimento da narina à ponta do bico. Além disso, devido à ausência na coleção do Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG) de espécimes de *Jabiru mycteria* (tuiuiú) e de *Thalasseus maximus* (trinta-réis-real), extraímos algumas variáveis morfológicas da literatura, como comprimento total do cúlmen, comprimento da asa, do tarso e da cauda (Pinto 1964; Escalante 1968). Medidas ausentes na matriz morfológica dessas duas espécies foram estimadas usando também modelos de regressão linear simples (como no caso das medidas de comprimento da narina à ponta do bico, largura e profundidade do bico e a distância de Kipp). Para selecionar a variável preditora dos modelos de regressão, escolhemos a variável com maior correlação no banco de dados com cada variável resposta.

Após estas análises iniciais no banco de dados e estimativas de valores ausentes na matriz morfológica, retiramos a correlação entre variáveis morfológicas padronizando as medidas por uma medida de tamanho de corpo. Selecionamos comprimento da asa como medida de tamanho porque essa variável tem, em geral, alta correlação com tamanho de corpo em aves (Ashton 2002) (figura 9).

Em todas as análises sobre estruturação morfológica, utilizamos o valor médio de cada variável morfológica dos indivíduos para cada espécie (isto é, adotamos a estratégia da média global para as análises de diversidade morfológica; segundo, Carmona et al. 2015).

As análises de visualização gráfica dos dados morfológicos foram realizadas com a função *dotchart* do pacote *graphics* (R Core Team 2017). Para estimar valores usamos as funções *lm* e *predict* do pacote *stats* (R Core Team 2017).

Análises de estruturação morfológica

Descrevemos a estrutura do espaço morfológico usando uma Análise de Componentes Principais (PCA). O objetivo foi avaliar a dispersão das espécies no espaço morfológico definido pelos dois primeiros eixos da ordenação, bem como a relação entre variáveis morfológicas e os principais componentes. Utilizamos os dados padronizados e transformados (logaritmo na base 10 + 1) para todas análises.

A análise de PCA descrita acima, com todas as espécies da RMB, foi também utilizada para visualizar a posição das espécies ausentes em cada um dos conjuntos, gerando, portanto, quatro figuras. O objetivo foi analisar graficamente e descritivamente a localização no espaço morfológico regional das espécies ausentes em cada lista da literatura. Uma única análise de PCA foi empregada em todas as comparações.

Usamos a função *prcomp* do pacote *stats* (R Core Team 2017) para construir a PCA da RMB. A função *rda* do pacote *vegan* (Oksanen et al. 2007) foi também utilizada para visualizar a posição das espécies ausentes dentro do espaço morfológico total (isto é, as 490 espécies da RMB).

Medidas de diversidade morfológica

A matriz morfológica foi utilizada para calcular medidas de diversidade morfológica. Todas as variáveis foram padronizadas antes das análises (isto é: média = 0; desvio padrão = 1), retirando diferenças na unidade de medida das variáveis (quilos para massa e centímetros para medidas de tamanho de aves da RMB). Seleccionamos três índices de diversidade morfológica: (i) MPD (Mean Pairwise Distance) para avaliar a distância filogenética média entre pares de espécies (Webb 2000) - MPD pode ser interpretado como uma medida geral de diversidade morfológica por quantificar a distância média entre as espécies que co-ocorrem (Sobral et al. 2014, 2016); (ii) MNND (Mean Nearest Neighbor Distance) para avaliar a distância média ao vizinho mais próximo de cada espécie; MNND reflete distâncias ecológicas entre espécies e é frequentemente usada para quantificar como

as distâncias entre espécies estão distribuídas no espaço multidimensional (Sobral et al. 2014, 2016); (iii) e a diversidade funcional (FD) de Petchey e Gaston (2002, 2006), que consiste na soma dos comprimentos dos ramos de um dendrograma funcional conectando todas espécies presentes em uma determinada comunidade (Cianciaruso et al. 2009). FD mede a extensão da complementariedade entre os valores das características, e por isso está ligada ao conceito de nicho ecológico. Diferenças maiores entre valores das características representam maior complementariedade e, portanto, maior FD. O índice não considera dados de abundância das espécies e podemos considerá-lo como uma medida multivariada de riqueza funcional (Petchey e Gaston 2002, 2006; Mason et al. 2005).

Apesar de originalmente desenvolvidas para estimar diversidade filogenética, MPD e MNND também são utilizadas em análises de diversidade funcional devido à possibilidade de calcular matrizes de distância de dados a partir de dados filogenéticos ou funcionais (Pavoine e Bonsall 2011), e são usualmente aplicadas tanto em análises de diversidade filogenética (Sobral et al. 2016) quanto em análises de diversidade funcional (Sobral et al. 2014). Podem ser usadas para testar se as modificações do habitat afetam a diversidade funcional ou em análises sobre estruturação morfológica (Hidasi-Neto et al. 2012). FD é comumente usada para avaliar o quanto uma comunidade é resistente às alterações, e é considerado um bom índice para representar diversidade de funções de comunidades (Tilman 2001; Hidasi-Neto et al. 2012; Carmona et al. 2017).

As medidas de diversidade morfológica foram calculadas para a lista da RMB (490 espécies) e para os outros quatro conjuntos de dados que representam gradientes de riqueza de espécies.

Para padronizar as medidas usamos a função *decostand* do pacote *vegan* (Oksanen et al. 2007). As funções de medidas de estrutura morfológica (MPD e MNND) foram implementadas através de códigos próprios escritos em R (R Core Team 2017); e a diversidade funcional (FD) foi calculada com a função *treedive* do pacote *vegan* (Oksanen et al. 2007).

Modelos de simulação de extinção na RMB

Os valores de diversidade morfológica observados nas quatro listas de espécies (representando extinções ou ameaças de extinção na RMB) foram comparados com valores obtidos em simulações de extinção de aves na RMB.

Primeiramente, comparamos se a ausência de aves nas quatro listas difere de padrões de extinção observados ao acaso (por processos estocásticos). Para tanto, em cada lista de espécies simulamos a extinção aleatória de espécies, retirando por sorteio o mesmo número de espécies observadas em cada lista. O número de simulações foi de 1.999 vezes. Valores de probabilidade foram

determinados como o ranque do valor observado dentro dos valores simulados, dividido por 2.000 - o número de valores na distribuição analisada (Swenson 2014). Os modelos de simulação foram usados com o objetivo de avaliar quais são os valores de diversidade morfológica esperados se a ausência de espécies em cada lista for o resultado de perdas aleatórias (isto é, independente dos traços morfológicos).

Em seguida, avaliamos perda de espécies, simulando extinções acumuladas de espécies na RMB (isto é, de 1 a N, onde $N = 488$). O valor de $N = 488$ foi selecionado para permitir o cálculo de todas as métricas de diversidade morfológica. Nessas simulações, espécies são retiradas do conjunto regional, uma a uma, e o valor de diversidade morfológica foi recalculado. O método empregado permite avaliar a consequência de extinções nos valores de diversidade morfológica. Modelos de simulação de perda de espécies têm sido usados especialmente para avaliar redundância funcional e para prever a consequência de extinções em comunidades (Sasaki et al. 2014; Carmona et al. 2017). Quando extinções simuladas não apresentam desvios bruscos na trajetória de FD com a perda de espécies, redundância funcional em relação às características das espécies pode explicar a relação entre extinção e valores de FD. Foram utilizados dois modelos de simulação de extinções: (i) extinção completamente aleatória e, (ii) espécies com valores de probabilidade de extinção.

No modelo aleatório, todas as espécies têm a mesma chance de desaparecerem da região. No modelo com probabilidade de extinção, a probabilidade de uma espécie desaparecer depende de características biológicas. Utilizamos massa (peso) como probabilidade de extinção de uma espécie (isto é, quanto maior o peso, maior a probabilidade de extinção de uma ave da RMB), condicionado a uma classificação em guildas das espécies, o que descreve maior ou menor sensibilidade à extinção para cada guilda. As espécies foram classificadas em guildas tróficas usando a bibliografia específica, representando 22 categorias, assim distribuídas: Carnívoros, Grandes frugívoros, Insetívoros de solo, Insetívoros de sub-bosque, Comedores de carniça, Granívoros de borda, Granívoros de solo, Herbívoro, Insetívoros aéreos, Insetívoros de bordas/clareiras, Insetívoros de estrato médio/dossel, Insetívoros de tronco e galho, Insetívoros noturno, Limícola, Nectarívoros/insetívoros, Onívoros de borda, Onívoros de dossel, Onívoros de sub-bosque/estrato médio, Pelágico, Piscívoros, Predadores de sementes e Seguidor de correição. Em particular, quatro guildas foram definidas como tendo a mesma probabilidade de extinção regional (Carnívoros, Grandes frugívoros, Insetívoros de solo e Insetívoros de sub-bosque) devido sua alta sensibilidade à ambientes alterados (Sick 2001). As demais guildas foram ordenadas de acordo com registros conhecidos próximos aos centros urbanos da RMB; desta forma, quanto mais próximo de centros urbanos uma espécie foi registrada, menor

probabilidade de extinção foi atribuída à espécie; por outro lado, consideramos maior chance de extinção para espécies registradas distantes dos centros urbanos.

Devido à alta demanda computacional para gerar cada simulação, utilizamos 499 simulações para calcular o valor esperado de cada métrica de diversidade morfológica (MPD, MNND e FD). As simulações para cada métrica foram realizadas de forma independente (isto é, para cada métrica e para cada modelo, 499 simulações foram empregadas).

Todas as análises foram realizadas no software R (R Core Team 2017).

RESULTADOS

ESPAÇO MORFOLÓGICO DE AVES

Região Metropolitana de Belém

A organização do espaço morfológico das aves da RMB foi descrita por uma Análise de Componentes Principais (Figura 2). Os dois primeiros eixos representam 53% da variação dos dados (Tabela 2). No primeiro eixo (PC1) os caracteres morfológicos mais fortemente associados foram a largura do bico ($BW = 0,46$), o tamanho total do cúlmen ($BC = 0,42$), a profundidade do bico ($BD = 0,41$) e o comprimento da narina à ponta do bico ($BN = 0,40$). O segundo componente principal (PC2) representa 19% da variação dos dados, os caracteres mais fortemente associados com este eixo foram o comprimento do tarso ($TarL = 0,44$), a medida de distância de Kipp ($KD = -0,46$), o comprimento da narina até a ponta do bico ($BN = -0,45$), o tamanho total do cúlmen ($BC = -0,37$) e o comprimento da asa ($WC = -0,32$).

Tabela 2: Análise de Componentes Principais da avifauna (490 espécies) da Região Metropolitana de Belém (RMB), Pará, utilizando uma matriz de correlação e nove caracteres morfológicos: BC = Tamanho total do cúlmen; BN = Comprimento da ponta do bico até a narina; BW = Largura do bico; BD = Profundidade do bico; WC = Tamanho da asa; KD = Medida de distância de Kipp; TaiL = Tamanho da cauda; TarL = Comprimento do tarso; Mass = Massa.

	PC1	PC2	PC3
Desvio Padrão	1,74	1,32	1,28
Variância (%)	0,33	0,19	0,18
Variância acumulada (%)	0,33	0,53	0,71
WC	-0,29	-0,32	-0,52
BC	0,42	-0,37	0,08
BN	0,40	-0,45	0,06
BW	0,46	0,02	-0,14
BD	0,41	-0,12	-0,26
TarL	0,18	0,44	-0,25
KD	-0,24	-0,46	0,41
TaiL	0,23	0,16	-0,03
Mass	-0,17	-0,28	-0,62

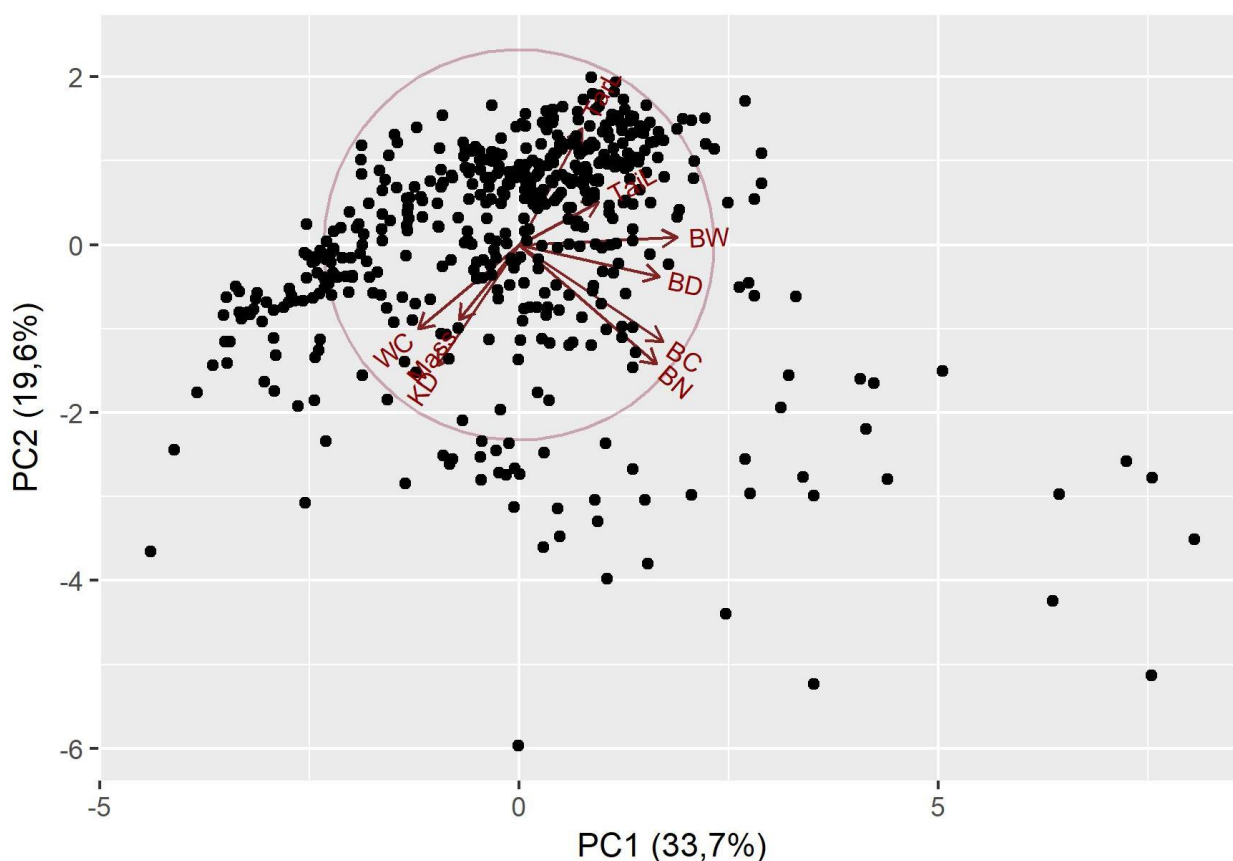


Figura 2: Espaço morfológico baseado na Análise de Componentes Principais das espécies de aves registradas na Região Metropolitana de Belém (RMB), Pará. Cada ponto representa uma das 490 espécies de aves conhecidas na RMB. A relação entre os dois primeiros eixos e as variáveis morfológicas é descrita por vetores no espaço bidimensional, onde: BC = Tamanho total do cúlmen; BN = Comprimento da ponta do bico até a narina; BW = Largura do bico; BD = Profundidade do bico; WC = Tamanho da asa; KD = Medida de distância de Kipp; TaiL = Tamanho da cauda; TarL = Comprimento do tarso; Mass = Massa. O círculo representa a força da correlação.

Extinção ou ameaça de extinção na Região Metropolitana de Belém

Na figura 3, descrevemos comparativamente a posição das espécies de aves extintas ou ameaçadas de extinção no espaço morfológico formado pelo conjunto de aves registradas na RMB. A extinção documentada de nove espécies de aves (figura 3, A) sugere pouca ou nenhuma alteração na estrutura do espaço morfológico de aves da RMB. Contudo, o conjunto B apresenta o desaparecimento de espécies que delimitam o espaço morfológico e, portanto, o volume total do espaço ou a riqueza funcional de aves da RMB (figura 3, B). O mesmo padrão pode ser observado no conjunto C de espécies de aves ameaçadas de extinção da RMB (figura 3, C). O cenário local para um ponto amostral no município de Belém, conjunto D, sugere diferenças na estrutura do espaço morfológico, devido ao grande número de espécies ausentes (mais de 80% das espécies), em relação ao espaço regional (figura 3, D).

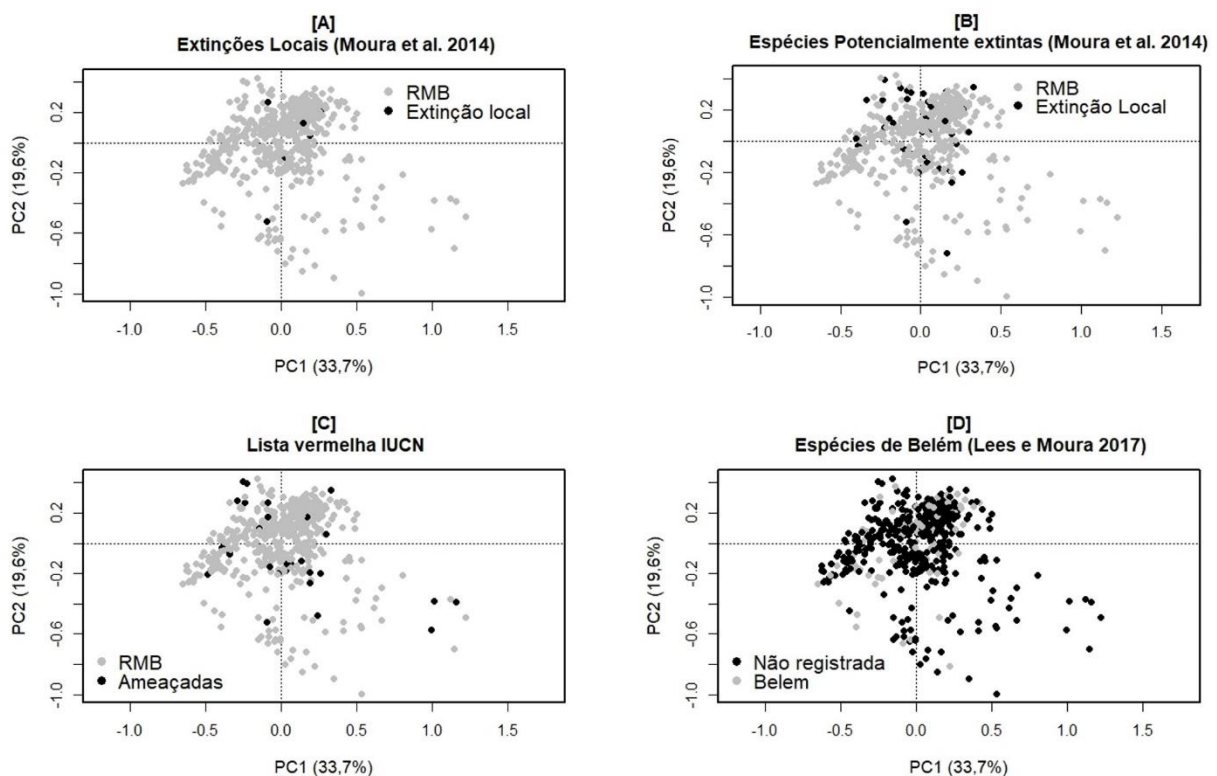


Figura 3: Espaço morfológico de aves da Região Metropolitana de Belém (RMB), Pará e incluindo espécies extintas ou ameaçadas de extinção. Os pontos cinzas representam aves presentes na RMB e, pontos pretos, espécies extintas, ameaçadas de extinção ou ausentes nas listas de aves da RMB. Conjunto A: nove espécies extintas; Conjunto B: 44 espécies possivelmente extintas; Conjunto C: 32 espécies ameaçadas de extinção; Conjunto D: 92 espécies registradas no município de Belém. Fonte: Moura et al. 2014; IUCN 2017; Lees e Moura 2017.

DIVERSIDADE MORFOLÓGICA

Em termos de riqueza morfológica, em geral, a RMB perdeu diversidade com extinções locais, ainda que em pequena escala. A riqueza funcional (FD) reduziu em 8% no cenário com 44 espécies possivelmente extintas, conjunto B, que representam cerca de 10% da avifauna conhecida para a RMB. Com a ausência de nove espécies, conjunto A (Moura et al. 2014), a riqueza funcional da região reduziu 2% (FD). O conjunto C com espécies de aves ameaçadas da IUCN (IUCN 2017) representam uma redução de 6% em riqueza funcional (FD) da região. O conjunto D de aves registradas para o município de Belém (Lees e Moura 2017) representa uma redução de 27% na riqueza funcional da RMB (tabela 3).

A resposta de MPD nos diferentes cenários não foi uniforme. Com a ausência de nove espécies (Moura et al. 2014), conjunto A, a diversidade morfológica aumentou (~ 0,1%). As 32 espécies listadas como ameaçadas de extinção da IUCN (IUCN 2017), conjunto C, representa a maior redução em diversidade morfológica (redução de 3%); no conjunto B, com 44 espécies possivelmente extintas (Moura et al. 2014), a redução representa aproximadamente 1%. A lista de espécies registradas para o município de Belém (Lees e Moura 2017), conjunto D (representando 18% da lista regional RMB), apresenta a maior redução em diversidade morfológica (MPD) em relação ao valor de referência (RMB) (tabela 3).

Em cenários de maior perda de espécies na RMB, os valores de MNND tendem a aumentar; por exemplo, ao compararmos o cenário D, município de Belém, com a avifauna da RMB, observamos que a distância média entre as espécies morfológicamente próximas aumenta em 45% (tabela 3).

Tabela 3: Medidas de diversidade morfológica para a avifauna da Região Metropolitana de Belém (RMB) e para quatro conjuntos de dados que contém informações sobre extinções ou ameaças de extinções de aves na RMB. RMB = lista de aves conhecidas para a Região Metropolitana de Belém; Conjunto A: 9 espécies extintas; Conjunto B: 44 espécies possivelmente extintas; Conjunto C: 32 espécies ameaçadas de extinção; Conjunto D: 92 espécies registradas em Belém (levantamento local).

	n	MPD	MNND	FD
RMB	490	3,77	0,73	585,96
Conjunto A	481	3,78	0,73	576,97
Conjunto B	446	3,73	0,73	537,03
Conjunto C	458	3,65	0,72	549,95
Conjunto D	92	3,59	1,06	158,51

Fonte: Novaes e Lima 2009; Moura et al. 2014; IUCN 2017; Lees e Moura 2017.

MODELOS DE SIMULAÇÃO DE EXTINÇÃO

Extinção aleatória e as listas de ausências de aves na RMB

As simulações sobre perda de espécies aleatórias e sua consequência em termos de diversidade morfológica sugerem que a estrutura morfológica, quando quantificada por MPD, MNND e FD, depende da magnitude da extinção de aves na RMB (Tabela 4).

No conjunto D (um estudo local no município de Belém), considerando o alto número de ausências em relação ao *pool* de espécies (398 ausências), os resultados sugerem que as espécies observadas na cidade de Belém não são morfológicamente distintas (em relação ao *pool*; todos valores de $p > 0.05$). De fato, os valores negativos de SES para todas as métricas do conjunto D sugerem que a diversidade morfológica é menor (em relação à média do modelo nulo). Nesse caso, conjuntos aleatórios de 92 espécies tendem a ter valores de diversidade morfológica maior do que o conjunto D de espécies observada em um levantamento local na cidade de Belém.

Tabela 4: Simulações de extinções de espécies para cada conjunto de dados sobre extinções ou ameaças de extinções de aves na Região Metropolitana de Belém (RMB), Pará. Conjunto A: Extinção de nove espécies da RMB; Conjunto B: 44 espécies possivelmente extintas da RMB; Conjunto C: 32 espécies ameaçadas de extinção; Conjunto D: 92 espécies registradas em um recente levantamento da avifauna no município de Belém. Valores de p foram calculados com o ranque do valor observado (RMB ou para cada lista) em relação aos valores simulados, dividido por 2.000. Valores significantes de p ($0,025 \leq p \leq 0,975$) são destacados em negrito. n = número de espécies ausentes na lista regional (RMB).

		n	Valor observado	Amplitude dos Valores Simulados	Média (simulado)	Valor de p
Conjunto A (Moura et al. 2014)	MPD		3,78	3,69 – 3,79	3,76	0,012
	MNND	9	0,73	0,71 – 0,74	0,73	0,157
	FD		576,97	554,4 – 583,5	576,9	0,001
Conjunto B (Moura et al. 2014)	MPD		3,73	3,58 – 3,85	3,76	0,683
	MNND	44	0,73	0,71 – 0,76	0,74	0,041
	FD		537,03	517,2 – 561,2	545,3	1,000
Conjunto C (IUCN 2017)	MPD		3,65	3,65 – 3,84	3,76	0,001
	MNND	32	0,72	0,71 – 0,76	0,74	0,032
	FD		549,95	528,6 – 569,9	555,7	0,158
Conjunto D (Lees e Moura 2017)	MPD		3,59	3,58 – 3,91	3,76	0,237
	MNND	398	1,06	0,72 – 0,80	0,76	0,150
	FD		158,51	133,4 – 211,0	171,6	0,131

Fonte: Moura et al. 2014; IUCN 2017; Lees e Moura 2017.

Em relação à medida geral de diversidade morfológica (MPD), o conjunto A, com nove espécies extintas (Moura et al. 2014), ou o conjunto C de espécies ameaçadas da IUCN tem MPD significativamente menor do que o esperado para extinções aleatórias (Figura 4A, 4C) (Tabela 4). Por outro lado, os valores de MPD para o conjunto B, com 44 espécies ausentes ou para a lista local de aves (92 espécies) na RMB, não diferem do esperado para extinções aleatórias de aves da RMB (Conjunto D, SES = -0,72) (Figura 4B, 4D).

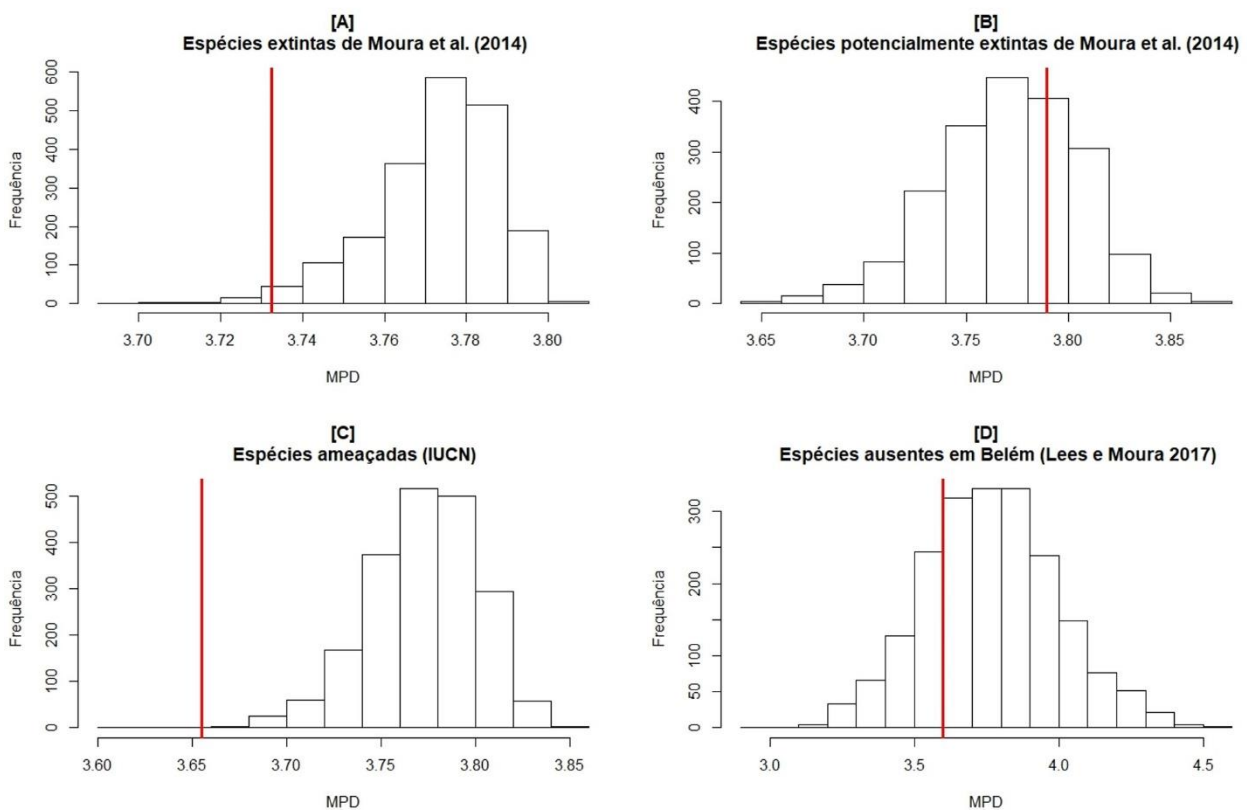


Figura 4: Distribuição de valores simulados de diversidade morfológica (MPD) para quatro conjuntos de dados sobre extinção de espécies de aves na Região Metropolitana de Belém, Pará (RMB). Para cada conjunto de dados, valores simulados foram gerados por reamostragem de espécies da RMB. Conjunto A: Extinção de nove espécies da RMB; Conjunto B: Possível extinção de 44 espécies da RMB; Conjunto C: 32 espécies registradas na RMB e ameaçadas de extinção; e Conjunto D: 92 espécies registradas em levantamento de aves realizado no município de Belém. A linha vertical vermelha indica o valor de MPD observado no cenário analisado. Fonte: Moura et al. 2014; IUCN 2017; Lees e Moura 2017.

As simulações de extinção da MNND sugerem que, em geral, há uma tendência para um aumento na distância média entre espécies mais próximas (especialmente para as simulações envolvendo 44 ou 32 espécies extintas, conjunto B e C, respectivamente) (Figura 5B-C). Embora os valores observados não sejam significativos para o teste bilateral usado (Tabela 4), existe uma tendência para diferença na estrutura morfológica em termos de MNND (isto é, a média da distância entre espécies mais próximas é maior na distribuição nula).

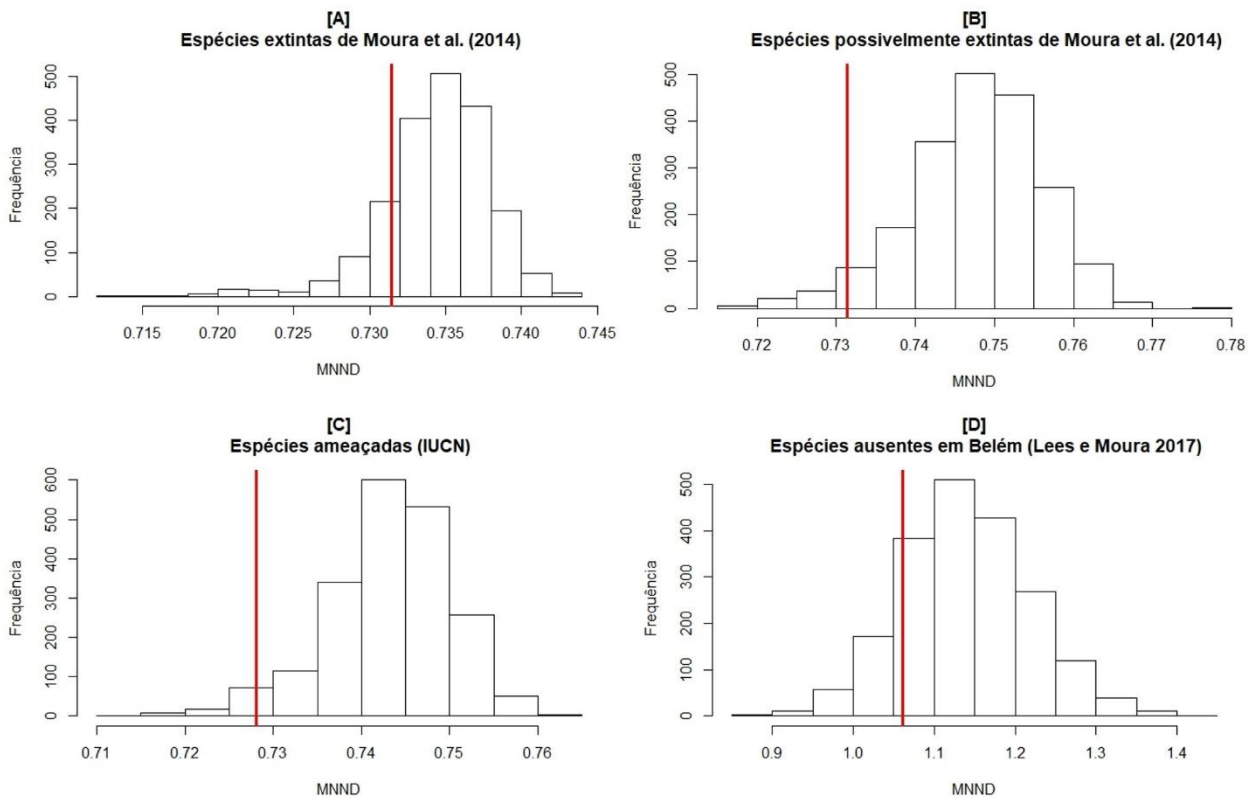


Figura 5: Distribuição de valores simulados de distribuição ecológica entre as espécies (MNND) para quatro conjuntos de dados sobre extinção de espécies de aves na Região Metropolitana de Belém, Pará (RMB). Para cada conjunto de dados, valores simulados foram gerados por reamostragem de espécies da RMB. Conjunto A: Extinção de nove espécies da RMB; Conjunto B: Possível extinção de 44 espécies da RMB; Conjunto C: 32 espécies registradas na RMB e ameaçadas de extinção; e Conjunto D: 92 espécies registradas em levantamento de aves realizado no município de Belém. A linha vertical vermelha indica o valor de MPD observado no cenário analisado. Fonte: Moura *et al.* 2014; IUCN 2017; Lees e Moura 2017.

Simulações sobre riqueza funcional e extinções de espécies descritas nas quatro listas indicam que, no caso do desaparecimento de 44 espécies (Conjunto B), riqueza funcional foi significativamente menor do que o esperado (Figura 6B) (Tabela 4). Portanto, RMB perde significativamente riqueza funcional (regional) com ausência destas 44 espécies. Por outro lado, a extinção de nove espécies de aves na RMB (Conjunto A), não altera a diversidade funcional de aves desta região (Figura 6A).

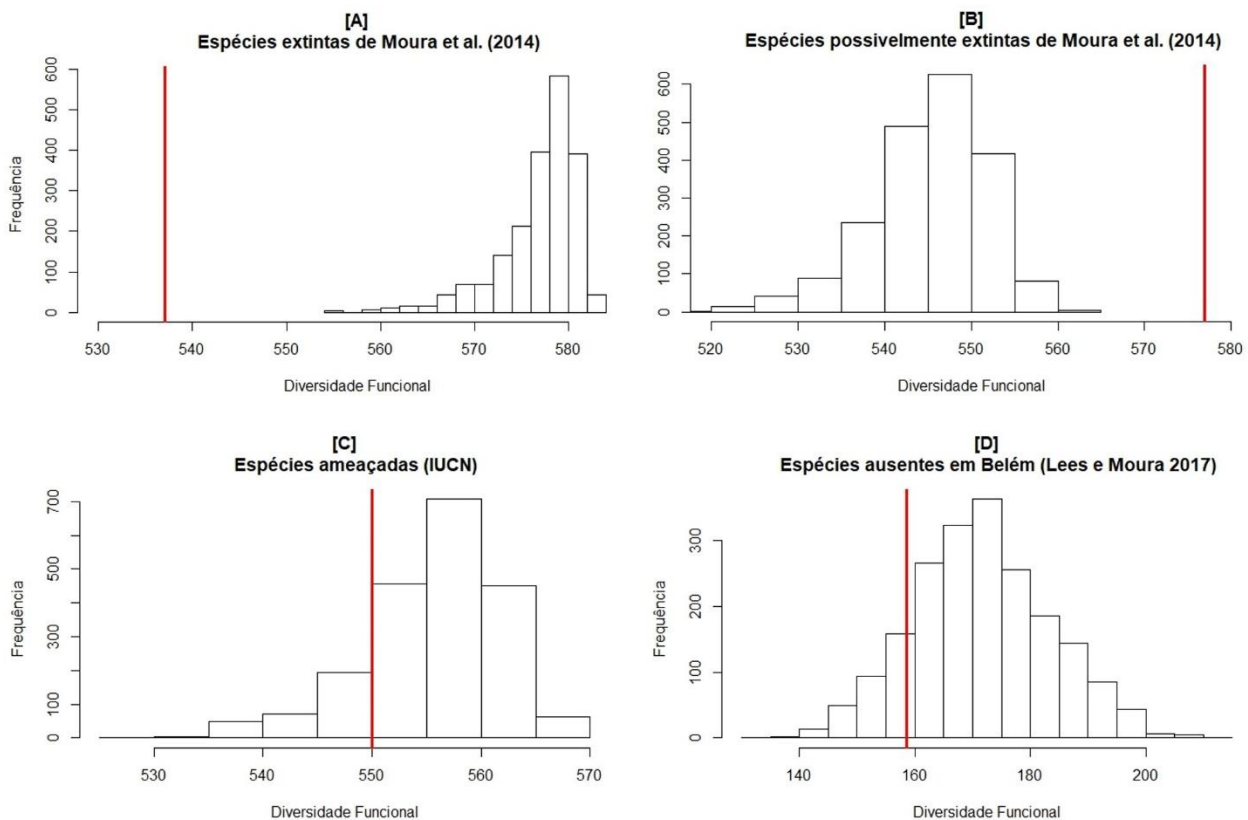


Figura 6: Distribuição dos valores simulados de riqueza funcional multivariada (FD) para quatro conjuntos de dados sobre extinção de espécies de aves na Região Metropolitana de Belém, Pará (RMB). Para cada conjunto de dados, valores simulados foram gerados por reamostragem de espécies da RMB. Conjunto A: Extinção de nove espécies da RMB; Conjunto B: Possível extinção de 44 espécies da RMB; Conjunto C: 32 espécies registradas na RMB e ameaçadas de extinção; e Conjunto D: 92 espécies registradas em levantamento de aves realizado no município de Belém. A linha vertical vermelha indica o valor de MPD observado no cenário analisado. Fonte: Moura *et al.* 2014; IUCN 2017; Lees e Moura 2017.

Simulação de extinção acumulada de espécies na RMB

No modelo de extinção acumulada aleatória, os valores de riqueza funcional diminuem linearmente com o acúmulo de extinções de aves (Figura 7A). A distância média entre espécies morfológicamente mais próximas (MNND), aumenta com extinções de espécies; acima de 400 espécies extintas MNND altera-se completamente em relação ao valor de referência da RMB (Figura 7C). O comportamento dos valores diversidade morfológica geral (quantificado pela MPD) ao longo das simulações oscilou bastante; alterações significativas acontecem somente quando ocorre um grande número extinções (>450) (Figura 7E).

No modelo com probabilidade de extinção de espécies, a vulnerabilidade de uma espécie foi determinada pela massa corpórea, ponderada pela classificação em guildas; essencialmente, quanto maior o peso de uma espécie, maior a probabilidade de extinção, dado a classificação em guildas. MNND e FD apresentaram comportamento similar ao modelo de extinção aleatória; no entanto, o decréscimo (ou aumento) de valores apresentou forma ligeiramente diferente (no caso de FD, acentuando a perda de diversidade funcional de aves com extinção acumulada de espécies) (Figura 7B; Figura 7D). No entanto, MPD tem resposta diferente, descrito por uma curva (côncava). MPD decresce com extinção de espécies, possivelmente pelo desaparecimento de espécies de tamanho grande. Em seguida, aumenta provavelmente pela combinação de um conjunto formado por espécies de tamanho intermediário a pequeno, mas com a presença de algumas espécies grandes (Figura 7F).

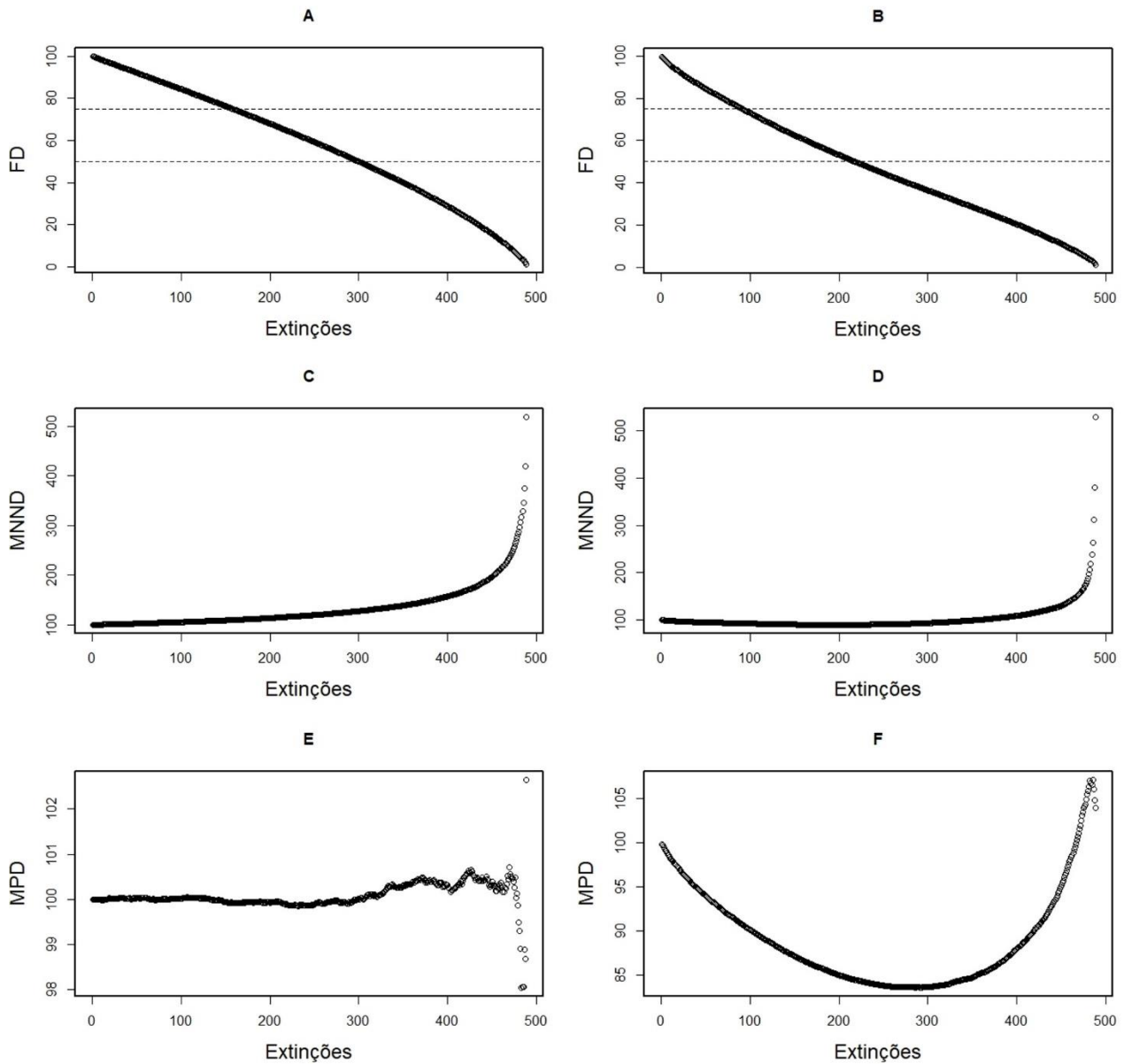


Figura 7: Diversidade morfológica e extinções acumuladas de espécies na Região Metropolitana de Belém (RMB), Pará. As espécies foram retiradas da lista de aves da RMB uma a uma e o valor da métrica foi recalculado. As figuras da esquerda (A, C, E) representam um modelo de extinção completamente aleatório; as figuras da direita (B, D, F) representam um modelo com probabilidade de extinção determinada pela massa (kg) de cada espécie. As linhas pontilhadas (A e B) representam a perda de 25% e 50% das espécies, respectivamente.

DISCUSSÃO

Neste estudo, utilizamos uma base de dados sobre as espécies de aves da Região Metropolitana de Belém, combinado com caracteres morfológicos, para avaliar como extinções documentadas ou previstas para a região afetam o espaço morfológico das aves da RMB. A avifauna da RMB apresenta alterações na estrutura do espaço com perda de espécies, incluindo os conjuntos de extinções documentados na literatura. A riqueza funcional de aves na RMB decresce linearmente com extinções acumuladas de espécies, o que deve ter consequências nas funções ecológicas desempenhadas pelas aves na RMB.

ESPAÇO MORFOLÓGICO

O espaço morfológico de aves da RMB não apresenta alta modificação quando nove espécies são excluídas (espécies comprovadamente extintas; ver Moura et al. 2014). No entanto, a medida que o número de espécies ausentes aumenta (por exemplo, 32 ou 44 espécies), mudanças na estrutura podem acontecer porque espécies que delimitam a periferia do espaço podem desaparecer. Isto sugere que a avifauna perde espécies com biologia mais especializada (periferia do espaço morfológico), com características frugívoras, como os tucanos (*Ramphastos tucanus* e *Ramphastos vitellinus*) e o araçari (*Pteroglossus bitorquatus*). Essas duas espécies estão na lista de espécies ameaçadas da IUCN, bem como ausentes em levantamentos recentes no município de Belém (Lees e Moura 2017), juntamente com outras duas espécies de tucanos e um araçari (Família Ramphastidae). Adicionalmente, a lista de Belém (Lees e Moura 2017) inclui ausências de espécies de piscívoros como martim-pescadores (Família Alcenidade), insetívoros florestais como as arirambas (Família Galbulidae) e nectarívoros como beija-flores (Família Trochilidae).

Nas aves, o tamanho e forma do bico estão associados com o tipo e tamanho do recurso alimentar utilizado (Martins e Macedo 2007; Schoener 1974). Aves insetívoras tropicais abrangem uma maior variedade de tamanhos de bico, e assim exploram maior diversidade de itens (Shoener 1974). É relativamente bem conhecido que espécies com hábitos alimentares especialistas tendem a desaparecer de lugares urbanizados (Sacco et al. 2015); resultados descritos por Lees e Moura (2017) são evidências do desaparecimento local de espécies com biologia especializada em Belém.

A urbanização afeta as aves em diferentes níveis de organização biológica (de indivíduos a comunidades). Relações entre níveis de organização são difíceis de analisar, mas comparações entre níveis de organização biológica podem ser feitas ao analisar os padrões que surgem como produto de

alterações na paisagem, por exemplo a homogeneização da avifauna em ambientes urbanos (Blair 2004). Esse fenômeno também pode ser observado no estudo local de aves da RMB (Lees e Moura 2017), onde espécies com características similares permanecem no município de Belém, tais como insetívoros e frugívoros; por outro lado, espécies com características herbívoras e granívoras são raramente encontradas.

DIVERSIDADE MORFOLÓGICA

Neste estudo, usamos uma lista regional de aves na região Metropolitana de Belém (RMB) para comparar valores de diversidade morfológica com cenários que descrevem extinções de espécies ou ameaças de extinção de aves no conjunto regional de espécies. De forma geral, os resultados sugerem que alterações na estrutura morfológica da fauna acontecem com perdas de espécies atualmente conhecidas ou previstas para a RMB (representando cerca de 10% da fauna – 44 espécies possivelmente extintas); o único levantamento local de espécies analisado, por outro lado, indica valores de diversidade ou de estrutura morfológica da fauna altamente diferente da escala regional.

Em ambientes alterados, espécies de aves de corpo maior, baixo grau de forrageio e de hábitos alimentares mais especialistas (nectarívoras, granívoras, herbívoras) são em geral substituídas por espécies de corpo menor e mais alto grau de forrageamento, tais como, frugívoros, insetívoros e carnívoros (Barbet-Massin e Jetz 2015), como também observado no presente trabalho. Espécies menores, em sua maioria, são mais generalistas e não precisam de uma área grande para forrageio. O comportamento de forrageio das aves é influenciado pela estrutura do ambiente (Robinson e Holmes 1982; Sacco et al. 2015). Por exemplo, forrageio no ar foi favorecido pela urbanização, no geral, por fornecer uma maior quantidade de poleiros, assim beneficiando técnicas de forrageamento no ar para captura da presa (Sick 2001).

Por outro lado, cidades pouco desenvolvidas podem criar condições mais heterogêneas que suportam mais espécies de aves (Blair 2004). Nesse caso, a heterogeneidade local pode resultar em alta dispersão funcional em comunidades de aves, o que é compatível com processos de limite de similaridade, com valores de diversidade funcional diferentes do esperado ao acaso (Hidasi-Neto et al. 2012). Nossos resultados sugerem diferente cenário na RMB, com perda de espécies acompanhada por perda de riqueza funcional.

EXTINÇÃO DE ESPÉCIES

Foram empregados modelos simulados de extinção para comparar os valores observados com o esperado acerca de extinção aleatória na RMB, bem como um estudo sobre o comportamento da estrutura morfológica ou funcional de aves da RMB em função de extinção acumulada de espécies. As diferentes métricas de diversidade morfológica e as simulações com perda de espécies aleatórias em cada cenário de desaparecimento de espécies da RMB sugerem que alterações na estrutura morfológica da avifauna podem ser detectadas em situações com um baixo número de espécies extintas.

Simulações de extinções acumuladas de aves na RMB revelaram padrões esperados ou descritos na literatura (caso da MPD, onde a diversidade morfológica decresce conforme a intensificação da perturbação; ver Sasaki et al. 2014; Carmona et al. 2017), como também situações de alta desestruturação do espaço morfológico de aves na RMB. Este é o caso dos valores da MNND, com aumento da distância morfológica entre espécies a níveis inexistentes na região, bem como diminuição da diversidade funcional altamente correlacionada com a perda de espécies de aves. Os valores da MPD com a extinção acumulada de aproximadamente metade do pool de espécies (modelo com probabilidade de extinção), sugere uma rápida queda de diversidade morfológica da RMB quando espécies maiores em tamanho são perdidas.

Espécies com maior peso têm tamanhos populacionais menores do que espécies de menor tamanho, e são mais sensíveis às mudanças ambientais (Tinoco et al. 2018). No entanto, algumas aves de grande porte, como garças, gaviões e urubus, podem estar presentes em áreas urbanas. Em ambientes urbanos, a diversidade funcional responde negativamente à intensidade da urbanização (Sacco 2012) A homogeneização da avifauna com o aumento dos níveis de urbanização, pode representar o cenário de levantamento local de espécies do município de Belém. A lista de espécies é caracterizada por uma alta ocorrência de espécies insetívoras e um grande número de espécies frugívoras (Lees e Moura 2017).

Avaliações globais em ilhas sobre introduções e extinções de aves terrestres, não detectaram alterações significantes na distância média das espécies ecologicamente mais próximas ou perdas de riqueza funcional com perda de espécies (Sobral et al. 2016). Nossos resultados sugerem que a perda de espécies aumenta a distância entre as espécies no espaço morfológico, ainda que gradualmente. Em comunidade de aves de paisagens desmatadas no sudeste da Bahia, a causa para modificações na estrutura pode estar relacionada à extinção de espécies de aves filogeneticamente diversas (Morante-Filho et al. 2017).

A taxa de redução de riqueza funcional com o desaparecimento simulado de espécies pode ser considerada uma representação da vulnerabilidade da RMB às futuras alterações na composição da avifauna. Por exemplo, Sasaki e colaboradores (2014) descreveram um padrão proporcional de perda de diversidade funcional com simulações de extinção de espécies, nas comunidades de plantas na cordilheira de Hakkoda, ao norte do Japão, onde os locais analisados se mostraram menos vulneráveis a perda de espécies. Carmona e colaboradores (2016), descreveram um padrão linear de perda de riqueza funcional, em campos agrícolas no centro da Espanha, o que foi atribuído ao maior risco de extinção de espécies funcionalmente redundantes, o que faz com que riqueza funcional sofra pequenas reduções (Carmona et al. 2017).

CONCLUSÃO

As extinções de espécies de aves em conjunto com processos de urbanização, como o caso da Região Metropolitana de Belém, afetam a estruturação morfológica e funcional de aves em uma escala regional. Espécies com biologia mais especializada em geral desaparecem, enquanto espécies generalistas ou oportunistas permanecem (insetívoros e onívoros). Medidas mais gerais de diversidade morfológica (derivada de matrizes de distância entre espécies) indicam certa redundância funcional na região e, portanto, maior resistência à extinção de aves na RMB. Por outro lado, medidas de diversidade morfológica derivadas de árvores de similaridade morfológica, indicam redução da diversidade com extinção acumulada de espécies de aves na RMB. Combinado com a análise comparada da diversidade morfológica em listas de espécies que representam um subconjunto das espécies da RMB, os resultados deste estudo indicam que extinção afeta a estrutura funcional de aves da Região Metropolitana de Belém. A perda de aves especialistas na RMB pode levar a homogeneização da fauna com prováveis perdas de serviços ecossistêmicos, como polinização, dispersão de sementes e predação.

REFERÊNCIAS

- Adams C (2009) *Urban wildlife management*, 2nd ed. CRC Press., Nova Iorque.
- Almeida AS, Vieira ICG (2010) Centro De Endemismo Belém: Status Da Vegetação Remanescente E Desafios Para a Conservação Da Biodiversidade E Restauração Ecológica. *Reu* 36 (3): 95–111. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>.
- Almeida SM, Silva LC, Cardoso MR, Cerqueira P V, Juen L, Santos MPD (2016) The effects of oil palm plantations on the functional diversity of Amazonian birds. *Journal of Tropical Ecology* : 1–16. <https://doi.org/10.1017/S0266467416000377>.
- Ashton KG (2002) Patterns of within-species body size variation of birds : strong evidence for Bergmann’s rule. *Global Ecology & Biogeography* 11 (6): 505–523. <https://doi.org/10.1046/j.1466-822X.2002.00313.x>.
- Barbet-Massin M, Jetz W (2015) The effect of range changes on the functional turnover, structure and diversity of bird assemblages under future climate scenarios. *Global change biology* 21 (8): 2917–2928. <https://doi.org/10.1111/gcb.12905>.
- Blair R (2004) The effects of urban sprawl on birds at multiple levels of biological organization. *Ecology and Society* 9 (5). <https://doi.org/http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss5/art2/>.
- Borras A, Pascual J, Senar JC (2000) What do different bill measures measure and what is the best method to use in granivorous birds? *Journal of Field Ornithology* 71 (4): 606–611.
- Carmona CP, Guerrero I, Morales MB, Oñate JJ, Peco B (2017) Assessing vulnerability of functional diversity to species loss: a case study in Mediterranean agricultural systems. *Functional Ecology* 31 (2): 427–435. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12709>.
- Carmona CP, Rota C, Azcárate FM, Peco B (2015) More for less: Sampling strategies of plant functional traits across local environmental gradients. *Functional Ecology* 29 (4): 579–588. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12366>.
- Chediek J (2014) *Atlas do Desenvolvimento Humano nas Regiões Metropolitanas Brasileiras: série atlas do desenvolvimento humano no Brasil*, PNUD, ipea. ed. Brasília, 120 pp.
- Christiansen MB, Pitter E (1997) Species loss in a forest bird community near Lagoa Santa in southeastern Brazil. *Biological Conservation* 80 (1): 23–32. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(96\)00073-0](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(96)00073-0).
- Cianciaruso MV, Silva IA, Batalha MA (2009) Diversidades filogenética e funcional: novas abordagens para a Ecologia de comunidades. *Biota Neotropica* 9 (3): 93–103. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032009000300008>.
- Costello MJ, May RM, Stork NE (2013) Can We Name Earth ’ s Species Before They Go Extinct? *Science* 339 (6118): 413–416. <https://doi.org/10.1126/science.1230318>.
- Cotgreave P, Harvey PH (1994) Evenness of abundance in bird communities. *Journal of Animal Ecology* 63 (2): 365–374.
- Dawideit BA, Phillimore AB, Laube I, Leisler B, Böhning-Gaese K (2009) Ecomorphological predictors of natal dispersal distances in birds. *Journal of Animal Ecology* 78 (2): 388–395. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2008.01504.x>.
- Derrickson E, Ricklefs R (1988) Taxon-dependent diversification of life-history traits and the

- perception of phylogenetic constraints. *Functional Ecology* 2 (3): 417–423. <https://doi.org/10.2307/2389415>.
- Devictor V, Julliard R, Couvet D, Lee A, Jiguet F (2007) Functional homogenization effect of urbanization on bird communities. *Conservation Biology* 21 (3): 741–751. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00671.x>.
- Escalante R (1968) Notes on the Royal Tern in Uruguay. *The Condor* 70 (3): 243–247. <https://doi.org/10.2307/1366696>.
- Ferreira LV, Parolin P, Muñoz SH, Chaves PP (2012) O efeito da fragmentação e isolamento florestal das áreas verdes da Região Metropolitana De Belém. *Pesquisas Botânica* 63: 357–367.
- Hidasi-Neto J, Barlow J, Cianciaruso M V. (2012) Bird functional diversity and wildfires in the Amazon: the role of forest structure. *Animal Conservation* 15 (4): 407–415. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2012.00528.x>.
- IUCN (2017) The IUCN Red List of Threatened Species: WWW Document. <http://www.iucnredlist.org/>
- Jenerette GD, Clarke LW, Avolio ML, Pataki DE, Gillespie TW, Pincetl S, Nowak DJ, Hutyra LR, McHale M, McFadden JP, Alonzo M (2016) Climate tolerances and trait choices shape continental patterns of urban tree biodiversity. *Global Ecology and Biogeography* 25 (11): 1367–1376. <https://doi.org/10.1111/geb.12499>.
- Korn D, Hopkins MJ, Walton SA (2013) Extinction Space-A Method For The Quantification And Classification Of Changes In Morphospace Across Extinction Boundaries. *Evolution* 67 (10): 2795–2810. <https://doi.org/10.1111/evo.12162>.
- Las-Casas FMG, Azevedo-Júnior SM (2009) Dimorfismo sexual de tamanho no beija-flor-de-costas-violetas *Thalurania watertonii* (Bourcier, 1847)(Aves: Trochilidae): implicações ecológicas. *Ornithologia* 3 (2): 83–89.
- Lees AC, Moura NG (2017) Taxonomic, phylogenetic and functional diversity of an urban Amazonian avifauna. *Urban Ecosystems* 20 (5): 1019–1025. <https://doi.org/10.1007/s11252-017-0661-6>.
- Lima, GR (2015) Influência do habitat na seleção de grupos filogenéticos e atributos funcionais de aves em florestas ribeirinhas amazônicas do Rio Branco. Universidade Federal do Amazonas, 70 pp.
- Lockwood JL, Moulton MP (1994) Ecomorphological pattern in Bermuda birds : the influence of competition and implications for nature preserves. *Evolutionary Ecology* 8: 53–60.
- Marini MÂ, Garcia FI (2005) Conservação de aves no Brasil. *Megadiversidade* 1 (1): 95–102. <https://doi.org/https://doi.org/www.conservation.org.br>.
- Martins FC, Macedo RHF (2007) Segregação ecológica com base na morfologia das aves insetívoras do sub-bosque em floresta estacional decidual, GO. In: *Anais Do VIII Congresso de Ecologia Do Brasil*.
- Mason NWH, Mouillot D, Lee WG, Wilson JB (2005) Functional richness, functional evenness and functional divergence: the primary components of functional diversity. *Oikos* 111: 112–118.
- Mayfield MM, Bonser SP, Morgan JW, Aubin I, McNamara S, Vesik PA (2010) What does species richness tell us about functional trait diversity? Predictions and evidence for responses of species and functional trait diversity to land-use change. *Global Ecology and Biogeography* 19 (4): 423–431. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00532.x>.

- McGill BJ, Dornelas M, Gotelli NJ, Magurran AE (2015) Fifteen forms of biodiversity trend in the Anthropocene. *Trends in Ecology & Evolution* 30 (2): 104–113. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2014.11.006>.
- McGill BJ, Enquist BJ, Weiher E, Westoby M (2006) Rebuilding community ecology from functional traits. *Trends in Ecology and Evolution* 21 (4): 178–185. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.02.002>.
- McKinney ML (2002) Urbanization , Biodiversity , and Conservation. *BioScience* 52 (10): 883–890.
- McKinney ML (2006) Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological Conservation* 127: 247–260. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.09.005>.
- McPeck MA, Miller TE (1996) Evolutionary biology and community ecology. *Ecology* 77 (5): 1319–1320.
- Miles DB, Ricklefs RE, Travis J (1987) Concordance of ecomorphological relationships in three assemblages of passerine birds. *The American Naturalist* 129 (3): 347–364.
- Miles DB., Ricklefs RE. (1984) The Correlation Between Ecology and Morphology in Deciduous Forest Passerine Birds. *Ecology* 65 (5): 1629–1640.
- Morante-Filho JC, Arroyo-Rodríguez V, de Andrade ER, Santos BA, Cazetta E, Faria D (2017) Compensatory dynamics maintain bird phylogenetic diversity in fragmented tropical landscapes. *Journal of Applied Ecology* 55 (1): 256–266. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12962>.
- Moura NG, Lees AC, Aleixo A, Barlow J, Dantas SM, Ferreira J, Lima MDFC, Gardner TA (2014) Two hundred years of local avian extinctions in eastern Amazonia. *Conservation Biology* 28 (5): 1271–1281. <https://doi.org/10.1111/cobi.12300>.
- Norberg, UM (1979) Morphology of the wings, legs and tail of three coniferous forest tits, the goldcrest and the treecreeper in relation to locomotor pattern and feeding station selection. *Philosophical Transactions of The Royal Society B* 287 (1019): 131–165. <https://doi.org/10.1098/rstb.1979.0054>.
- Novaes FC, Lima MC (2009) *Aves da Grande Belém. Municípios de Belém e Ananindeua, Pará., 2a. ed.* Belém, 415 pp.
- Oksanen J, Kindt R, Legendre P, O’Hara B, Henry M, Stevens H (2007) *The vegan Package. Community Ecology Package .*
- Oliveira VC De (2017) Diversidade funcional de aves e sua relação com atributos da paisagem e a complexidade estrutural de florestas secundárias. Universidade de São Paulo, 105 pp.
- Patten MA, Silva HG, Smith-Patten BD (2010) Long-term changes in the bird community of Palenque, Chiapas, in response to rainforest loss. *Biodiversity and Conservation* 19 (1): 21–36. <https://doi.org/10.1007/s10531-009-9698-z>.
- Pavoine S, Bonsall MB (2011) Measuring biodiversity to explain community assembly: a unified approach. *Biological Reviews* 86: 792–812. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2010.00171.x>.
- Petchey OL, Gaston KJ (2002) Functional diversity (FD), species richness and community composition. *Ecology Letters* 5 (3): 402–411. <https://doi.org/10.1111/jvs.12083>.
- Petchey OL, Gaston KJ (2006) Functional diversity: back to basics and looking forward. *Ecology Letters* 9 (6): 741–758. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00924.x>.
- Peters RH (1986) *The Ecological Implications of Body Size.* Cambridge University Press, New York.

- Pinto OM de O (1964) *Ornitologia Brasiliense*. Vol. 1: Parte introdutória e famílias Rheidae a Cuculidae. São Paulo, Imprensa Oficial.
- R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Ribon R, Simon JE, Mattos GT (2003) Bird extinction in Atlantic Forest fragments of the Viçosa region, southeastern Brazil. *Conservation Biology* 17 (6): 1827–1839. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2003.00377.x>.
- Ricklefs R, Travis J (1980) A Morphological Approach to the Study of Avian Community Organization. *The Auk* 97 (2): 321–338.
- Ricklefs RE (2004) Cladogenesis and morphological diversification in passerine birds. *Nature* 430 (6997): 338–341. <https://doi.org/10.1029/2001JB000226>.
- Ricklefs RE, Bermingham E (2007) The Causes of Evolutionary Radiations in Archipelagoes: Passerine Birds in the Lesser Antilles. *The American Naturalist* 169 (3): 285–297. <https://doi.org/10.1086/510730>.
- Robinson SK, Holmes RT (1982) Foraging behavior of forest birds : the relationships among search tactics , diet , and habitat structure. *Ecology* 63 (6): 1918–1931.
- Robinson WD (2001) Changes in abundance of birds in a Neotropical forest fragment over 25 years: a review. *Animal Biodiversity and Conservation* 24 (2): 51–65.
- Sacco AG (2012) *Variáveis Urbanas na Estruturação de Assembleia de Aves*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 58 pp.
- Sacco AG, Rui AM, Bergmann FB, Müller SC, Hartz SM (2015) Perda de diversidade taxonômica e funcional de aves em área urbana no sul do Brasil. *Iheringia. Série Zoologia* 105 (3): 276–287. <https://doi.org/10.1590/1678-476620151053276287>.
- Sasaki T, Katabuchi M, Kamiyama C, Shimazaki M, Nakashizuka T, Hikosaka K (2014) Vulnerability of moorland plant communities to environmental change: consequences of realistic species loss on functional diversity. *Journal of Applied Ecology* 51 (2): 299–308. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12192>.
- Schoener TW (1974) Research partitioning in ecological communities. *Science* 185 (1): 27–39. <https://doi.org/10.1126/science.185.4145.27>.
- Sick H (2001) *Ornitologia Brasileira*. Editora Nova Fronteira, Rio de Janeiro, 912 pp.
- Silva RR, Brandão CRF (2010) Morphological patterns and community organization in leaf-litter ant assemblages. *Ecological Monographs* 80 (1): 107–124. <https://doi.org/10.1890/08-1298.1>.
- Sobral FL, Jardim L, Lemes P, Machado N, Loyola R, Cianciaruso M V. (2014) Spatial conservation priorities for top predators reveal mismatches among taxonomic, phylogenetic and functional diversity. *Natureza e Conservação* 12 (2): 150–155. <https://doi.org/10.1016/j.ncon.2014.09.008>.
- Sobral FL, Lees AC, Cianciaruso M V. (2016) Introductions do not compensate for functional and phylogenetic losses following extinctions in insular bird assemblages. *Ecology letters* 19 (9): 1091–1100. <https://doi.org/10.1111/ele.12646>.
- Swenson NG (2014) *Functional and phylogenetic ecology in R*. Springer, New York, 212 pp.
- Teresa FB, Casatti L (2012) Influence of forest cover and mesohabitat types on functional and taxonomic diversity of fish communities in Neotropical lowland streams. *Ecology of Freshwater Fish* 21 (3): 433–442. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2012.00562.x>.

- Tilman D (2001) Functional Diversity. *Encyclopedia of biodiversity* 3 (1): 109–120. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384719-5.00061-7>.
- Tinoco BA, Santillán VE, Graham CH (2018) Land use change has stronger effects on functional diversity than taxonomic diversity in tropical Andean hummingbirds. *Ecology and Evolution* (December 2017): 1–13. <https://doi.org/10.1002/ece3.3813>.
- Trisos CH, Petchey OL, Tobias JA (2014) Unraveling the Interplay of Community Assembly Processes Acting on Multiple Niche Axes across Spatial Scales. *The American Naturalist* 184 (5): 1–17. <https://doi.org/10.1086/678233>.
- Vielliard JME, Almeida ME de C, Anjos L dos, Silva WR (2010) Levantamento quantitativo por pontos de escuta e o Índice Pontual de Abundância (IPA). In: Von Matter S, Straube FC, Piacentini V de Q, Accordi IA, Cândido Jr JF (Eds) *Ornitologia e Conservação: Ciência Aplicada, Técnicas de Pesquisa e Levantamento*. Technical Books Editora, Rio de Janeiro, 516.
- Webb CO (2000) Exploring the phylogenetic structure of ecological communities: an example for rain forest trees. *The American naturalist* 156 (2): 145–155. <https://doi.org/10.1086/303378>.
- Weiser MD, Kaspari M (2006) Ecological morphospace of New World ants. *Ecological Entomology* 31: 131–142.
- Wenny DG, DeVault TL, Johnson MD, Kelly D, Sekercioglu CH, Tomback DF, Whelan CJ (2011) The need to quantify ecosystem services provided by birds. *The Auk* 128 (1): 1–14. <https://doi.org/10.1525/auk.2011.10248>.
- Wilman H, Belmaker J, Simpson J, de la Rosa C, Rivadeneira MM, Jetz W (2014) EltonTraits 1.0: Species-level foraging attributes of the world's birds and mammals. *Ecology* 95 (7): 2027–2027. <https://doi.org/10.1890/13-1917.1>.
- Zuur AF, Ieno EN, Elphick CS (2010) A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods in Ecology and Evolution* 1 (1): 3–14. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2009.00001.x>.

ANEXO

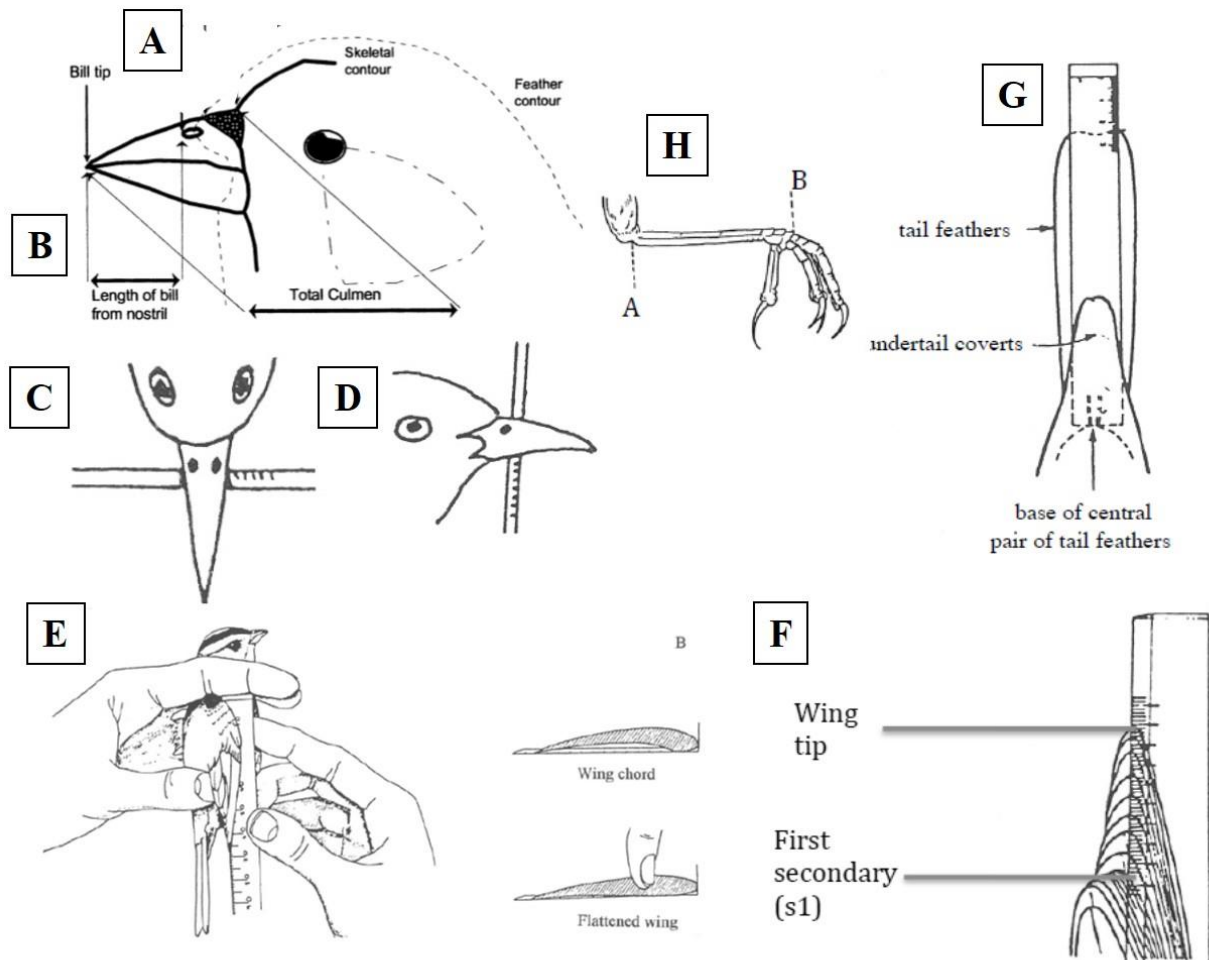


Figura 8: Protocolo usado neste estudo para obtenção das variáveis morfológicas de aves da Região Metropolitana de Belém (RMB), Pará. A lista de medidas segue a ordem da tabela 5. Fonte: Borrás et al. (2000).

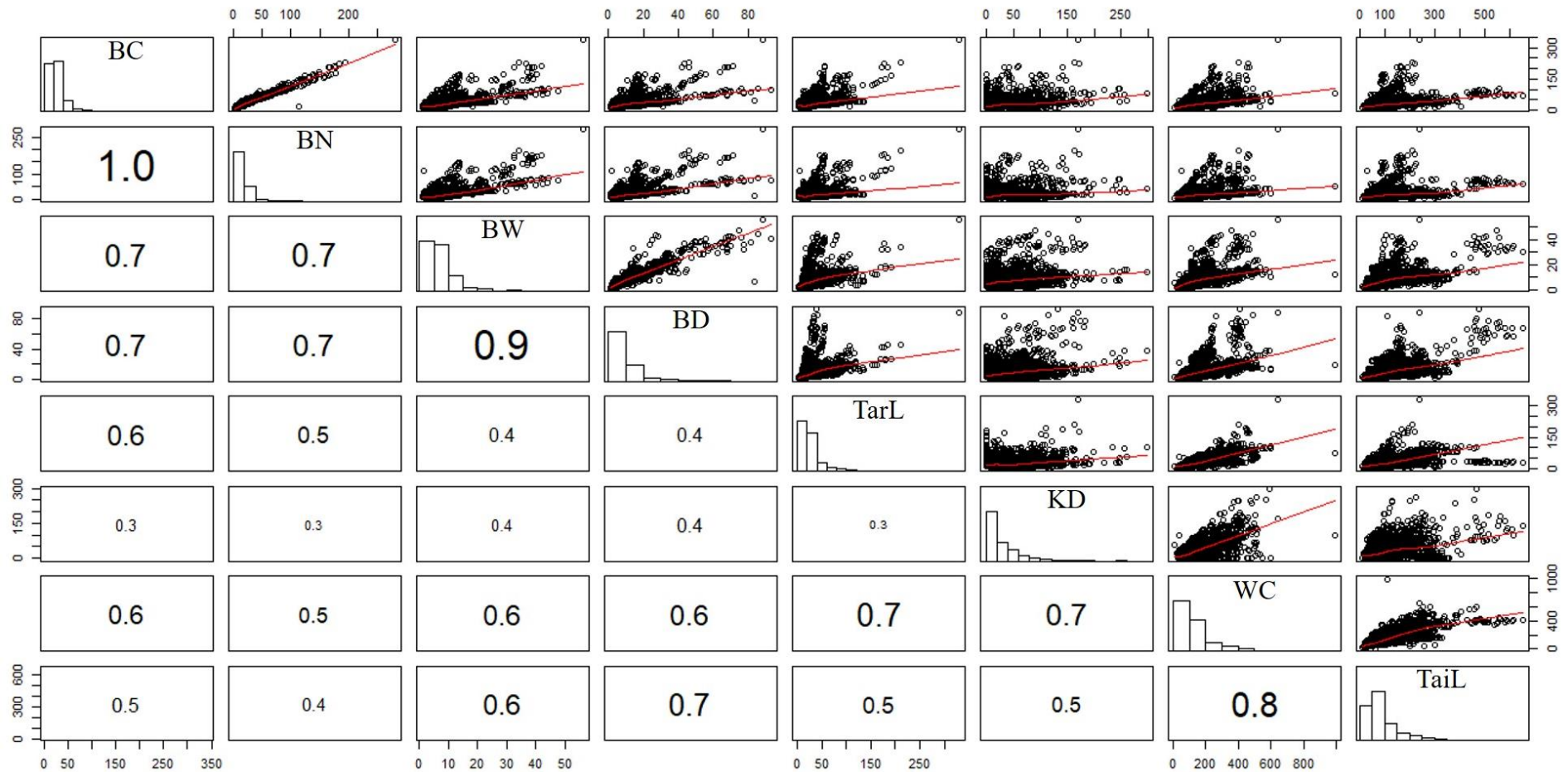


Figura 9: Matriz ilustrando relações bivariadas entre as nove variáveis morfológicas usadas no estudo sobre a fauna de aves da Região Metropolitana de Belém (RMB), Pará. BC = Tamanho total do cúlmen; BN = Comprimento da ponta do bico até a narina; BW = Largura do bico; BD = Profundidade do bico; TarL = Comprimento do tarso; KD = Medida de distância de Kipp; WC = Tamanho da asa; TaiL = Tamanho da cauda. A diagonal da matriz apresenta histogramas com a frequência de distribuição dos valores de cada variável morfológica. A matriz inferior apresenta os valores de correlação entre as variáveis (correlação de Pearson). A matriz superior apresenta gráficos de dispersão e uma linha (vermelha) ilustrando a forma da relação entre as variáveis.

Tabela 5: Características morfológicas utilizadas para a análise de diversidade morfológica de aves na Região Metropolitana de Belém, Pará, com definição de cada medida, importância funcional e referências.

Caracteres	Definição	Importância funcional	Referência
[A] Tamanho total do cúlmen (BC)	Medido da ponta do bico à base da cabeça.	Define o tipo do recurso alimentar explorado, assim como sua manipulação. Permite a exploração de recursos alimentares em diferentes locais, diminuindo competição intraespecífica.	(Oliveira 2017; Trisos et al. 2014)
[B] Comprimento da ponta do bico até a narina (BN)	Medido da parte anterior da narina à ponta do bico.		
[C] Largura do bico (BW)	Medida a partir da borda anterior das narinas, com cabeça em posição frontal.	Tem forte relação com estratégias de forrageamento adotadas pelas espécies e os tipos de recursos explorados. Tem também relação com capacidade de dispersão.	(Almeida et al. 2016; Dawideit et al. 2009; Trisos et al. 2014)
[D] Profundidade do bico (BD)	Medido na borda anterior das narinas, com cabeça em posição lateral.		
[E] Tamanho da asa (WC)	Medido da curva da asa à ponta mais longa da pena primária.	Está associada com capacidade de voo, pois aumenta área de sustentação do voo.	(Las-Casas e Azevedo-Júnior 2009)
[F] Medida de distância de Kipp (KD)	Medido como a distância entre a ponta da primeira pena secundária e a ponta mais longa da pena primária.	Capacidade de dispersão (distância de voo) e/ou capacidade de migração.	(Dawideit et al. 2009)
[G] Tamanho da cauda (TaiL)	Medido da extremidade do corpo até a ponta das retrizes (cauda).	Relação com padrões de forrageamento e defesa de território; caudas maiores representam maior estabilidade e capacidade de manobras em voo.	(Las-Casas e Azevedo-Júnior 2009)
[H] Comprimento do tarso (TarL)	Medido do joelho do indivíduo até o terceiro vinco do tornozelo.	Está relacionada com as estratégias de forrageamento, tipos de recurso explorados e o uso de substrato.	(Almeida et al. 2016; Miles e Ricklefs 1984; Trisos et al. 2014)
Massa (Mass)	Medido em miligramas.	Está relacionada com a disponibilidade recursos e capacidade de suporte do ambiente.	(Lima 2015; Norberg 1979)

Tabela 6: Espécies de aves registradas da Região Metropolitana de Belém (RMB), Pará, Brasil, com base no livro de Novaes e Lima (2009). As colunas da tabela descrevem listas de aves consideradas extintas ou ameaçadas de extinção com base em outros estudos. Conjunto A: nove espécies extintas; Conjunto B: 44 espécies possivelmente extintas; Conjunto C: 32 espécies ameaçadas de extinção; Conjunto D: 92 espécies registradas em levantamento de aves no município de Belém.

	Conjunto A (Moura <i>et al.</i> 2014)	Conjunto B (Moura <i>et al.</i> 2014)	Conjunto C (IUCN 2017)	Conjunto D (Lees e Moura 2017)
TINAMIFORMES				
Tinamidae				
<i>Tinamus guttatus</i>			X	
<i>Crypturellus cinereus</i>				
<i>Crypturellus soui</i>				
<i>Crypturellus strigulosus</i>				
<i>Crypturellus variegatus</i>				
ANSERIFORMES				
Anatidae				
<i>Dendrocygna bicolor</i>				
<i>Dendrocygna autumnalis</i>				
<i>Neochen jubata</i>			X	
<i>Cairina moschata</i>				
<i>Amazonetta brasiliensis</i>				X
GALLIFORMES				
Cracidae				
<i>Penelope superciliaris</i>				
<i>Penelope pileata</i>		X	X	
<i>Aburria kujubi</i>		X		
<i>Ortalis superciliaris</i>				X
<i>Pauxi tuberosa</i>		X		
Odontophoridae				
<i>Odontophorus gujanensis</i>	X	X	X	
PODICIPEDIFORMES				
Podicipedidae				
<i>Tachybaptus dominicus</i>				
<i>Podilymbus podiceps</i>				
PROCELLARIIFORMES				
Hydrobatidae				
<i>Oceanodroma leucorhoa</i>			X	
CICONIIFORMES				
Ciconiidae				
<i>Jabiru mycteria</i>				
SULIFORMES				
Phalacrocoracidae				
<i>Nannopterum brasilianus</i>				X
Anhingidae				
<i>Anhinga anhinga</i>				

PELECANIFORMES**Ardeidae**

<i>Tigrisoma lineatum</i>			
<i>Agamia agami</i>		X	
<i>Cochlearius cochlearius</i>			
<i>Zebrilus undulatus</i>		X	
<i>Ixobrychus exilis</i>			
<i>Nycticorax nycticorax</i>			X
<i>Butorides striata</i>			X
<i>Bubulcus ibis</i>			
<i>Ardea cocoi</i>			X
<i>Ardea alba</i>			X
<i>Pilherodius pileatus</i>			
<i>Egretta thula</i>			X

Threskiornithidae

<i>Eudocimus ruber</i>			X
<i>Mesembrinibis cayennensis</i>			
<i>Phimosus infuscatus</i>			
<i>Theristicus caudatus</i>			

CATHARTIFORMES**Cathartidae**

<i>Cathartes aura</i>			
<i>Cathartes burrovianus</i>			
<i>Cathartes melambrotus</i>			
<i>Coragyps atratus</i>			X
<i>Sarcoramphus papa</i>	X		

ACCIPITRIFORMES**Pandionidae**

Pandion haliaetus

Accipitridae

<i>Leptodon cayanensis</i>			
<i>Chondrohierax uncinatus</i>			
<i>Elanoides forficatus</i>			
<i>Gampsonyx swainsonii</i>			
<i>Harpagus bidentatus</i>			
<i>Harpagus diodon</i>			
<i>Accipiter poliogaster</i>	X	X	
<i>Accipiter superciliosus</i>	X		
<i>Ictinia plumbea</i>			
<i>Busarellus nigricollis</i>			
<i>Rostrhamus sociabilis</i>			
<i>Helicolestes hamatus</i>			
<i>Geranoospiza caerulescens</i>			
<i>Buteogallus schistaceus</i>			
<i>Heterospizias meridionalis</i>			

<i>Urubitinga urubitinga</i>			
<i>Rupornis magnirostris</i>			X
<i>Geranoaetus albicaudatus</i>			
<i>Leucopternis kuhli</i>			
<i>Buteo nitidus</i>			
<i>Buteo brachyurus</i>			
<i>Harpia harpyja</i>	X	X	
<i>Spizaetus tyrannus</i>			
<i>Spizaetus melanoleucus</i>	X		
<i>Spizaetus ornatus</i>	X	X	
EURYPYGIFORMES			
Eurypygidae			
<i>Eurypyga helias</i>			
GRUIFORMES			
Aramidae			
<i>Aramus guarauna</i>			X
Psophiidae			
<i>Psophia viridis</i>		X	
Rallidae			
<i>Aramides cajaneus</i>			X
<i>Amaurolimnas concolor</i>			
<i>Laterallus viridis</i>			
<i>Laterallus melanophaius</i>			
<i>Laterallus exilis</i>			X
<i>Laterallus jamaicensis</i>		X	
<i>Porzana flaviventer</i>			
<i>Mustelirallus albicollis</i>			
<i>Neocrex erythrops</i>			
<i>Pardirallus maculatus</i>			
<i>Pardirallus nigricans</i>			
<i>Gallinula galeata</i>			
<i>Porphyrio martinicus</i>			
<i>Porphyrio flavirostris</i>			
Helionithidae			
<i>Heliornis fulica</i>			
CHARADRIIFORMES			
Charadriidae			
<i>Vanellus cayanus</i>			
<i>Vanellus chilensis</i>			X
<i>Pluvialis dominica</i>			
<i>Charadrius semipalmatus</i>			X
<i>Charadrius collaris</i>			X
Scolopacidae			
<i>Gallinago paraguaiae</i>			
<i>Numenius phaeopus</i>			

<i>Bartramia longicauda</i>			
<i>Actitis macularius</i>			X
<i>Tringa solitaria</i>			X
<i>Tringa melanoleuca</i>			
<i>Calidris minutilla</i>			X
Jacanidae			
<i>Jacana jacana</i>			
Sternidae			
<i>Sternula superciliaris</i>			
<i>Phaetusa simplex</i>			X
<i>Sterna hirundo</i>			X
<i>Thalasseus maximus</i>			
Rynchopidae			
<i>Rynchops niger</i>			X
COLUMBIFORMES			
Columbidae			
<i>Columbina passerina</i>			X
<i>Columbina talpacoti</i>			
<i>Claravis pretiosa</i>			
<i>Columba livia</i>			X
<i>Patagioenas speciosa</i>			
<i>Patagioenas cayennensis</i>			X
<i>Patagioenas plumbea</i>			
<i>Zenaida auriculata</i>			
<i>Leptotila verreauxi</i>			
<i>Leptotila rufaxilla</i>			
<i>Geotrygon montana</i>			
OPISTHOCOMIFORMES			
Opisthocomidae			
<i>Opisthocomus hoazin</i>			
CUCULIFORMES			
Cuculidae			
<i>Coccyzua minuta</i>			
<i>Piaya cayana</i>			
<i>Coccyzus melacoryphus</i>			
<i>Coccyzus euleri</i>			
<i>Crotophaga major</i>			
<i>Crotophaga ani</i>			X
<i>Guira guira</i>			X
<i>Tapera naevia</i>			
<i>Dromococcyx pavoninus</i>			
<i>Neomorphus geoffroyi</i>	X	X	
STRIGIFORMES			
Tytonidae			
<i>Tyto furcata</i>			

Strigidae

Megascops choliba
Megascops usta
Lophotrix cristata
Pulsatrix perspicillata
Bubo virginianus
Strix virgata
Strix huhula
Glaucidium brasilianum
Asio clamator

NYCTIBIIFORMES**Nyctibiidae**

Nyctibius grandis
Nyctibius griseus

CAPRIMULGIFORMES**Caprimulgidae**

Antrostomus rufus
Lurocalis semitorquatus
Nyctidromus nigrescens
Nyctidromus albicollis
Hydropsalis parvula
Hydropsalis maculicaudus
Hydropsalis cayennensis
Hydropsalis torquata
Podager nacunda
Chordeiles rupestris
Chordeiles acutipennis

APODIFORMES**Apodidae**

Chaetura spinicaudus X
Chaetura chapmani
Chaetura brachyura X
Tachornis squamata X
Panyptila cayennensis

Trochilidae

Glaucis hirsutus X
Threnetes leucurus
Phaethornis ruber
Phaethornis superciliosus
Campylopterus largipennis
Eupetomena macroura
Florisuga mellivora
Anthracothorax viridigula
Anthracothorax nigricollis X
Topaza pella

<i>Chrysolampis mosquitus</i>				
<i>Lophornis gouldii</i>	X	X	X	
<i>Chlorestes notata</i>				X
<i>Thalurania furcata</i>				
<i>Hylocharis sapphirina</i>				
<i>Polytmus theresiae</i>				
<i>Amazilia leucogaster</i>				
<i>Amazilia versicolor</i>				
<i>Amazilia fimbriata</i>				
<i>Heliothryx auritus</i>				
<i>Calliphlox amethystina</i>		X		

TROGONIFORMES**Trogonidae**

- Trogon melanurus*
- Trogon viridis*
- Trogon violaceus*
- Trogon rufus*

CORACIIFORMES**Alcedinidae**

- Megaceryle torquata*
- Chloroceryle amazona*
- Chloroceryle aenea*
- Chloroceryle americana*
- Chloroceryle inda*

Momotidae

- Momotus momota*

GALBULIFORMES**Galbulidae**

- Brachygalba lugubris*
- Galbula cyanicollis*
- Galbula ruficauda*
- Galbula dea*
- Jacamerops aureus*

Bucconidae

- Notharchus macrorhynchos*
- Notharchus tectus*
- Bucco tamatia*
- Bucco capensis*
- Nystalus striolatus*
- Malacoptila rufa*
- Monasa morphoeus*
- Chelidoptera tenebrosa*

PICIFORMES**Ramphastidae**

- Ramphastos toco*

<i>Ramphastos tucanus</i>		X	
<i>Ramphastos vitellinus</i>		X	
<i>Selenidera gouldii</i>			
<i>Pteroglossus inscriptus</i>			
<i>Pteroglossus bitorquatus</i>		X	
<i>Pteroglossus aracari</i>			
Picidae			
<i>Picumnus aurifrons</i>			
<i>Picumnus exilis</i>			
<i>Picumnus cirratus</i>			
<i>Melanerpes cruentatus</i>			
<i>Veniliornis affinis</i>			
<i>Piculus flavigula</i>			
<i>Piculus chrysochloros</i>	X		
<i>Celeus torquatus</i>	X	X	
<i>Celeus elegans</i>			
<i>Celeus undatus</i>			
<i>Celeus flavus</i>			
<i>Dryocopus lineatus</i>			X
<i>Campephilus rubicollis</i>			
<i>Campephilus melanoleucos</i>			
FALCONIFORMES			
Falconidae			
<i>Daptrius ater</i>	X		
<i>Ibycter americanus</i>			
<i>Caracara plancus</i>			X
<i>Milvago chimachima</i>			X
<i>Herpetotheres cachinnans</i>			
<i>Micrastur ruficollis</i>			
<i>Micrastur mintoni</i>			
<i>Micrastur mirandollei</i>	X		
<i>Micrastur semitorquatus</i>	X		
<i>Falco rufigularis</i>			X
<i>Falco deiroleucus</i>		X	
<i>Falco femoralis</i>			
<i>Falco peregrinus</i>			X
PSITTACIFORMES			
Psittacidae			
<i>Anodorhynchus hyacinthinus</i>	X	X	
<i>Ara ararauna</i>			
<i>Ara macao</i>	X		
<i>Ara chloropterus</i>			
<i>Ara severus</i>			
<i>Orthopsittaca manilatus</i>			
<i>Diopsittaca nobilis</i>			

<i>Guaruba guarouba</i>	X	X	
<i>Psittacara leucophthalmus</i>			X
<i>Aratinga jandaya</i>			X
<i>Eupsittula aurea</i>			
<i>Pyrrhura coerulescens</i>	X	X	
<i>Pyrrhura picta</i>			
<i>Forpus passerinus</i>			
<i>Brotogeris versicolurus</i>			X
<i>Brotogeris chrysoptera</i>			
<i>Brotogeris sanctithomae</i>			
<i>Touit huetii</i>	X	X	
<i>Touit purpuratus</i>			
<i>Pionites leucogaster</i>		X	
<i>Pyrilia vulturina</i>		X	
<i>Graydidascalus brachyurus</i>			
<i>Pionus menstruus</i>			
<i>Pionus fuscus</i>			
<i>Amazona festiva</i>		X	
<i>Amazona farinosa</i>		X	
<i>Amazona amazonica</i>			X
<i>Deropterus accipitrinus</i>	X		
PASSERIFORMES			
Thamnophilidae			
<i>Pygiptila stellaris</i>			
<i>Myrmotherula multostriata</i>			
<i>Myrmotherula axillaris</i>			
<i>Myrmotherula longipennis</i>			
<i>Myrmotherula menetriesii</i>			
<i>Formicivora grisea</i>			
<i>Isleria hauxwelli</i>			
<i>Thamnomanes caesius</i>			
<i>Dysithamnus mentalis</i>			
<i>Sakesphorus luctuosus</i>			
<i>Thamnophilus doliatus</i>			
<i>Thamnophilus palliatus</i>			X
<i>Thamnophilus nigrocinereus</i>		X	
<i>Thamnophilus stictocephalus</i>			
<i>Thamnophilus aethiops</i>			
<i>Thamnophilus amazonicus</i>			
<i>Taraba major</i>			X
<i>Hypocnemoides maculicauda</i>			
<i>Sclateria naevia</i>			
<i>Pyriglena leuconota</i>			
<i>Cercomacra cinerascens</i>			
<i>Cercomacroides laeta</i>			

<i>Willisornis vidua</i>			
<i>Phlegopsis nigromaculata</i>			
Conopophagidae			
<i>Conopophaga roberti</i>			
Grallariidae			
<i>Hylopezus macularius</i>		X	
Formicariidae			
<i>Formicarius colma</i>			
<i>Formicarius analis</i>			
Scleruridae			
<i>Sclerurus macconnelli</i>			
<i>Sclerurus rufigularis</i>	X		X
<i>Sclerurus caudacutus</i>			X
Dendrocolaptidae			
<i>Dendrocincla fuliginosa</i>			
<i>Dendrocincla merula</i>	X		X
<i>Deconychura longicauda</i>			X
<i>Glyphorhynchus spirurus</i>			
<i>Xiphorhynchus spixii</i>			
<i>Xiphorhynchus obsoletus</i>			
<i>Xiphorhynchus guttatus</i>			
<i>Dendroplex picus</i>			X
<i>Lepidocolaptes albolineatus</i>			
<i>Dendrexetastes rufigula</i>			X
<i>Dendrocolaptes certhia</i>			
Xenopidae			
<i>Xenops minutus</i>			
Furnariidae			
<i>Berlepschia rikeri</i>	X		X
<i>Automolus rufipileatus</i>			
<i>Automolus paraensis</i>			
<i>Anabacerthia ruficaudata</i>			
<i>Philydor erythrocercum</i>			X
<i>Philydor pyrrhodes</i>			
<i>Synallaxis albescens</i>			X
<i>Synallaxis rutilans</i>			
<i>Synallaxis gujanensis</i>			
Pipridae			
<i>Tyranneutes stolzmanni</i>			
<i>Pipra fasciicauda</i>			
<i>Ceratopipra rubrocapilla</i>			
<i>Lepidothrix iris</i>			X
<i>Manacus manacus</i>			
<i>Dixiphia pipra</i>			
<i>Chiroxiphia pareola</i>			

Oxyruncidae*Oxyruncus cristatus***Onychorhynchidae***Onychorhynchus coronatus**Terenotriccus erythrurus**Myiobius atricaudus*

X

Tityridae*Schiffornis turdina**Laniocera hypopyrra**Iodopleura isabellae**Tityra inquisitor**Tityra cayana**Tityra semifasciata**Pachyramphus rufus**Pachyramphus polychopterus**Pachyramphus marginatus**Pachyramphus minor**Pachyramphus validus***Cotingidae***Phoenicircus carnifex*

X

*Haematoderus militaris**Querula purpurata**Lipaugus vociferans**Procnias albus**Cotinga cayana**Cotinga cotinga**Gymnoderus foetidus*

X

Xipholena lamellipennis

X

Pipritidae*Piprites chloris*

X

Platyrinchidae*Platyrinchus saturatus*

X

X

Platyrinchus platyrhynchos

X

X

Rhynchocyclidae*Taeniotriccus andrei**Mionectes oleagineus**Mionectes macconnelli**Corythopis torquatus*

X

*Rhynchocyclus olivaceus**Tolmomyias sulphurescens**Tolmomyias assimilis**Tolmomyias poliocephalus**Tolmomyias flaviventris*

X

Todirostrum maculatum

X

Todirostrum chrysocrotaphum

*Poecilotriccus fumifrons**Poecilotriccus sylvia**Myiornis ecaudatus**Lophotriccus galeatus***Tyrannidae***Zimmerius gracilipes**Ornithion inerne**Camptostoma obsoletum*

X

Elaenia flavogaster

X

*Elaenia parvirostris**Myiopagis gaimardii**Myiopagis flavivertex**Tyrannulus elatus*

X

Phaeomyias murina

X

*Attila cinnamomeus**Attila bolivianus**Attila spadiceus**Legatus leucophaeus**Ramphotrigon ruficauda**Myiarchus tuberculifer**Myiarchus ferox*

X

*Rhytipterna simplex**Casiornis fuscus**Pitangus sulphuratus*

X

*Philohydor lictor**Myiodynastes maculatus**Tyrannopsis sulphurea*

X

Megarynchus pitangua

X

Myiozetetes cayanensis

X

Myiozetetes similis

X

Tyrannus albogularis

X

Tyrannus melancholicus

X

Tyrannus savana

X

Empidonomus varius

X

*Colonia colonus**Myiophobus fasciatus*

X

*Sublegatus obscurior**Arundinicola leucocephala**Cnemotriccus fuscatus**Lathrotriccus euleri***Vireonidae***Cyclarhis gujanensis**Hylophilus pectoralis*

X

*Hylophilus semicinereus**Tunchiornis ochraceiceps*

X

X

<i>Vireo olivaceus</i>	X
Hirundinidae	
<i>Atticora fasciata</i>	
<i>Atticora tibialis</i>	
<i>Stelgidopteryx ruficollis</i>	
<i>Progne tapera</i>	X
<i>Progne subis</i>	
<i>Progne chalybea</i>	X
<i>Tachycineta albiventer</i>	X
<i>Hirundo rustica</i>	X
Troglodytidae	
<i>Microcerculus marginatus</i>	
<i>Troglodytes musculus</i>	X
<i>Pheugopedius genibarbis</i>	
<i>Cantorchilus leucotis</i>	
Donacobiidae	
<i>Donacobius atricapilla</i>	X
Polioptilidae	
<i>Ramphocaenus melanurus</i>	
<i>Polioptila plumbea</i>	X
Turdidae	
<i>Catharus fuscescens</i>	
<i>Turdus leucomelas</i>	X
<i>Turdus fumigatus</i>	
<i>Turdus nudigenis</i>	
<i>Turdus amaurochalinus</i>	
<i>Turdus albicollis</i>	
Motacillidae	
<i>Anthus lutescens</i>	X
Passerellidae	
<i>Ammodramus aurifrons</i>	X
<i>Arremon taciturnus</i>	
Parulidae	
<i>Setophaga striata</i>	
<i>Setophaga fusca</i>	
<i>Geothlypis aequinoctialis</i>	X
<i>Myiothlypis rivularis</i>	
Icteridae	
<i>Psarocolius viridis</i>	
<i>Psarocolius bifasciatus</i>	
<i>Cacicus haemorrhous</i>	
<i>Cacicus cela</i>	
<i>Icterus cayanensis</i>	
<i>Icterus jamacaii</i>	X
<i>Icterus croconotus</i>	

<i>Gymnomystax mexicanus</i>			
<i>Gnorimopsar chopi</i>			
<i>Chrysomus icterocephalus</i>			
<i>Molothrus oryzivorus</i>			
<i>Molothrus bonariensis</i>			X
<i>Sturnella militaris</i>			X
Mitrospingidae			
<i>Lamprospiza melanoleuca</i>		X	
Thraupidae			
<i>Schistochlamys melanopsis</i>			
<i>Paroaria dominicana</i>			
<i>Tangara gyrola</i>			
<i>Tangara mexicana</i>			X
<i>Tangara velia</i>			
<i>Tangara punctata</i>			
<i>Tangara episcopus</i>			X
<i>Tangara palmarum</i>			X
<i>Conirostrum bicolor</i>		X	
<i>Sicalis flaveola</i>			
<i>Chlorophanes spiza</i>			
<i>Hemithraupis guira</i>			
<i>Volatinia jacarina</i>			X
<i>Eucometis penicillata</i>			
<i>Coryphospingus cucullatus</i>			
<i>Lanio surinamus</i>			
<i>Lanio cristatus</i>			
<i>Tachyphonus rufus</i>			X
<i>Ramphocelus carbo</i>			X
<i>Tersina viridis</i>			
<i>Cyanerpes caeruleus</i>			
<i>Cyanerpes cyaneus</i>			
<i>Dacnis cayana</i>			
<i>Dacnis lineata</i>	X	X	
<i>Coereba flaveola</i>			X
<i>Sporophila lineola</i>			
<i>Sporophila schistacea</i>			
<i>Sporophila americana</i>			X
<i>Sporophila nigricollis</i>			
<i>Sporophila leucoptera</i>			
<i>Sporophila bouvreuil</i>			
<i>Sporophila minuta</i>			
<i>Sporophila angolensis</i>			
<i>Saltator maximus</i>			
<i>Saltator coerulescens</i>			X
<i>Saltator grossus</i>			

Cardinalidae*Granatellus pelzelni**Caryothraustes canadensis**Periporphyrus erythromelas*

X

X

*Cyanoloxia rothschildii***Fringillidae***Euphonia chlorotica**Euphonia violacea*

X

Euphonia minuta

X

*Euphonia cayennensis***Estrildidae***Estrilda astrild*

X

Passeridae*Passer domesticus*

X

 Fonte: Novaes e Lima 2009; Moura *et al.* 2014; IUCN 2017; Lees e Moura 2017.


Bem-te-vi (*Pitangus sulphuratus* Linnaeus 1766) Fonte: Carlos Damasceno